



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta dopravní
Ústav soudního znalectví v dopravě**

Analýza rozjezdu a zastavení cyklisty

Diplomová práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích
Studijní obor: Dopravní systémy a technika

Vedoucí práce: Ing. Alžběta Lenková

Bc. Miroslav Novotný

PRAHA 2014



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K622..... Ústav soudního znelectví v dopravě

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Miroslav Novotný

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Analýza vlivů na rozjezd a zastavení cyklisty**

Název tématu (anglicky): **Analysis of Influences Which Affect the Cyclist (Starting off and Stopping)**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Rozbor statistik nehodovosti cyklistů
- Dynamika cyklisty se zaměřením na rozjezd a zastavení
- Stanovení a popis vlivů na jízdu cyklisty - jízdní kolo, prostředí a fyziologie cyklisty
- Příprava praktického měření vlivů vybraných činitelů
- Metodika měření
- Vyhodnocení měření

Rozsah grafických prací: Dle pokynů vedoucího práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Kasanický G., Kohút P.: Analýza nehod jednostopých vozidiel. Žilina, Žilinská univerzita, 2008.

Cibula, K. Mechanika jízdního kola. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004.

Šachl J., Šachl J. (ml), Schmidt D., Mičunek T., Frydrýn M.: Analýza nehod v silničním provozu. Praha, ČVUT, 2010

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Alžběta Lenková**

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2013**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **5. května 2014**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

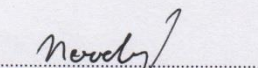


doc. Ing. Jindřich Šachl, CSc.
vedoucí
Ústavu soudního znalectví v dopravě




prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


Bc. Miroslav Novotný
jméno a podpis studenta

V Praze dne30. června 2013

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady k vypracování této práce. Zvláště pak děkuji Ing. Alžbětě Lenkové za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytovala po celou dobu mého studia. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mi umožnili přístup k mnoha důležitým informacím a materiálům.

V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat své rodině a blízkým za morální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS13/157/OHK2/2T/16, Zkoumání trajektorie pohybu cyklistů a vliv různých faktorů na ni.

Prohlášení

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 5. května 2014

.....

podpis

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora: Bc. Miroslav Novotný

Název práce: Analýza vlivů na rozjezd a zastavení cyklisty

Typ práce: Diplomová práce

Pracoviště: ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, Ústav soudního znaleství v dopravě

Vedoucí práce: Ing. Alžběta Lenková

Rok obhajoby práce: 2014

Abstrakt: Předmětem diplomové práce „Analýza rozjezdu a zastavení cyklisty“ je poskytnutí informací o jednotlivých typech jízdních kol, o jejich komponentech a vlivech působících na rozjezd a zastavení cyklisty. Součástí práce je také zpracování statistik nehodovosti cyklistů v České republice a EU.

Praktickou částí je návrh metodiky pro záznam rozjezdů cyklistů v reálném provozu a provedení měření zastavení cyklistů na různých typech jízdních kol.

Klíčová slova: bezpečnost, jízdní kolo, rozjezd, zastavení, akcelerometr, fotoaparát, nehodovost, rám, kolo, typy jízdních kol, materiály, řídítka, přední vidlice, brzdy

Počet stran: 107

Počet příloh: 9

Jazyk: Čeština

Bibliographical identification

Author's first name and surname: Miroslav Novotný

Title: Analysis of Influences Which Affect the Cyclist (Starting off and Stopping)

Type of the thesis: Diploma thesis

Department: CTU in Prague, Faculty of Transportation Science, Department of Forensic Experts in Transportation

Supervisor: Ing. Alžběta Lenková

The year of presentation: 2014

Abstract: The purpose of this diploma thesis “Analysis of Influences Which Affect the Cyclist (Starting off and Stopping)” is to provide information about types of bicycles, their components and about the influences which affect the cyclist during his starting off and stopping. The thesis also contains statistics of traffic accidents with cyclists in the Czech Republic and the European Union.

The practical part is a proposal of a methodology for the recording of starting off of cyclists in real traffic and measurement of the stopping of cyclists on different types of bikes.

Keywords: safety, bicycle, start, stop, accelerometer, camera, accidents, frame, bike, bicycle types, materials, handlebar, front fork, brakes

Number of pages: 107

Number of appendices: 9

Language: Czech

Seznam použitých zkratek (Seznam použitých jednotek)

ČR – Česká republika

EU – Evropská unie

ČVUT – České vysoké učení technické v Praze

FD ČVUT – Fakulta dopravní Českého vysokého učení technického v Praze

VUT – Vysoké učení technické v Brně

s. r. o. – společnost s ručením omezeným

UV záření – ultrafialové záření

Al – hliník

Ti – titan

Mg – hořčík

Zn – zinek

Si – křemík

MEMS – Micro-Electro-Mechanical Systems – technologie z integrovaných obvodů

CSV – Comma-Separated Values – hodnoty oddělené čárkami

FPS – Frames Per Second – počet snímků za sekundu

4X – Four Cross – typ závodního jízdního kola a také druh cyklistických závodů

RMS – Root Mean Square – kvadratický průměr

Seznam použitých veličin a jejich jednotek

Značka	Jednotka	Veličina
a_0	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$	Okamžité zrychlení
a_p	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$	Průměrné zrychlení
c_x	[1]	Tvarový součinitel
D	[m]	Průměr kola
d_l	[m]	Průměr ložiska
d_e	[m]	Vzdálenost elektrod
F_Z	[N]	Síla působící na zadní kolo
F_c	[N]	Síla působící na pedál
f_k	[1]	Součinitel valivého odporu
F_s	[N]	Brzdná síla
F_t	[N]	Příčná síla v místě dotyku kola s vozovkou při průjezdu obloukem
g	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$	Gravitační zrychlení, $g=9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
G	[N]	Zatížení ložiska
H	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$	Hustota vzduchu
i	[1]	Součinitel odporu valení ložiska
l_b	[m]	Zábrzdná vzdálenost
l_k	[m]	Délka kliky
l_r	[m]	Dráha ujetá během reakční doby
l_s	[m]	Zábrzdná dráha
m	[kg]	Hmotnost cyklista a kola
M	[m]	Odporový moment ložiska
O	[N]	Odstředivá síla
O_c	[N]	Jízdní odpor
O_k	[N]	Valivý odpor kol
O_l	[N]	Odpor v ložiskách a řetězu
O_s	[N]	Odpor stoupání
O_v	[N]	Odpor vzduchu
p	[1]	Převodový poměr
s	[m]	Dráha
S	[m]	Dráha ujetá na jednu otáčku kola
S_e	$[\text{m}^2]$	Plocha elektrod
s_x	$[\text{m}^2]$	Velikost čelní plochy
t	[s]	Čas
u_s	$[\text{ot}\cdot\text{s}^{-1}]$	Otáčky klik za sekundu

v_0	$[\text{m.s}^{-1}]$	Okamžitá rychlost
v_p	$[\text{m.s}^{-1}]$	Průměrná rychlost
$Z_{1,2}$	[1]	Počet zubů převodníku, resp. pastorku
α_1	[rad]	Úhel sklonu vozovky
ε	$[\text{F.m}^{-1}]$	Permitivita
μ	[1]	Součinitel adheze

Obsah

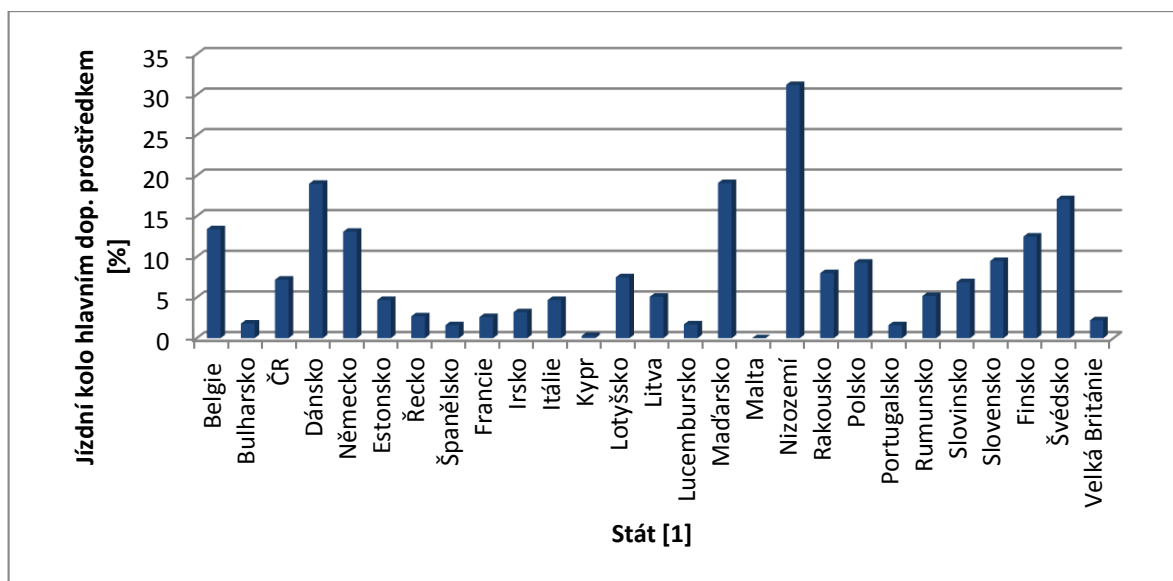
Obsah.....	11
0 Úvod.....	13
1 Jízdní kolo.....	16
1.1 Historie [3,4].....	16
1.2 Dělení jízdních kol [5].....	18
1.3 Hlavní skupiny jízdního kola.....	22
2 Rozbor statistik nehodovosti.....	30
2.1 Statistiky nehodovosti.....	30
2.2 Statistiky nehod cyklistů.....	31
2.3 Strategie do roku 2020.....	36
2.4 Návrhy na zlepšení.....	37
3 Pohyb jízdního kola.....	38
3.1 Dělení pohybů.....	38
3.1.4 Nerovnoměrný.....	39
3.2 Rychlost.....	39
3.3 Zrychlení.....	39
3.4 Stabilita.....	40
3.5 Rozjezd.....	41
3.6 Zastavení.....	42
4 Vlivy na rozjezd a zastavení cyklisty.....	44
4.1 Vlivy okolí.....	44
4.2 Vlivy jízdního kola.....	45
4.3 Vlivy vlastního cyklisty.....	52
5 Dosavadní výzkum.....	55
5.1 Měření rozjezdu.....	55
5.2 Měření zastavení.....	58
5.3 Měření různých typů brzd.....	62

6	Experiment – metodika měření	64
6.1	Akcelerometr.....	64
6.2	Snímač MTi-G	67
6.3	Slovní popis možných scénářů:.....	69
6.4	Záznam videa	70
6.5	Metoda optické závory.....	72
7	Experiment – Srovnávací a přípravná měření.....	75
7.1	Měření rozjezdů cyklisty.....	75
7.2	Závěr srovnávacích měření:	79
7.3	Měření brzdného zpomalení.....	80
8	Příprava měření	82
8.1	Měření zrychlení	82
8.2	Měření zpomalení.....	83
9	Vyhodnocení měření	85
9.1	Vyhodnocení měření zrychlení	85
9.2	Vyhodnocení měření zpomalení	86
10	Závěr.....	89
11	Seznam použitých pramenů.....	90
12	Seznam obrázků a tabulek	93
12.1	Seznam obrázků	93
12.2	Seznam tabulek	94
13	Seznam příloh.....	96

0 Úvod

Cyklistika se v současném světě stává doslova fenoménem. Předchůdci jízdního kola spatřili poprvé světlo světa již před mnoha lety. Jízdní kola od té doby prošla mohutným vývojem a s dnešními jízdními koly mají společného jen velice málo. Ovšem základní poslání jízdního kola zůstalo stejné. Jsou to stroje, které mají urychlit a zjednodušit dopravu z bodu A do bodu B. V dřívějších dobách se jízdní kolo používalo i k přepravě větších či menších předmětů. To již dnes neplatí nebo jen v omezené míře. Důvodem je vývoj vhodnějších dopravních prostředků, které jsou v posledních desetiletích již dostupné pro stále větší množství obyvatel.

V současnosti se jízdní kolo stává i symbolem zdravého životního stylu. Velká část lidské populace ve vyspělých zemích, kde je vyšší životní úroveň, vlastní automobil a má sedavé zaměstnání. Během volného času hledají tito lidé možnost, jak se vymanit ze své každodenní rutiny a udělat i něco pro své zdraví. A jízdní kolo je právě k tomuto účelu ideální. Jedná se o finančně dostupný dopravní prostředek, ke kterému nepotřebujete řidičské oprávnění, a zároveň jeho ovládání zvládají již malé děti. Jízdní kolo se také pro mnohé stalo hlavním dopravním prostředkem, což zachycuje i graf na obrázku číslo 1, který zobrazuje situaci v Evropě. V Nizozemí je jízdní kolo hlavním dopravním prostředkem téměř pro jednu třetinu obyvatel. V Dánsku a Maďarsku je pro téměř každého pátého. ČR lze v tomto ohledu zařadit se 7,2 % na 12. místo z uvedených 27 zemí.



Obrázek 1 Jízdní kolo jako hlavní dopravní prostředek ve státech EU [2]

Právě o rostoucí popularitě jízdních kol a cyklistiky obecně svědčí i čím dál tím větší přítomnost cyklistů v městském provozu. Tento výrok lze doložit také pomocí dat, která byla získána ze sčítačů cyklistů. Ty začaly být instalovány od roku 2007 a každým rokem jich přibývá.

V ČR byly nejprve instalovány v národních parcích, kde sloužily jako podklad pro zjištění návštěvnosti daných míst a pro případné úpravy režimu vstupu. Zvyšuje se i jejich počet na území měst, kde jsou podkladem pro vyhodnocení nově budovaných cyklotras a cyklostezek. V dánském hlavním městě se dokonce sčítače staly součástí kampaně, která motivuje cyklisty k častějšímu používání tohoto dopravního prostředku. Místní sčítače mají grafický displej, na němž se zobrazují údaje o počtu cyklistů v daném roce a v daný den, kteří daným místem projeli. Místním občanům se kampaň zalíbila natolik, že se snažili dosáhnout co nejvyšší počet zaznamenaných projetí.

V případě hlavního města Prahy byly první sčítače instalovány v roce 2009. Nyní zde funguje 28 sčítačů po celém území města pro záznam počtu cyklistů. Praha nezvolila, na rozdíl od Kodaně, grafický výstup, který by informoval přímo cyklisty na místě, ale potřebná data lze dohledat na webových stránkách Technické správy komunikací Praha. Data z nich ukazují, že cyklistů se v městském provozu pohybuje rok od roku více. [1]

Cyklisté se bohužel také často stávají účastníky dopravních nehod, a znalec z oboru dopravy tak musí řešit nejen pohyby a reakce automobilu, ale i cyklisty. Proto je nezbytné, aby měl o cyklistech co největší množství informací a dat.

Tato práce se zabývá, jak již název napovídá, analýzou vlivů na rozjezd a zastavení cyklisty. Cílem je identifikace základních vlivů, které ovlivňují proces těchto základních pohybů cyklisty. Dále pak provedení experimentu, kdy budou předem vytipované a zvolené vlivy zpomalení měřeny a porovnány. Druhé měření bude probíhat v běžném provozu, kdy bude změřeno zrychlení během rozjezdů cyklistů na vybraném místě v Praze.

V úvodní kapitole je popsán vývoj jízdního kola od prvopočátků až po v současnosti vyráběné druhy jízdních kol. Součástí této kapitoly je i popis jednotlivých skupin komponentů jízdního kola. Tento popis je pro klíčové součásti rozveden v další části této práce.

Druhá kapitola se zaměřuje na bezpečnost jízdy na jízdním kole. Jsou zde rozebrány statistiky dopravních nehod v ČR a Evropě. Následně se pozornost přenesne na dopravní nehody cyklistů a speciální pozornost je věnována nehodám v městském provozu. Součástí rozboru je i srovnání s cyklisticky vyspělými zeměmi, konkrétně s Dánskem a Nizozemím. Závěr kapitoly je věnován cílům dopravní politiky ČR na období 2013 až 2020.

Třetí kapitola popisuje dynamiku jízdy cyklisty. Je zde kladen důraz na fyzikální veličiny, které jsou důležité pro jeho zastavení a rozjezd.

Další kapitola se zabývá vlivy, které vstupují do rozjezdu a zastavení cyklisty. Tyto vlivy byly rozděleny do třech základních skupin. První skupinou jsou vlivy, které vstupují ze samotného jízdního kola. Zde jsou podrobně rozepsány jednotlivé komponenty s přímým vlivem na zmiňované pohyby cyklisty.

Součástí této kapitoly je popis vlivu prostředí. Tedy především vliv podkladu, na kterém se cyklista během jízdy pohybuje a sklon dané jízdni dráhy. Je zde také vysvětlena adheze.

Poslední část této kapitoly je věnována samotnému cyklistovi.

Pátá kapitola se věnuje měřením, která byla již na poli zrychlení či zpomalení cyklisty realizována. Jsou zde popsány postupy, podmínky a výsledky těchto experimentů.

V šesté kapitole jsou uvedeny podrobnosti k jednotlivým přístrojům, které byly použity k experimentům uskutečněným pro potřeby této práce. Další kapitola popisuje přípravná a srovnávací měření, která se musela provést před hlavními experimenty.

Osmá kapitola se zaměřuje na vlastní přípravy a popis podmínek měření, jejichž výsledky jsou zaznamenány v kapitole deváté.

V závěrečné kapitole je shrnuto vše nejpodstatnější z této práce a jsou zde také uvedeny návrhy na opatření a pokračování výzkumu v dané problematice.

1 Jízdní kolo

V dnešní době je jízdní kolo neodmyslitelnou součástí lidského života. Můžeme na něm potkat lidi od Aljašky až po Sydney. Možnosti jeho použití jsou různorodé, od sportovního prostředku k dosažení sportovního výkonu, až po prostředek k plnění pracovních povinností. Samozřejmě během vývoje jízdních kol vzniklo velké množství druhů a typů kol.

V této kapitole je stručně shrnuta historie vývoje jízdního kola, také jsou zde uvedena základní dělení jízdních kol, která se nejčastěji používají. V závěru této kapitoly je uvedeno, z jakých hlavních komponentů je jízdní kolo tvořeno. Ty jsou zde také rozděleny do funkčních skupin.

1.1 Historie [3,4]

Jízdní kolo prošlo dlouhým vývojem. Úplně první předchůdci se s moderními stroji nedají příliš srovnávat a některé se svojí podobou k nim ani nepřibližují. Autor prvního stroje není známý. Mezi první stroje, které jsou označovány jako předchůdci jízdních kol, patří vozidlo sestavené benátským inženýrem a fyzikem Giovannim Fontanou. Stroj měl čtyři kola, která byla poháněna silou řidiče.

Následně se objevily skici od dalšího italského vynálezce, který pocházel z města Vinci. Právě Leonardo je označován za jednoho z nejnadanějších renesančních umělců, jehož zájmy a přínosy byly zaznamenávány v mnoha odvětvích lidského života.

Následovalo tzv. odražedlo, které sestrojil německý baron von Drais. Ten jej následně přejmenoval na drezínu. Ta se liší od současného jízdního kola absencí středové osy, klik a pedálů. Nohy cyklisty se dotýkaly země a zprostředkovaly odražením se od země jeho pohyb na kole vpřed.



Obrázek 2 Odražedlo barona von Draise [4]

V následných letech byla tato drezína zdokonalována. Měnil se tvar rámu, přibyl střed, kola a sedlo. První pedály byly umístěny dalším Němcem Philippem Moritz Fisherem na předním kole, konkrétně na ose jeho středu.

Mezi vynálezce, kteří upravovali jízdní kolo do dnešní podoby, patří Francouz Pierre Michaux. Právě jeho jízdní kolo neslo název velociped, který zůstal v jeho rodném jazyce dodnes (ve francouzštině je: un vélo = jízdní kolo). Veřejnost si jeho dílo ovšem pojmenovala po svém. Z důvodu hlučné a nepohodlné jízdy se mu říkalo kostičtřas. Na obrázku číslo 3 je znázorněna jeho podoba.



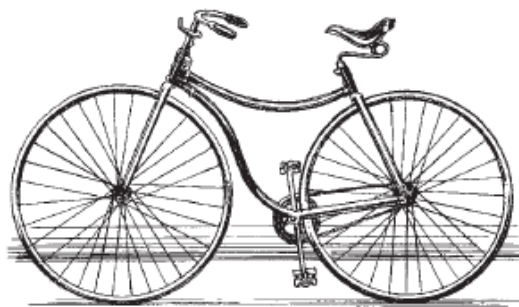
Obrázek 3 Velociped [4]

Poté se vývoj jízdních kol rozdělil do dvou větví, konkrétně na kola vysoké a nízké konstrukce. Jejich vývoj se přesunul do Anglie. Vysoké kolo (obrázek číslo 4) bylo sestrojeno v roce 1870 Jamesem Starleyem. Toto kolo je používáno nadšenci dodnes. Jeho značnou nevýhodou je v případě pádu větší nebezpečí zranění, jelikož cyklista sedí výše oproti kolegovi na nízkém kole.



Obrázek 4 Kolo vysoké konstrukce od J. Starley [4]

Ke kolu nízké konstrukce (obrázek číslo 5) bylo potřeba sestrojít řetězový převod. Došlo tím k přesunu pedálů na osu středu rámu jízdního kola a mohl se zmenšit obvod kola. Autorem jednoho z prvních návrhů byl v roce 1885 John Kemp Starley, který byl synovcem vynálezce vysokého jízdního kola.



Obrázek 5 Kolo nízké konstrukce [4]

Ke zvýšení jízdního komfortu došlo v roce 1888 J. B. Dunlopem přidáním pryže po obvodu kol. Od té doby bylo již jízdní kolo v takové podobě, v jaké je známe dnes.

1.2 Dělení jízdních kol [5]

Jak již bylo řečeno, jízdní kolo je v současnosti používáno pro mnoho účelů po celém světě. Proto během vývoje, který byl popsán v předchozí části, vzniklo veliké množství jeho druhů a typů. Není proto jednoduché vyjmenovat všechna kritéria, podle kterých lze jízdní kola dělit. Tato práce uvádí pouze základní, která jsou nejčastěji používána.

Nejprve je uvedeno dělení, které používají prodejci a výrobci, a to dle místa určení, kde se předpokládá, že bude dané kolo užíváno.

1.2.1 Dle místa určení

1.2.1.1 Horská kola

Tato jízdní kola jsou určena především pro jízdu mimo zpevněné komunikace. Lze je dále dělit podle speciálních disciplín, na které jsou používány. Dokladem může být sjezdové kolo, které je obvykle celoodpružené, má menší rám a je dobře ovladatelné. Dalším příkladem je kolo pro 4X, které je určeno k tzv. four cross závodům. Během těchto závodů se utkávají čtyři jezdci na krátké trati se skoky a klopenými zatáčkami. V současnosti lze dělit horská kola podle velikosti kol. Základní kolo o průměru 26 palců je v současnosti nahrazováno kolem o průměru 29 palců. Pro jezdce, kteří se nemohli rozhodnout, bylo vyvinuto kolo o průměru 27,5 palce.

Pro horské kolo jsou dále typické široké pláště, výše položený střed, široký rozsah převodu a také odpružení. Jedná se o nejoblíbenější typ jízdního kola.

Příklad horského kola je uveden na obrázku číslo 6.



Obrázek 6 Příklad horského kola

1.2.1.2 Krosová a trekingová kola

Tato dvě jízdní kola jsou uvedena v jedné skupině a velice často jsou zaměňována. Základním rozdílem mezi nimi je rám. Rám trekingového kola je uzpůsoben pohodlnější jízdě. Toho je dosaženo pomocí vzpřímenějšího posazu oproti krosovému kolu, kde je kladen důraz spíše na sportovní jízdu. Místem určení je pro oba dva typy zpevněná komunikace. V případě krosového je to i lehčí terén.

Pokud porovnáme krosové a horské kolo, další velký rozdíl je v pláštích. Ty jsou užší, pro menší valivý odpor u zpevněných cest. Dále je také rozdíl v rámu.

Příklady krosového a trekingového kola jsou uvedeny na obrázcích 7 a 8.



Obrázek 7 Příklad krosového kola



Obrázek 8 Příklad trekového kola

Tento typ jízdních kol začíná svými prodejními čísly dotahovat doposud nejprodávanější kola horská.

1.2.1.3 Silniční kola

Tento typ jízdního kola je určen, jak samotný název značí, na kvalitní zpevněné komunikace pro rychlou jízdu. Pro většinu těchto kol je typický tvar řídítek, která se nazývají právě podle něho berany. Ovšem kolo je mít nemusí. Tato kola jsou typicky osazena koly s úzkým profilem pláště a obvykle bez vzorku. Jedná se o jízdní kola, která mají velice nízkou hmotnost. Některá

kola mají hmotnost menší než 6 kg. V případě závodních kol na oficiálních soutěžích je hmotnost omezena dle regulí Mezinárodní cyklistické unie na minimálně 6,8 kg. Na obrázku číslo 9 je toto jízdní kolo zachyceno.



Obrázek 9 Příklad silničního kola

1.2.1.4 Městská kola

Tato jízdní kola jsou určena obvykle pro každodenní jízdu na kratší vzdálenosti v intravilánu. Z tohoto důvodu je kladen především důraz na menší nutnost údržby. Na obrázku číslo 10 je toto městské jízdní kolo.



Obrázek 10 Příklad městského kola

1.2.1.5 Speciální

Do této skupiny lze zařadit kolo typu BMX (obrázek číslo 11), které má malý rám i kola. Je určeno především ke skokům a trikům. Dále pak cyklokrosové kolo (obrázek 12), které vychází z kola silničního. Má ovšem výrazně tužší rám, jiný typ brzd a vzorek na pláštích. V současnosti se u cyklokrosového kol prosazují stále častěji kotoučové brzdy.

Dále se do této skupiny mohou zařadit jiná speciální kola.



Obrázek 11 Příklad kola BMX



Obrázek 12 Příklad cyklokrosového kola

1.2.2 Dle uživatele jízdního kola [6]

Druhé dělení, které obsahuje tato práce, je podle uživatele jízdního kola.

1.2.2.1 Pánská

Jízdní kola, která jsou primárně určena pro muže, čemuž odpovídá stavba jejich rámu. Jsou ale často používána i ženami. Typickým znakem je horní rámová trubka, která není na rozdíl od dámské varianty zkosená. Společně s dámskými koly je lze označit za kola pro dospělé.

1.2.2.2 Dámská

Jak již bylo řečeno, pánská kola a dámská mají odlišnou stavbu. Jsou uzpůsobená pro pohodlnější nasednutí na kolo a respektují rozdílné fyziologické předpoklady mužů a žen. Ženy mají delší nohy, kratší trup, kratší ruce a menší hmotnost. Z toho plyne rozdíl v posazu. Pojem posaz byl definován v několika závěrečných pracích na FD ČVUT v Praze a je používán i v této práci. Mnoho pánských jízdních kol má své dámské deriváty.

1.2.2.3 Dětská kola

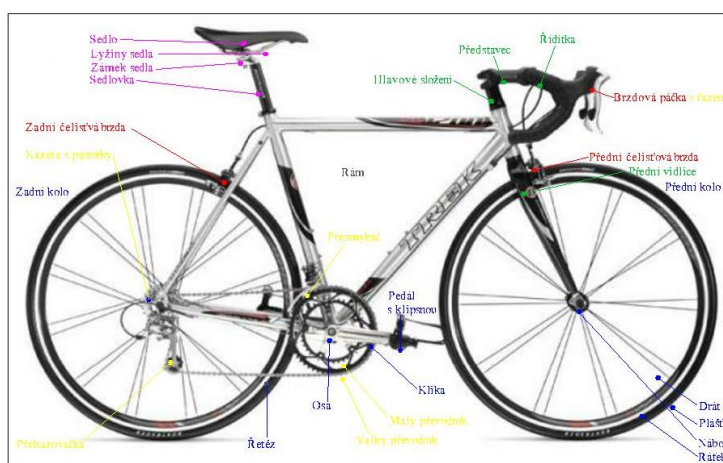
Do této kategorie spadá velké množství jízdních kol, která mají průměr jízdních kol od dvanácti do dvaceti šesti palců. Menší kola jsou často vybavena přídatnými postranními kolečky pro udržení stability. O stabilitě je více hovořeno v další části této práce.

Dělení podle dalších kritérií lze najít například v bakalářské práci: Rozdělení jízdních kol pro potřeby technického znalectví. [49]

1.3 Hlavní skupiny jízdního kola

V této části diplomové práce jsou pouze rozebrány základní skupiny komponentů jízdního kola. Podrobnější zaměření na jednotlivé komponenty, které mají hlavní vliv na rozjezd a zastavení cyklisty, je v kapitole 4.2 Vlivy jízdního kola.

Na obrázku číslo 13 je zobrazeno jízdní kolo s popisem jednotlivých částí. Ty jsou barevně odlišeny podle skupin. Těmito skupinami jsou konkrétně rám, řízení, řazení, sedlo, pohonný a brzdový systém. Rám je označen černou barvou, řízení zelenou barvou, řazení žlutou barvou, sedlo růžovou barvou, systém pohonu modrou barvou a brzdový systém je značen červenou barvou.



Obrázek 13 Části jízdního kola

1.3.1 Rám

Rám je největším komponentem jízdního kola, který má hlavní efekt na konečné jízdní vlastnosti kola. K rámu je namontována většina ostatních komponentů.

V současnosti nejrozšířenějším tvarem rámu je tzv. Humbertova konstrukce. Ta je využívána nejčastěji u nízkých jízdních kol od roku 1885 a svým tvarem připomíná diamant. Tento typ rámu s dvěma trojúhelníkovými částmi je znázorněn s popisem jednotlivých částí na obrázku číslo 14. [7]



Obrázek 14 Popis rámu jízdního kola

Mezi hlavní vlastnosti, které odlišují jednotlivé rámy, jsou především jejich tuhost, hmotnost a schopnost pohlcovat vibrace. Tyto vlastnosti mají vliv na samotný jízdní komfort. [8]

1.3.1.1 Ocel

Hlavním materiálem používaným u jízdních kol byla vždy ocel. Ta se s rozvojem hutnictví a metalurgie stala i materiálem nejčastějším. Tento trend zůstal u levnějších typů rámu do současnosti. Nejčastěji se používají oceli 15. třídy dle značení ČSN. Tedy nízkolegované oceli s přísadou molybdenu. Konkrétně se velice často užívá slitina s označením 15 130, která má legující prvky Cr, Mo a Mn. Spojování probíhá pomocí pájení a svařování.

Mezi výhody ocelových rámu patří vysoká pevnost, komfort a dlouhá životnost.

Naopak jejich hmotnost je oproti ostatním materiálům vyšší. [8]

1.3.1.2 Hliník

Použití Al jako hlavního materiálu v minulosti bránila technologie spojování jednotlivých částí rámu a také jeho cena na trhu. S poklesem jejich ceny a zdokonalením technologií došlo k jeho širokému uplatnění v rámci rámu jízdních kol. V současnosti ovšem na jeho místo nastupuje karbon.

Nejčastěji se pro rámy používají slitiny značené 6061,7005 příp. 7020. Jsou to slitiny Al s prvky jako Si, Mg, Zn a Cu.

Kromě nízké hmotnosti patří mezi výhody hliníkových rámu dobrá svařitelnost, pevnost a odolnost při maximální pevnosti.

Nevýhodou je naopak horší korozní odolnost, která se ale po potažení pasivační vrstvou oxidů zlepšuje. [8]

1.3.1.3 Karbon

Karbon je považován za materiál budoucnosti. Jeho prudký rozvoj je patrný již v současné době, kdy se objevuje u všech typů jízdních kol a dostává se i do těch cenově dostupnějších pro širší veřejnost. Používá se nejen na rámy jízdních kol, ale také u většiny ostatních komponentů jízdního kola.

Konečné vlastnosti rámu, který je tvořen karbonovými vlákny, jsou dány směrem vedení a počtem uhlíkových vláken a také procentuálním poměrem mezi uhlíkovou pleteninou a pryskyřicí, která vyplňuje místo mezi jednotlivými vrstvami a vlákny pleteniny.

Mezi nevýhody patřila dříve vyšší pořizovací cena, která ovšem v současnosti se zvyšováním jejich sériové výroby klesá.

Hlavní výhody karbonu jsou jeho tvarová variabilita, nízká hmotnost, výborné pohlcování vibrací a možnost změny množství materiálu v potřebných místech. [8]

1.3.1.4 Magnesium

Historie Mg rámu sahá až do 30. let minulého století, ale většího rozšíření se dodnes nedočkaly a kola z tohoto materiálu jsou vyráběna pouze u několika modelů některých výrobců jízdních kol.

Mezi dobré vlastnosti těchto rámu lze zařadit jeho schopnost tlumit vibrace, nízkou hmotnost, snadnou obrabitelnost a pevnost.

Hlavní nevýhodou Mg je jeho schopnost lehce reagovat s okolím, která má za následek slabou korozní odolnost a s ní související krátkou životnost těchto rámu. [8]

1.3.1.5 Titan

Masovému rozšíření v cyklistice brání především jeho „exkluzivita“ a s ní související jeho příliš vysoká cena. Hlavními prvky pro legování jsou Al a V.

Dobrymi vlastnostmi titanových rámu jsou dlouhá životnost, korozivzdornost, nízká hmotnost a vysoký jízdní komfort.

Mezi nevýhody lze zařadit náročnou technologii výroby, menší boční tuhost a vysoké pořizovací náklady. [8]

1.3.1.6 Ostatní materiály a kombinace materiálů

Mezi ostatní lze zařadit materiály, které se používají pro umělecké a sběratelské kusy jízdních kol. Ta se ovšem vyrábí v řádu jednotek kusů. Jedním z příkladů je dřevo.

Tento materiál je anizotropní stejně jako v případě kompozitních materiálů. Avšak u dřeva nelze zaručit požadované vlastnosti v daném směru. Pro náročnou výrobu trubkových profilů se používá přírodně vytvarovaný bambusový stonek.

Nevýhodou dřeva je jeho vysoká hmotnost a obtížné zaručení vlastností v požadovaném směru. Naopak vyniká pružností a dobrou úrovní únavové pevnosti.

Kombinací materiálů se výrobci snažili získat nejlepší vlastnosti z jednotlivých materiálů nebo se snaží využít synergického efektu vzniklého spojením dvou a více materiálů při udržení ceny na konkurenceschopné hodnotě. Za jeden z klasických příkladů lze označit vlepování zadní karbonové stavby do hliníkového rámu. Tato kombinace se dostala do ústraní v momentě, kdy klesla výrobní cena samotného karbonu, který poté zcela hliník nahradil. [8]

1.3.2 Řízení [6,9]

Do řízení patří součásti, které umožní jezdcovi ovládat směr jeho jízdy. Lze sem zařadit přední vidlici, hlavové složení, představec a řídítka.

1.3.2.1 Přední vidlice

Přední vidlice spojuje přední kola s ostatními částmi jízdního kola a také tlumí vibrace od tohoto předního kola. Přední vidlice bude detailněji vysvětlena v kapitole číslo 4.3 Vlivy samotného jízdního kola.

1.3.2.2 Hlavové složení

Hlavovým složením se nazývá skupina součástí, která umožňuje otáčení a držení přední vidlice v hlavové trubce rámu kola. Jsou používány dva základní typy. Novější Ahead a starší závitové. Vzájemně se odlišují především horní částí, která je umístěna nad hlavovou trubkou rámu. Ahead systém zde má imbusový šroub, pérovou rozpěrku a miskou představce. Zatímco závitové hlavové složení má pouze pojistnou matici a rozpěrku.

1.3.2.3 Představec

Hlavním úkolem představce je spojení vidlice procházející hlavovou trubkou rámu s řídítky a také přenos sil mezi těmito komponentami. Uchycení představce se provádí pomocí klínu nebo rozpínacího šroubu.

1.3.2.4 Řídítka

Řídítka slouží jezdcovi ke změně směru jízdy, jsou k nim uchyceny brzdové páky a systém řazení. Řídítka se liší použitými materiály, šířkou a svým tvarem. Nejčastěji se používají řídítka hliníková, karbonová a v omezené míře řídítka ocelová. Tvarově se vzájemně nejvíce odlišují řídítka silničního a horského kola. Silniční kolo má tzv. berany umožňující jezdcovi úchop ve

třech polohách. Řídítka horských a krosových jízdních kol připomínají svým tvarem vlaštvku a umožňují úchop pouze v jedné poloze. Aby byl možný úchop i v druhé poloze je nutné řídítka nastavit na okrajích pomocí tzv. rohů.

1.3.3 Řazení [6,9]

Řazení umožňuje cyklistovi měnit převodový poměr během jízdy. Prvním předchůdcem řazení byla výměna celého zadního kola. Poté docházelo k řazení tzv. „ručnímu“, které bylo značně nebezpečné. V dnešní době se již řazení vyskytuje na většině jízdních kol a umožňuje jezdcí pohodlnou jízdu i v případě měnícího se profilu trasy.

Z hlediska systému řazení lze rozlišit dva základní typy. Prvním je systém, který vymyslel Francouz Derailleur. Ten se skládá ze dvou hlavních částí. Přesmykače, který se nachází u převodníku a navádí řetěz na zvolený převodník. Na zadním kole se nachází přehazovačka, která zase určuje, který pastorek bude použit.

Druhým typem je zapouzdřený řadící systém. Tento systém má tu nevýhodu, že je konstrukčně složitý, má větší hmotnost, menší počet převodů a jeho údržba by měla být prováděna odborným servisem.

Řadící systémy jsou ovládány pomocí páček, které byly v minulosti umístěny na rámu jízdního kola. V současnosti jsou umístěny na řídítkách či jsou součástí brzdových pák. Ovládání je řešeno pomocí lanek, v budoucnu pak bude využívána elektronika.

I v dnešní době existují určité typy jízdních kol, které nemají řazení a umožňují tedy pouze jeden převodový poměr během jízdy.

1.3.4 Sedlo [6,9]

Do této skupiny patří samotné sedlo, sedlovka, zámek sedla a ližiny sedla. Sedlo má na své spodní straně ližiny, které jsou typicky z karbonu, titanu nebo chrom-molybden. Ty jsou pomocí ocelového zámků sedla spojeny se sedlovkou, která je zasunutá a připevněná pomocí objímky do sedlové trubky.

Sedlo je důležitá část jízdního kola, která má značný vliv na komfort a pocit z jízdy. Existuje velké množství typů sedel. Nejznámější dělení je na pánská a dámská sedla. Dámská sedla jsou obvykle měkčí, kratší a v zadní části jsou širší.

Pro zvýšení komfortu se používají sedla s gelovou vložkou či případně odpružené sedlovky.

V případě zvolení nesprávného typu sedla dochází nejen ke zhoršení komfortu, ale může dojít i ke zdravotním problémům.

Sedlovka je dutá tyč, která je vsunutá do sedlové trubky. Obvykle lze výšku sedla nastavit pomocí sedlovky ze sedlové trubky. Objevují se ovšem i integrované sedlovky, které jsou nastaveny na výšku jezdce již od výrobce. Jedná se nejčastěji o kola nejvyšších kategorií, která jsou vyráběna jezdci na míru. Stejně jako v případě rámu jsou nejčastější materiály ocel a karbon, který lépe tlumí rázy.

1.3.5 Pohonný systém [6,9]

Do pohonného systému patří všechny komponenty, které slouží k přenosu energie z nohou cyklisty na vozovku. Tedy jedná se o pedály, kliky, středovou osu, převodníky, kazety (případně ostatní druhy spojených koleček), řetěz a samotná kola.

1.3.5.1 Pedály

Pedály slouží k přenosu síly z nohou jezdce na kliky. Materiály u základních modelů jízdních kol jsou nejčastěji plast či kov. U pravidelných jezdců je častější používání náslapných typů pedálů. Ty umožňují jezdci efektivněji využívat přenosu sil vyvinutých nohama, protože umožňují plynulý záběr během celého kruhového pohybu.

1.3.5.2 Kliky

Kliky propojují střed jízdního kola s pedály. Jejich délka se odvíjí od předpokládané výšky jezdce. Obvyklá délka je od 170 – 175 mm.

1.3.5.3 Středové složení a střed

Středové složení je komponent jízdního kola, které mu umožňuje konat rotační pohyb pák. Středové složení je u nejlevnějších variant rozebíratelné a skládá se z fixačního kroužku, nastavitelné misky, ložisek uložených v mřížce, fixační misky a osy. Novějším typem je zapouzdřené středové složení. Je uloženo ve středu jízdního kola, který je součástí jeho rámu.

1.3.5.4 Převodníky a kazety

Převodníky se nacházejí na pravé klice jízdního kola. Jsou s ní spojeny pomocí pěti či čtyř montážních šroubů. Počet převodníků se liší dle typů jízdního kola. Ovšem i stejné typy jízdního kola se mohou lišit v počtu převodníků. Závodní jezdci je volí dle profilu trasy závodu. Tvar převodníku je nejčastěji kruhový. Novější typ je tvar elipsy, který má za úkol odstranit tzv. mrtvý bod v záběru cyklisty. O této variantě se vedou na poli cyklistiky diskuze. Příkladem odlišných tvarů jsou Shimano Biospace a převodníky Rotor ze Španělska.

Kazeta se nachází na zadním kole. Skládá se z jednotlivých pastorků, těch může být až deset. Předchůdcem kazety byl blok, kde byly pastorky pevně spojené s ořechem zadního kola.

1.3.5.5 Řetěz

Řetěz slouží k převodu rotačního pohybu od převodníku na kazetu. Řetěz se skládá z jednotlivých článků, které jsou vnitřní a vnější. K jejich spojení slouží nýty. Šířka článků řetězu se odvíjí od počtu pastorků na kazetě. Standardně se používá pro osmi převodovou kazetu řetěz o rozměru 3/32". Při řazení je nutné brát zřetel na nevhodnost používání velkého převodníku s velkými pastorky, protože dochází k natahování řetězu, čímž se zkracuje jeho životnost.

1.3.5.6 Kola

Přední a zadní kolo se skládá z pláště, duše, náboje, ráfku, výpletu a středu kola. Kola jsou popsána samostatně v kapitole číslo 4.2 Vlivy jízdního kola.

1.3.6 Brzdový systém [6,9]

Brzdový systém umožňuje jezdcům na jízdním kole snižovat rychlost. Do tohoto systému patří brzdové páky, bowdeny a samotné brzdy. Jejich účinnost a seřízení ovlivňuje zásadním způsobem bezpečnost.

Brzdové páky slouží pro aktivaci brzd, kdy je nejčastěji jejich pomocí ovládané kovové lanko, které je s použitím bowdenů vedeno až k brzdám. Páky se nacházejí na řídítkách, kde jsou připevněny pomocí fixačních šroubů. Dle ceny jsou používány různě kvalitní materiály těchto pák. Většinou je nezbytné respektovat, k jakým typům brzd jsou páky určeny, jinak nemusí jít seřídít na požadovaný účinek. Příkladem nevhodné kombinace jsou brzdy Cantilever a páky pro V-brzdy.

V případě brzdových pák u silničních kol je odlišný nejen tvar a velikost, ale i jejich umístění a funkce. Páky jsou umístěny v jiné poloze v důsledku odlišného tvaru silničních řídítek tzv. beranů. Jejich součástí je i řazení. To je odlišné dle jejich výrobce. Existují tři nejrozšířenější typy a výrobci.

Prvním je systém japonské společnosti Shimano, nesoucí název STI (obrázek číslo 15). Řazení probíhá pomocí samotných brzdových pák a menší řadicí páčky, která je umístěna pod brzdovými pákami. Levé páčky ovládají řazení převodníku a pravé řazení pastorků kazety.



Obrázek 15 Řazení Shimano STI [6]

Druhý systém je italského výrobce, který se jmenuje Campagnolo Ergopower. U tohoto typu řazení slouží pro řazení převodníků a pastorků s větším počtem zubů řadící páčka pod brzdovou pákou. Pro odřazení slouží odrazovací páčka na straně těla řazení (obrázek číslo 16).



Obrázek 16 Řazení Campagnolo Ergopower [10]

Posledním typem, který je hojně rozšířený u jezdců profipelotonu, je řazení SRAM Doubletap (obrázek číslo 17), které umožňuje řazení i odřazování pomocí jedné řadící páčky.



Obrázek 17 Řazení SRAM Doubletap [11]

Detailnější popis jednotlivých typů brzd je v kapitole číslo 4.3 vlivy samotného jízdního kola.

2 Rozbor statistik nehodovosti

Tato kapitola se věnuje statistikám nehodovosti se zvláštním zaměřením na cyklisty. Data získaná v ČR jsou ze statistik Policejního prezidia ČR. Data z Evropské unie jsou získána z webových statistik EU.

2.1 Statistiky nehodovosti

Nejprve jsou zde porovnávány trendy v celkové nehodovosti v ČR a EU v rozmezí let 2003 až 2012. Nehodovost obsahuje absolutní počty dopravních nehod, zraněných a usmrcených účastníků. Do této statistiky jsou započítány všechny druhy vozidel, které se pohybují na komunikacích, a ostatní účastníci provozu na pozemních komunikacích.

2.1.1 Statistika nehodovosti v ČR

Z tabulky číslo 1 lze zjistit, že počet usmrcených osob během dopravních nehod za posledních 10 let značně klesl. Konkrétně zemřelo o 48,37 % osob méně. Během těchto deseti let pravidelně docházelo k meziročnímu poklesu. Výjimkou byl rok 2007, kdy naopak došlo k nárůstu obětí o 167 osob. Následně počet opět začal klesat. Obdobný trend vykazují i těžce zranění účastníci, zde došlo k poklesu mezi roky 2003 a 2012 o 43,16%. V případě lehkých zranění se jedná o pokles o 25,48%. Počet nehod, který je uveden v tabulce číslo 1 v prvním sloupci, je značně ovlivněn zákonem č.361/2000 O provozu na pozemních komunikacích ve znění pozdějších novel. Do roku 2009 byl limit na ohlášení nehody Policii ČR 50 000 Kč. Na začátku roku vstoupila v platnost novela, která tento limit zvedla na dvojnásobnou hodnotu.

Tabulka 1 Následky dopravních nehod v ČR [14]

Rok	Počet nehod	Usmrceno osob	Těžce zraněno	Lehce zraněno
2003	195 851	1 319	5 253	30 312
2004	196 484	1 215	4 878	29 543
2005	199 262	1 127	4 396	27 974
2006	187 965	956	3 990	24 231
2007	182 736	1 123	3 960	25 382
2008	160 376	992	3 809	24 776
2009	74 815	832	3 536	23 777
2010	75 522	753	2 823	21 610
2011	75 137	707	3 092	22 519
2012	81 404	681	2 986	22 590

2.1.2 Statistika nehodovosti v EU

V tabulce číslo 2 je zachycen vývoj celé Evropské unie. Zde je vývoj obdobný. Mezi roky 2003 a 2012 došlo k poklesu usmrcených o 43,78%.

Tabulka 2 Následky dopravních nehod EU [12]

Rok	Počet usmrcených	Meziroční přírůstek
2012	28 308	-9,00
2011	31 108	-1,96
2010	31 730	-8,82
2009	34 800	-10,63
2008	38 941	-8,46
2007	42 540	-1,31
2006	43 104	-4,94
2005	45 346	-4,11
2004	47 290	-6,08
2003	50 351	-

Pokles celkového počtu usmrcených je zcela jistě pozitivní. Je nepochybně z velké části dán stále propracovanějšími automobily, které se snaží jak omezit vznik dopravní nehody, tak i zabránit jejím následkům. Příkladem je menší pokles zraněných v ČR oproti usmrceným. Dále má vliv na tato čísla důraz EU a místních vlád na dopravní politiku a snaha o snížení počtu usmrcených na absolutní minimum. Pro pozitivní změnu bude muset, kromě technického stavu automobilů, stavu infrastruktury a legislativy, také přispět i vlastní chování cyklistů samotných.

2.2 Statistiky nehod cyklistů

Vzhledem k zaměření práce, bude zbytek této kapitoly věnován konkrétně cyklistům.

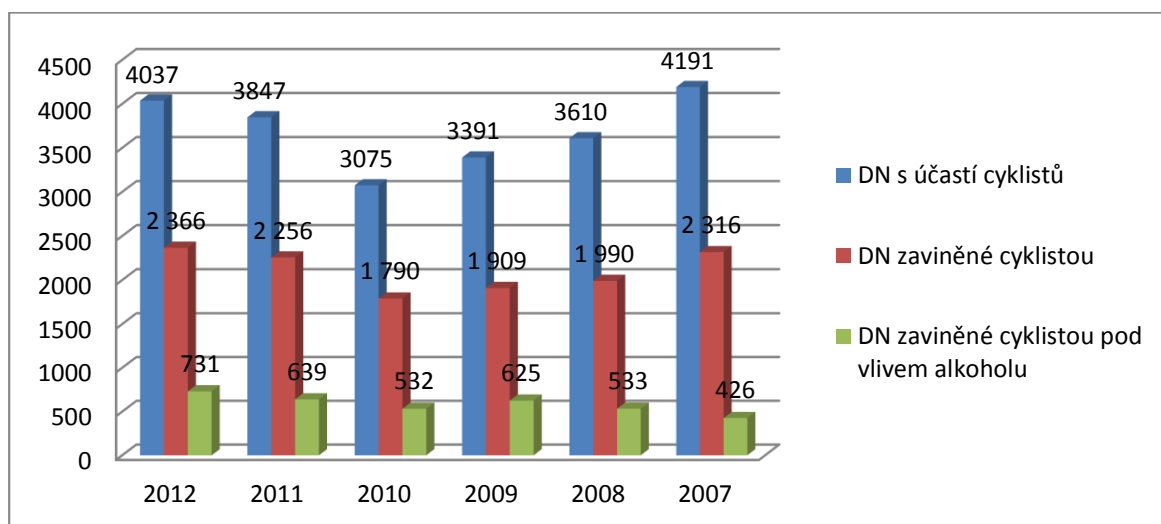
2.2.1 Statistiky nehod cyklistů v ČR

Vývoj počtu dopravních nehod s účastí cyklistů mezi roky 2007 až 2012 je zachycen v tabulce číslo 3. Z této tabulky lze zjistit, že mezi roky 2007 až 2010 docházelo k poklesu počtu nehod. V letech 2011 a 2012 došlo k opětovnému nárůstu až na hodnotu blížíící se k roku 2007. Viníkem je častěji cyklista. Od roku 2007 se pohybují hodnoty od 55 % do 58,6 %. Na druhou stranu je třeba ale také uvést, že téměř polovina nehod v ČR je s účastí cyklistů, kteří ji nezavinili.

Tabulka 3 Viník dopravní nehody [14]

Rok	Počet dopravních nehod cyklistů	Počet DN zaviněných cyklisty	Podíl DN zaviněných cyklisty na celkovém počtu DN s cyklisty
2012	4037	2 366	58,61
2011	3847	2 256	58,64
2010	3075	1 790	58,21
2009	3391	1 909	56,30
2008	3610	1 990	55,12
2007	4191	2 316	55,26

Pro názornější ukázkou vývoje počtu těchto nehod je zde uveden i graf (obrázek číslo 18). Tento graf je navíc doplněn o počty nehod, které zavinili cyklisté, u nichž byla zjištěna přítomnost omamných látek v těle. Nejčastěji se jedná o alkohol. Bohužel je nutné konstatovat, že jejich počet od roku 2007 stoupl o 83,33 % na 731 osob.



Obrázek 18 Nehody cyklistů v ČR [14]

Tabulka 4 Následky nehod pro dětské cyklisty [14]

Rok	Počet DN cyklistů	Počet usmrcených cyklistů	Z toho do 15 let	Osob bez přileb	Počet těžce zraněných cyklistů	Z toho dětí do 15 let	Osob bez přileb	Počet lehce zraněných cyklistů	Z toho dětí do 15 let	Osob bez přileb
2012	4037	64	0	54	466	28	337	3053	268	2196
2011	3847	50	1	45	443	25	343	2925	288	2126
2010	3075	70	0	63	393	15	317	2296	208	1752
2009	3391	72	1	65	430	20	349	2585	254	2002
2008	3610	77	2	68	431	36	348	2516	256	2041
2007	4191	103	4	90	431	38	376	2855	324	2300

Pokud se zaměříme na následky nehod podrobněji, zjistíme, že vskutku absolutní počet usmrcených cyklistů klesá, ale neklesá počet zraněných cyklistů. V tabulce číslo 4 máme zachyceno u všech kategorií následky, kolik z usmrcených bylo mladších patnácti let a kolik z toho nemělo v době nehody cyklistickou helmu. Jak je patrné, v případě usmrcených cyklistů lze jasně vyvodit velký význam helmy. Procento usmrcených cyklistů, kteří neměli helmu během nehody, osciluje kolem hodnoty 90 % z jejich celkového počtu. Počet usmrcených dětí a mladistvých od roku 2007 klesá a v letech 2010 a 2012 nezemřel ani jediný. Na základě těchto čísel lze ukázat, že cyklistická helma je doopravdy užitečná. Legislativa ČR nařizuje povinnost nosit helmu pouze osobám mladším 18 let, což již působí na následky nehod, jelikož i dle [49] je nejčastějším zraněním na jízdě kole zranění hlavy. Tomuto zranění může helma zamezit zcela nebo alespoň sníží jeho následky.

Dalším problémem v ČR je přítomnost omamných látek v těle cyklisty. Nejčastěji je to alkohol. Absolutní čísla jsou patrná z grafu (obrázek číslo 18), který byl zmíněn již v předešlém textu, a tabulky číslo 5. Z této tabulky lze jasně vidět, že počet cyklistů, kteří zavinili nehodu a byli pod vlivem omamných látek, rok od roku stoupá.

Tabulka 5 Viníci dopravních nehod pod vlivem alkoholu [14]

Rok	Počet DN zaviněných cyklisty	Viníkem DN cyklista pod vlivem alkoholu	Podíl DN zaviněných cyklisty na celkovém počtu DN s cyklisty
2012	2 366	731	30,90
2011	2 256	639	28,32
2010	1 790	532	29,72
2009	1 909	625	32,74
2008	1 990	533	26,78
2007	2 316	426	18,39

Omamné látky značně ovlivňují reakce a vnímání. V případě automobilové dopravy dochází k častým kontrolám řidičů, jestli neřídí právě pod vlivem zakázané látky. Situace u cyklistů je u širší veřejnosti ovšem často vnímána odlišně a policejních akcí zaměřených na tento problém je méně.

2.2.2 Statistiky nehod cyklistů v EU

Statistiky nehod cyklistů, stejně jako všech účastníků silničního provozu, obsahují pouze počty usmrcených osob. Tento počet je jediný možný porovnatelný údaj z důvodu odlišnosti sběru dat v jednotlivých zemích, kdy se v některých zaznamenávají pouze usmrcené osoby nikoliv osoby zraněné.

Tabulka číslo 6 zachycuje celkové počty usmrcených cyklistů ve členských státech EU. Z této tabulky je patrné, že počty usmrcených cyklistů klesají. Výjimkou byly roky 2005 a 2011, kdy došlo k nárůstu, který ovšem nepřesáhl jedno procento. Celkově došlo mezi roky 2000 až 2011 ke snížení počtu usmrcených o 40,24 %.

Tabulka 6 Počty usmrcených cyklistů EU [12-17]

Rok	Počet usmrcených cyklistů [1]	Meziroční přírůstek [%]
2011	2096	0,77
2010	2080	-10,69
2009	2329	-8,20
2008	2537	-8,90
2007	2785	-2,35
2006	2852	-7,82
2005	3094	0,49
2004	3079	-3,21
2003	3181	-2,75
2002	3271	-3,77
2001	3399	-3,90
2000	3537	-

Podrobnější informace o jednotlivých státech jsou zachyceny v příloze číslo 1. Tato data pochází ze statistik EU. Dále byla doplněna ze statistik příslušných ministerstev jednotlivých zemí.

Z dat jednotlivých států lze vypočítat, že počty usmrcených ve všech státech v pozorovaném období klesají. Největší počet usmrcených cyklistů mělo Polsko a Německo s 692 resp. 659. Během následujících let se ovšem v těchto případech podařilo snížit tato čísla pod 400 obětí. Největší pokles mezi roky 2000 až 2011 zaznamenalo Slovensko, které snížilo počet usmrcených cyklistů téměř pětkrát. Bohužel v roce 2012 jejich počet opět stoupl. Tento trend, kdy meziročně stoupl počet obětí, lze pozorovat téměř u všech států.

Pro další snižování počtu usmrcených je zcela jistě nutné, aby jednotlivé státy pokračovaly v nastolených opatřeních.

2.2.3 Porovnání České republiky, Dánska a Nizozemí [12,18]

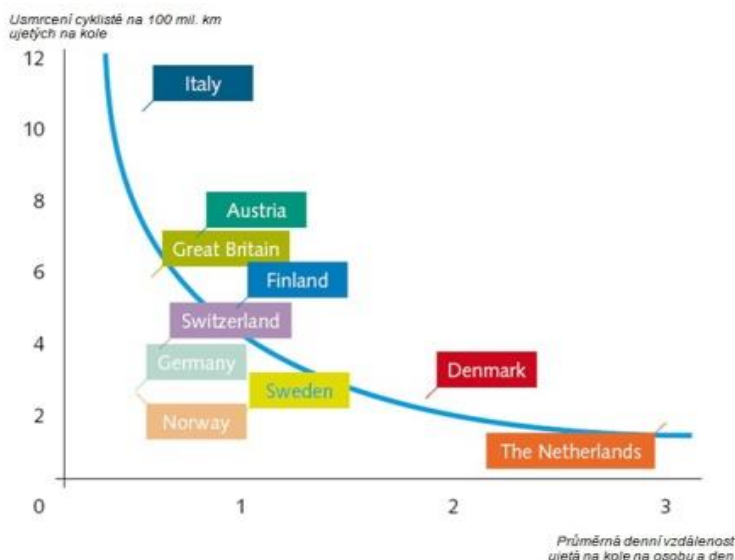
V této části se nachází porovnání následků dopravních nehod s účastí cyklistů. Ke srovnání s Českou republikou byly vybrány národy, které jsou velice často označovány jako cyklistické. Jízdní kolo je zde prostředkem zcela běžným a velice často využívaným. Například obyvatelé Nizozemí ho používají celkově pro 27 % svých cest. Pokud se zaměříme pouze na pohyb po městě, poté vzroste tento počet až na 59 %. Situace v Dánsku je na podobné úrovni.

Tabulka číslo 7 ukazuje počty obětí z řad cyklistů.

Tabulka 7 Porovnání počtu usmrcených cyklistů [12]

Rok	usmrcení cyklisté ČR	meziroční změna	usmrcení cyk- listé Nizozemí	meziroční změna	usmrcení cyklisté Dánsko	meziroční změna
2011	50	-28,57	144	4,35	30	15,38
2010	70	-2,78	138	0,00	26	4,00
2009	72	-6,49	138	-4,83	25	-53,70
2008	77	-25,24	145	-2,03	54	0,00
2007	103	-6,36	148	-18,68	54	74,19
2006	110	-4,35	182	18,18	31	-24,39
2005	115	-12,21	154	-4,35	41	-22,64
2004	131	-17,61	161	-17,86	53	12,77
2003	159	-0,62	196	15,98	47	-9,62
2002	160	-	169	-	52	-

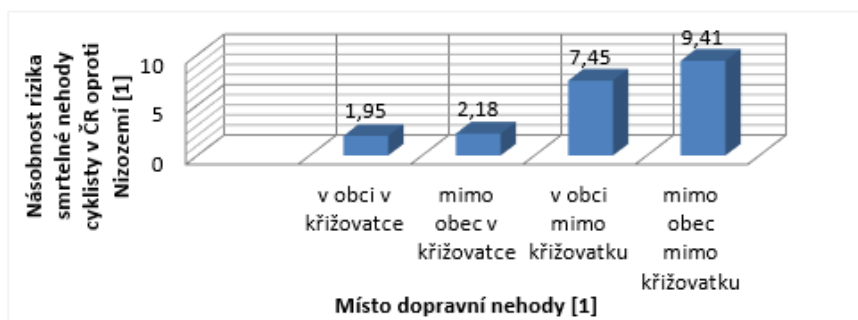
Jak je patrné z tabulky číslo 7, vývoj v ČR je klesající. Oproti roku 2002, kdy zemřelo při dopravních nehodách 160 cyklistů, zemřelo v roce 2011 pouze 50 osob. Pokud tento pokles vyjádříme v procentech, dojdeme k závěru, že na našem území zemřelo o 68,75 % cyklistů méně. Při prvním pohledu na počty usmrcených cyklistů v Nizozemí a Dánsku lze nabýt dojmu, že ČR dosahuje hodnot lepších. V Nizozemí i Dánsku tento počet klesá o poznání volněji a v posledních letech dokonce stoupá. Pokud ovšem dojde k zahrnutí i počtu ujetých kilometrů, dostávají se tyto země na čelo statistik v Evropě. Tento jev zachycuje následující obrázek číslo 19.



Obrázek 19 Závislost počtu usmrcených cyklistů na ujeté vzdálenosti [18]

Tento obrázek zachycuje nepřímou úměrnost mezi průměrnou denní vzdáleností ujetou na jízdním kole a počtem usmrcených cyklistů. Nejlépe si vede Nizozemí společně s Dánskem, na opačné polovině žebříčku se nachází Itálie.

Při srovnání bylo například doloženo, že českému cyklistovi hrozí 4,5 krát vyšší riziko usmrcení během dopravní nehody oproti cyklistovi nizozemskému. Situaci dle místa nehody zachycuje následující obrázek číslo 20.



Obrázek 20 Poměr rizika smrtelné nehody [18]

2.3 Strategie do roku 2020

V dokumentu Národní strategie bezpečnosti silničního provozu 2011-2020 byli cyklisté identifikováni jako jeden z nejhroženějších faktorů v rámci silničního provozu. Proto jsou zde stanoveny základní cíle, které musí být do roku 2020 naplněny.

Základní přímé cíle byly vytyčeny dva. Prvním je snížení počtu usmrcených cyklistů o 35 osob. Druhým je pak snížení počtu těžce zraněných o 150 cyklistů.

K těmto cílům mají pomoci cílené bezpečnostní kampaně, do kterých budou zapojeni také prodejci kol a sportovní kluby. Jejich součástí je ale i provádění policejních akcí. Důraz bude kladen také na cyklistickou infrastrukturu, kde dojde k výstavbě nových cyklostezek ve městech a zavádění nových zón se sníženou rychlostí – zóny 30.

Dále došlo ke stanovení nepřímých cílů, které budou také pozorovány. V případě cyklistů se jedná především o nošení helem. Konkrétně byl stanoven cíl pro nošení helmy u 70 % cyklistů. V případě dětí to bylo 95 %.

Dojde také k zaměření se na řidiče pod vlivem alkoholu, což zcela nemine také samotné cyklisty. [19]

2.4 Návrhy na zlepšení

Jak vyplývá z vyhodnocení Resortního akčního plánu bezpečnosti a plynulosti silničního provozu za roky 2007 – 2012, které vydalo ministerstvo vnitra, roste počet bezpečnostních akcí zaměřených na cyklisty. S tím roste i počet přestupků, které byly u cyklistů zjištěny a řešeny.

Je nutné, aby takovéto akce pokračovaly minimálně v současném rozsahu. Důraz na alkohol a další omamné látky by bylo vhodné zvýšit, protože dle statistik téměř při každé třetí nehodě, kterou zavinil cyklista, byl zjištěn alkohol v jeho těle.

Dále by bylo vhodné uvažovat o změně legislativy u cyklistických přileb. Ty by měly být povinné pro všechny bez výjimek. Zcela jistě by tím došlo ke snížení následků nehod cyklistů.

3 Pohyb jízdního kola

V této kapitole jsou popsány základní vztahy a veličiny, které souvisí s pohybem cyklisty a jízdního kola. Ve druhé části je popsán rozjezd cyklisty a také jeho zastavení.

Při měření veličin lze pracovat s maximální hodnotou, efektivní hodnotou nebo střední hodnotou veličiny.

Efektivní hodnota měřené veličiny je statistická hodnota měnící se veličiny, která se také označuje jako kvadratický průměr či RMS – Root Mean Square. Z hlediska matematiky představuje druhou odmocninu aritmetického průměru druhých mocnin daných hodnot.

Střední hodnota míra veličiny je statistická hodnota, která charakterizuje míru polohy statistického znaku. Příkladem střední hodnoty je aritmetický průměr, který se spočte jako podíl součtu všech naměřených hodnot a jejich počtu.

Vzhledem k tématu této práce je nutné uvést, že pro zrychlení se používá efektivní nebo střední hodnota zrychlení. Ke střední hodnotě se musí uvést i čas či dráha, na které bylo zrychlení měřeno. Pro zpomalení se používá nejčastěji efektivní nebo maximální hodnota zpomalení.

Pro popis pohybu jízdního kola pomocí zákonů fyziky lze vhodně využít představy, kdy dojde k nahrazení jízdního kola hmotným bodem. Ten následně umožňuje zjednodušení při aplikaci základních zákonů mechaniky pro popis pohybu tohoto hmotného bodu.

3.1 Dělení pohybů

Pohyby jízdního kola lze rozdělit na tyto základní druhy [20]:

3.1.1 Přímočarý

Tímto pohybem rozumíme jízdu, kdy cyklista jede v přímém směru. Tedy jede v přímém úseku bez zatáčení. Tento pohyb se z fyzikálního hlediska může zdát nejjednodušší. Ovšem dle měření Ing. Krejsy [34] není pohyb cyklisty v reálu téměř nikdy přímočarý. Pohyb cyklisty se i v přímém směru skládá z makrovln, které cyklista ovlivnit může, a mikrovln, které sám cyklista ale neovlivní. Velikost těchto makro a mikrovln se mění s rostoucí rychlostí. [34] Na téma této problematiky vzniká v letošním roce i diplomová práce kolegy Luboše Nouzovského na Ústavu soudního znaleství v dopravě FD ČVUT v Praze.

3.1.2 Křivočarý

Během tohoto pohybu dochází k příčnému přemístění jezdce. Příkladem může být jízda cyklisty v oblouku..

3.1.3 Rovnoměrný

Rovnoměrný pohyb je pohyb, při němž se cyklista pohybuje konstantní rychlostí. V reálném světě je nutné, aby cyklista vykonával neustále práci, která je rovna práci nutné k překonání odporů, konkrétně jízdních odporů i odporů vznikajících v jízdním kole a jeho jednotlivých komponentech.

3.1.4 Nerovnoměrný

Mezi nerovnoměrné pohyby řadíme pohyby zahrnující zrychlení a zpomalení. Těmto pohybům bude věnována pozornost v částech 3.5 Rozjezd a 3.6 Zastavení.

Důležitou veličinou, která je při pohybu jízdního kola zkoumána, je rychlost. Proto je nutné si ji definovat.

3.2 Rychlost

Rychlost je fyzikální vektorová veličina, která udává dráhu ujetou za jednotku času. Rozlišujeme dva základní druhy rychlostí. Okamžitou a průměrnou rychlost. Dále lze rychlost rozdělit na rovnoměrnou, při níž je rychlost konstantní, a nerovnoměrnou, tedy zrychlenou nebo zpomalenou. [20]

3.2.1 Okamžitá rychlost

Okamžitá rychlost v_0 je obecně funkcí času. Platí pro ni, že za minimální přírůstek času Δt projede cyklista element dráhy Δs . Toto vyjádření lze matematicky zapsat vzorcem 3.1.

$$\vec{v}_0 = \lim \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \frac{d\vec{s}}{dt} [m \cdot s^{-1}] \quad (3.1)$$

3.2.2 Průměrná rychlost

Průměrná rychlost v_p značí ujetou dráhu s za určenou jednotku času t . Nejčastěji se pro v_p používá jednotka času sekunda či hodina. U dráhy jsou to metry či kilometry.

$$v_p = \frac{s}{t} [m \cdot s^{-1}] \quad (3.2)$$

3.3 Zrychlení

Obecně je zrychlení změna rychlosti za jednotku času. Ekvivalentní ke zrychlení je zpomalení, které je ve své podstatě zrychlení se zápornou hodnotou. Stejně jako u rychlosti, lze vyjádřit zrychlení jako průměrné a okamžité. [20]

3.3.1 Okamžité zrychlení

Okamžité zrychlení dle vzorce 3.3 udává, že toto zrychlení a_0 je rovné podílu elementu rychlosti Δv za minimální element času Δt . [20]

$$\vec{a}_0 = \lim \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} [m \cdot s^{-2}] \quad (3.3)$$

3.3.2 Průměrné zrychlení

Průměrné zrychlení a_p dle vzorce 3.4 značí poměr mezi rozdílem rychlostí v_1 na začátku a v_2 konci měřeného úseku k času, který byl pro překonání daného úseku potřeba. [20]

$$a_p = \frac{(v_2 - v_1)}{t} [m \cdot s^{-2}] \quad (3.4)$$

3.4 Stabilita

Stabilita je důležitým faktorem zejména při rozjezdu cyklisty. Pokud jde ovšem o její exaktní definici, nejedná se o jednoduchý popis.

V případě jízdního kola má hlavní vliv na stabilitu přední vidlice, konkrétně její sklon a prohnutí. Kromě těchto parametrů hraje důležitou roli gyroskopický moment předního kola.

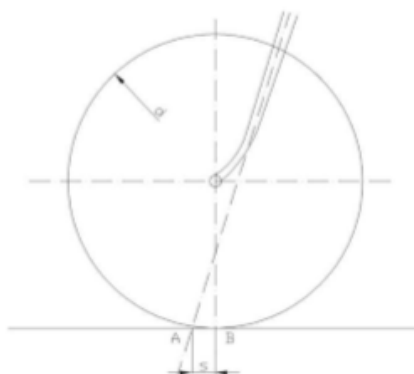
V současnosti používané geometrické uspořádání vidlice je využíváno již mnoho let i přes skutečnost, že z hlediska fyzikálních zákonitostí je matematicky obtížně popsatelné.

Podstatou stability je příčná a podélná rovnováha. Během jízdy se stabilita jednostopých vozidel mění. Při nulové rychlosti lze označit rovnováhu pouze jako labilní, jelikož je způsobena vnější silou, která udržuje těžiště jízdního kola kolmo k rovině vymezené dvěma dotykovými body jízdního kola s podložkou. V případě, že nedojde k působení vnější síly, která by bicykl udržela ve stabilní poloze, dojde k jeho pádu.

Cyklista musí při rozjezdu přejít z nulové rychlosti až do rychlosti, která je ve stabilní oblasti. Před dosažením této rychlosti je nutné udržovat rovnováhu a stabilitu pomocí většího natáčení řídítek nebo vyšší akcelerací. Ta způsobí vyšší počet otáček jízdního kola a větší gyroskopický moment, který roste s rychlostí.

Při natočení předního kola vpravo dojde k posunu dotykového bodu B jízdního kola (obrázek číslo 21) s vozovkou na opačnou stranu z roviny kola oproti natočení řídítek a předního kola. Během tohoto pohybu působí odpor valení, který působí vzhledem k ose řízení na rameni

A-B (obrázek 21). Takže způsobuje silový moment, který kolo vrací do původního směru. Proti tomuto vzniklému momentu působí naopak moment od postranních sil vyvolaných posunem hmotnosti cyklisty v dotykovém bodě mimo rovinu jízdního kola. Vzájemným působením takto vzniklých momentů se docílí rovnováhy. [20]



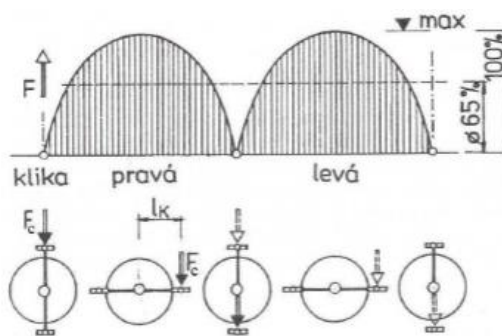
Obrázek 21 Přední kolo a vidlice [20]

3.5 Rozjezd

Z pohledu běžného cyklisty se může zdát rozjezd záležitostí, která pro něj není příliš důležitá. Z pohledu jeho bezpečnosti se jedná o činnost, která přináší jezdcovi možné riziko. Během rozjezdu musí cyklista přejít ze stabilní klidové polohy do stabilní polohy během jízdy. V případě závodní cyklistiky na velodromu může jít o klíčový okamžik celého závodu.

Pokud dojde k zaměření se na silové působení sil na pedál a jejich přenos na obvod zadního kola, nejsou tyto síly konstantní, ale dochází k jejich neustálým změnám v průběhu času.

Na obrázku číslo 22 je patrná proměnnost působení síly na obvod zadního kola v závislosti na poloze pedálů a klik.



Obrázek 22 Proměnnost působení síly na obvodu zadního kola [20]

Tento průběh má tvar, který se v ideálním případě přibližuje k funkci sinus za předpokladu, že jezdec nemá nášlapné pedály a zabírá pouze při pohybu nohy z nejvyšší polohy do nejnižší. Práce, kterou cyklista během tohoto pohybu vykoná se rovná ploše pod křivkou průběhu této

síly. Velikost zrychlení se také v průběhu času mění, což je způsobeno měnící se velikostí sil i měnící se polohou pedálu, čímž dochází i ke změně silového momentu.

Pro sílu působící na obvod zadního kola, která způsobuje zrychlování jízdního kola, platí následující vztah číslo 3.5

$$F_2 = \frac{2 \cdot F_1 \cdot l_k}{d} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} [N] \quad (3.5)$$

V tomto vzorci se síla, kterou působí cyklista na pedál, značí F_1 , délka klik l_k , průměr zadního kola d , počty zubů na převodníku resp. pastorku Z_1 resp. Z_2 . Pokud se dosadí vztah pro sílu F_2 (vzorec číslo 3.25) do vztahu 3.5 pro okamžité zrychlení vyjde vztah 3.6.

$$a_o = \frac{F_2}{m} = \frac{2 \cdot m \cdot g \cdot l_k}{m \cdot d} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{2 \cdot g \cdot l_k}{d} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} [m \cdot s^{-2}] \quad (3.6)$$

Tento vztah lze dále zjednodušit. Jelikož je délka klik l_k , gravitační zrychlení g a průměr zadního kola konstantní d , je možné vztah 3.6 zapsat v následujícím tvaru (3.7), kde konstantní veličiny byly nahrazeny veličinou k ve tvaru vzorce 3.8.

$$a = k \cdot \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{k}{p} [m \cdot s^{-2}] \quad (3.7)$$

$$k = \frac{2 \cdot g \cdot l_k}{d} [m \cdot s^{-2}] \quad (3.8)$$

3.6 Zastavení

Zastavení je děj, při kterém dochází v ideálním případě k přechodu ze stabilní polohy během jízdy do stabilní klidové polohy. Během zastavení dochází k deceleraci na nulovou okamžitou rychlost. Dráha potřebná k zastavení se nazývá zábrzdňá vzdálenost. Tu lze rozdělit na dvě hlavní části.

První částí je stav, během něhož dochází ke zpracování podnětu k zastavení. Ten se nazývá reakční doba, která začíná podnětem k zastavení a končí prvním dotykem brzd o třecí plochu. Této reakční době je věnována část následující kapitoly, kde je tato problematika rozebrána podrobněji.

Zábrzdňá dráha je druhou částí zábrzdňé vzdálenosti. Pokud je pohyb rovnoměrně zpomalený lze využít vzorců uvedených v této kapitole. Z těchto vzorců vyjde vztah číslo 3.9 pro zábrzdňou dráhu l_z .

$$l_z = \frac{v_0^2}{2 \cdot a_p} \text{ [m]} \quad (3.9)$$

Z toho plyne, že celková zábrzdňá dráha l_s bude rovna součtu vzdálenosti ujeté během reakční doby l_r a zábrzdňé vzdálenosti l_z . Což lze vyjádřit dle vztahu 3.10.

$$l_s = l_r + l_z = v_p \cdot t_r + \frac{v_0^2}{2 \cdot a_p} \text{ [m]} \quad (3.10)$$

Kde v_p je průměrná rychlost během reakční doby, t_r je čas reakce, v_0 je okamžitá rychlost v počátku účinku brzd a a_p je průměrné zrychlení, které má v tomto případě zápornou hodnotu.

Samotné brzdňé zpomalení záleží na množství vlivů. Tyto vlivy budou popsány podrobněji v následující kapitole. Jako jeden z nejznámějších lze jmenovat intenzitu brzdňení, adhezi mezi pneumatikou a vozovkou nebo podélný sklon vozovky. [20]

4 Vlivy na rozjezd a zastavení cyklisty

V předchozí kapitole je popsán fyzikální základ rozjezdu a zastavení cyklisty. Ten je v této kapitole rozšířen o jednotlivé vlivy, které vstupují do těchto jevů. Tyto vlivy byly rozděleny do třech skupin dle místa původu svého působení. Jsou to vlivy okolí, vlivy jízdního kola a vlivy vlastního cyklisty.

4.1 Vlivy okolí

4.1.1 Adheze

Jedním z hlavních vlivů, který hraje důležitou roli při rozjezdu i zastavení cyklisty je adheze. Adheze má v českém jazyce ekvivalent ve slově přilnavost. Takto lze označit adhezi v dopravě.

V dopravě se jedná o schopnost přenášet tažnou sílu mezi koly tažného dopravního prostředku na jízdní kolo. V případě jízdy cyklisty to je schopnost přenosu sil mezi poháněným kolem, u jízdního kola nejčastěji kolo zadní, a vozovkou.

V následující tabulce číslo 8 jsou zaznamenány hodnoty součinitele adheze pro základní povrchy. [47]

Tabulka 8 Součinitel adheze [47]

Povrch vozovky	Stav	Součinitel adheze μ
beton	suchý	0,80-1,00
	mokrý	0,50-0,80
asfalt	suchý	0,60-0,90
	mokrý	0,30-0,80
dlažba	suchá	0,60-0,90
	mokrá	0,30-0,50
makadam	suchý	0,60-0,80
	mokrý	0,30-0,50
polní cesta	suchá	0,40-0,60
	mokrá	0,30-0,40
tráva	suchá	0,40-0,60
	mokrá	0,20-0,50
hluboký písek		0,20-0,40
sníh		0,20-0,40
náledí	0°C	0,05-0,01
	-10°C	0,08-0,15
	-20°C	0,15-0,20

Adheze je ovlivňována rychlostí jízdy, kdy adheze s rostoucí rychlostí klesá. Dále adheze závisí na vlivu skluzu kola, vlivu množství vody, vlivu mikro a makro textury povrchu vozovky, vlivu teploty, vlivu huštění duše, vlivu ročního období, vlivu znečištění vozovky a vlivu ojetí dezénu.

V souvislosti s adhezí je vhodné zmínit i pojem tření. Dle literatury [47] mají oba mnoho společného a dochází k jejich prolínání. Pojem tření se používá u vzájemného silového působení těles, která se po sobě mohou smýkat. Pojem adheze se používá v oboru pneumatik a povrchů.

Samotná adheze má velký vliv na rozjezd i zastavení cyklisty.

4.1.2 Sklon vozovky

Sklon vozovky ovlivňuje rozjezd i zastavení cyklisty. Během jízdy působí na cyklistu odpor stoupání, který cyklista musí překonat. Velikost tohoto odporu dle vzorce 4.1 je dána sinovou složkou tíhy jízdního kola a cyklisty.

$$O_s = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad [N] \quad (4.1)$$

Kde O_s je odpor stoupání, m je hmotnost cyklisty a jízdního kola, g je gravitační zrychlení a α je úhel sklonu vozovky.

Naopak při jízdě z kopce působí tento odpor po směru pohybu.

4.1.3 Odpor vzduchu

Odpor vzduchu O_v je dalším odporem, který působí proti jízdě cyklisty. Lze ho vyjádřit pomocí následujícího vztahu 4.2:

$$O_v = \frac{H \cdot s_l \cdot c_x \cdot v_o^2}{2} \quad [N] \quad (4.2)$$

Kde H je hustota vzduchu, s_l je čelní plocha, c_x je tvarový součinitel a v_o je rychlost. Jak je patrné ze vztahu 4.4, tento odpor roste s druhou mocninou rychlosti, která se udává v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Samotný cyklista může během jízdy ovlivnit změnou posazu tvarový součinitel a čelní plochu.

4.2 Vlivy jízdního kola

4.2.1 Brzdy

Brzdy jízdního kola a jejich účinnost mají zásadní vliv na zábrzdnu vzdálenost cyklisty. Existuje větší množství typů brzd, které se liší svým maximálním účinkem.

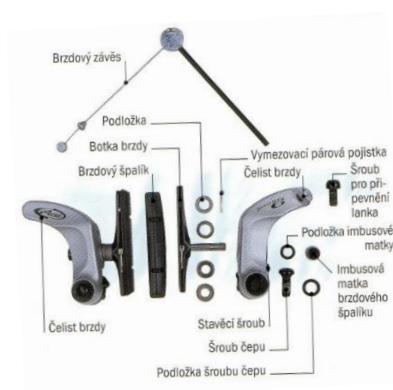
4.2.1.1 Cantilever

Brzdy typu Cantilever byly nahrazeny u všech typů kol, které je v minulosti využívaly. Zůstaly pouze u cyklokrosových kol, ovšem i zde jsou postupně nahrazovány brzdami kotoučového typu.

V minulosti byly brzdami Cantilever osazovány horská i cestovní kola. U nich již byly kompletně nahrazeny modernějšími a účinnějšími typy brzd.

Na obrázku číslo 23 jsou jednotlivé části těchto brzd. Princip činnosti je jednoduchý. Brzdové lanko vedoucí od brzdové páky je spojeno s jedním ramenem brzdy. Druhé rameno je s brzdovým lanem spojeno pomocí krátkého ocelového lanka pomocí unašeče. Při uvedení brzdy v činnost dojde k přitažení brzdového lanka společně s unašečem, který pomocí brzdového závěsu přitáhne druhé rameno brzdy.

Výhodou tohoto typu brzd je hlavně jejich nízká hmotnost a možnost je využívat i v terénu za nepříznivých hydrometeorologických podmínek.



Obrázek 23 Brzdy typu Cantilever

4.2.1.2 V-brzdy

V-brzdy vznikly změnou designu brzd Cantilever čímž došlo ke zlepšení ovládání, nastavováním a montáži. U tohoto typu brzd jsou ovládány obě čelisti brzd pouze jedním brzdovým lankem. Jednotlivé části brzd jsou na obrázku číslo 24.

Používají se nejčastěji u krosových a horských kol.



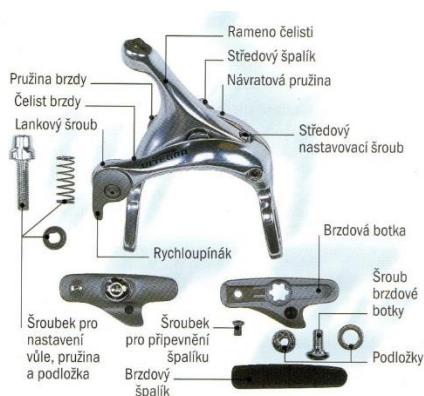
Obrázek 24 Brzdy typu V

Výhodou V brzd je jejich nízká hmotnost, jednoduchá údržba a lehká ovladatelnost.

4.2.1.3 Centrické a excentrické brzdy

Centrické a excentrické brzdy se používají u silničních kol a to u některých výrobců v kombinaci na jednom jízdním kole. Na předním je excentrické brzda a na zadním je centrická. Jednotlivé komponenty excentrické brzdy jsou na obrázku číslo 25.

Výhodou těchto brzd je jejich vysoká účinnost, která je dána jejich konstrukcí, ta ovšem limituje jejich použití na jízdních kolech určených pro jízdu v terénu.



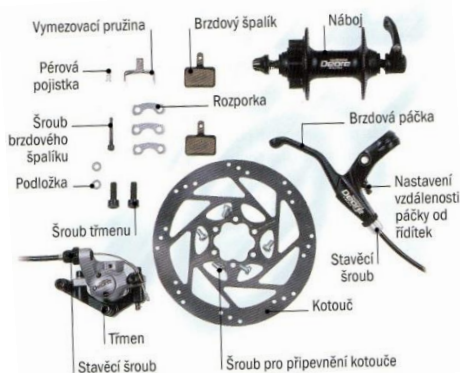
Obrázek 25 Excentrická brzda

4.2.1.4 U brzdy

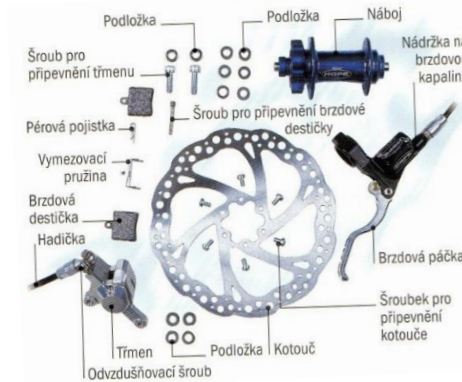
U brzdy se stejně jako předchozí typy řadí mezi brzdy ráfkové, jelikož ke snížení rychlosti dochází pomocí kontaktu brzdového špalíku a ráfku jízdního kola. Typ U se používá u BMX kol. Svou konstrukcí připomíná excentrickou brzdu, která je ovšem upevněna k jízdnímu kolu pomocí dvou upínacích šroubů na každém rameni brzdy.

4.2.1.5 Kotoučové brzdy

Kotoučové brzdy na rozdíl od ráfkových brzd ke své činnosti nepoužívají ráfky jízdního kola. Jeho poškození představuje vyšší investici do jízdního kola. Existují mechanické a hydraulické kotoučové brzdy. Na obrázcích číslo 26 a 27 jsou jednotlivé komponenty obou těchto typů. Rozdíl mezi nimi je v účinnosti, hmotnosti a pořizovací ceně. Mechanické jsou sice levnější, ale mají nižší účinnost a vyšší hmotnost.



Obrázek 26 Mechanická kotoučová brzda



Obrázek 27 Hydraulická kotoučová brzda

4.2.1.6 Zapouzdřené brzdy

Mezi zapouzdřené lze řadit tři základní podtypy brzd. Patří sem tzv. torpéda, bubnové a diskové brzdy. Tyto typy brzd jsou umístěny ve středu zadního kola.

Výhodou zapouzdřených brzd je jejich malá závislost na provozních podmínkách, jelikož se jedná o uzavřený systém, který je vodotěsný a prachuvzdorný. Z hlediska údržby jsou tyto brzdy složité na opravu, které je nutné často řešit kompletní výměnou.

4.2.1.7 Normy DIN pro účinnost brzd

Účinnost brzd jízdních kol významně ovlivňuje zastavení a zábrzdovou vzdálenost. V ČR neexistuje legislativa, která by nařizovala minimální brzdné zpomalení, které musí daná brzda dosahovat. V povinné výbavě jsou pouze uvedeny dvě na sobě nezávislé účinné brzdy.

Německá legislativa je konkrétnější a uvádí i minimální brzdné zpomalení přední a zadní brzdy pro sucho a mokro.[25]

Tyto hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce číslo 9:

Tabulka 9 Německá norma DIN pro účinnost brzd [25]

Kolo	Stav povrchu	Minimální zpomalení [m/s ²]
Přední	Sucho	3,4
Zadní		2,2
Přední	Mokro	2,2
Zadní		1,4

Existence těchto předpisů v české legislativě a jejich následná kontrola by mohla přinést zlepšení stavu jízdních kol. Bohužel jízdní kola během svého provozu nepodléhají žádné předepsané

kontrole technického stavu na rozdíl od automobilů, které musí absolvovat technickou prohlídku po 4. roce od data výroby a následně každé dva roky.

Existují i jízdní kola, která nejsou brzdami vybavena vůbec. Ta ovšem nesmí být provozována na pozemních komunikacích a jezdí se na nich pouze na velodromech.

4.2.2 Převodové ústrojí

Převodové ústrojí umožňuje cyklistovi měnit poměr mezi počtem otáček klik s pedály a zadního kola.

U vysokého kola, které bylo používáno v historii, znamenalo jedno otočení kliky s pedály jedno otočení velkého kola, k němuž byly pedály připojeny přímo na osu. Z toho plyne, že dráha ujetá na jedno otočení pedály se rovnala obvodu hnacího kola. Pro výpočet této dráhy platí vzorec 4.3.

V současnosti na trhu stále existují jízdní kola, která nabízejí pouze jeden pevný převodový stupeň. Jsou to například kola typu BMX nebo některá městská kola nazývaná pojmem singlspeed.

$$S = \pi \cdot d \cdot \frac{Z_1}{Z_2} = \pi \cdot d_v \quad [m] \quad (4.3)$$

Kde S je dráha ujetá na jednu otáčku kola, d je průměr kola, Z_1 je počet zubů převodníku a Z_2 je počet zubů pastorku.

V současnosti na trhu stále existují jízdní kola, která nabízejí pouze jeden stálý převod. Ale většina umožňuje, díky volnoběžným pastorkům, namontovat až jedenáct různých koleček. Zároveň lze namontovat až tři převodníky. To znamená až 33 možných převodových stupňů na jednom jízdním kole.

Volba optimálního převodu je individuální záležitostí a záleží na vlastnostech a schopnostech cyklisty, na jeho výkonosti a také na okamžité rychlosti jízdy.

4.2.3 Kola

Stavba kola je vidět na následujícím obrázku číslo 28. Obvykle se kolo skládá z náboje, který je pomocí drátů spojen s ráfkem. Ten slouží k uchycení pláště s duší, pokud není jízdní kolo bezdušové.

Dle typu jízdního kola se liší i typy pláště a s tím souvisejí i odlišnosti jim příslušných ráfků. Liší se jejich průměr. Například krosové a silniční kolo má průměr ráfků 28 palců. Horské kolo má ráfky o průměru 26, 29 případně 27,5 palce. Pro starší, dětská či skládací jízdní kola se používají kola o průměru 10 až 26 palců. Jeden palec odpovídá 2,54 cm.



Obrázek 28 Stavba kola

Dalším příkladem odlišnosti je šířka pláště. Horské kolo má 1,9 až 2,1 palce. Krosové kolo má obvykle 35 mm a silniční okolo 23 mm.

Pro uchycení pláště k ráfku slouží jeho patka, ta je buď z kevlaru, nebo z ocelového drátu. Kevlarová patka je dražší, ale má lepší stabilitu v ráfku, nižší hmotnost a snazší montáž. Také umožňuje složení pláště do malého balíčku.

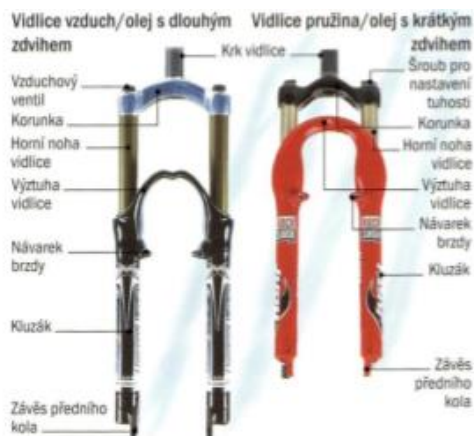
4.2.4 Přední vidlice

Pro jízdu v terénu se u horských a krosových kol začala používat odpružená přední vidlice. U některých horských kol, která jsou určena k jízdě v těžkém terénu, je odpružená i zadní stavba kola. U přední vidlice je obvykle teleskopická konstrukce, kdy se vnitřní nohy zasouvají do vnějších nohou. Pružící médium je buď pružina, nebo vzduch. Vzduchové pružení má nižší hmotnost a lepší možnosti nastavení.

Z hlediska zdvihu lze rozeznat vidlice (obrázek 29) s krátkým zdvihem do 100 mm u běžných horských kol a s dlouhým zdvihem nad 120 mm u kol na speciální disciplíny. Na následujícím obrázku jsou oba typy.

Moderní vidlice umožňují různá nastavení pružení případně i její zamčení, v některých případech přímo z řídítek.

Odpružení zvyšuje komfort jízdy cyklisty a zlepšuje ovladatelnost jízdního kola.



Obrázek 29 Odpružené vidlice

Vliv odpružení na rozjezd i zastavení lze předpokládat především v terénu, kdy přední kolo lépe kopíruje nerovnosti povrchu.

4.2.5 Odpory v ložiskách a řetězu

Tyto odpory bývají někdy také označovány za odpory v pohonu jízdního kola. Dle literatury [20] na odpory v ložiskách a řetězu připadají 4 % z celkové účinnosti jízdního kola.

Pro výpočty odporu v ložiskách lze použít následujících dvou vzorců.

$$\text{Odporový moment ložiska} \quad M = 0,5 \cdot i \cdot G \cdot d_1 \quad [Nmm] \quad (4.4)$$

$$\text{Odpor na obvodu kola} \quad O_1 = \frac{2 \cdot M}{d} = [N] \quad (4.5)$$

Kde i je součinitel odporu valení ložiska, G je zatížení ložiska, d_1 je průměr ložiska v mm a d je průměr kola v mm. [20]

4.2.6 Odpor valení

Odpor valení vzniká při jízdě kola, kdy dochází během otáčení kol k elastické deformaci povrchu pneumatiky. K této deformaci dochází v místě styku kola s vozovkou, přičemž tlak mezi styčnou plochou pneumatiky a vozovky není během jízdy rozdělen rovnoměrně. V přední části styčné plochy ve směru jízdy je větší, proto je výslednice síly tlaku posunutá ve směru jízdy a toto výslednice vyvolává moment odporu valení.

Součinitel odporu valení je závislý na druhu vozovky, pneumatice a jejím tlaku. Hodnota součinitele např. pro asfaltobetonovou vozovku a galusku je od 0,01 do 0,005. [20]

4.2.7 Pedály

Pedály hrají důležitou roli především při rozjezdu a následné jízdě cyklisty. Základním typem jsou klasické plastové či kovové pedály, které umožňují cyklistovi využívat energii vyvinutou pouze při pohybu z horní úvratě pohybu pedálů a jejich klid do dolní úvratě. Z tohoto důvodu je možný přenos energie střídavě z jedné a následně z druhé nohy, což nezaručuje kontinuální pohyb jízdního kola.

Nášlapné pedály umožňují cyklistovi přenášet sílu vyvinutou jeho nohama nejen v pohybu pedálu z horní úvratě do dolní úvratě, ale i následně z dolní úvratě do horní úvratě pedálu. To umožňuje cyklistovi neustálý záběr oběma nohama. Pro použití nášlapných pedálů jsou nutné speciální boty nazývané tretry a speciální pedály označované též jako tzv. kufry. Tyto kufry drží jezdce nohu v ideální vodorovné pozici pro šlapání.

Klasické pedály mohou být upravené pomocí kožených či plastových třmenů, které jsou také někdy označovány jako klipsny. Ty mají podobný efekt jako nášlapné pedály. Pro jejich použití není nutná speciální obuv. Mají ovšem oproti nášlapným pedálům nižší účinnost.

Typ pedálů hraje roli při jízdě i samotném rozjezdu, kdy především jezdce s nášlapnými pedály či s klipsnami může tzv. nacvaknutí chvíli trvat. Ovšem následně lze předpokládat, že jejich zrychlení bude dosahovat vyšších hodnot.

4.3 Vlivy vlastního cyklisty

4.3.1 Reakční doba

Mezi základní faktory, které ovlivňují brždění cyklisty, patří reakční doba. Ta se objevuje u většiny činností, které jsou konány člověkem. Tato doba je analogií s reakční dobou řidiče automobilu. Rozdílné jsou ovšem obvyklé rychlosti, kterými se pohybují automobily. Z toho se dá vyvodit, že rozdíl bude v ujeté vzdálenosti při shodném prodloužení této doby o reakční dobu.

Reakční doba ovšem neovlivňuje pouze brždění, ale i rozjezd cyklisty. S prodloužením reakční doby na počátek zelené fáze SSZ vede k prodloužení pobytu cyklisty v křižovatce, tedy prodlužuje se doba vyklizení křižovatky cyklistou. Modelovou situací může být situace na světelně řízené křižovatce, kdy cyklista stojí před automobily. V případě, že řidič automobilu má rychlejší reakce a uvede automobil do pohybu rychleji, než cyklista své jízdní kolo vznikne v křižovatce nepřehledná situace. Ta může vést ke stresové situaci a nebezpečí, kdy automobily začnou předjíždět cyklistu ještě v křižovatce.

Samotná reakční doba má více definicí. Definice od Ing. Smrčka [45] ji stanovuje jako časový interval, který uplyne od okamžiku vjemu do okamžiku uvedení zařízení (v případě brzdění to mohou být například brzdy) do činnosti naučeným pohybem.

Reakční dobu lze obvykle dělit v případě brzdění do pěti základních částí. Tyto části jsou optická reakce, psychická reakce, svalová reakce, prodleva brzd a náběh brzdného účinku.

Optická reakce je doba od vstupu do zorného pole, kdy ho cyklista začne vnímat, do okamžiku, kdy je daný objekt zafixován i s jeho přesnou polohou a dojde k akomodaci oka na tento objekt. Samozřejmě je velký rozdíl mezi tím, když je objekt okamžitě v zorném poli řidiče nebo je nutný pohyb hlavy pozorujícího subjektu.

Psychická reakce charakterizuje dobu, kdy dochází k rozhodnutí následných úkonů. Jednodušeji řečeno, zda bude cyklista brzdit, použije úhybný manévr, nebo se pokusí zrychlit.

Svalová reakce následuje po psychické reakci. Pokud cyklista dojde k přesvědčení, že chce začít brzdit, tak je nutné, aby došlo k aktivaci zařízení, které způsobí brzdění. V tomto případě brzdové páky nebo protisměrné šlápnutí do pedálů u jízdních kol, které mají brzdový systém typu torpédo. Dobou svalové reakce je tedy časový úsek od rozhodnutí po dobu přesunutí prstů na brzdové páky nebo do počátku protisměrného pohybu nohou pokud se jedná o systém torpédo.

4.3.2 Alkohol a jiné omamné látky

Vliv alkoholu a omamných látek je na jízdním kole významný jak při rozjezdu, zastavení i samotné jízdě. Bohužel v očích veřejnosti je především alkohol na jízdním kole tolerován. V posledních letech se ovšem kontroly policie zaměřily na právě na tento jev a finanční postihy cyklistů jsou citelné. Na rozdíl od alkoholu za volantem nelze v případě jízdního kola zakázat jízdu na kole a zabavit řidičské oprávnění, jelikož není pro jízdu na jízdním kole potřeba. Ve druhé kapitole jsou statistiky s počtem nehod zaviněných pod vlivem alkoholu.

Cyklista pod vlivem alkoholu je nebezpečný nejen pro sebe, ale i pro ostatní. Při požití i malého množství alkoholu dochází k narušení vnímání reality a zkreslení aktuální situace. Se stoupajícím množstvím alkoholu se schopnost jízdy na kole ještě více zhoršuje a dochází ke zhoršení stability a zpomalení reakcí. Také dochází k zúžení zorného pole.

Alkohol je pro lidský organismus toxický a tělo se ho snaží odbourat. Rychlost odbourávání je závislá na pohlaví, výšce, hmotnosti a rychlosti požití alkoholu. Pro představu lze uvést průměrné hodnoty odbourávání alkoholu. Dle [48] je to mužů 0,1 g alkoholu na 1kg hmotnosti a u žen je to 0,085 g na 1 kg hmotnosti. I po odbourání alkoholu jsou ještě po určitou dobu zhoršené schopnosti ovládat jízdní kolo. [48]

4.3.3 Somatické faktory

Somatické faktory dle Dovalila [44] jsou poměrně stálé a podmíněné genetikou. Mezi základní somatické faktory lze zařadit výšku a hmotnost těla cyklisty. Také délkové rozměry, složení těla a tělesný typ. Společně vytváří biomechanické podmínky sportovní činnosti a tím i mají vliv na rozjezd a jízdu.

4.3.4 Kadence

Kadence udává počet otáček klik za minutu a je měřítkem pro volbu převodu. Rozsah vlastních otáček je u jednotlivých jezdců odlišný v závislosti na sklonu vozovky, fyzické kondici a momentálním stavu jezdce. Stanovení počtu otáček za sekundu a minutu zachycují následující vzorce 4.6 a 4.7.

$$u_s = \frac{v}{p} = \frac{V}{3,6 \cdot o} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} \quad [ot \cdot s^{-1}] \quad (4.6)$$

$$u_m = 60 \cdot u_s = \frac{16,66 \cdot V}{o} \cdot \frac{Z_2}{Z_1} \quad [ot \cdot s^{-1}] \quad (4.7)$$

Kde o je obvod kola, V je rychlost v $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, Z_2 je zubů pastorku, Z_1 je počet zubů převodníku a p je převodový poměr.

Při jízdě na rovině se otáčky obvykle pohybují v rozmezí 80 – 110 otáček za minutu. Při sprintu závodníci dosahují 140 otáček za minutu, zatímco při jízdě do kopce klesá počet otáček i pod 60 otáček za minutu. [20]

Kadence šlapání společně s převodem mají důležitý vliv na rozjezd cyklisty, neboť čím je kadence vyšší a zároveň převod těžší, tím vyšší rychlost může cyklista dosáhnout.

4.3.5 Psychické a psychologické faktory

V případě rozjezdu cyklisty v městské zástavbě vstupuje do rozjezdu i schopnost cyklisty se vypořádat s uspořádáním křižovatky a přítomností automobilů v dané křižovatce.

Dalším faktorem pro rozjezd cyklisty je jeho momentální psychický stav a také cíl jeho cesty.

5 Dosavadní výzkum

Tato kapitola shrnuje doposud provedená měření v oblasti rozjezdu i zastavení cyklistů. Jedná se o experimenty vzniklé za účelem rozšíření databází pro znalce z oboru doprava a další odborníky v dané problematice. Dále se jedná o experimenty konané v rámci absolventských prací.

5.1 Měření rozjezdu

Ze studentských prací lze zmínit dvě, které vznikly na Vysokém učení technickém v Brně. První absolventskou práci napsal v roce 2001 pan Tesař [23]. V praktické části této práce bylo provedeno měření vybraného vzorku cyklistů. Ti se rozjížděli na stanoveném vodorovném úseku, který měřil celkově 30 metrů. Na tomto úseku byly v prvních 8 metrech vyznačeny menší úseky o velikosti 2 metry. Následně byl během jízdy jednotlivých cyklistů měřen čas od posledního dotyku cyklisty nohou země na startu. K měření času byly použity stopky, které měřily s přesností na setiny sekundy.

Zkušební vzorek cyklistů byl rozdělen celkem do čtyř skupin. Do prvních třech skupin byli zařazeni cyklisté dle věku. První byla pro mladší cyklisty do 12 let, druhá do věku 60 a ve třetí byli lidé nad 60 let. Do poslední skupiny byli zařazeni cyklisté, kteří jsou trénovaní sportovci či na jízděm kole dokonce závodí. Každá skupina obsahovala právě šest cyklistů, přičemž každému z nich byl rozjezd změřen sedmkrát. [23]

Zjištěné hodnoty jsou zaneseny v následujících tabulkách číslo 10, 11, 12 a 13.

Tabulka 10 Zjištěné hodnoty kategorie 8 - 12 let [23]

úsek měření	∅ čas	rychlost na konci úseku		∅ rychlost na konci úseku		∅ zrychlení úseku
[m]	[s]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻²]
0-2	1,10	3,63	13,07	1,82	6,55	1,65
0-4	2,40	3,33	11,99	1,67	6,01	0,70
0-6	3,37	3,56	12,82	1,78	6,41	0,53
0-8	4,22	3,80	13,68	1,90	6,84	0,45

Tabulka 11 Zjištěné hodnoty kategorie do 60 let [23]

úsek měření	∅ čas	rychlost na konci úseku		∅ rychlost na konci úseku		∅ zrychlení úseku
[m]	[s]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻²]
0-2	1,35	2,96	10,66	1,48	5,33	1,10
0-4	2,75	2,91	10,48	1,45	5,22	0,53
0-6	3,75	3,2	11,52	1,6	5,76	0,40
0-8	4,74	3,38	12,17	1,69	6,08	0,36

Tabulka 12 Zjištěné hodnoty kategorie nad 60 let [23]

úsek měření	Ø čas	rychlost na konci úseku		Ø rychlost na konci úseku		Ø zrychlení úseku
		[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	
[m]	[s]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻²]
0-2	1,63	2,45	8,82	1,23	4,43	0,75
0-4	3,21	2,49	8,96	1,25	4,50	0,39
0-6	4,58	2,62	9,43	1,31	4,72	0,29
0-8	5,77	2,77	9,97	1,38	4,97	0,24

Tabulka 13 Zjištěné hodnoty kategorie trénovaní a závodní cyklisté [23]

úsek měření	Ø čas	rychlost na konci úseku		Ø rychlost na konci úseku		Ø zrychlení úseku
		[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	
[m]	[s]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻²]
0-2	1,43	2,80	10,08	1,40	5,04	0,98
0-4	2,28	3,51	12,64	1,75	6,30	0,77
0-6	3,22	3,73	13,43	1,86	6,70	0,58
0-8	3,96	4,04	14,54	2,02	7,27	0,51

Na pana Tesaře navázal pan Nantl [24] o rok později na téže vysoké škole. Pan Nantl zvolil pro experiment stejný postup. Opět rozdělil měřený osmimetrový úsek na menší úseky po dvou metrech. Měření probíhalo na suchém a rovném asfaltovém povrchu na třech různých místech v rozdílných dnech. Pro měření byla použita tři jízdní kola Fort, která byla v technicky bezvadném stavu. [24]

Tabulka 14 Zjištěné hodnoty kategorie 6 - 14 let [24]

úsek měření	Ø čas	rychlost na konci úseku		Ø rychlost na konci úseku		Ø zrychlení úseku
		[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	
[m]	[s]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻²]
0-2	1,27	3,15	11,34	1,57	5,65	1,24
0-4	1,92	4,17	15,01	2,08	7,49	1,09
0-6	2,73	4,40	15,84	2,20	7,92	0,81
0-8	3,75	4,27	15,37	2,14	7,70	0,57

Tabulka 15 Zjištěné hodnoty kategorie 15-25 let [24]

úsek měření	Ø čas	rychlost na konci úseku		Ø rychlost na konci úseku		Ø zrychlení úseku
		[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	
[m]	[s]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻²]
0-2	1,23	3,25	11,70	1,63	5,87	1,32
0-4	2,05	3,90	14,04	1,95	7,02	0,96
0-6	2,70	4,45	16,02	2,22	7,99	0,82
0-8	3,37	4,75	17,10	2,37	8,53	0,70

Tabulka 16 Zjištěné hodnoty kategorie 26 -50 let [24]

úsek měření	∅ čas	rychlost na konci úseku		∅ rychlost na konci úseku		∅ zrychlení úseku
[m]	[s]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻²]
0-2	1,47	2,72	9,792	1,36	4,90	0,93
0-4	2,23	3,59	12,924	1,79	6,44	0,80
0-6	3,00	4,00	14,4	2,00	7,20	0,67
0-8	3,95	4,05	14,58	2,03	7,31	0,51

Tabulka 17 Zjištěné hodnoty kategorie 66 a více let [24]

úsek měření	∅ čas	rychlost na konci úseku		∅ rychlost na konci úseku		∅ zrychlení úseku
[m]	[s]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻¹]	[km.h ⁻¹]	[m.s ⁻²]
0-2	2,22	1,80	6,48	1,23	4,43	0,41
0-4	3,31	2,42	8,71	1,61	5,80	0,37
0-6	4,26	2,82	10,15	1,79	6,44	0,33
0-8	4,59	3,49	12,56	2,03	7,31	0,38

Data z uvedených závěrečných prací ukazují, že zrychlení je závislé na věku, kdy u dorostenců střední hodnota stoupá a nejvyšší je u jezdců kategorie 15 až 25 let. Pokud jde o zrychlení v jednotlivých měřených úsecích, nejvyšších hodnot bylo dosahováno v úvodním úseku 0 až 2 metry, poté postupně tato hodnota s prodlužováním měřeného úseku klesala.

Během obou byly použity pro měření času stopky. Vzhledem k tomu vstupují do měření také reakční doby měřičů jednotlivých úseků, které se mohou projevit významně především na takto krátkých úsecích měření. Nutnost zápisu dosaženého času, vynulování a opětovného spuštění stopek značně prodlužuje dobu měření a umožňuje měření pouze jednoho cyklisty.

5.1.1 Práce zaměřené na maximální zrychlení

Zahraniční prací zaměřenou na rozjezdy cyklistů, byla práce Toma Mortona a Alana Claytona [29]. Ti nejprve měřili zrychlení a čas rozjezdu u dětí ve věku 9 -11 let, přičemž první měření probíhalo na jejich kolech bez varování. Druhé měření proběhlo s instrukcemi o maximálním možném zrychlení. [29]

Bohužel literatura neuvádí způsob měření. Výsledky jsou zachyceny v následující tabulce číslo 18.

Tabulka 18 Normální a maximální zrychlení děti [29]

Zrychlení děti 9 - 11 let	Normální zrychlení		Maximální zrychlení	
	Chlapci	Dívky	Chlapci	Dívky
Počet účastníků	44	70	6	10
Průměrný čas [s]	4,67	4,55	3,67	3,85
Průměrné zrychlení [m.s⁻²]	1,02	1,07	1,61	1,43
85% kvantil [m.s⁻²]	0,88	0,94	1,47	1,3
50% kvantil [m.s⁻²]	0,70	0,75	1,17	1,11
15% kvantil [m.s⁻²]	0,61	0,64	0,81	0,82

Následující tabulka zachycuje zjištěné hodnoty u nevarovaných cyklistů, které byly zaznamenány na dráze 25 metrů.

Tabulka 19 Normální zrychlení dospělí [29]

Normální zrychlení	Muži 17-39 let	Muži 40+	Ženy 35+
Počet účastníků	6	100	10
Průměrný čas [s]	3,67	5,79	5,95
Průměrné zrychlení [m.s⁻²]	1,61	1,54	1,46
85% kvantil [m.s⁻²]	1,47	1,45	-
50% kvantil [m.s⁻²]	1,17	1,27	-
15% kvantil [m/s⁻²]	0,81	0,94	-

Z hodnot získaných při měření vyplynulo, že opět nejvyššího průměrného zrychlení dosahují muži mezi 17. a 35. rokem. Starší muži a ženy dosáhli hodnot nižších. Hodnoty pro dospělé při normální jízdě odpovídali hodnotám dosažených v maximálním zrychlení v dětské kategorii.

Ze všech zde uvedených měření vyplývá, že střední hodnota zrychlení cyklistů se pohybuje od 0,5 do 1,7 m.s⁻²

5.2 Měření zastavení

5.2.1 Měření při rozdílných površích

Dle literatury [22] byla provedena série měření na zjištění brzdného zpomalení. První měření proběhlo na různých površích. Konkrétně se jednalo o povrch pokrytý ledem, sněhem, mokrou a suchou vozovku. Na měření byly použity čtyři typy jízdních kol. Pánské, dámské a dětské jízdní kolo, které mělo pláště s 1/3 původního dezénu.

Sportovní jízdní kolo značky Favorit mělo pláště zcela hladké. Všechna kola byla před testováním roky používána při minimální údržbě. Během tohoto měření bylo zaznamenáváno dosažené brzdné zpomalení, náběh brzdného účinku a příčné zrychlení. Výsledné hodnoty jsou

zaznamenány ve čtyřech tabulkách číslo 20 až 23. Z důvodu možné statistické reprodukovatelnosti byla každá jízda provedena pětkrát.

Tabulka 20 Zpomalení dětského kola [22]

Jízdní kolo	Dětské kolo			
Povrch	Sníh [m.s ⁻²]	Led [m.s ⁻²]	Suchá vozovka [m.s ⁻²]	Mokrá vozovka [m.s ⁻²]
Dosažené zpomalení nožní brzdou	1,40-2,1	0,9-1,3	4,2-5,8	3,8-4,6
Náběh brzdového účinku	do 0,10	do 0,1	0,1-0,2	0,1-0,15
Příčné zrychlení	0,5-0,80	do 0,5	1,0-1,5	1,0-1,5

Tabulka 21 Zpomalení dámského kola [22]

Jízdní kolo	Dámské kolo			
Povrch	Sníh [m.s ⁻²]	Led [m.s ⁻²]	Suchá vozovka [m.s ⁻²]	Mokrá vozovka [m.s ⁻²]
Dosažené zpomalení nožní brzdou	1,50-2,50	1,0-1,8	2,5-3,8	2,2-3,6
Náběh brzdového účinku	0,10-0,15	0,1	0,15-0,2	0,15-0,2
Příčné zrychlení	0,70-1,50	do 0,8	2,0-2,8	1,8-2,7

Tabulka 22 Zpomalení pánského kola [22]

Jízdní kolo	Pánské kolo			
Povrch	Sníh [m.s ⁻²]	Led [m.s ⁻²]	Suchá vozovka [m.s ⁻²]	Mokrá vozovka [m.s ⁻²]
Dosažené zpomalení nožní brzdou	1,4-2,4	1,0-1,7	2,5-4,0	2,1-3,8
Náběh brzdového účinku	0,1-0,15	0,1	0,15-0,2	0,15-0,2
Příčné zrychlení	0,7-1,6	do 0,8	1,7-2,5	1,7-2,2

Tabulka 23 Zpomalení sportovního kola [22]

Jízdní kolo	Sportovní kolo – Favorit			
Povrch	Sníh [m.s ⁻²]	Led [m.s ⁻²]	Suchá vozovka [m.s ⁻²]	Mokrá vozovka [m.s ⁻²]
Přední brzda	-	-	3,0-4,0	2,7-3,8
Zadní brzda	1,0-2,0	do 1,0	0,9-1,7	0,9-1,6
Obě brzdy	2,2-3,2	1,0-2,0	3,5-4,8	3,2-4,7
Náběh brzdového účinku	0,1-0,15	0,1	0,15-0,2	0,15-0,2
Příčné zrychlení	1,0-1,5	0,7-1,3	2,0-3,0	2,0-2,8

5.2.2 Měření pro různé typy kol

Další měření provedl Ústav soudního inženýrstva v Žilině, který se soustředil na zpomalení různých typů jízdních kol. Výsledky tohoto měření jsou zachyceny v následující tabulce číslo 24.

Tabulka 24 Zpomalení různých typů jízdních kol ÚSI v Žilině [22]

Typ kola	Typ povrchu	Přední brzda [m.s ⁻²]	Zadní brzda [m.s ⁻²]	Obě brzdy [m.s ⁻²]	Náběh [s]
Hoské kolo	Suchý	4,0-4,5	3,5-4,0	4,5-5,5	0,10-0,15
	Mokrý	-	-	-	-
BMX	Suchý	-	2,3-2,4	3,7	-
	Mokrý	-	2,5	-	-
Liberta A	Suchý	-	2,1	4,1	-
	Mokrý	1,9-2,0	2,8-3,0	3,7	-
Liberta B	Suchý	2,1-2,2	1,6	3,7	-
	Mokrý	2,5-3,0	1,5	3,4-3,8	-

Měřením brzdného zpomalení pro různé typy jízdních kol se zabýval pan Prčík [25] z Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně. Jeho měření se účastnilo devět figurantů, kteří měli celkem osm kol. Každý figurant projel danou trať na dvou jízdních kolech. Mokrý povrch byl zajištěn pomocí polévání vodou. Výpočet brzdného zpomalení probíhal na základě změřené zábrzdné vzdálenosti pomocí měrného kolečka. Rychlost na počátku byla určena na základě času projetí úseku o délce 10 metrů před počátkem brzdění během prvního měření. Figurantům bylo řečeno, že v měřeném úseku nesmí zrychlovat. Při druhém měření byl úsek konstantní rychlosti zkrácen na metrů pět. [25]

Tabulka 25 Zpomalení různých typů jízdních kol Prčík [25]

Kolo	Brzdy	Beton		Asfalt		Polní cesta	
		sucho	mokro	sucho	mokro	sucho	mokro
Silniční kolo	Přední	3,81	4,79	5,42	3,97	-	-
	Přední i zadní	4,91	5,05	5,2	4,55	-	-
Horské Madison	Přední	4,44	3,89	4,76	5,43	4,24	-
	Přední i zadní	5,27	4,31	5,23	5,09	5,04	-
Trekové Heavy Tools	Přední	2,8	3,74	3,96	4,51	4,11	-
	Přední i zadní	4,18	3,93	4,07	4,11	4,6	-
Lady 26	Přední	1,89	1,76	1,97	2,82	-	-
	Přední i zadní	2,99	2,68	3,68	3,4	-	-
Horské Scott	Přední	6,38	5,51	5,93	5,77	-	6,69
	Přední i zadní	6,02	6,24	6,13	5,2	-	6,25
Trekové Author	Přední	5,61	5,78	6,23	5,91	-	8,04
	Přední i zadní	6,1	5,81	6,54	6,32	-	7,73
Trekové Mayo	Přední	3,75	3,55	3,06	4,01	-	4,27
	Přední i zadní	4,44	4,07	3,93	4,28	-	4,71
Horské Engine	Přední	3,6	4,6	4,39	4,21	-	3,84
	Přední i zadní	4,09	3,68	4,39	4,06	-	4,42

Ve výsledcích měření (tabulka 25) lze vypožorovat, že některá jízdní kola dosahovala vyšších hodnot na mokřém povrchu. Sám autor předpokládal dvě možnosti vysvětlení. „První z nich se zaobírá částečným prokluzem, kterého je možné na mokřé vozovce dosáhnout. Částečný prokluz umožňuje přenesení vyšší brzdné síly přes brzděné kolo. Druhá teze je založena na způsobu provádění měření, kdy byl povrch uměle poléván vodou pro navození podmínek mokřé komunikace. Mohlo tak dojít k odplavení prachových částic, které se pod pneumatikami chovají jako valivá ložiska a prodlužují brzdou dráhu. Jako antiteze hovoří v neprospěch předchozích dvou teorií snížení adheze mezi pneumatikou a mokřou silnicí, která by měla prodlužovat brzdou dráhu.“ [25]

Dalším zajímavým výsledkem je vyšší dosažené zrychlení pro samotnou přední brzdu než v případě, kdy byla použita přední i zadní brzda naráz u několika jízdních kol na různých površích. To autor nevysvětluje.

5.2.3 Měření dětí a mladistvých

Další měření bylo provedeno v absolventské práci slečny Valentové [26] z VUT v Brně. V této práci se slečna Valentová zaměřila na rychlost jízdy a zpomalení dětí a mladistvých ve věku 10-15 let.

Měření probíhalo na vyznačené dráze na suchém a vodorovném asfaltu, kde byly graficky vyznačeny vodorovné čáry, které byly od sebe vzdáleny 15 metrů. Úkolem figurantů bylo se

rozjet a projet vyznačenou dráhu a po projetí druhé vodorovné čáry začít brzdit přirozeně přední i zadní brzdou. Pomocí stopek byl zaznamenán čas průjezdu první i druhou vodorovnou čarou. Dále byla odměřena i vzdálenost, na které cyklisté zastavili. Převodový stupeň byl nastaven v polovině rozsahu. Vzhledem k tomu, že šlo o organizované měření, bylo možné zaznamenat i údaje o figurantech a jejich kolech.[26]

V následující tabulce 26 jsou zachyceny výsledky jejího měření. Z této tabulky je patrné, že věk jednotlivých testovaných cyklistů neměl významný vliv.

Tabulka 26 Zpomalení dětských cyklistů [26]

Věk [let]	95% Interval spolehlivosti	99% Interval spolehlivosti
10	2,57–3,37	2,42–3,52
11	2,48–3,66	2,24–3,89
12	3,21–3,70	3,07–3,85
13	1,87–3,09	1,51–3,46
14	2,7–3,88	2,46–4,12
15	3,25–3,78	3,03–3,93

5.3 Měření různých typů brzd

Další absolventskou prací z VUT, zabývající se zpomalením jízdních kol, byla práce pana Formana [27]. Ten se zaměřil na brzdné zpomalení u dvou základních typů brzd – kotoučových a čelistových při různých počátečních rychlostech. Měření probíhalo na neznečištěné komunikaci a byly použity obě brzdy. Testovaná kola byla pravidelně servisována a nebyla před měřením nijak upravována.

U brzd typu V bylo dosaženo brzdné zpomalení v rozsahu od 4,2 – 5,5 m.s⁻². Hranice pro blokaci zadního kola byla 4,6 m.s⁻².

U brzd kotoučového typu bylo dosaženo brzdné zpomalení v rozsahu od 3,0 - 6,51 m.s⁻². Hranice pro blokaci zadního kola byla 4,3 m.s⁻².

U obou typů byly výsledky z různých rychlostí vyrovnané, proto lze říci, že závislost na počáteční rychlosti je malá.[27]

Další zahraniční měření provedl pan Beck [28], který experiment provedl na dvou typech povrchů. Prvním byla asfaltová komunikace s nulovým podélným sklonem a druhým byla polní cesta, která měla průměrný sklon 11°. Experimentu se účastnilo 6 jezdců. Během vyhodnocení byla brána první záporná hodnota jako počátek a za konec pak byla brána poslední záporná hodnota zpomalení.[28]

Doba trvání všech zpomalení se pohybovala v intervalu od dvou do tří sekund. Výsledky jsou zaneseny v následující tabulce číslo 27.

Tabulka 27 Naměřené zpomalení Beck [28]

Typ komunikace	Použité brzdy	Střední hodnota zpomalení [m.s ⁻²]	Rozsah zpomalení [m.s ⁻²]
Polní cesta	Obě	4,1	3,0–5,3
	Přední	3,5	2,6–4,5
	Zadní	2,7	2,4–3,1
Asfaltová komunikace	Obě	4,3	3,4–5,1
	Přední	3,7	2,8–4,6
	Zadní	2,7	2,5–3,2

Z výsledků je patrné, že lepších hodnot bylo dosaženo u asfaltové komunikace s nulovým podélným sklonem. V případě obou brzd i přední brzdy je střední hodnota zpomalení u polní cesty o 0,2 m.s⁻² nižší. Pro zadní brzdu jsou zjištění shodná.

6 Experiment – metodika měření

6.1 Akcelerometr

Za akcelerometr lze označit snímací prvek, který měří zrychlení. Tedy změnu rychlosti za časovou jednotku. Tato veličina je vektorovou veličinou, z tohoto důvodu má kromě velikosti i směr, ve kterém působí. Základními jednotkami, na které se data z akcelerometru převádí, jsou $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ a g , které je ekvivalentní gravitačnímu zrychlení $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Akcelerometr se vyvinul z jednoduché vodní trubky s vzdušnou bublinou ukazující směr zrychlení, až na integrovaný obvod, který může být umístěn na obvodové desce.

Samotný akcelerometr je pouze měřicím prvkem. Proto, aby mohl být senzor účinně použit, je nutné ho vybavit také napájením, logikou, pamětí a prvky zajišťujícími převod na měřitelný výstup. [40]

6.1.1 Typy akcelerometrů

Celkově existuje velké množství akcelerometrů. Jednotlivé typy odlišují dva základní rozdíly. Prvním je druh snímacího prvku a samotný princip jejich činnosti.

Základními typy jsou:

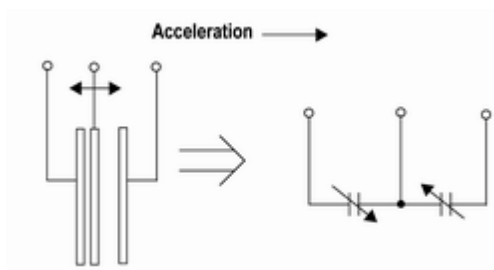
6.1.1.1 Kapacitní akcelerometry

Princip činnosti těchto akcelerometrů je založen na proměnné kapacitě tříelektrodového vzduchového kondenzátoru (obrázek 30). Jedna elektroda se pohybuje v závislosti na zrychlení. Využit lze známý nelineární vztah mezi kapacitou kondenzátoru a vzdáleností jeho elektrod.

$$C = \varepsilon \cdot \frac{S}{d} \text{ [F]} \quad (6.1)$$

Kde C je kapacita kondenzátoru, ε je permitivita, S je plocha elektrod a d je vzdálenost mezi elektrodami (vzduchová mezera).

Měřicí rozsah akcelerometru je daný převodovým poměrem mezi zrychlením a mechanickým posuvným pohybem. Je důležité, aby tento převod byl lineární a dostatečně citlivý.



Obrázek 30 Základní princip kapacitního akcelerometru

6.1.1.2 Piezoelektrické akcelerometry

Jak již název napovídá, tyto senzory využívají piezoelektrického jevu. Součástí senzoru jsou materiály, které vykazují elektrické napětí v případě, že je na ně působeno tlakem. Příkladem takového materiálu může být piezoelektrický krystal.

6.1.1.3 Piezoodporové akcelerometry

Akcelerometry pracují na základě měření elektrického odporu materiálu při jeho zatěžování tlakem.

6.1.1.4 Akcelerometr na Hallově jevu

Spočívá v měření změn napětí plynoucích ze změn v magnetickém poli kolem akcelerometru.

6.1.1.5 Magnetooporový akcelerometr

V podstatě se jedná o stejný princip jako u Hallova jevu. Rozdíl je pouze v měřené veličině, kdy u senzorů tohoto typu dochází k měření změn odporu.

6.1.1.6 Tepelný akcelerometr

U tepelného akcelerometru jsou měřeny vnitřní změny tepelných přenosů v důsledku zrychlení. Akcelerometr je opatřen jedním zdrojem tepla, který je umístěn centrálně nad dutinou vyplněnou tepelně vodivým plynem. Na každé straně zdroje je rovnoměrně umístěn termorezistor. Pokud je hodnota zrychlení nulová, tak je teplotní gradient symetrický. V případě zrychlení v jakémkoliv směru dojde ke změně na asymetrický gradient.

6.1.2 Technologie MEMS

Zkratka MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) znamená v překladu mikro elektromechanické systémy. Jedná se o technologii výrobního procesu akcelerometru, jehož stavba je založená na křemíkovém substrátu, do kterého jsou integrovány mechanické elementy, elektronika, akční členy a senzory. Touto technologií mohou být vyrobeny různé typy akcelerometrů, které byly popsány dříve.

Předpokládá se budoucnost akcelerometrů úzce spjatá s rozvojem nanotechnologie, která přinese nové aplikace a využití akcelerometrů.

6.1.3 Využití akcelerometrů v praxi

Využití akcelerometrů je široké – od průmyslu až po vzdělání (od spouštění rozbalování airbagů u automobilu až po kontrolu jaderných reaktorů). Mezi nejznámější a nejrozšířenější lze zařadit: měření statického zrychlení (gravitační), náklon objektu, dynamické zrychlení, otřesy objektů, rychlost, směr a vibrace objektu.

Velké množství akcelerometrů je v současnosti používáno ve většině domácností, aniž by o tom jejich členové věděli. Nachází se totiž v mobilních telefonech, počítačích či v myčkách nádobí.

Během výběru akcelerometru je nutné brát zřetel na jeho základní parametry. Těmi jsou především dynamický rozsah, citlivost, frekvenční rozsah, počet měřených os, velikost a hmotnost.

Dynamický rozsah udává maximální a minimální amplitudu, kterou je možné s daným zařízením snímat. Typicky bývá udáván v g.

Citlivost je měřicí parametr systému nebo senzoru, který udává, jak se změní výstupní signál ze senzoru při změně vstupů měření. Citlivost udává schopnost senzoru detekovat pohyb. Jednotkou citlivosti je $\text{mV}\cdot\text{g}^{-1}$.

Frekvenční odpověď neboli frekvenční rozsah neboli frekvenční charakteristika udává, pro které frekvence je senzor schopen detekovat pohyb a zároveň vykázat pravdivý výstup. Jednotkou je Hz.

Počet měřených os udává, v kolika osách referenčního systému je daný senzor schopen měřit vstup. Rozlišují se jednoosé a víceosé akcelerometry. Pro většinu aplikací jsou vhodnější trojosé, které dokáží měřit ve všech osách.

Hmotnost a velikost senzoru hrají důležitou roli, jelikož mohou změnit charakteristiku testovaného objektu. Hmotnost by měla být řádově nižší než tento objekt.

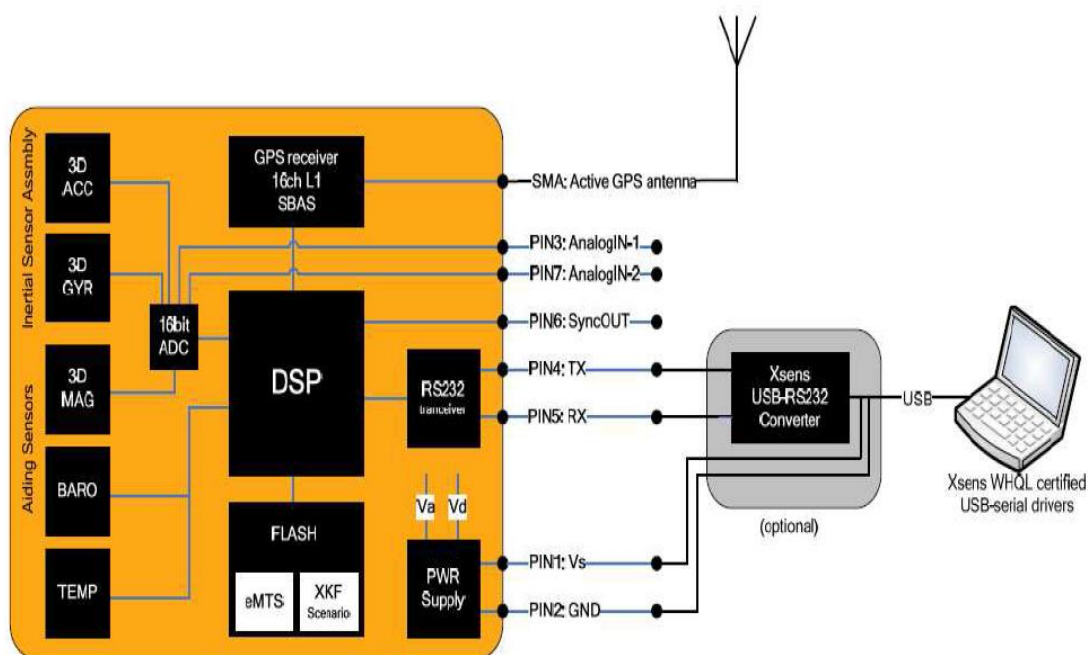
Pro účely měření byl zvolen sdružený snímač MTiG od společnosti XSENS, který je k dispozici na Ústavu soudního znalectví v dopravě ČVUT v Praze. Z tohoto důvodu, je následující část zaměřena právě na tento přístroj.

6.2 Snímač MTi-G

Z hlediska dělení akcelerometrů, které jsou uvedeny výše, patří ten v MTi-G mezi MEMS kapacitní akcelerometry. Součástí tohoto zařízení jsou také gyroskop, GPS přijímač, magnetometr, teploměr a barometr. Schéma zapojení jednotlivých snímačů je na obrázku číslo 31 a jeho základní technické parametry jsou v tabulce číslo 28.

Tabulka 28 Základní parametry MTi-G [35]

Parametry XSENS Mti-G	
název snímače	rozsah
tříosý akcelerometr	$\pm 5 \text{ g}$
snímač úhlové rychlosti ve třech osách	$\pm 300 \text{ st.s}^{-1}$
snímač magnetického pole	$\pm 750 \text{ mGauss}$
snímač teploty	(-55 až 125) °C
barometr	(30 až 120.103) Pa
ostatní parametry	
anténa GPS, 4Hz, 50ti kanálový přijímač - připraveno pro síť GALILEO,	
rozměry:	58 x 58 x 33 mm
hmotnost	68 g
pracovní rozsah teplot	(-20 až 60) °C



Obrázek 31 Architektura zařízení MTi-G

Akcelerometr a gyroskop jsou označovány jako hlavní snímače a signály z nich jdou přes převodník, kde dochází k převodu analogového signálu na digitální, do procesoru. Přes tento převodník prochází i signál získaný z magnetometru, který je stejně jako hlavní snímače tříosý.

Data z ostatních snímačů (teploměr, barometr a GPS přijímač) vstupují rovnou do procesoru. Z procesoru jsou data pomocí USB přenesena do zvoleného záznamového média.

Data jsou v procesoru zpracovávána za pomoci Kalmanova filtru, který je popsán podrobněji dále.

6.2.1 Kalmanův filtr

Zařízení používá pro odhad orientace a polohy rozšířený Kalmanův filtr. Konkrétně se jedná o filtr Xsens Kalman Filter 6DOF GPS (XKF-6G). Kalmanův filtr se skládá ze dvou základních částí.

První část se nazývá predikční krok. Během tohoto kroku jsou data z inerciálních senzorů integrována v průběhu času pro odhad polohy a směru. Bohužel, díky šumu akcelerometrů a gyroskopů, odhad nebude zcela přesný a velikost odchylky bude s časem narůstat (integrační chyba).

V opravném kroku dojde ke korekci odchylky pomocí dat z GPS přijímače a barometru. Případně mohou být použity pro zpřesnění další senzory. To ovšem záleží na použitém scénáři.

Díky tomuto filtru mohou být měřeny i malé a rychlé pohyby, které by nebylo možné pozorovat v případě použití samotného GPS přijímače.

Před měřením je nutné zvolit jeden z předem nastavených scénářů, který určuje, které senzory budou během samotného měření pracovat a z nichž budou zaznamenávána data. Přehled jednotlivých scénářů je uveden v následující tabulce číslo 29.

Tabulka 29 Scénáře a použité senzory

Scénář filtru	IMU	GPS	Magneto- metr	Statický tlak (barometr)	Neholonomní omezení
Obecný	●	●		●	
Obecný bez barometru	●	●			
Letecký	●	●	●	●	
Letecký bez barometru	●	●	●		
Automotive	●	●		●	●
Automotive bez barometru	●	●			●
Námořní	●	●	●		

6.3 Slovní popis možných scénářů:

6.3.1 Obecný

Obecný scénář se používá v případě, kdy nelze použít magnetické pole země ani neholonomní omezení. V tomto případě může být směr pohybu pozorován, pouze pokud měřený objekt dosahuje dostatečného zrychlení (včetně dostředivého zrychlení, které vzniká při zatáčení). Pokud má objekt nulovou rychlost nebo se pohybuje konstantní rychlostí po dobu delší než je 10 sekund, dochází k pomalé degeneraci pozorování směru. Pokud během této doby nastane drift ve směru řízení, tak bude odhadnut až ve chvíli, kdy akcelerace opět vzroste.

6.3.2 Obecný bez barometru

Scénář shodný s předchozím obecným scénářem s tím rozdílem, že není využíváno barometru.

6.3.3 Letecký

Tento scénář je postaven na magnetometru, který je součástí snímače. Tento senzor přímo pozoruje magnetický sever a s přihlédnutím k deklinaci dochází k odhadu skutečného severu. Výhodou tohoto scénáře je fakt, že díky magnetickému poli země lze pozorovat směr řízení i v případě nulové či konstantní rychlosti objektu. Pozorovatelnost je samozřejmě lepší v případě, kdy se objekt pohybuje zrychleně. Lokální magnetická deklinace může být zjištěna pomocí MT manažera. Klíčovým požadavkem tohoto scénáře je tzv. „Mapa magnetických polí“. Na ní jsou uvedeny přesné polohy feromagnetických materiálů. Díky tomu může být zařízení MTi-G nakalibrováno tak, aby bylo možné odstranit vzniklé zkreslení. Pokud je MTi-G používáno v prostředí obsahujícím velké množství železných struktur ve své blízkosti, je vhodnější použití scénáře automotive nebo obecného. Menší nebo krátkodobé poruchy (míjení automobilu) mají na pozici a orientaci pouze mírný vliv.

6.3.4 Letecký bez barometru

Scénář shodný s předchozím leteckým scénářem s tím rozdílem, že není využíváno barometru.

6.3.5 Automotive

Tento scénář byl vyvinut pro vozidla, u kterých se nepředpokládá velký nebo boční strukturální skluz. Osa MTi-G snímače musí být umístěna ve směru jízdy vozidla, pokud možno s přesností do jednoho stupně. Předpokládá se, že průměrně bude tzv. „směr nad zemí“ roven směru řízení vozidla (neholonomní omezení – pohyb automobilu do stran je omezen natočením kol). Krátkodobý boční skluz (jedna až dvě sekundy) nebude mít zaznamenanatelný vliv na měřenou

kinematiku. Pokud je rychlost vozidla nižší než $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ v jakékoliv směru, není použité toto neholonomní omezení. V případě výpadku GPS je pro odhad polohy použit gyroskop. Pokud nemůže být snímač umístěn ve směru osy X, ale tento směr je znám, tak je možné použít vyrovnávací matici.

6.3.6 Automotive bez barometru

Scénář shodný s předchozím scénářem automotive s tím rozdílem, že není využíváno barometru.

6.3.7 Námořní

Námořní scénář byl vyvinut pro mořská plavidla, která dosahují významné rychlosti ve všech osách. Magnetometr je zde používán pro lepší držení směru. Pro kompenzaci vlivu magneticky tvrdých a magneticky měkkých materiálů je doporučeno použít mapu magnetických polí.

6.4 Záznam videa

Pro záznam videa lze využít běžnou digitální videokameru. V současnosti tyto videokamery zaznamenávají 25 snímků za jednu sekundu (fps). Tato snímkovací frekvence je v běžném životě dostatečná. Pro některé činnosti je ovšem nízká nebo zcela nedostatečná.

Pro kamery, které snímají vyšší frekvencí než 50 fps se používá označení vysokorychlostní zařízení. Dle kvality zaznamenaného videa existují různé typy vysokorychlostních zařízení.

6.4.1 Vysokorychlostní digitální fotoaparáty

Některé fotoaparáty umožňují vysokorychlostní záznam, který ovšem přináší ztrátu v rozlišení obrazu. Neboli nemusí být dobře rozlišitelné detaily jednotlivých snímků. Při přehrání videa v PC bez další úpravy se již automaticky přehrává video zpomaleně. Například video o délce 1 sekundy při 300 fps se přehrává v PC 10 vteřin.

Příkladem fotoaparátu, který je jedním z prvních vysokorychlostních digitálních fotoaparátů, je Casio Exilim Pro FX-1. Ten umožňuje tři základní vysokorychlostní záznamy videa (HS), které jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 30 Režimy Casio Exilim Pro FX-1

Rychlost snímání videa [fps]	Rozlišení [body]
300	512 x 384
600	432 x 192
1200	336 x 96

6.4.2 Vysokorychlostní režim u digitální kamery

Některé kamery umožňují záznam na podobném principu jako u fotoaparátů v předchozím odstavci. Větší rychlost snímání je opět na úkor rozlišení obrazu, která je v porovnání s fotoaparátem vyšší. Příkladem systému pro vysokorychlostní záznam je Smooth Slow Rec (v překladu plynulé pomalé nahrávání). Tento systém umožňuje nasnímat záznam o délce tři vteřiny, který je následně přehráván 12 vteřin snímkovou frekvencí 50 fps. Z toho plyne, že kamera zaznamenává video frekvencí 200 fps. Rozlišení takto vzniklého záznamu je 1440 x 1080 obrazových bodů.

Nevýhodou tohoto systému je omezená délka záznamu. [42], [43]

6.4.3 Vysokorychlostní průmyslové kamery

Průmyslové vysokorychlostní kamery ukládají záznamy ve snímkovacích frekvencích 75 fps a vyšších. Tato frekvence je při ukládání skutečná, na rozdíl od předchozích případů. Horní hranice se neustále vyvíjí a roste. S rostoucí frekvencí roste také i datová náročnost pro záznam. Z tohoto důvodu se používá v některých případech černobílý záznam, pokud je to možné. Pro představu o datové náročnosti lze uvést příklad s rozlišením dílčích snímků 250 x 200 bodů a frekvencí 20 000 fps, která se v současnosti běžně používá, je pro 1 sekundu nutné uložit 1 GB dat. Tedy na běžně používané záznamové médium DVD lze zapsat pouze asi 4 sekundy nekomprimovaného černobílého záznamu v reálném čase. V případě CD pouze necelou 1 sekundu záznamu.

Digitální záznam z rychlokamery umožňuje kvalitativní i kvantitativní analýzu zobrazovaného děje. Pomocí relativního času, který lze přiřadit snímkům, které byly pořízeny po sobě, lze stanovit například vektory rychlosti a zrychlení pohybujících se prvků. „Přesnost těchto veličin je ovlivněna především rozlišením (kvalitou) záznamu, dále bitovou hloubkou záznamu, metodou kvantifikace dat a kvalitou použité optické soustavy (objektivu), která je zatížena vadami zobrazení (distorze, astigmatismus apod.). Pokud jsou použité objektivy kvalitní, vady jsou zanedbatelné. Pro přesná měření se používají speciálně kalibrované objektivy. Zanedbatelnou roli hraje i správné zaostření objektivu na snímání objekt po celou dobu trvání záznamu, zejména při snímání pohybujícího se tělesa.“ [43]

Pro činnost rychlokamery je velice důležitým faktorem osvětlení snímání scény. Pro frekvence snímání v řádově desítkách tisíc snímků za sekundu je i osvětlení poledním sluncem nedostatečné a je nutné snímání scény dodatečně osvětlovat. Nejčastěji se k tomu využívají halogenová, nebo výbojková světla o příkonu několika kW. [43]

Rychlokamery jsou využívány pro záznam krátkých a rychlých dějů. Příkladem jejich využití jsou v automobilovém průmyslu nárazové zkoušky či zkoušky airbagů. Dále jsou rychlokamery používány v elektrotechnice (snímání výbojů) nebo v experimentální balistice. [43]

6.5 Metoda optické závory

Metoda optické závory se využívá ve zkušebnictví pro stanovení rychlosti. Princip činnosti této metody je založen na určení časových okamžiků projetí dvěma zvolenými body, jejichž vzdálenost je známá. Následně lze ze zjištěných dat dopočítat rychlost.

Pro účely této práce došlo k rozšíření metody optické závory, aby s její pomocí bylo možné určit střední zrychlení. Rozšířená metoda používá dvě kamery či dva fotoaparáty, které jsou umístěny ve vzdálenosti, na kterou se požaduje zjištění středního zrychlení. První má v záběru rozjezd cyklisty a druhá konec měřeného úseku. Pomocí druhé dojde na základě principu optické závory k určení rychlosti na konci úseku. První slouží k zjištění okamžiku rozjezdu cyklisty.

Cílem návrhu je možnost využití této metody i v reálném provozu, kdy není možné použití metod, uvedených v předchozí kapitole číslo 5.

6.5.1 Měřící technika

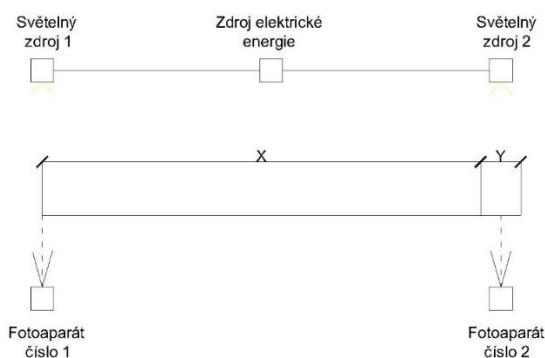
Pro účely měření jsou nutné dvě rychlokamery nebo dva vysokorychlostní fotoaparáty. V případě měření pro tuto práci byly použity dva fotoaparáty CASIO EX Z1. Ten umožňuje v režimu HS pořizovat až 1200 snímků za 1 sekundu 336 x 96 bodů. Pro měření bylo zvoleno 600 snímků za sekundu při rozlišení 432 x 192 bodů. Ostatní parametry jsou v následující tabulce číslo 31: [42], [43]

Tabulka 31 Parametry fotoaparátu [39]

Typ fotoaparátu	Digitální EVF zrcadlovka
Typ senzoru	1/1,8" CMOS
Rozlišení celkové / efektivní	6,6 MPix / 6,0 MPix
Max. rozlišení snímku	2816x2112 px
Poměr stran	16:9, 4:3, 3:2
Procesor	Casio EXILIM 2.0
Citlivost ISO	AUTO, 100, 200, 400, 800, 1600
Objektiv	
Ohnisková vzdálenost (skutečná)	7,3 - 87,6 mm
Ohnisková vzdálenost (přepočet)	36 - 432 mm
Světelnost objektivu	F2,7 - F4,6
Clona	F2,7 - F15 (široké ohnisko); F4,6 - (dlouhé ohnisko)
Zoom	Optický 12x, Digitální 4x, Kombinovaný 48x
Stabilizace	Optický stabilizátor (CMOS-shift)

6.5.2 Rozestavení měřicí techniky

Cílem této metody je zjištění zrychlení při rozjezdu cyklisty na úseku o délce X . Zrychlení je určeno na základě vypočtené rychlosti v úseku Y . Na obrázku číslo 32 je zachycen příklad uspořádání měřicí techniky pro měření metodou modifikované optické závory. Při tomto uspořádání je možné provést měření v reálném provozu ve dvou osobách. Každý z měřičů stojí u jednoho fotoaparátu. Měřič stojící u prvního fotoaparátu má bezdrátové ovládání elektrického zdroje pro dvě světla. Na vozovce se vyznačí pomocí bílé lepicí pásky začátek a konec úseku Y dle obrázku.



Obrázek 32 Schéma uspořádání měření

6.5.3 Synchronizace

Pro synchronizaci záznamů z jednotlivých fotoaparátů jsou možné dva postupy.

První předpokládá, že v zorném poli obou jednotlivých fotoaparátů je buď světelný zdroj, který mění své stavy, nebo je zde nutné použít asistenta, který v daný moment provede daný pohyb. Příkladem takového pohybu může být asistentovo tlesknutí. Při tomto způsobu měření je limitovaná vzdálenost mezi kamerami. Proto je limitován i úsek pro měření zrychlení.

Druhou možností je synchronizace pomocí dvou světel, která jsou napojena na jeden světelný zdroj. Ten je ovládán dálkově.

Pokud by to fotoaparát umožňoval, lze pro synchronizaci použít zvuk nebo externí signálový trigger. V případě měření, která vznikala v rámci této práce, tento přístup použité fotoaparáty neumožňovaly.

6.5.4 Vyhodnocení

Pro vyhodnocení lze použít volně šiřitelný software Avidemux. S jeho pomocí lze záznam měření rozdělit na jednotlivé snímky, pomocí nichž lze následně určit čas mezi zvolenými body.

Při vyhodnocení je nejdříve potřeba určit číslo snímku, kdy je patrný první dopředný pohyb cyklisty z kamery číslo jedna. Poté se ze záznamu z druhého fotoaparátu určí číslo snímku, na němž cyklistovo kolo vstoupilo do úseku Y a kdy z něho vystoupilo. Následně je potřebné určit i čísla snímků. Pomocí těchto snímků lze synchronizovat oba záznamy. Rychlost v úseku Y se určí na základě vzorce 3.2, kde dráha je předem rozměřená. Čas se dopočte z počtu snímků v úseku Y vynásobených převrácenou hodnotou frekvence snímků záznamového zařízení za sekundu. Díky této rychlosti lze na základě vztahu 3.4 určit průměrné zrychlení v úseku X. Jelikož čas od začátku pohybu do konce úseku lze opět stanovit pomocí počtu snímků.

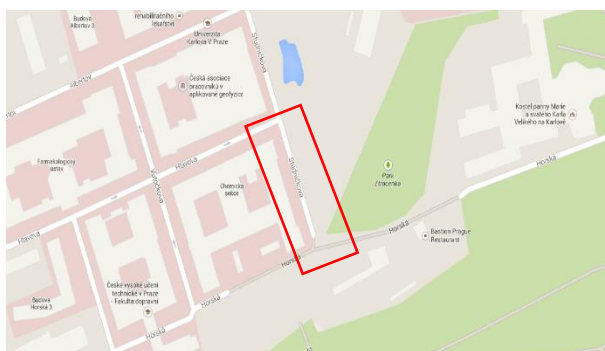
7 Experiment – Srovnávací a přípravná měření

V této kapitole jsou popsána jednotlivá přípravná měření a jejich výsledky, která předcházela hlavním experimentům. Hlavním cílem těchto přípravných měření bylo validovat optickou metodu měření pomocí akcelerometrického měření.

7.1 Měření rozjezdů cyklisty

7.1.1 Metoda optické závory

Měření probíhalo ve čtvrtek 21. 11. 2013 a v pondělí 17. 3. 2014 v Praze – Albertově v ulici Studničkova. Během prvního měření bylo zataženo, foukal vítr rychlostí $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a byly $4 \text{ }^\circ\text{C}$. Během druhého měření bylo zataženo, 12°C a foukal vítr rychlostí $7,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Obě měření probíhala na suché asfaltové vozovce. Poloha místa je vyznačena na obrázku číslo 33. Fotografie místa měření je obrázku číslo 34.



Obrázek 33 Místo měření – mapa [46]



Obrázek 34 Místo měření - fotografie

Měření bylo provedeno pomocí zařízení XSENS MTi-G, které bylo popsáno v předchozí části této práce. Nastaven byl na základě předchozích zkušeností scénář automotive a vzorkovací frekvence byla stanovena na 100 Hz.

Druhým měřicím zařízením byly digitální fotoaparáty Casio EX-F1, jejichž technické parametry jsou blíže specifikovány v tab. 30. Fotoaparáty byly umístěny na stativu. Díky tomu byla v průběhu celého měření poloha fotoaparátů neměnná, čímž byly zajištěny konstantní podmínky pro všechny snímky. Na vozovce byly vyznačeny pomocí lepicí pásky body ve vzdálenosti 50 cm. Celkem byla takto vyznačena dráha 2 metrů. Následně byl obrazový záznam zpracován pomocí volně šiřitelného softwaru Avidemux 2.5. Fotoaparáty byly nastaveny na frekvenci 600 snímků za sekundu.

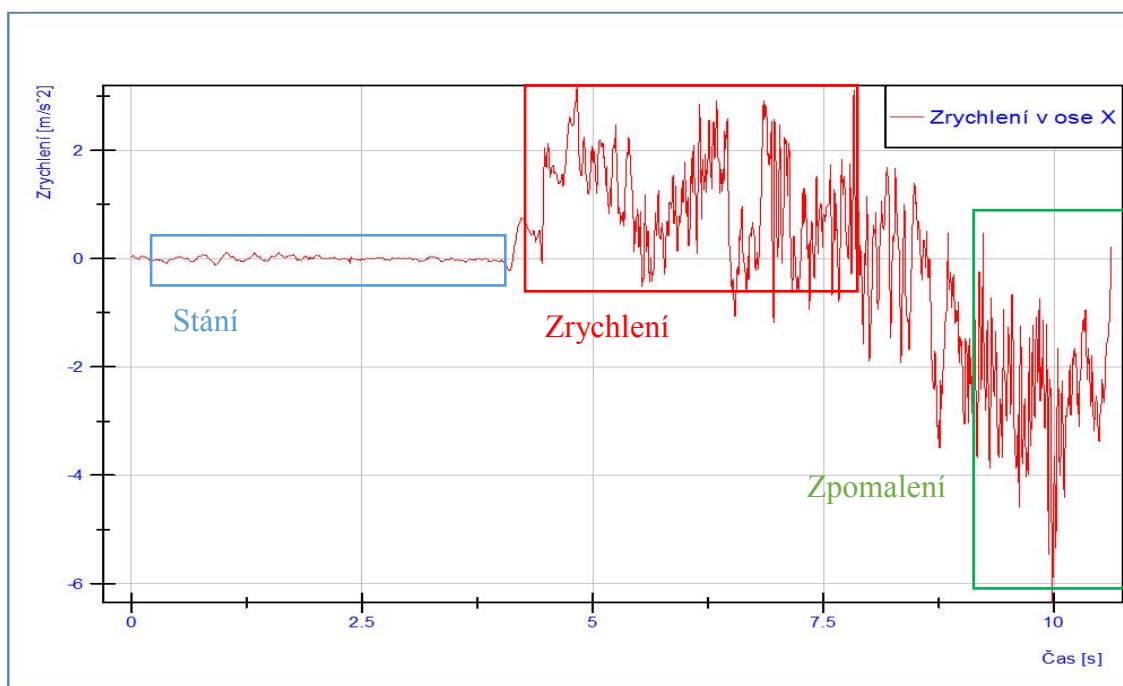
Cílem měření bylo ověřit, jakého zrychlení dosáhne cyklista na krátké vzdálenosti, zejména porovnání dvou metod měření – validace možnosti použití pouze optické metody v reálném provozu.

7.1.2 Průběh měření

Během měření bylo celkem odjeto 67 jízd na celkově čtyřech jízdnicích kolech, která byla vždy vybavena akcelerometrem MTi-G. Jezdec se během jízd také neměnil. Rozjezd byl vždy snímán i fotoaparáty Casio EX-F1.

7.1.3 Vyhodnocení dat ze snímače MTi-G

Data ze snímače MTi-G byla v podobě souborů CSV zpracována v softwaru Diadem společnosti National Instrument. Na obrázku číslo 35 je zachycen příklad průběhu zrychlení z jedné testovací jízdy. První část vyznačená modře zachycuje stání cyklisty před zkouškou. Následuje zrychlení cyklisty, které je označené červeně a zpomalení při zastavování je označeno zeleně.



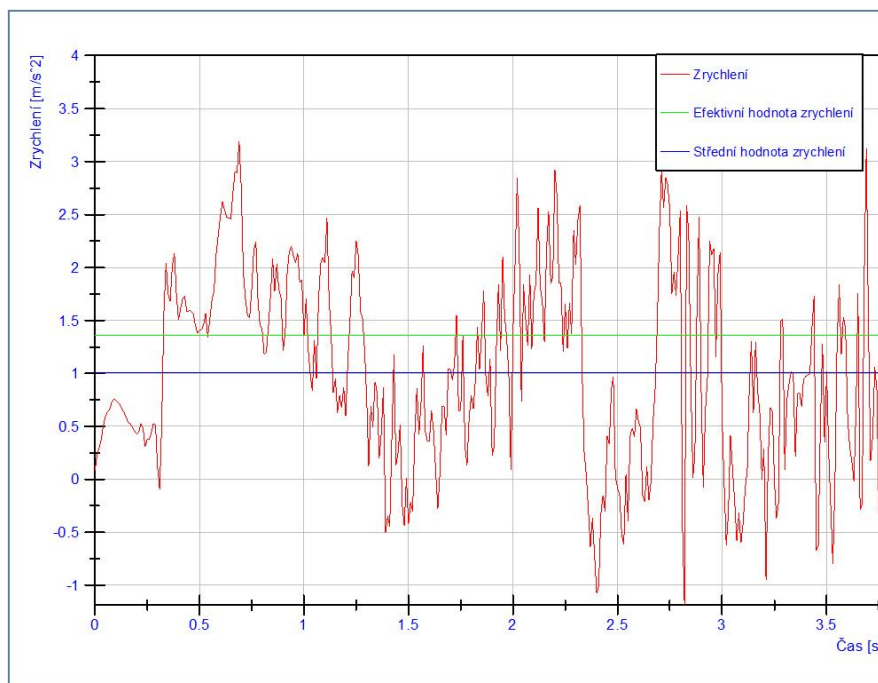
Obrázek 35 Ukázka záznamu z akcelerometru

Details zrychlení a zpomalení jsou zachyceny na obrázcích číslo 36 a 37.

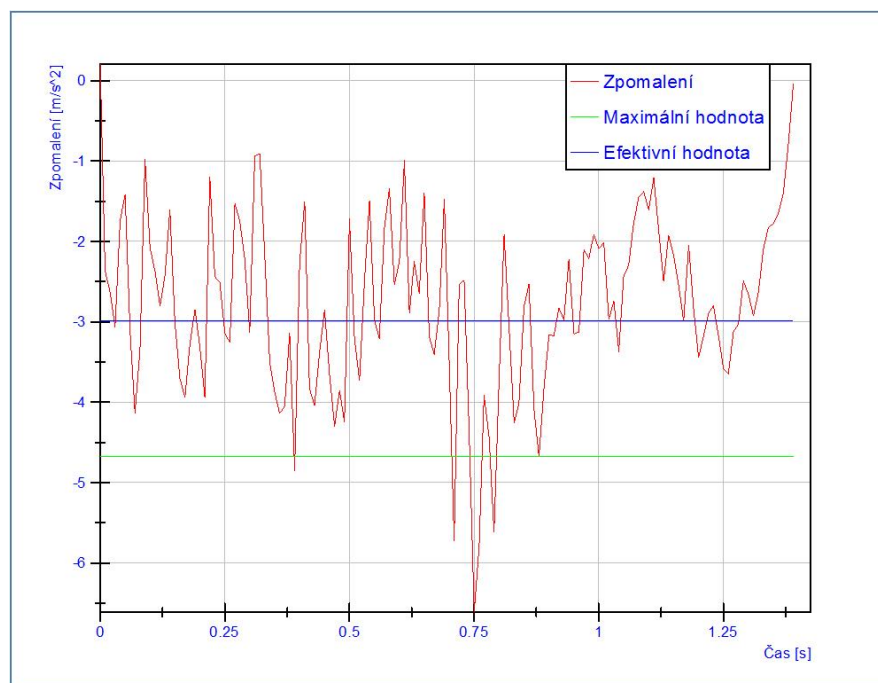
Na obrázku zrychlení číslo 36 je vyznačena efektivní a střední hodnota a na obrázku zpomalení číslo 37 je vyznačena efektivní a maximální hodnota.

Pro zrychlení je vhodnější uvádět střední hodnotu na měřeném úseku, jelikož amplitudy okamžitého zrychlení během rozjezdu cyklisty nabývají i záporných hodnot. To má vliv na efektivní hodnotu, která počítá s druhou mocninou hodnot okamžitého zrychlení.

Naopak pro zpomalení se zpravidla používá efektivní hodnota, jelikož v případě zpomalení je jasně ohraničeno, kdy hodnota okamžitého zpomalení je záporná.

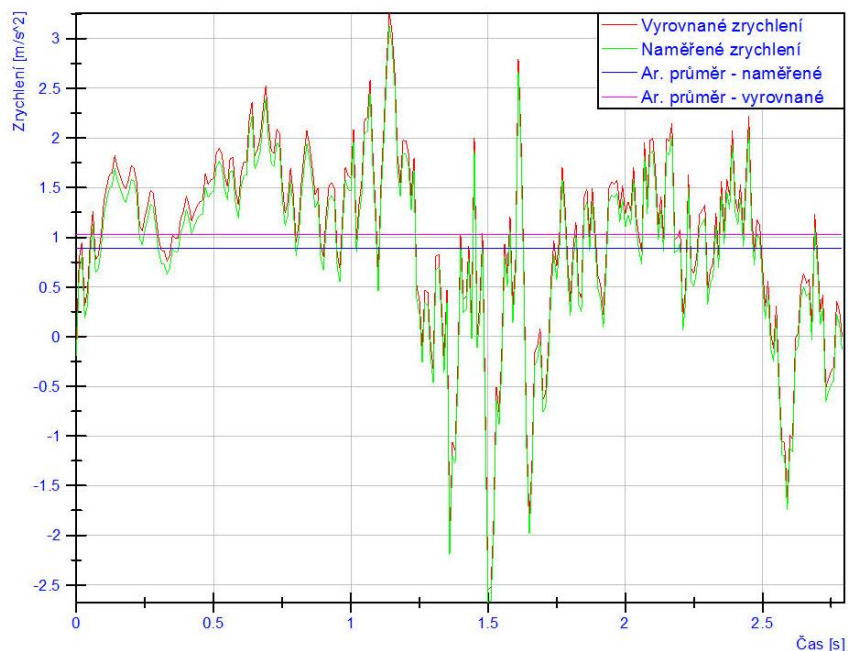


Obrázek 36 Detail zrychlení



Obrázek 37 Detail zpomalení

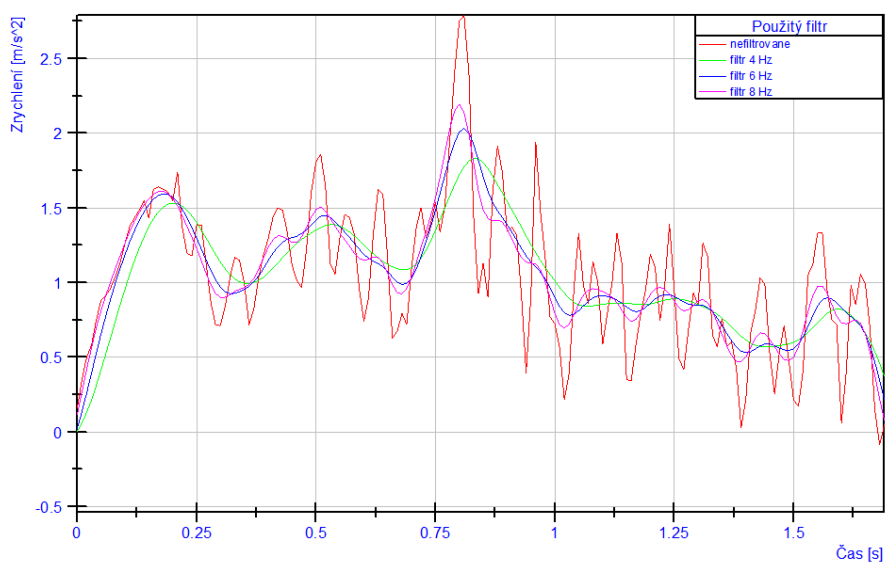
Zrychlení bylo obvykle nutné vyrovnat do nuly z důvodu úhlové nepřesnosti uložení snímače zrychlení pomocí softwaru. Příklad takového vyrovnání je patrný na následujícím obrázku:



Obrázek 38 Ukázka vyrovnaní zrychlení

Jak je patrné, vliv takového vyrovnaní může být na vypočítané průměrné hodnoty zrychlení v některých případech značný.

Dále bylo nutné data filtrovat. Konkrétně byl vždy použit digitální (číslicový) lineární filtr s nekonečnou impulzní odezvou (IIR). Z hlediska kmitočtově-fázové charakteristiky se jedná o dolní propust. Typ filtru byl Butterworth 4. řádu s opravou počátečního/koncového offsetu. Rozdílne byla zvolena limitní frekvence. Data z první jízdy ve filtrované a nefiltrované formě jsou zanesena na obrázku číslo 39.

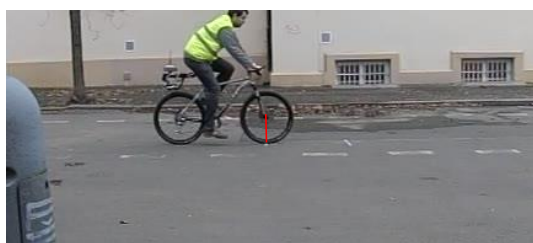


Obrázek 39 Ukázka srovnání použitých filtrů

Pro další vyhodnocení byl již vynechán filtr s limitní frekvencí 4 Hz, který odpovídal původnímu signálu nejméně a došlo u něj i k fázovému posunu, a byly používány filtry s limitní frekvencí 6 a 8 Hz.

7.1.4 Vyhodnocení dat z fotoaparátu

Pro vyhodnocení videí byl zvolen následující postup. Fotoaparát natáčel video ve Full HD kvalitě rychlostí 600 snímků za sekundu. Záznam byl následně zpracován ve volně dostupném Avidemux 2.5 v české verzi. Nejprve se rozdělil film na jednotlivé snímky a u snímku, kdy se cyklista začal pohybovat, došlo k odečtení vzdálenosti vztažného bodu na kole od prvního bodu na vozovce. Poté se vždy určil snímek, kdy je stejný bod jízdního kola nad daným bodem vozovky, jehož poloha je známá. Ze zjištěné vzdálenosti a času byla určena průměrná rychlost v úseku od startu ke každému bodu na vozovce, dále i zrychlení na stejných úsecích a poslední spočtenou veličinou bylo zjištěné zrychlení v celé vyznačené dráze. Pro názornost je naznačen postup u obrázků z prvního měření. U ostatních jízd jsou uvedeny pouze výsledky v příloze 13.9.



Obrázek 40 Průjezd kola prvním bodem



Obrázek 41 Průjezd kola druhým bodem

7.2 Závěr srovnávacích měření:

Metodika stanovená v předchozí kapitole byla ověřena a porovnána s akcelerometrem, který byl připevněn na jízdním kole během zkoušek. Celkový počet jízd v porovnávacích zkouškách byl 67. Tabulka s výsledky byla pro svou velikost přesunuta do přílohy číslo 13.9.

Při porovnání jednotlivých jízd byl rozdíl mezi optickou metodou a akcelerometrickým měřením do deseti procent. Tento rozdíl je přijatelný, ale je nutné ho brát v úvahu při vyhodnocování naměřených dat.

Rozdíl mezi metodami nemusí být dán pouze nepřesností optické metody. Během této metody je časový rozdíl mezi jednotlivými snímky menší než 2 ms. Tím pádem i vliv na hodnotu vypočteného zrychlení při změně snímku je malý. Na straně snímače má vliv zejména přesnost jeho uložení, vznikající šum a vibrace.

Na základě přípravných měření se při hlavním měření bude vyhodnocovat střední hodnota zrychlení. Ta lépe charakterizuje danou problematiku a je jí možné získat z modifikované optické závory, což lze doložit na základě těchto zkušebních měření. Střední hodnota je vhodná i z hlediska soudního znaleství. Ovšem při uvedení střední hodnoty je nutné dodat délku úseku, na které bylo měření prováděno. Případně uvést délku časového úseku, pokud bylo zrychlení měřeno v čase.

V případě měření pomocí akcelerometru lze zjistit z dat i efektivní hodnotu zrychlení. Ta není pro zrychlení cyklisty vhodná, jelikož při jeho rozjezdu okamžité zrychlení značně kolísá, nelze stanovit přesný úsek, na kterém dochází ke zrychlování a ve zvoleném úseku několika metrů tak může nabývat i záporných hodnot. Tento průběh je patrný na obrázku číslo 36 v čase 1,5 s. Dle definice efektivní hodnoty veličiny v kapitole 3 to má za následek nárůst výsledné hodnoty oproti opticky získanému zrychlení. Proto bylo přistoupeno k měření střední hodnoty zrychlení.

7.3 Měření brzdného zpomalení

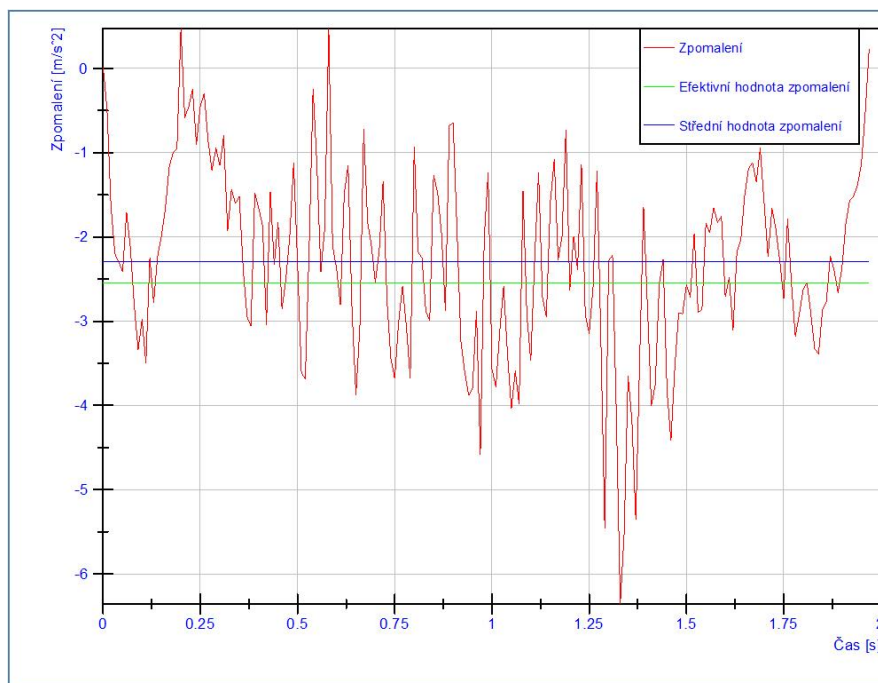
K měření zpomalení byl použit na jízdním kole snímač MTi-G, který byl popsán v předchozí části práce. Následně byla naměřená data opět vyhodnocena pomocí softwaru Diadem. Vyhodnocovala se efektivní hodnota zpomalení, kterou lze z dat výpočtem stanovit.

Pro hodnocení brzdného zpomalení není vhodná optická metoda, protože nelze zaručit, aby cyklisté v reálném provozu začali brzdit v místě umístění záznamového zařízení bez předchozí domluvy.

Přípravné měření brzdného zpomalení probíhalo dne 21. 11. 2013 v rámci měření zrychlení. Pro vyhodnocení bylo použito stejného postupu jako v případě vyhodnocení dat ze snímače MTi-G pro zrychlení.

Během přípravného měření bylo provedeno celkem 6 měření zpomalení a byla vyhodnocována střední i efektivní hodnota zpomalení. Hodnota efektivního zpomalení se pohybovala v intervalu od 2,52 do 3,73 m.s^{-2} . Aritmetický průměr z těchto měření dosáhl hodnoty 3,29 m.s^{-2} . Všechna měření probíhala na stejném jízdním kole, které bylo řízeno stejným jezdce, a na stejném povrchu. Příklad vyhodnocení brzdného zpomalení je na obrázku číslo 42. Modře je znázorněna průměrná hodnota zpomalení a zeleně je efektivní hodnota zpomalení.

Pro vyhodnocení hlavního měření bude také použita efektivní hodnota zpomalení.



Obrázek 42 Příklad vyhodnocení brzdného zpomalení

8 Příprava měření

V této kapitole jsou popsány jednotlivé experimenty, okolnosti měření a další doplňující informace.

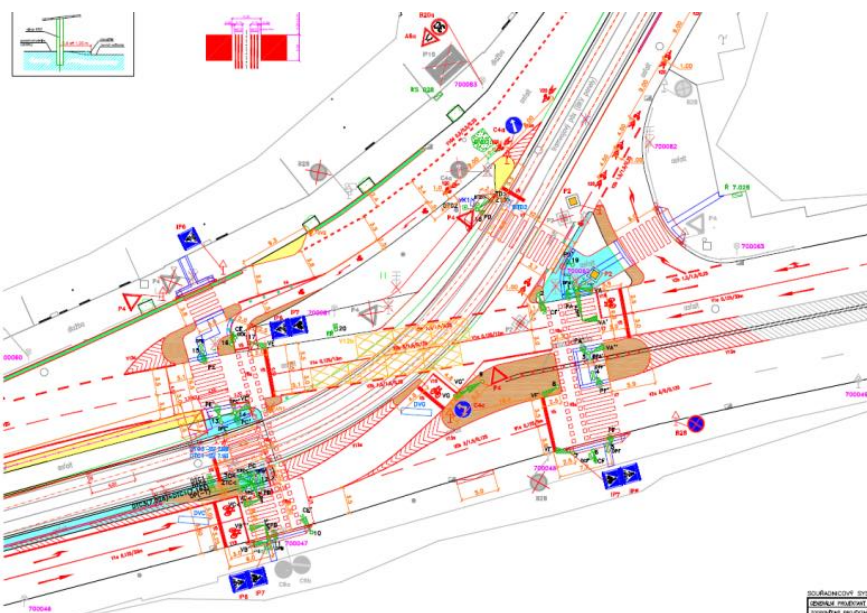
8.1 Měření zrychlení

Cílem tohoto reálného měření zrychlení je ověření metody využívající optické závory popsané dříve v reálném provozu a naměření prvních hodnot pro účely znalecké činnosti. Tím dojde k doplnění databáze znalců, která v současnosti obsahuje malé množství vzorků, a ty nepocházejí z reálného provozu a nemusí tedy odrážet reálnou situaci.

Pro měření byla vybrána křižovatka ulic Dukelských hrdinů a Nábřeží kapitána Jaroše. Tato křižovatka prošla v roce 2012 rekonstrukcí, která měla za úkol zlepšit bezpečnostní situaci v dané lokalitě. Na obrázku číslo 43 je uspořádání křižovatky před rekonstrukcí.



Obrázek 43 Situace křižovatky před rekonstrukcí



Obrázek 44 Projekt rekonstrukce Nábřeží kapitána Jaroše x Dukelských hrdinů [42]

Na dalším obrázku číslo 44 je projekt rekonstrukce této křižovatky. Po rekonstrukci meziročně vzrostl mezi roky 2011 a 2012 počet cyklistů o 175 % [42]. Samotné provedení rekonstrukce se ovšem oproti obrázku číslo 44 liší. Oproti návrhu současné provedení postrádá při odbočení vlevo z Nábřeží kapitána Jaroše do ulice Dukelských hrdinů dvakrát vodorovné značení V19 Prostor pro cyklisty a část V20 Koridor pro cyklisty.

Pro účely měření byla zvolena metodika s využitím optické závory, která byla popsána v předchozí kapitole.

Měření probíhalo dne 30. 3. 2014 od 11 do 15:30 hodin. Během měření bylo slunečné počasí, teplota 18 °C a foukal severozápadní vítr rychlostí 3 m.s⁻¹.



Obrázek 45 Fotodokumentace z měření



Obrázek 46 Fotodokumentace z měření 2

Pro měření byl zvolen přejezd pro cyklisty ve směru z Nabřeží kapitána Jaroše do ulice Dukelských hrdinů o délce 10 metrů. Rozmístění kamer je vidět z fotodokumentace měření (obrázky číslo 45 a 46).

Výsledky měření jsou zaznamenány s komentářem v následující kapitole číslo 9.1 Vyhodnocení měření zrychlení.

8.2 Měření zpomalení

Měření zpomalení jízdních kol probíhalo dne 17. 3. 2014 v Praze – Albertově v ulici Studničkova, jejíž poloha je označena na obrázku číslo 36. Během zkoušek bylo zataženo, foukal jihozápadní vítr rychlostí 28 km.h⁻¹ a bylo 11°C. Měření probíhalo na suché asfaltové vozovce.

Během experimentu bylo testováno celkem pět jízdních kol. Specifikace jednotlivých jízdních kol je v příloze číslo 13.3-13.7 a specifikace jednotlivých zkoušek je v matici zkoušek, která je přílohou číslo 13.2 této práce. Během všech jízd jel na jízdním kole jeden jezdec, který na jízdním kole jezdí pravidelně s průměrným ročním nájezdem 4000 km za rok.

Výběr testovaných kol byl proveden s ohledem na současnou skladbu jízdnicích kol v ČR. Bohužel, oficiální statistika jízdnicích kol, která jsou v provozu, na rozdíl od skladby vozového parku, neexistuje. Proto byl výběr proveden na základě výsledků studentské semestrální práce z předmětu Úvod do nehod v dopravě, který je součástí povinných předmětů prvního ročníku bakalářského studia. Studenti museli vyplnit v dokumentu ve formátu .xlsx údaje o jízdnicím kole a jeho fotografii. Z těchto výsledků vyplynulo, že nejčastěji je zastoupeno kolo horské s 59,4 %, následuje krosové jízdnicí kolo s 26,2 %, které je ovšem nyní v počtu prodaných nových jízdnicích kol již před horským kolem. Třetí, s 11,7 % skončilo kolo silniční. Proto byly do výběru zařazeny tyto typy jízdnicích kol.

Kolo bylo vybaveno snímačem MTi-G, který mimo jiné snímá zrychlení. Ten byl umístěn na nosiči nad zadním kolem. Zde se také nacházel počítač, který zaznamenával data během testu. Příklad umístění snímačů během testu je na obrázku číslo 47. Červeně je označen GPS přijímač a žlutě MTi-G snímač.



Obrázek 47 Umístění snímačů

Jízdnicí kola nebyla nijak speciálně upravována, kromě umístění snímačů a nosiče s počítačem nad zadním kolem.

Výsledky měření jsou zaznamenány s komentářem v následující kapitole číslo 9.2.

9 Vyhodnocení měření

V této kapitole jsou výsledky měření, která se prováděla v rámci realizace této práce. Konkrétně se jedná o vyhodnocení měření zrychlení v reálném provozu a měření zpomalení na různých typech jízdních kol.

9.1 Vyhodnocení měření zrychlení

Data získaná z měření z křižovatky ulic Dukelských hrdinů a Nábřeží kapitána Jaroše jsou zaznamenána pro svou velikost v příloze číslo 13.8 Výsledky měření zrychlení. Měření probíhalo na vzdálenosti 10 metrů. Tato příloha již neobsahuje data o cyklistech, kteří na přechodu nezastavili, a nebylo možné zachytit jejich rozjezd pomocí obou kamer.

Tabulka 32 Výsledky měření zrychlení

Sledovaný parametr	Počet kol ve vzorku	Průměrné zrychlení [m.s ⁻²]
Horské	30	0,66
Krosové	10	0,55
Městské	3	0,71
Silniční	2	0,88
Skládací	1	0,48
Sjezdové	1	0,95
kolo s odpružením	30	0,64
kolo s pevnou vidlicí	17	0,67
muži	29	0,73
Ženy	10	0,59
chlapci	3	0,56
Dívky	1	0,57

Tabulka číslo 32 obsahuje již jednotlivá porovnávaná kritéria. Prvním kritériem bylo porovnání dle typu jízdního kola. Nejvyšších hodnot zrychlení zde dosáhli jezdci na sjezdovém a silničním jízdním kole, konkrétně 1 m.s⁻² a 0,9 m.s⁻². Bohužel u těchto typů jízdních kol byl počet vzorků nízký. Pro horské jízdní kolo, které se vyskytovalo nejčastěji, je průměrná hodnota zrychlení rovna 0,7 m.s⁻².

Při porovnání odpruženého a neodpruženého jízdního kola vychází průměrné hodnoty zrychlení podobně. Rozdíl je 0,03 m.s⁻².

Zajímavé je srovnání jezdců dle pohlaví, kdy nejvyšších hodnot dosahovali muži starší 18 let. Ti dosáhli v průměrném zrychlení hodnotu, která přesáhla 0,7 m.s⁻², zatímco ženy a děti nedosáhly ani hodnoty průměrného zrychlení 0,6 m.s⁻².

Během měření projelo sledovaným přejezdem pro cyklisty celkem 58 cyklistů. Z nich mělo pouze 33 cyklistickou přilbu. Z hlediska skladby jízdních kol bylo nejčastějším typem jízdní kolo horské, celkově v 38 případech. Krosové kolo mělo 13 účastníků měření. Silniční kolo měli dva a městské tři jezdci. Dále po jednom kole byla zastoupena sjezdová a skládací kola. Při porovnání jezdců dle pohlaví vychází, že projelo 72 % mužů nad 18 let, 21 % žen nad 18 let, 5 % chlapců a 2 % dívek. Sledovaným úsekem projelo 10 cyklistů na červenou fázi a všichni byli muži. Tedy více než 17 % cyklistů.

Vzhledem ke stavebním úpravám dané křižovatky v posledních letech bylo také sledováno, kolik cyklistů ve směru z centra do ulice Jugoslávských partyzánů nevyužije nově zbudované jednosměrné přejezdy pro cyklisty, ale projede křižovatku mezi automobily. Během měření takto projelo 32 cyklistů, z toho 2 na červenou fázi a jeden cyklista jel po tramvajovém pásu. Dále celkem 39 cyklistů použilo sice přejezd pro cyklisty, ale v opačném směru než byl navržen. Z těchto cyklistů projelo 6 na červenou fázi.

Celkově projelo 18 cyklistů během sledovaného období na červenou fázi.

Během měření také jeli celkem tři cyklisté se sluchátky s hudbou v obou uších. To lze z hlediska bezpečnosti silničního provozu považovat také za nezodpovědné a nebezpečné.

9.2 Vyhodnocení měření zpomalení

Tabulka číslo 33 obsahuje výsledky z měření brzdného zpomalení u celkem 86 měřených zkoušek konaných dne 17. 3. 2014, které bylo popsáno v předchozí kapitole.

Celkem bylo testováno 5 jízdních kol různých kategorií. Na každém jízdním kole byla nejprve testována přední brzda, následně zadní brzda a na závěr obě brzdy současně. Z důvodu statisticky věrohodnosti byla každá zkouška opakovaná pětkrát až šestkrát a z výsledných hodnot byl poté počítán průměr. Každé jízdní kolo tedy absolvovalo minimálně 15 zkušebních jízd. Jízdní kolo značky Kelly's absolvovalo 20 zkušebních jízd, protože se u něj pro obě brzdy srovnával vliv zapnutého a vypnutého předního odpružení.

Z hlediska efektivního zpomalení, které se používá ve znalecké praxi, dosáhly nejlepšího výsledku hydraulické kotoučové brzdy na celoodpruženém jízdním kole Specialized, které bylo po odborném servise. Naopak nejhorších hodnot dosahovalo silniční kolo Trek a horské kolo Superior. Tato jízdní kola prochází neodborným servisem. V případě kola Trek byl poslední servis proveden 6 měsíců před měřením.

Při porovnání výsledků z přední, zadní a obou brzd lze prohlásit, že při měření se potvrdil předpoklad, že největší zpomalení lze vyvinout pomocí obou brzd. Kromě silničního kola, měla

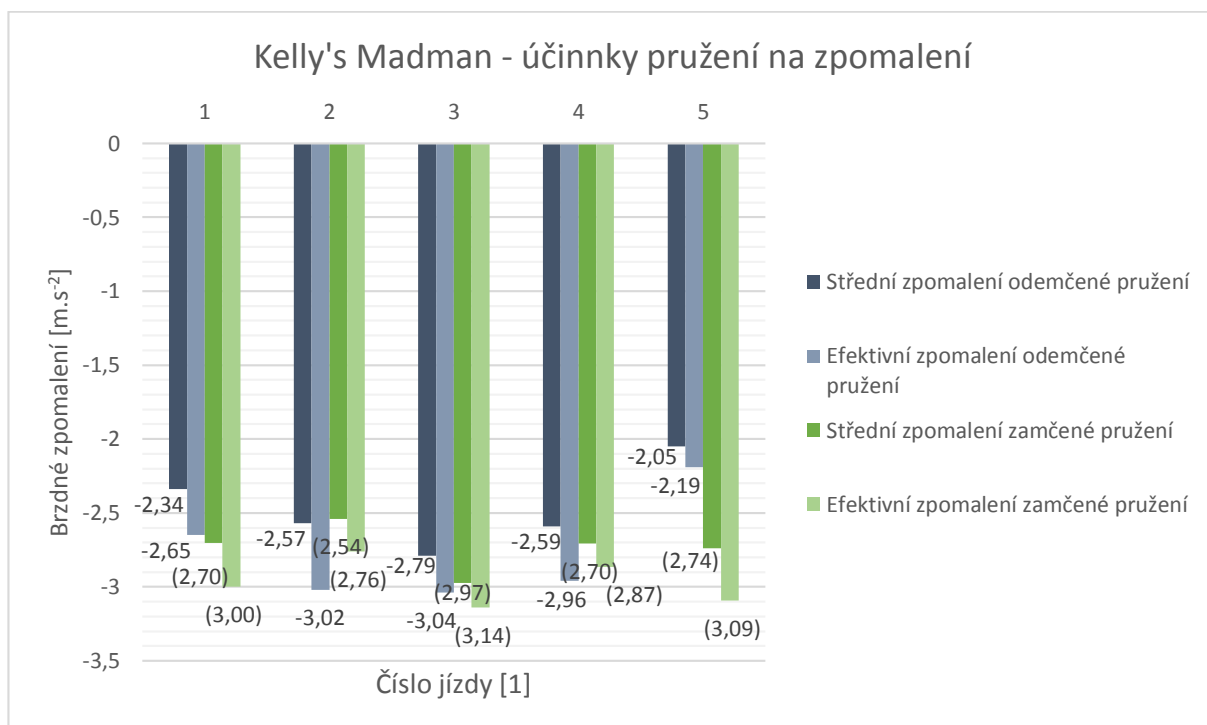
všechna jízdní kola účinněji nastavené přední brzdy než zadní brzdy, což také odpovídá očekávání před testováním.

Pokud se porovnají výsledky z hlediska typu brzd, dosahovaly vyšších hodnot brzdy kotoučové oproti rámovým brzdám, mezi které patří brzdy typu V a čelist'ové brzdy.

Během měření dosahovalo průměrné efektivní hodnoty nejnižší hodnoty brzdění zadní brzdou kola Superior s hodnotou $-1,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ a nejvyšší opět jízdní kolo značky Specialized s hodnotou $4,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Z hlediska vlivu rychlosti jízdy cyklisty před začátkem brzdného manévru lze konstatovat, že tento vliv není významný. Během všech testů se rychlost pohybovala mezi $9,1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do $16,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Při porovnání dosažených hodnot brzdného zpomalení s tabulkou číslo 9, která obsahuje hodnoty minimálního brzdného zpomalení stanovené německou legislativou, zjistíme, že této normě by vyhovělo pouze testovací kolo Specialized, které bylo den před konáním testování odborně seřízeno na váhu a výšku testovacího jezdce.



Obrázek 48 Porovnání zamčené a nezamčené pružení

Na obrázku číslo 48 je graf dosažených hodnot brzdného zpomalení pro jízdního kola Kelly's pro různé nastavení přední vidlice. Modré barvy jsou pro odemčené pružení a zelené pro zamčené. Jak je patrné, tak v případě zamčené vidlice bylo dosaženo vyšších hodnot brzdného zpomalení v průměru o deset procent.

9 Vyhodnocení měření

Tabulka 33 Naměřené hodnoty brzdného zpomalení

Název jízdního kola	Typ kola	Typ brzd	Odpružení	Povrch	Použitá brzda	Odpružení	Průměrné efektivní zpomalení [m.s ⁻²]
Kelly's skládané uživatelem	Horské celoodpružené	Kotoučové hydraulické	Ano zamykatelné	Suchý asfalt	Obě	Zamčené	-2,97
					Přední	Odemčené	-2,43
					Zadní		-2,04
					Obě		-2,77
Specialized STUMPJUMPER FSR	Horské	Kotoučové hydraulické	Ano zamykatelné	Suchý asfalt	Přední	Odemčené	-4,37
					Zadní		-2,95
					Obě		-4,69
Superior XC870	Horské	V-brzdy	Ano nezamykatelné	Suchý asfalt	Přední	-	-2,08
					Zadní	-	-1,73
					Obě	-	-3,25
Pell's Crono ProL	Krosově	V-brzdy	Ano zamykatelné	Suchý asfalt	Přední	Odemčené	-2,36
					Zadní		-2,19
					Obě		-2,77
Trek 1200 SL	Silniční	Čelistové	Ne	Suchý asfalt	Přední	-	-1,93
					Zadní	-	-1,99
					Obě	-	-2,54
Celkový počet zkoušek							80

10 Závěr

Tato diplomová práce s názvem Analýza rozjezdu a zastavení cyklisty se v první části věnovala teoretickému základu, který obsahuje jednotlivé typy jízdních kol a jejich stavbu. Následně byla rozebrána statistika nehodovosti s důrazem na nehody s cyklisty v ČR a EU. Další kapitoly této práce se zabývaly zrychlením a zpomalením cyklisty. Byly zde stanoveny základní vlivy, které tyto dva děje ovlivňují. Kapitola číslo pět shrnuje doposud realizované měření zrychlení a zpomalení cyklistů v ČR i EU a postupy těchto měření.

V praktické části této práce byla stanovena metodika, která umožňuje měření středního zrychlení cyklistů v reálném provozu. Ti nejsou předem informováni o tom, na co je výzkum zaměřen a nejsou tím nijak ovlivněni. Taková měření se v doposud dle rešerše v kapitole číslo pět v ČR nerealizovala. Metodika byla validována na 68 jízdních zkouškách s přijatelnou odchylkou středního zrychlení zjištěného optickou metodou do deseti procent od hodnoty zjištěné akcelerometrem.

V rámci ověření použitelnosti v provozu bylo provedeno v dubnu 2014 i měření v terénu, během něhož bylo zaznamenáno zrychlení celkem u 47 cyklistů. Během měření byly pozorovány i nesprávné návyky cyklistů nejen ve sledovaném směru.

Tato metodika může být v budoucnu použita pro sběr většího množství dat. Tím lze vhodně doplnit databázi pro znaleckou praxi, která má v současnosti malé množství údajů pocházejících z experimentální činnosti. Po několika drobnějších úpravách je možné ji učinit více automatickou.

Navrženou metodiku lze modifikovat také dle požadavků znalce pro stanovení středního zrychlení na jiné délce dráhy než 10 metrů, která byla použita v této práci. Následně lze také rozšířit zaměření experimentu například o doby strávené v křižovatce, reakční dobu cyklistů či zjišťování povinné výbavy jízdního kola.

Druhá část praktické části se zaměřila na brzdné zpomalení jednotlivých typů jízdních kol. Během tohoto experimentu bylo testováno 5 jízdních kol, se kterými bylo celkově odjeto 86 zkoušek. Při těchto zkouškách byly porovnávány hodnoty efektivního zpomalení s přední, zadní a oběma brzdami na každém kole. Dále byla jednotlivá jízdní kola porovnána mezi sebou. Během těchto jízd se především prokázal vliv seřízení brzd a čas od posledního servisu, což vede k myšlence zavedení limitů na minimální brzdné zpomalení jízdního kola a jeho povinný odborný servis. Také se potvrdilo, že vliv rychlosti na samotnou hodnotu brzdného zpomalení je v tomto případě téměř zanedbatelný.

11 Seznam použitých pramenů

1. **Filler, František.**: *Sčítače 2012: Boom uvadá, potřebujeme řešit křižovatky*. [on-line]. [Citace: 4. 12. 2013]. Dostupné z WWW: <<http://prahounakole.cz/2012/10/scitace-2012-boom-uvada-potrebujeme-resit-krizovatky>>
2. **The Gallup organisation.**: *Future of transport: Analytical report*. [on-line]. [Citace: 4. 12. 2013]. Dostupné z WWW: <http://ec.europa.eu/public_opinion/flash/fl_312_en.pdf>
3. **Jelínek, Martin.**: *Návrh rámu horského kola a jeho deformační analýza pomocí metody MKP*. Brno: VUT 2008. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování
4. **pedalinghistory.com.**: *A Quick History of Bicycles*. [on-line]. [Citace: 22. 01. 2014]. Dostupné z WWW: <http://www.pedalinghistory.com/PHhistory.html>
5. **bike-eshop.cz.**: *Průvodce rozdělení kol*. [on-line]. [Citace: 22. 01. 2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.bike-eshop.cz/pruvodce-rozdeleni-kol>>
6. **Sidwells, Chris; Bedřich Kareis.**: *Velká kniha o cyklistice*. Vyd. 1. Praha: Slovart, 2004, 240 s. Polytechnická knižnice. ISBN 80-720-9585-4.
7. **Boháč, Jaroslav; Bedřich Kareis.**: *Jízdní kolo*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989, 157 s. Polytechnická knižnice. ISBN 80-030-0070-X.
8. **Novák, Jaroslav.**: *Malá lekce (kovového) Materialismu*. Velo. 2010, XIII, 3, s. 32-40. ISSN 1213-113X.
9. **Milson, Fred; Bedřich Kareis.**: *Bike manuál: vše, co potřebujete vědět o svém kole*. 1. vyd. Překlad Tomáš Vítek. Praha: Grada, 2008, 185 s. Polytechnická knižnice. ISBN 978-802-4722-146.
10. **campagnolo-sirer.cz.**: *Návod k použití brzd Campagnolo*. [on-line]. [Citace: 22. 01. 2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.campagnolo-sirer.cz/servis/navody-k-pouziti>>
11. **sram.com.**: *DoubleTap*. [on-line]. [Citace: 22. 01. 2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.sram.com/sram/road/technologies/doubletap>>
12. **SWOV.**: *Road fatalities*. [on-line]. [Citace: 22. 01. 2014]. Dostupné z WWW: <<http://ares.swov.nl/ibmcognos/cgi-bin/cognosisapi.dll>>
13. **Cyklostrategie.**: *Nehodovost*. [on-line]. [Citace: 22. 01. 2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.cyklostrategie.cz/file/strategie-info-statistiky-nehodovost-bezpecnost-cyklisticke-dopravy-v-cr-prezentace/>>
14. **Ředitelství služby dopravní policie Policejního prezidia ČR.**
15. **Bulharské statistiky nehodovosti**. [on-line]. [Citace: 22. 03. 2014]. Dostupné z WWW: <<http://dokkpbdp.mvr.bg/default.htm>>
16. **Estonské statistiky nehodovosti**. [on-line]. [Citace: 22. 03. 2014]. Dostupné z WWW: <<http://m.mnt.ee/?menu=1&lang=en?menu=1&lang=en>>
17. **Švédské statistiky nehodovosti**. [on-line]. [Citace: 22. 03. 2014]. Dostupné z WWW: <<https://www.transportstyrelsen.se/sv/Press/Statistik/Vag/Olycksstatistik>>
18. **Martínek, Jaroslav.**: *Prezentace – Bezpečnost cyklistické dopravy*. konference Bezpečná dopravní infrastruktura 2011, [on-line]. [Citace: 22. 03. 2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.cyklodoprava.cz/bezpecnost/clanky-o-bezpecnosti-cyklistu>>
19. **Ministerstvo dopravy.**: *Národní strategie bezpečnosti silničního provozu 2011-2020*. [on-line]. [cit. 2011-12-4]. Dostupné z WWW: <<http://www.ibesip.cz/cz/ibesip/strategie-dokumenty/narodni-strategie-bezpecnosti-silnicniho-provozu/nsbssp-2011-2020>>
20. **Cibula, Karel.**: *Mechanika jízdního kola*. Praha: VYDAVATELSTVÍ ČVUT, Praha 2004. ISBN 80-01-03016-4.
21. **Hugemann, Wolfgang, et al.**: *Unfallrekonstruktion*. Vyd. 1. Darmstadt: Schönbach Druck, 2007. 1254 s. ISBN 3-00-019419-3.

22. **Kasanický, Gustav.**: *Analýza nehôd jednotopových vozidiel*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2000. 448 s. ISBN 80-7100-598-3.
23. **Tesař, Jan.** Analýza rozjezdu cyklistů. Úvaly, 2001. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně. Ústav soudního inženýrství.
24. **Nantl, Bohumil.** Analýza rozjezdu cyklistů. Úvaly, 2002. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství.
25. **Prčík, Stanislav.** Vybraná měření pohybu jízdních kol – brzdění a jízda v oblouku. Brno, 2011. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství.
26. **Valentová, Hana.**: Analýza rychlosti cyklistů ve věkové kategorii 10 až 15 let. Brno, 2012. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství.
27. **Forman, Jiří.**: Brzdění jízdních kol. Brno, 2003. Absolventská práce. Vysoké učení technické, Ústav soudního inženýrství.
28. **Beck, R.F.**: Mountain Bicycle Acceleration and Braking Factors . In Proceedings of the Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference XIV [on-line]. Ottawa [Citace: 5. 01. 2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.beckforensics.com/CMRSC14BeckBicycle.pdf>>
29. **Morton, Tom; Clayton, Alan.**: *Cycle speed*, Výzkum Velká Británie. [on-line]. [Citace: 5. 01. 2014]. Dostupné z WWW:<<http://collisionanalysis.co.uk/download/cyclerrates.htm.html>>
30. **Ševeček, Jan.** *Porovnání kompozitních a tradičních materiálů používaných v cyklistickém průmyslu*. Brno: VUT 2011. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojního inženýrství, Ústav materiálových věd a inženýrství <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41420>
31. **Ústav soudního znaleství v dopravě.**: *Závěrečná zpráva 2011 - dětský cyklista*. [on-line]. [Citace: 5. 01. 2014]. Dostupné z WWW: <http://k622.fd.cvut.cz/downloads/11_00854_cyklista.pdf>
32. **Šmak, Petr.**: *Návrh rámu HPV*. Brno: VUT 2008. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilového a dopravního inženýrství
33. **Ministerstvo dopravy.**: *Cyklisté*. [on-line]. [Citace: 15. 02. 2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.ibesip.cz/Cykliste>>
34. **Krejjsa, Ivan.**: *Problematika nehod s účastí cyklistů*. Soudní inženýrství č. 5/6, 1997, ročník 8. Str. 28-30.
35. **XSENS TECHNOLOGIES B.V.** :*MTi-G User Manual and Technical Documentation*. XSENS, 2009.
36. **Ripka, Pavel a kol.** *Senzory a převodníky*, Praha 2005. Nakladatelství ČVUT v Praze
37. **Husák, Miroslav.**: *Podklady k přednášce Akcelerometry*. Praha 2009. Nakladatelství ČVUT v Praze
38. **Vojáček, Antonín.**: Jak pracují nové 3D MEMS akcelerometry Freescale ? | HW.cz. *HW.cz | Vše o elektronice a programování*. [Online] 30. 04. 2007. [Citace: 5. 01. 2014.] Dostupné z WWW: <<http://hw.cz/Produkty/Nove-soucastky/ART1875-Jak-pracuji-nove-3D-MEMS-akcelerometry-Freescale-.html>>.
39. **Svatý, Zdeněk.**: *Využití fotogrammetrie pro znaleckou praxi*. Praha, 2012. Bakalářská práce. České Vysoké Učení Technické v Praze. Vedoucí práce: Tomáš Mičunek
40. **SENSR**: *Practical guide to Accelerometer*. SENSR, [Online] [Citace: 5. 01. 2014] Dostupné z WWW: <<http://www.sensr.com/pdf/practical-guide-to-accelerometers.pdf>>
41. **Filler, Vratislav.**: Automat zahájil sbírku na pomník Janu Bouchalovi a dalším obětem [on-line]. [Citace: 5. 01. 2014]. Dostupné z WWW: <<http://prahouna-kole.cz/2013/01/automat-zahajil-sbirku-na-pomnik-janu-bouchalovi-a-dalsim-obetem-nehod/>>

42. **Dartfish.:** *Hi-Speed-Vysokorychlostní kamery*. [Online] [Citace: 12. 03.2014.]. Dostupné z WWW: <<http://www.videoanalyza.cz/vysokorychlostni-kamery>>
43. **Komenda, Jan.; Novák Miroslav.:** *Co je to rychlokamera?*. [Online] [Citace: 12. 03.2014.]. Dostupné z WWW: <<http://www.rucevzhuru.cz/index.php/component/content/article/53-rychlokamery/133-kamery.html>>
44. **Dovalil, J. a kolektiv.:** *Výkon a trénink ve sportu 1. vyd.*, Praha: Olympia, 2002. ISBN 80-7033-760-5.
45. **Šachl, J. a kol.:** *Analýza nehod v silničním provozu*. Praha, 2010. Vydavatelství ČVUT v Praze. ISBN 978-80-01-09638-8
46. **Seznam.:** *Mapový podklad Mapy.cz*. [Online] [Citace: 10. 04.2014.]. Dostupné z WWW: <<http://www.mapy.cz>>
47. **Šachl, Jindřich (st.); Šachl, Jindřich (ml.).:** *Adheze pneumatik v analýze silničních nehod.*, pdf., Praha, 2008. ČVUT v Praze.
48. **Plánková, Denisa.:** *Charakteristika řidiče, chodce a vozidla*, Prezentace ze cvičení předmětu TEPR. Praha, 2013. ČVUT v Praze.
49. **Novotný, Miroslav.:** *Rozdělení jízdních kol pro potřeby technického zručnosti*. Praha, 2012. Bakalářská práce. České Vysoké Učení Technické v Praze. Vedoucí práce: Tomáš Mičunek

12 Seznam obrázků a tabulek

12.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 Jízdní kolo jako hlavní dopravní prostředek ve státech EU [2]	13
Obrázek 2 Odražedlo barona von Draise [4]	16
Obrázek 3 Velociped [4]	17
Obrázek 4 Kolo vysoké konstrukce od J. Starley [4]	17
Obrázek 5 Kolo nízké konstrukce [4]	18
Obrázek 6 Příklad horského kola	19
Obrázek 7 Příklad krosového kola	19
Obrázek 8 Příklad trekového kola	19
Obrázek 9 Příklad silničního kola	20
Obrázek 10 Příklad městského kola	20
Obrázek 11 Příklad kola BMX	21
Obrázek 12 Příklad cyklokrosového kola	21
Obrázek 13 Části jízdního kola	22
Obrázek 14 Popis rámu jízdního kola	23
Obrázek 15 Řazení Shimano STI [6]	29
Obrázek 16 Řazení Campagnolo Ergopower [10]	29
Obrázek 17 Řazení SRAM Doubletap [11]	29
Obrázek 18 Nehody cyklistů v ČR [14]	32
Obrázek 19 Závislost počtu usmrcených cyklistů na ujeté vzdálenosti [18]	36
Obrázek 20 Poměr rizika smrtelné nehody [18]	36
Obrázek 21 Přední kolo a vidlice [20]	41
Obrázek 22 Proměnnost působení síly na obvodu zadního kola [20]	41
Obrázek 23 Brzdy typu Cantilever	46
Obrázek 24 Brzdy typu V	46
Obrázek 25 Excentrická brzda	47
Obrázek 26 Mechanická kotoučová brzda	48
Obrázek 27 Hydraulická kotoučová brzda	48
Obrázek 28 Stavba kola	50
Obrázek 29 Odpružené vidlice	51
Obrázek 30 Základní princip kapacitního akcelerometru	65
Obrázek 31 Architektura zařízení MTi-G	67

12 Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 32 Schéma uspořádání měření	73
Obrázek 33 Místo měření – mapa [46].....	75
Obrázek 34 Místo měření - fotografie	75
Obrázek 35 Ukázka záznamu z akcelerometru	76
Obrázek 36 Detail zrychlení.....	77
Obrázek 37 Detail zpomalení	77
Obrázek 38 Ukázka vyrovnání zrychlení	78
Obrázek 39 Ukázka srovnání použitých filtrů.....	78
Obrázek 40 Průjezd kola prvním bodem.....	79
Obrázek 41 Průjezd kola druhým bodem.....	79
Obrázek 42 Příklad vyhodnocení brzdného zpomalení.....	81
Obrázek 43 Situace křižovatky před rekonstrukcí	82
Obrázek 44 Projekt rekonstrukce Nábřeží kapitána Jaroše x Dukelských hrdinů [42].....	82
Obrázek 45 Fotodokumentace z měření	83
Obrázek 46 Fotodokumentace z měření 2	83
Obrázek 47 Umístění snímačů	84
Obrázek 48 Porovnání zamčené a nezamčené pružiny	87

12.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Následky dopravních nehod v ČR [14]	30
Tabulka 2 Následky dopravních nehod EU [12]	31
Tabulka 3 Viník dopravní nehody [14]	32
Tabulka 4 Následky nehod pro dětské cyklisty [14]	32
Tabulka 5 Viníci dopravních nehod pod vlivem alkoholu [14]	33
Tabulka 6 Počty usmrcených cyklistů EU [12-17]	34
Tabulka 7 Porovnání počtu usmrcených cyklistů [12].....	35
Tabulka 8 Součinitel adheze [47].....	44
Tabulka 9 Německá norma DIN pro účinnost brzd [25].....	48
Tabulka 10 Zjištěné hodnoty kategorie 8 - 12 let [23].....	55
Tabulka 11 Zjištěné hodnoty kategorie do 60 let [23]	55
Tabulka 12 Zjištěné hodnoty kategorie nad 60 let [23].....	56
Tabulka 13 Zjištěné hodnoty kategorie trénování a závodní cyklisté [23]	56
Tabulka 14 Zjištěné hodnoty kategorie 6 - 14 let [24].....	56
Tabulka 15 Zjištěné hodnoty kategorie 15-25 let [24]	56

12 Seznam obrázků a tabulek

Tabulka 16 Zjištěné hodnoty kategorie 26 -50 let [24]	57
Tabulka 17 Zjištěné hodnoty kategorie 66 a více let [24]	57
Tabulka 18 Normální a maximální zrychlení děti [29]	58
Tabulka 19 Normální zrychlení dospělí [29]	58
Tabulka 20 Zpomalení dětského kola [22]	59
Tabulka 21 Zpomalení dámského kola [22]	59
Tabulka 22 Zpomalení pánského kola [22]	59
Tabulka 23 Zpomalení sportovního kola [22]	59
Tabulka 24 Zpomalení různých typů jízdních kol ÚSI v Žilině [22]	60
Tabulka 25 Zpomalení různých typů jízdních kol Prčík [25]	61
Tabulka 26 Zpomalení dětských cyklistů [26]	62
Tabulka 27 Naměřené zpomalení Beck [28]	63
Tabulka 28 Základní parametry MTi-G [35]	67
Tabulka 29 Scénáře a použité senzory	68
Tabulka 30 Režimy Casio Exilim Pro FX-1	70
Tabulka 31 Parametry fotoaparátu [39]	73
Tabulka 32 Výsledky měření zrychlení	85
Tabulka 33 Naměřené hodnoty brzdného zpomalení	88

13 Seznam příloh

13.1	Nehody cyklistů ve státech EU v letech 2000 – 2012 [12-17].....	97
13.2	Matice zkoušek brzd	98
13.3	Silniční kolo	99
13.4	Horské kolo – celoodpružené.....	100
13.5	Horské kolo – kotoučové brzdy	101
13.6	Horské kolo – V – brzdy	102
13.7	Krosové kolo	103
13.8	Výsledky měření zrychlení	104
13.9	Výsledky přípravného měření zrychlení	105

13.1 Nehody cyklistů ve státech EU v letech 2000 – 2012 [12-17]

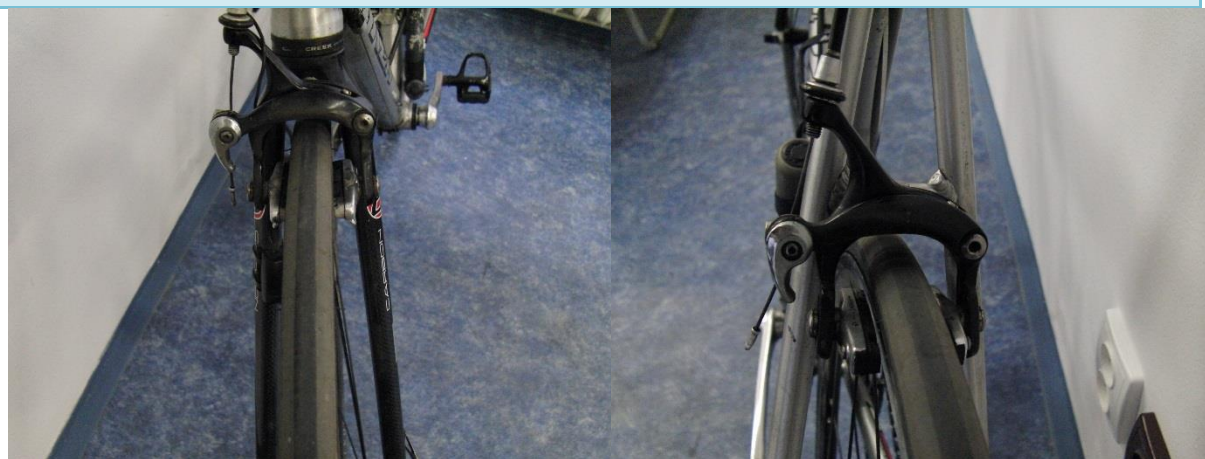
Stát/ Rok	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Celkem
Belgie	134	128	108	109	78	71	91	90	86	89	70	68	NA	1122
Bulharsko	-	-	-	-	54	53	37	45	32	25	26	18	32	322
Chorvatsko	-	-	-	-	-	-	-	28	47	29	28	28	21	181
ČR	151	141	160	159	131	115	110	116	93	84	80	63	78	1481
Dánsko	58	56	52	47	53	41	31	54	54	25	26	30	NA	527
Estonsko	21	18	19	15	9	12	18	13	10	7	9	12	8	171
Finsko	53	59	53	39	26	43	29	22	18	20	26	19	NA	407
Francie	270	256	222	200	177	180	181	142	148	162	147	141	164	2390
Irsko	10	12	18	11	11	10	9	15	13	7	5	9	NA	130
Itálie	401	366	326	355	322	335	311	352	288	295	263	282	NA	3896
Litva	72	94	94	85	87	85	68	73	38	34	23	26	32	811
Lotyšsko	-	-	-	-	30	31	33	18	15	26	13	15	18	199
Lucembursko	1	1	1	0	0	1	0	0	0	2	1	2	0	9
Kypr	-	-	-	-	-	-	-	3	6	2	2	2	1	16
Malta	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	NA	0
Maďarsko	182	196	182	178	183	152	153	158	109	103	92	85	84	1857
Německo	659	635	583	592	475	575	486	426	456	462	381	399	NA	6129
Nizozemí	198	195	169	188	157	151	179	147	145	138	119	144	145	2075
Polsko	692	610	681	647	691	603	509	498	433	371	280	314	300	6629
Portugalsko	36	49	44	51	55	41	42	35	30	37	25	33	45	523
Rakousko	62	55	80	56	58	47	48	37	62	39	32	42	NA	618
Rumunsko	157	145	132	125	130	206	198	179	179	157	182	140	154	2084
Řecko	22	29	14	21	24	18	21	16	22	15	23	13	NA	238
Slovensko	81	67	61	71	66	46	45	53	40	14	21	18	25	608
Slovinsko	26	16	18	14	22	18	19	15	17	17	18	17	16	233
Španělsko	73	89	84	67	77	71	61	79	49	45	56	44	NA	795
Švédsko	47	42	37	35	27	37	26	33	30	20	21	23	27	405
Velká Británie	131	140	133	116	136	152	147	138	117	104	111	109	120	1654
Celkem	3537	3399	3271	3181	3079	3094	2852	2785	2537	2329	2080	2096	1270	35510

13.2 Matice zkoušek brzd

Název jízdního kola	Typ kola	Typ brzd	Odpružení	Použitá brzda	Odpružení	Počet zkoušek
Kelly's – skládané uživatelem	Horské	Kotoučové - Hydraulické	Ano - zamykatelné	Přední	Zaplé	5
				Zadní	Zaplé	5
				Obě	Zaplé	5
				Obě	Vyplé	5
Specialized STUMPJUMPER FSR COMP CARBON 29"	Horské celoodpružené	Kotoučové - Hydraulické	Ano - zamykatelné	Přední	Zaplé	5
				Zadní	Zaplé	5
				Obě	Zaplé	5
Superior XC870	Horské	V-brzdy	Ano - nezamykatelné	Přední	-	5
				Zadní	-	5
				Obě	-	5
Pell's Crono ProL	Krosové	V-brzdy	Ano - zamykatelné	Přední	Zaplé	5
				Zadní	Zaplé	5
				Obě	Zaplé	5
Trek 1200	Silniční	Čelistové	Ne	Přední	-	5
				Zadní	-	5
				Obě	-	5
Celkový počet zkoušek						105

13.3 Silniční kolo

Typ kola	Silniční
Výrobce	Trek
Název	1200
Rok výroby	2007
Velikost kol	26 palců
Typ brzd	Čelistové excentrické
Přední vidlice	Neodpružená – karbon
Pedály	Nášlapné SPD
Servis	Pravidelný - neprofesionální
Ostatní	



13.4 Horské kolo – celoodpružené

Typ kola	Horské
Výrobce	Specialized
Název	STUMPJUMPER FSR COMP CARBON 29"
Rok výroby	2014
Velikost kol	29 palců
Typ brzd	Kotoučové hydraulické Avid Elixir 7 Trail
Přední vidlice	Odpružená dlouhý zdvih
Pedály	Ocelové
Servis	Pravidelný – profesionální
Ostatní	Čerstvě po servisu



13.5 Horské kolo – kotoučové brzdy

Typ kola	Horské
Výrobce	Kelly's (rám)
Název	Skládané kolo uživatelem
Rok výroby	Rám – 2011, přední vidlice – 2009
Velikost kol	26 palců
Typ brzd	Kotoučové - hydraulické Shimano STI
Přední vidlice	Odpružená
Pedály	Nášlapné SPD
Servis	Pravidelný - neprofesionální
Ostatní	



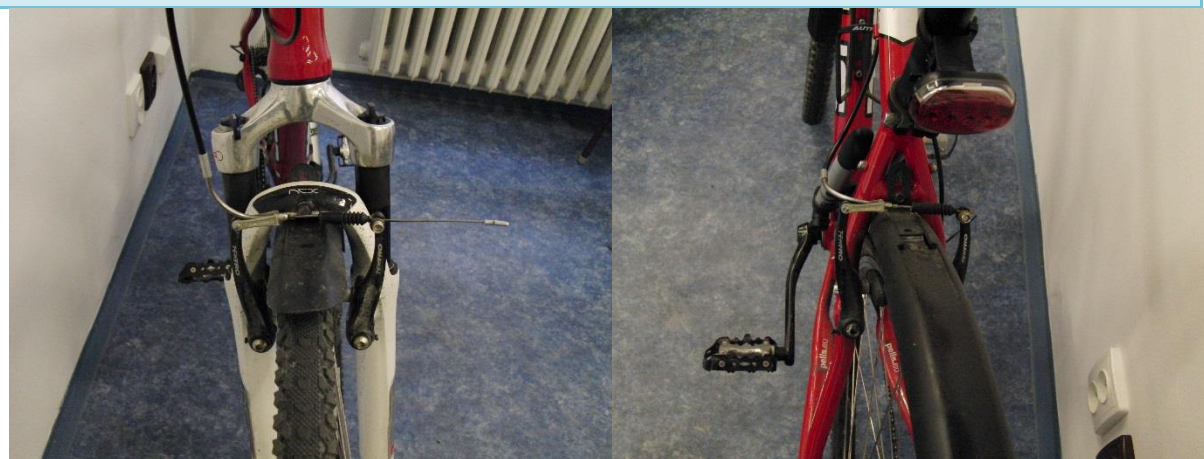
13.6 Horské kolo – V – brzdy

Typ kola	Horské
Výrobce	Superior
Název	XC870
Rok výroby	2004
Velikost kol	26 palců
Typ brzd	V - brzdy
Přední vidlice	Odpružená – krátký zdvih
Pedály	Ocelové
Servis	Pravidelný - neprofesionální
Ostatní	



13.7 Krosové kolo

Typ kola	Krosové
Výrobce	Pell's
Název	Crono ProL
Rok výroby	2010
Velikost kol	26 palců
Typ brzd	V-brzdy
Přední vidlice	Odpružená – krátký zdvih
Pedály	Ocelové
Servis	Pravidelný - neprofesionální
Ostatní	Zamykatelná přední vidlice



13.8 Výsledky měření zrychlení

Typ kola	Typ brzd	Jízda na červenou	Helma	Průměrná rychlost [m.s ⁻¹]	Průměrné zrychlení [m.s ⁻²]
horské - odpružené	kotoučové	ne	ano	2,71	0,46
horské - celoodpružené	kotoučové	ano	ne	1,71	0,38
městské	čelistové	ne	ne	3,68	0,87
městské	čelistové	ne	ne	3,53	0,72
horské - odpružené	kotoučové	ne	ano	4,08	0,97
horské - celoodpružené	kotoučové	ne	ano	3,97	1,30
krosová	V-brzdy	ne	ne	3,21	0,73
horské - odpružené	V-brzdy	ne	ano	3,59	0,79
horské - odpružené	V-brzdy	ne	ano	3,35	0,86
horské - odpružené	kotoučové	ne	ano	2,79	0,56
krosová - odpružené	V-brzdy	ne	ano	2,97	0,66
sjezdové	V-brzdy	ne	ne	3,77	0,95
horské - odpružené	V-brzdy	ne	ano	4,00	0,92
krosová	V-brzdy	ne	ne	3,16	0,51
horské - odpružené	kotoučové	ne	ano	4,14	0,80
horské - odpružené	kotoučové	ne	ano	4,44	1,21
silniční	čelistové	ne	ano	4,32	1,06
krosová	V-brzdy	ano	ne	1,78	0,42
horské - odpružené	kotoučové	ne	ano	3,49	0,61
horské - odpružené	kotoučové	ne	ano	2,76	0,43
horské - odpružené	V-brzdy	ne	ne	3,23	0,67
silniční	čelistové	ne	ne	3,19	0,69
krosová	V-brzdy	ne	ne	3,17	0,74
horské - odpružené	kotoučové	ano	ano	1,54	0,27
horské - odpružené	kotoučové	ne	ano	3,80	1,00
skládací	čelistové	ne	ne	2,88	0,48
městské	čelistové	ne	ano	3,30	0,53
horské - odpružené	kotoučové	ano	ano	2,00	0,37
horské - odpružené	kotoučové	ano	ne	1,76	0,20
horské - odpružené	kotoučové	ne	ano	1,74	0,27
horské - odpružené	kotoučové	ne	ano	3,47	0,71
horské - odpružené	V-brzdy	ne	ano	2,94	0,49
krosová - odpružené	kotoučové	ano	ano	2,79	0,46
krosová - odpružené	kotoučové	ne	ano	3,24	0,38
horské - odpružené	kotoučové	ne	ano	2,61	0,46
horské - odpružené	V-brzdy	ne	ano	2,91	0,57
horské - odpružené	V-brzdy	ne	ano	2,73	0,48
horské - celoodpružené	kotoučové	ne	ano	3,19	0,66
horské	V-brzdy	ne	ano	3,51	0,80
horské - odpružené	kotoučové	ne	ne	2,73	0,63
krosová - odpružené	V-brzdy	ne	ano	2,93	0,59
horské	V-brzdy	ne	ne	2,86	0,59
krosová	V-brzdy	ne	ano	2,48	0,46
horské	kotoučové	ne	ano	3,70	0,76
horské	V-brzdy	ne	ano	3,95	0,93
horské	kotoučové	ne	ano	3,35	0,56
krosová	V-brzdy	ne	ne	3,16	0,57

13.9 Výsledky přípravného měření zrychlení

Číslo jízdy	data naměřená fotoaparáty	Použitý filtr	data z akcelerometru		Rozdíl
	zrychlení dle videa		střední zrychlení	efektivní zrychlení	
[1]	[m.s ⁻²]	[Hz]	[m.s ⁻²]	[m.s ⁻²]	[%]
1	0,98	6	1,03	1,27	-5
		8	1,03	1,29	-5
2	0,92	6	1,00	1,23	-9
		8	1,01	1,24	-9
3	0,85	6	0,92	1,19	-8
		8	0,92	1,21	-9
4	0,84	6	0,91	1,08	-9
		8	0,91	1,10	-9
5	0,84	6	0,85	1,08	-2
		8	0,86	1,09	-2
6	0,79	6	0,86	1,12	-8
		8	0,85	1,14	-8
7	0,81	6	0,82	1,08	-1
		8	0,82	1,10	-1
8	0,96	6	1,03	1,26	-7
		8	1,03	1,28	-7
9	0,91	6	0,93	1,16	-1
		8	0,93	1,18	-2
10	0,87	6	0,88	1,11	-1
		8	0,89	1,11	-1
11	1,15	6	1,14	1,38	1
		8	1,14	1,40	0
12	0,92	6	0,89	1,10	3
		8	0,90	1,12	3
13	0,99	6	1,02	1,28	-3
		8	1,02	1,30	-3
14	1,03	6	1,08	1,42	-6
		8	1,09	1,44	-6
15	0,99	6	1,04	1,31	-5
		8	1,04	1,32	-6
16	1,05	6	1,10	1,35	-4
		8	1,10	1,37	-5
17	1,01	6	1,06	1,30	-5
		8	1,07	1,32	-6
18	1,02	6	1,08	1,28	-6
		8	1,08	1,30	-7
19	1,04	6	1,00	1,28	3
		8	1,01	1,30	2
20	1,07	6	1,05	1,31	2
		8	1,06	1,33	1
21	0,93	6	0,90	1,17	3
		8	0,91	1,19	2
22	1,10	6	1,05	1,27	5

13 Seznam příloh

		8	1,05	1,29	5
23	1,04	6	1,09	1,29	-4
		8	1,09	1,32	-5
24	0,52	6	0,55	0,84	-7
		8	0,55	0,84	-7
25	0,72	6	0,68	1,08	7
		8	0,68	1,12	6
26	0,72	6	0,67	0,96	7
		8	0,67	1,00	6
27	0,74	6	0,69	1,12	7
		8	0,69	1,16	6
28	0,82	6	0,78	1,06	5
		8	0,78	1,10	4
29	0,74	6	0,68	1,14	8
		8	0,68	1,18	8
30	0,83	6	0,77	1,27	7
		8	0,77	1,31	8
31	0,69	6	0,63	0,92	9
		8	0,63	0,92	9
32	0,66	6	0,71	0,92	-7
		8	0,71	0,94	-7
33	0,80	6	0,79	0,67	2
		8	0,79	0,69	2
34	0,76	6	0,76	0,97	0
		8	0,76	0,98	0
35	0,75	6	0,76	0,95	-1
		8	0,77	0,96	-2
36	0,79	6	0,77	1,02	2
		8	0,77	1,03	2
37	0,84	6	0,82	1,03	2
		8	0,81	1,05	3
38	0,80	6	0,82	1,08	-2
		8	0,82	1,10	-2
39	0,82	6	0,81	0,99	1
		8	0,81	1,00	1
40	0,86	6	0,84	1,10	2
		8	0,84	1,12	2
41	0,60	6	0,60	0,82	0
		8	0,60	0,83	0
42	0,93	6	0,96	1,18	-3
		8	0,95	1,20	-2
43	1,04	6	0,98	1,24	6
		8	0,98	1,25	6
44	0,80	6	0,76	0,99	5
		8	0,76	0,99	5
45	0,82	6	0,84	1,11	-3

13 Seznam příloh

		8	0,83	1,12	-2
46	1,01	6	0,97	1,29	4
		8	0,97	1,34	4
47	0,75	6	0,77	1,05	-3
		8	0,77	1,07	-3
48	0,88	6	0,83	1,03	5
		8	0,83	1,04	6
49	0,99	6	1,04	1,43	-5
		8	1,04	1,46	-5
50	0,98	6	0,92	1,22	6
		8	0,92	1,24	6
51	0,80	6	0,83	1,09	-4
		8	0,83	1,11	-4
52	0,70	6	0,77	1,39	-9
		8	0,76	1,45	-8
53	0,79	6	0,84	1,09	-6
		8	0,84	1,10	-6
54	0,84	6	0,88	1,10	-4
		8	0,88	1,12	-4
55	0,73	6	0,73	1,15	0
		8	0,73	1,18	0
56	0,98	6	0,99	1,26	-1
		8	0,99	1,26	-1
57	0,91	6	0,77	1,08	9
		8	0,77	1,11	9
58	0,76	6	0,66	1,05	2
		8	0,66	1,07	2
59	0,85	6	0,73	0,96	8
		8	0,73	0,99	8
60	0,88	6	0,76	1,09	6
		8	0,76	1,11	6
61	0,85	6	0,74	1,07	5
		8	0,74	1,09	5
62	0,81	6	0,71	1,00	4
		8	0,71	1,02	4
63	0,73	6	0,67	0,97	-8
		8	0,67	0,99	-8
64	0,75	6	0,67	1,20	-10
		8	0,67	1,22	-9
65	0,72	6	0,65	0,95	-9
		8	0,65	0,97	-10
66	0,81	6	0,78	1,13	-3
		8	0,78	1,16	-3
67	0,89	6	0,82	1,20	-7
		8	0,83	1,23	-6