



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Michal Šlapák

Optimalizace výkonu elektrokola pro použití v provozu v
Praze

Bakalářská práce

2015



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K616.....Ústav dopravních prostředků

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Michal Šlapák

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Optimalizace výkonu elektrokola pro využití v provozu v Praze**

Název tématu (anglicky): Optimizing the performance of electric bike for use in traffic in Prague

Zásady pro vypracování

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

- Analýza jednotlivých stavebních prvků elektrokola
- Optimalizace stavebních prvků elektrokola
- Minimalizace nepříznivých účinků na elektrokolo v provozu Prahy
- Možnosti řešení nevýhod elektrokola v Pražské dopravě
- Hodnocení výhod plynoucích z využívání elektrokol v Praze

- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Turner J., The Electric Bike Book, Oak Creek Publishing, 2013
Lapáčková M., Bike sharing elektrokol na Fakultě dopravní, diplomová práce FD ČVUT v Praze, 2014
Uživatelská a technická dokumentace testovaných elektrokol

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2014**
(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 bakalářské práce: **24. srpna 2015**
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

L. S.


.....
doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků


.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
Michal Šlapák
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 14. října 2014

Čestné prohlášení

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.

Nemám závažný důvod proti užití 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).

V Praze dne.....

Podpis.....

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji vedoucímu projektu, kterým je doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D. za odborné vedení a konzultování práce a za rady, které mi po celou dobu studia poskytoval. Dále bych chtěl poděkovat kolegovi Lukáši Jánešovi za pomoc při měření důležitých dat, půjčovně elektrokol CYKLOPUJCOVNA.COM se sídlem v Děčíně, správci budovy Horská, který trpělivě dohlížel na odložené elektrokolo, slečně ing. Martě Lapáčkové za poskytnuté materiály a důležité informace o chování cyklistů v centru Prahy a mnohým dalším. V neposlední řadě děkuji svým rodičům, kamarádům a přítelkyni za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou délku bakalářského studia.

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce na téma „Optimalizace výkonu elektrokola pro použití v provozu v Praze“ je teoretická příprava pro stavbu elektrokola pro středně kopcovité město s vysokou hustotou IAD a MHD. Zanalyzuji všechny vnější vlivy, které se negativně odrážejí v komfortu, ceně i rychlosti cestování s pomocí elektrokola a následně se snažit tyto prvky minimalizovat, abych dosáhl maximální účinnosti a pohodlí za relativně nejnižší cenu.

Abstract

The subject of thesis on the topic of "Optimizing performance of electric bikes for use in operation in Prague" is a theoretical preparation for the construction of electric bikes for moderately hilly city with high density individual vehicle transport and public transport. Analyze all the external influences which negatively reflect on comfort, price and speed of traveling using electric bikes, and then try to minimize these elements in order to reach maximum efficiency and comfort at relatively lowest price.

Klíčová slova

elektrokola, optimalizace, analýza jízdnic odporů, komfort jízdy, úspora energie, krátké cesty, konkurence MHD, rekuperace, cena baterií, dostatečná výdrž baterií

Key words

electric bikes, optimization, analysis of rolling resistance, ride comfort, energy savings, short trips, competition, public transport, recovery, price of batteries, sufficient battery life

Obsah

Seznam zkratek.....	10
Seznam obrázků.....	11
Seznam tabulek.....	13
Úvod.....	14
1. Pohonná jednotka.....	17
1.1 Druhy motorů a systém přeměny energie.....	18
1.2 Druhy baterií, jejich životnost a kapacita.....	23
1.3 Muskulární síla.....	30
2 Materiál rámu.....	31
3 Chytré příslušenství.....	33
4 Bike Sharing.....	35
5 Jízdní odpory.....	36
5.1 Odpor vnitřního tření.....	36
5.2 Odpor valení.....	37
5.3 Odpor vzduchu.....	43
5.4 Odpor stoupání.....	45
6 Měření.....	46
6.1 Technické specifikace elektrokola.....	47
6.2 Naměření a vyhodnocení tras.....	49
6.2.1 Trasa Horská - Nádraží Modřany (8,7 km).....	50
6.2.2 Trasa Horská - Vršovice (4,1 km).....	51
6.2.3 Trasa Horská - Prosek (13,9 km).....	53
6.2.4 Trasa Horská - Dejvice, NTK (8,2 km).....	54
6.2.5 Trasa Horská - Jinonice (10,1 km).....	56
6.2.6 Trasa Horská - Malá Chuchle (8,0 km).....	57
6.2.7 Trasa Horská - Pankrác (5,6 km).....	58

6.2.8	Trasa Horská - Zahradní město (7,1 km).....	59
6.2.9	Trasa Horská - Trója (9,2 km).....	61
6.2.10	Trasa Horská - Žižkov (7,8 km)	62
6.3	Závěr měření	63
7	Návrh variant elektrokol podle nákladů na realizaci.....	64
7.1	Finančně nejméně náročná varianta elektrokola (Varianta 1).....	64
7.2	Finančně dostupná varianta elektrokola, zvolená jako optimální cesta (Varianta 2) 65	
7.3	Nejdražší, nejlepší varianta elektrokola (Varianta 3).....	65
8	Závěr.....	67
9	Reference.....	68
10	Příloha.....	71
	Seznam běžně dostupných elektrokol vhodných pro použití v Praze	71

Seznam zkratek

IAD	Integrovaná automobilová doprava	
MHD	Městská hromadná doprava	
MTB	Mountbike	
NiCd	Nikl-Cadmium	
NiMH	Nikl-metal-hydrid technologie baterie	
Li-Ion	Lithium-Iontová baterie	
Li-Fe-Po	Lithium-železo-fosfátový akumulátor	
RC	Radio Control	
USB	Universal serial bus	
ρ	Hustota vzduchu	[kg/m ³]
G	Tíhová síla působící v těžišti	[N]
h	Svislá vzdálenost těžiště od podložky	[mm]
l_z	Vodorovná vzdálenost od středu zadního kola	[mm]
l	Rozvor, vodorovná vzdálenost mezi středy kol	[mm]
Z_p, Z_z	Radiální reakce mezi koly a podložkou	[mm]
F_f	Síla vznikající šlapáním	[N]
F_k	Hnací síla	[N]
D	Dynamická síla	[N]
O_v	Odpor vzduchu	[N]
ρ	Hustota vzduchu	[kg*m ⁻³]
S_x	Čelní plocha vozidla	[m ²]

v	Rychlost proudícího vzduchu	$[m*s^{-1}]$
c_x	Součinitel odporu vzduchu	[-]

Seznam obrázků

Obrázek 1: Pardubice jsou jedna velká rovina (mapy.cz, 2015)	15
Obrázek 2: Praha je členité město (mapy.cz, 2015)	16
Obrázek 3: Rozložení sil a momentů při cyklistice (Marján, 2013).....	18
Obrázek 4: Přestavba staršího kola na elektrokolo s motorem v předu (Přestavby jízdních kol na elektrokola, 2015)	19
Obrázek 5: typickým uživatelem motoru uloženého v zadu jsou horská kola střední cenové kategorie (Elektrokolo Giant, 2015).....	20
Obrázek 6: Motor uložen ve středu kola od firmy BOSCH (APACHE Hawk Bosch Active 400Wh 2015, 2015).....	20
Obrázek 7: Od skládaček po velká horská kola. Všechna využívají napětí 36 V (Elektrokolo Spirit JOY2 "skládačka", 2014).....	21
Obrázek 8: Princip olověné baterie (Lead-Acid Batteries, 2008)	24
Obrázek 9: Schéma baterie NiCd (BAJ Website Structure and Reaction Formula of Batteries, 2010).....	25
Obrázek 10: Moderní baterie Bosch technologie Li-Ion (Baterie 36V/11,1 Ah Li-ion Apache Bosch, 2015).....	27
Obrázek 11: Paměťový efekt baterie typu LI-Fe-Po (Memory effect, 2013).....	29
Obrázek 12: Testování cyklistů (Emma Johansson, 2014).....	31
Obrázek 13: Prasklý hliníkový rám není neobvyklý (Aluminium Bike Frame Repair, 2014).32	
Obrázek 14: Konvertor z napětí 36 V na micro USB port s napětím 5 V (AliExpress.com - Online Shopping, 2015).....	34
Obrázek 15: Rozdíl ve tření není zanedbatelný (cleanbikevsdirtybike.png, 2010).....	37
Obrázek 16: Porovnání akcelerace ráfků (POROVNÁNÍ VELIKOSTI RÁFKŮ, 2014)	38
Obrázek 17: Porovnání hmotností ráfků (POROVNÁNÍ VELIKOSTI RÁFKŮ, 2014)	38
Obrázek 18: Porovnání trakce ráfků (POROVNÁNÍ VELIKOSTI RÁFKŮ, 2014)	39
Obrázek 19: Nákres odporu valení a důležitých veličin (cs_odpor_valivy_003.jpg, 2011)	40
Obrázek 20: Až téměř kosmický design uhlíkového rámu speciálu z Tour de France (ergonomics-mainbanner-1.jpg, 2015)	44

Obrázek 21: Zobrazení sil při stoupání	46
Obrázek 22: Obrázek od výrobce zapůjčeného elektrokola (Specifikace, 2012).....	48
Obrázek 23: Detail baterie fotkou od výrobce (Specifikace, 2012)	48
Obrázek 24: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010).....	50
Obrázek 25: Trasa z Horské do Modřan (mapy.cz, 2010).....	51
Obrázek 26: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010).....	52
Obrázek 27: Trasa z Horské do Vršovic (mapy.cz, 2010).....	52
Obrázek 28: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010).....	53
Obrázek 29: Trasa z Horské na Prosek (mapy.cz, 2010).....	54
Obrázek 30: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010).....	55
Obrázek 31: Trasa z Horské k NTK (mapy.cz, 2010).....	55
Obrázek 32: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010).....	56
Obrázek 33: Trasa Horská - Jinonice (mapy.cz, 2010)	57
Obrázek 34: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010).....	58
Obrázek 35: Trasa z Horské na Pankrác (mapy.cz, 2010).....	59
Obrázek 36: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010).....	59
Obrázek 37: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010).....	60
Obrázek 38: Trasa z Horské do Záběhlic (mapy.cz, 2010)	60
Obrázek 39: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010).....	61
Obrázek 40: Trasa z Horské do Troje (mapy.cz, 2010).....	62
Obrázek 41: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010).....	63
Obrázek 42: Trasa z Horské na Žižkov (mapy.cz, 2010)	63

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled tří variant elektromotoru. (Komponenty na e-bike, Elektromotory, 2015)	22
Tabulka 2: Důležité technické specifikace baterie typu NiMH (NiMH akumulátory, 2013)	23
Tabulka 3: Důležité technické specifikace baterie typu Olověné (Lead-Acid Batteries, 2008)	24
Tabulka 4: Důležité technické specifikace baterie typu NiCd (NiCd akumulátory, 2013)	25
Tabulka 5: Důležité technické specifikace baterie typu Li-Ion (Používání Li-Ion akumulátorů v praxi, 2014)	26
Tabulka 6: Důležité technické specifikace baterie typu Li-Pol (Li-Pol akumulátory, 2011)	28
Tabulka 7: Důležité technické specifikace baterie typu LiFePo (Lithium-železo-fosfátové akumulátory, 2014)	28
Tabulka 8: Přehled tří variant baterií. (Komponenty na e-bike, Elektromotory, 2015)	29
Tabulka 9: Výběr tří variant rámců. (AliExpress.com - Online Shopping, 2015)	33
Tabulka 10: Závislost odporu vzduchu na rychlosti	45
Tabulka 11: Technické specifikace zapůjčeného kola v tabulce (Specifikace, 2012)	47
Tabulka 12: Naměřené hodnoty na trase Horská - Nádraží Modřany	50
Tabulka 13: Naměřené hodnoty na trati do Vršovic	52
Tabulka 14: Naměřené hodnoty trasy Prosek	53
Tabulka 15: Naměřené hodnoty na trase Dejvice, NTK (zdroj autor)	54
Tabulka 16: naměřené hodnoty trasy Jinonice	56
Tabulka 17: Naměřené hodnoty trasy Malá Chuchle	57
Tabulka 18: Naměřené hodnoty trasy Pankrác	58
Tabulka 19: Naměřené hodnoty trasy Zahradní město (zdroj autor)	60
Tabulka 20: Naměřené hodnoty trasy Trója	61
Tabulka 21: Naměřené hodnoty trasy Žižkov (zdroj autor)	62
Tabulka 22: Přehled vybraných variant	66

Úvod

Praha je krásnou metropolí uprostřed Evropy s přibližně 1,2 miliony obyvatel a hustotou zalidnění 20539 ob/km². Do dnešní podoby se město vyvíjelo přes 1100 let od vzniku v devátém století. Jedná se o členité území s nadmořskou výškou 177 m n. m. – 399 m n. m. s nejvyšším bodem mezi Sobínem a Chrášťany, nejnižší bod je Hladina Vltavy u Suchdola v 177m n. m. Plocha, kterou ukrajuje z mapy ČR, je 496 km². (Population of territorial units of the Czech republic, 2015)

V Praze se po Sametové revoluci velice rozmohla integrovaná automobilová doprava, která před rokem 1990 nebyla tak intenzivní jako ve vyspělejších městech převážně západní Evropy. Automobilová doprava rychle rostla, což způsobilo rychlé zhoršení dopravní situace ve městě. Výrazně poklesl i počet cestujících v MHD. Klesající trend uživatelů MHD byl zastaven a karta se velice pomalu obrací, ikdyž automobilová doprava je ve městě stále velice oblíbená a prakticky po celý den jsou v centru stupně dopravy na nekomfortních číslech 3-5. V ranní a odpolední špičce jsou dopravní kongesce navíc na „výpadovkách“ z a do okolních vesnic a přilehlých měst.

Nachází se zde sídla světových korporací i spousty malých podniků. Nezaměstnanost je v této době na pouhých asi 2,5% (Praha, 2001). Jsou zde ale i velká vzdělávací centra. Mezi největší patří na SZ kampus ČVUT a ČZU a v centru města rozmístěné budovy University Karlovy a ČVUT. Studenti jsou ubytováni po celé Praze, převážně pak na kolejích na Strahově, v Masarykových kolejích a Podolských kolejích.

U obyvatelů České republiky je automobilismus velmi oblíbený. V Praze je ale jeho velmi těžký konkurent od roku 1974 METRO, které denně přepraví v průměru 1,6 milionu cestujících. Jezdí pravidelně a s téměř stoprocentní přesností. Během několika desítek minut se dostanete z jednoho konce Prahy na druhý, což je během pracovního dne v produktivní čas téměř nemožné. Kromě MHD, ale začínají Pražané koketovat s cyklistikou jako dopravním prostředkem, nikoli pouze pro zábavu.

V České republice jsou města, která cyklistice přejí, a Praha by se jimi měla v určitých ohledech inspirovat. Loňskou soutěž „Hlavní město cyklistů“ vyhrály Pardubice zaslouženě. Cyklisté zde mají komfort a město jim jde na ruku. Může za to moderní územní plán, který klade důraz na kompaktní město, kvalitní veřejná prostranství a krátké vzdálenosti.

V posledních letech zde vznikly nové cykloobousměrky, cyklopruhy, systém pro sčítání cyklistů. Město se také pravidelně účastní kampaně „Do práce na kole“ a cyklodoprava je zde zohledněna ve všech strategických a koncepčních materiálech. Není proto divu, že zde bylo v roce 2014 téměř 20% cest uskutečněno na jízdním kole. Cyklodoprava je v Pardubicích podporována nejen městem, ale i podniky, které nabízejí pro své zaměstnance šatny, sprchy a především kryté ustájení bicyklů. Dalším impulzem pro cyklodopravu je vertikální členění města, jedná se téměř o rovinu, jak je v Polabské nížině zvykem. (Cyklisté se mají v Pardubicích fajn., 2014)

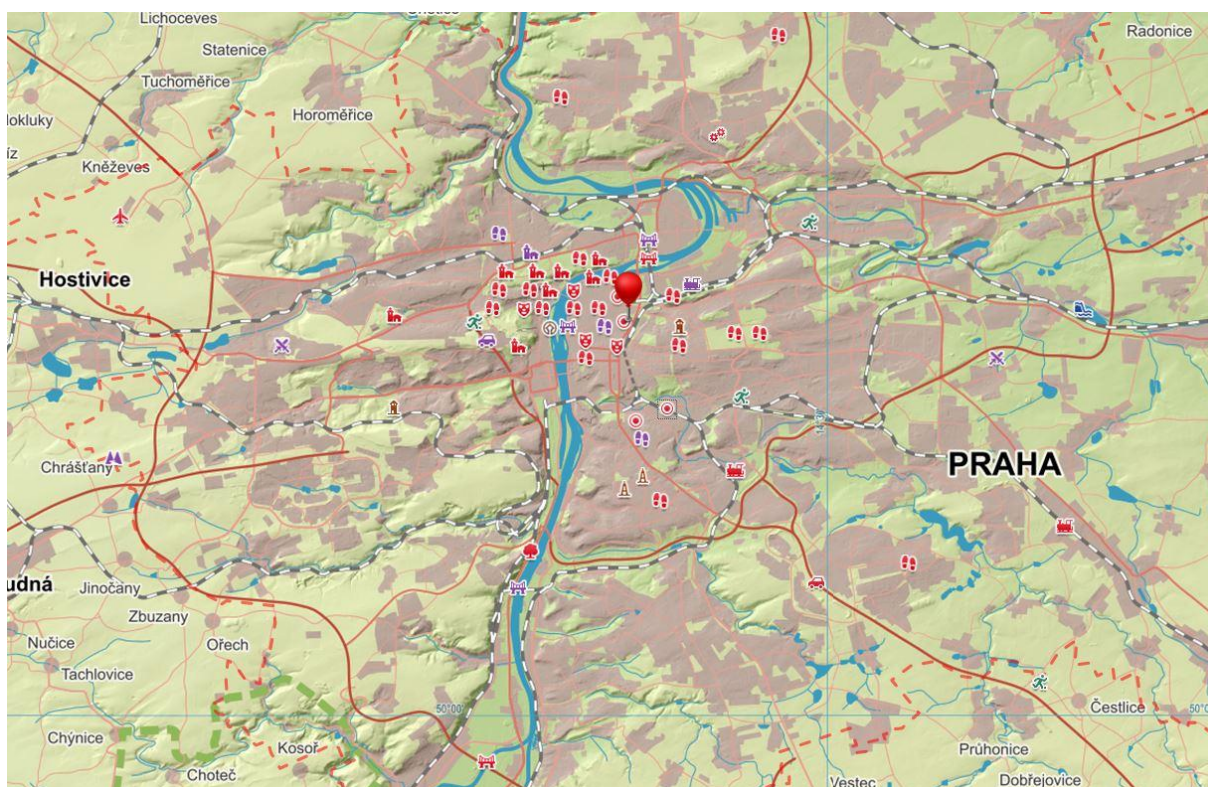


Obrázek 1: Pardubice jsou jedna velká rovina (mapy.cz, 2015)

Hradec Králové je dalším cyklistickým rájem v Polabí. Hradec byl vždy dáván za vzor svou kvalitou a množstvím cyklostezek, to se bohužel v devadesátých letech změnilo a počet cyklistů začal klesat. Mohlo za to nelogické stavění nepropojených cyklotras tam, kde šlo stavění nejlépe, nikoli tam, kde by bylo potřeba. Na celkovém počtu denních cest se zde cyklistika podílí asi patnácti procenty. Je to dáno lidskými zvyky, slušnou infrastrukturou, která ovšem zaspala, a nyní zde probíhají mediální kampaně pro zvýšení povědomí o místních cyklistických možnostech. Také má na oblíbenost cyklistiky vliv vřelý přístup městských

institucí, škol a firem, které nabízejí cyklistům základní zázemí. (KONCEPCE ROZVOJE CYKLODOPRAVY V HK, 2013)

Praha ovšem cyklistické dopravě moc nepřeje a s padesáti kilometry cyklostezek se řadí za průměr vyspělých Evropských měst (prazskecyklostezky.cz, 2013). Je to dáno několika faktory. Jako město je Praha kopcovitá a všeobecný názor zní, že v takových podmínkách nemá smysl budovat tento druh komunikací. Z řad samotných cyklistů jdou ale hlasy, že je to pouhý alibismus, každopádně od pravidelného využívání bicyklu jako dopravního prostředku je odrazuje vysoká hustota provozu, která jde ovšem ruku v ruce s preferencí MHD a intenzitami IAD. Dalším problémem je fyzická náročnost, která si často vyžaduje sportovní oblečení, které nevyhovuje firemním kodexům a podobné problémy s ní spjaté. V tomto ohledu vidím elektrokola jako obrovské pozitivum, a proto jsem se této problematice začal blíže věnovat.



Obrázek 2: Praha je členité město (mapy.cz, 2015)

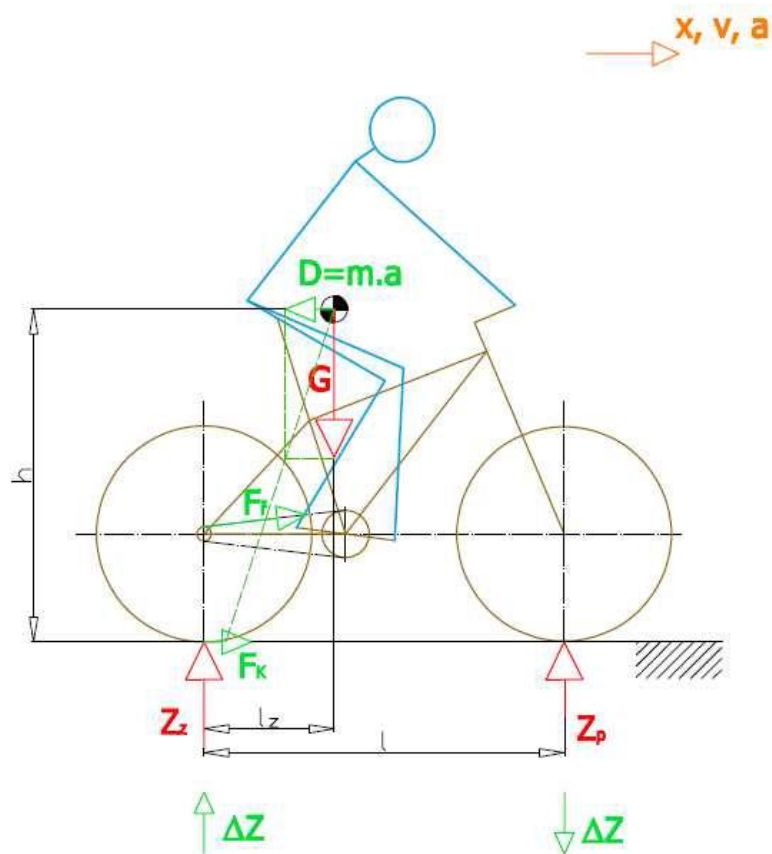
Mým cílem je navrhnout elektrokolo, které bude maximálně přívětivé pro provoz v Pražských ulicích, které bude lehké, bezpečné, rychlé a v neposlední řadě dostupné široké veřejnosti.

1. Pohonná jednotka

Při jízdě na kole vytváříme síly a momenty, jejichž přehled vidíme na následujícím obrázku. Elektrokolo a jeho komponenty nám mění těžiště a samozřejmě zvyšují hmotnost. Pokud vezmeme v úvahu váhu baterie, elektromotoru a jiných komponent umístěných nad horizontální osou pneumatik, jejichž hmotnost je maximálně 10% váhy jezdce, zjistíme, že jejich umístěním se těžiště zásadně nemění a nejzásadnější vliv na něj bude mít stále hmotnost jezdce.

V obrázku jsou použity tyto veličiny

G	tíhová síla působící v těžišti [N]
h	svislá vzdálenost těžiště od podložky [mm]
l_z	vodorovná vzdálenost od středu zadního kola [mm]
l	rozvor, vodorovná vzdálenost mezi středy kol [mm]
Z_p, Z_z	radiální reakce mezi koly a podložkou [mm]
F_f	síla, která vzniká šlapáním [N]
F_k	hnací síla [N]
D	dynamická síla [N]



Obrázek 3: Rozložení sil a momentů při cyklistice (Marján, 2013)

1.1 Druhy motorů a systém přeměny energie

Elektromotor je velmi důležitá část elektrokola. Podporuje fyzicky náročné úkony a dělá bicykl příznivější i pro méně zdatné uživatele, kteří si jedním tlačítkem mohou nastavit jeho pomoc. Dnešní legislativa dovoluje používat na veřejných komunikacích motory do výkonu 250 W. Tento výkon je při optimálním nastavení plně dostačující. Výrobci sportovnějších kol a MTB kol používají někdy k pohonu motory o výkonu 350 W se silničním příškrčením a možností otevřít všechnu výkon na nezpevněných cestách. Vyšší výkon také teoreticky snižuje opotřebení motoru, který při nastavení 250 W nevyužívá celý svůj potenciál. Motory rozdělujeme podle umístění, výkonu a využívaného napětí. (Legislativa - elektrokola, 2012)

1.1.1 Umístění motoru

Motory umísťujeme do předního kola, zadního kola, nebo na střed elektrokola. V následujících řádcích je rozeberu podrobněji a vyjmenuji jejich použití a vlastnosti.

- Uložení v předním kole

Tento typ uložení se využívá převážně v elektrokolech pro silniční městské využití a pro finančně nejpříznivější komplety. Důvod je jednoduchý, je jím cena a malá technologická náročnost viz obrázek 1. Je to nejjednodušší motor jak z hlediska instalace, tak z hlediska údržby a výroby. Samozřejmě má i svou nevýhodu, kterou je především možnost prokluzu na štětku a nezpevněném povrchu. Proto jsou vybaveny systémem plynulého náběhu po nelineární křivce. (elektromotor elektrokola, 2014)



Obrázek 4: Přestavba staršího kola na elektrokolo s motorem v předu (Přestavby jízdních kol na elektrokola, 2015)

- Uložení v zadním kole

Toto uložení motoru se využívá u MTB elektrokola v dospělých velikostech, jak můžeme vidět na obrázku 2. U těchto kol předpokládáme časté využívání v terénu a mimo zpevněné cesty, kde by hrozilo podklouznutí předního pohonu při rozjezdu. Dalším faktorem je zvýšení namáhání přední vidlice, které by zkracovalo její životnost. Na zadním pohonu se využívá několik verzí uchycení převodových koleček. Mezi nejvýhodnější se jeví „kasetové motory“, u kterých je možnost relativně snadné výměny převodových koleček. (elektromotor elektrokola, 2014)



Obrázek 5: typickým uživatelem motoru uloženého v zadu jsou horská kola střední cenové kategorie (Elektrokolo Giant, 2015)

- Uložení ve středu

Motory umístěné ve středu kola (obrázek 3) jsou nejefektivnější a nejmodernější technologie, kterou využívá například firma BOSCH, která dodává pohony do elektrokola nejvyšší kategorie, jejichž cena začíná okolo 70 000 Kč. Tyto motory lze jednoduše montovat i na klasická kola. Další výhodou je nejpřirozenější chod a vyvážení. (elektromotor elektrokola, 2014)



Obrázek 6: Motor uložen ve středu kola od firmy BOSCH (APACHE Hawk Bosch Active 400Wh 2015, 2015)

1.1.2 Využívané napětí

Napětí, pro která je motor konstruován, musí přesně odpovídat výstupnímu napětí baterie. V sériových výrobcích se používají napětí v násobku dvanácti voltů. Výjimečně 12 V, častěji 24 V, nejčastěji se používá napětí 36 V. Některá horská a sportovní kola používají i 48 V. (elektromotor elektrokola, 2014)

- Napětí 24 V

V dnešní době méně používaná řada napětí, setkáme se s ním jen u elektrokola menších, starších, městských elektrokol. Také některé levnější skládačky používají toto napětí. Jejich nevýhoda je určité zpoždění v náběhu výkonu. (elektromotor elektrokola, 2014)

- Napětí 36 V

Jako zlatý střed nemůže být ani jiné napětí nejpoužívanějším typem. Poměrně vysoké napětí dopomáhá ke slušnému tahu. Že je to opravdu univerzální systém dokazuje i použití napříč všemi typy elektrokol. Od silničních městských (obrázek 4) po horská i některá sportovní. Je zde už možnost přizpůsobit výkonovou křivku danému povrchu. Na silnici je náběh pomalejší, u horských a sportovněji naladěných kol jde výkon do prvotní akcelerace. Tato kola jsou vhodná pro městský provoz i pro provoz mimo zpevněné komunikace. (elektromotor elektrokola, 2014)



Obrázek 7: Od skládaček po velká horská kola. Všechna využívají napětí 36 V (Elektrokolo Spirit JOY2 "skládačka", 2014).

- Napětí 48 V

Vyšší napětí = vyšší výkon. I touto rovnicí nerovnicí lze popsat motory typu 48 V. Používají je sportovní horská kola, jejichž motor má zpravidla výkon minimálně 350 W, což je předurčuje k jízdě v náročném a kopcovitém terénu. Nárůst okamžitého výkonu je oproti 36 V znatelný a neporovnatelný s 24 V. (elektromotor elektrokola, 2014)

Tabulka 1: Přehled tří variant elektromotoru. (Komponenty na e-bike, Elektromotory, 2015)

	Výkon [W]	Napětí [V]	Umístění	Cena Kč vč. DPH
1. Varianta	250	36	Přední kolo	3 690
2. Varianta	500	36	Zadní kolo	5 750
3. Varianta	400	36	Střed	36 900

Elektromotor, případně celou sadu na stavbu elektrokola z důvodů spolehlivosti a záruky raději vyberu na Českém obchodě, přestože mám s nakupováním elektroniky v Čínských internetových obchodech povětšinou kladné zkušenosti, tak je tento článek natolik důležitý, že si jeho chybu, která nemusí být odhalena neodborným testováním, nemůžu dovolit. Dalším problémem je certifikace pro použití na Evropské komunikace, která nemusím být odpovídající Evropským zákonům. Cena navíc není závratně rozdílná.

1.1.3 Rekuperace

Rekuperace je pojem, který často slyšíme u dopravních prostředků, jako jsou tramvaje, vlaky či například lanovky. Také v dnešních elektromobilech se vyskytuje rekuperace energie. Ve všech těchto případech se jedná o opodstatněná použití.

V elektrokolech není zatím téměř využívána, protože dnešní systémy neumožňují dostatečně efektivní přenos energie. Také je jízda se zapnutou rekuperací značně obtížnější. Můžeme si ji představit jako jízdu se starým dynamem. Odpor při jízdě se zvětší zásadně, ale světlo protijedoucí automobily rozhodně neoslňuje. Při rekuperaci má bicykl zásadní nevýhodu, kterou je váha. Dnešní běžné systémy dokážou prodloužit dojezd průměrně asi o 2-4 %. V poslední době se na trhu vyskytují systémy, které mohou prodloužit dojezd až o 15%, to jsou ale zatím první vlaštovky, které na zahánění stále čekají. (Výběr správného elektromotoru, 2014)

1.2 Druhy baterií, jejich životnost a kapacita

Baterie je základní stavební prvek elektrokola. V dnešní době je na trhu spousta druhů a technologií, některé jsou zastaralé, jiné zakázané, další drahé. Jakou vybrat je proto oříšek, který se ale za nás snaží rozlousknout sami výrobci a prodejci. A proto, že je to významná investice i pro nás, protože hodnota baterie vytváří asi jednu třetinu ceny elektrokola, musíme dát při výběru pozor a za každou cenu nešetřit. Základní rozdíl je v použitých skladebních prvcích. Nejznámější typy jsou: olověné, nikl-kadmiové (NiCd), nikl-metal-hybride (Ni-MH), lithium-iontové (Li-Ion), lithium-polymerové, lithium-železo-fosfátové (Li-Fe-Po).

1.2.1 NiMH – (Nickel Metal Hybride)

Relativně nový a moderní akumulátorový článek, který má v porovnání s NiCd až dvojnásobnou kapacitu. V dnešní době se jedná o druhý nejrozšířenější druh článku hlavně z důvodu relativně nízké ceny a dobré schopnosti dodávat velký proud. Dnes už ale bývá nahrazován bateriemi typu Li-Ion. (Elektrokola - baterie, 2014)

- + až 2,5x vyšší kapacita oproti Ni-Cd
- + Možnost dodávání vysokých proudů
- + nízká cena
- + Rychlé nabíjení bez poničení článku, malá paměť
- + Stabilní napětí
- výpadky baterie při vysokých teplotách a teplotách nízkých po 5°C
- Velké samovybíjení, které dosahuje 15-30% při pokojové teplotě
- z toho důvodu časté dobíjení i bez používání

Tabulka 2: Důležité technické specifikace baterie typu NiMH (NiMH akumulátory, 2013)

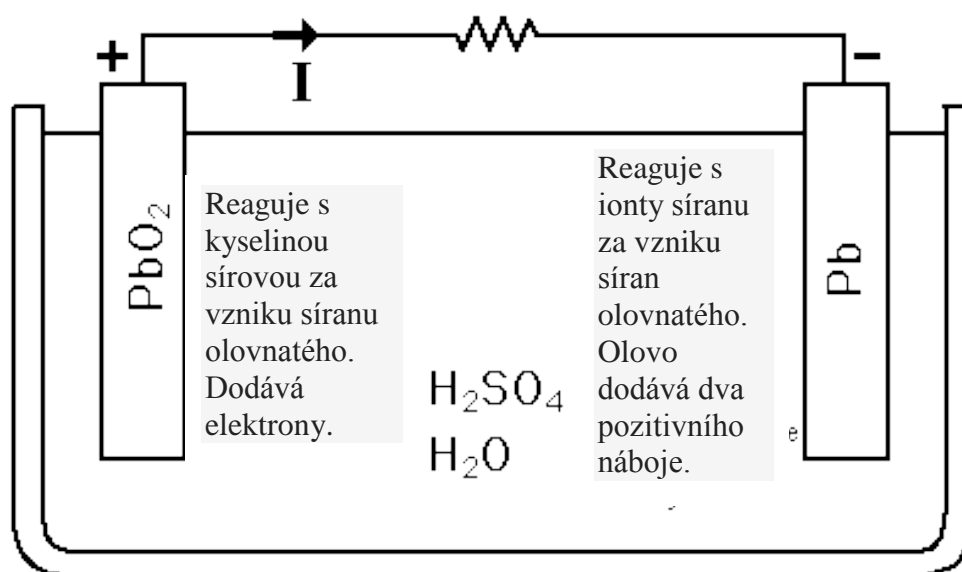
Síla/hmotnost	250-1000 W/kg
Samovybíjení	15-30 % měsíčně
Životnost v cyklech	500-1000 cyklů
Nominální napětí článku	1,2 V

1.2.2 Olověné

Jedná se o sekundární galvanický člunek s elektrodami slitiny olova, jako jeho elektrolyt je kyselina sírová (viz obrázek 5). Jeho výhodou je dodávání vysokých rázových proudů, což ale není pro elektrokolo důležitá vlastnost. Z těchto důvodů se používá v automobilovém průmyslu, ale v elektrokolech se jedná o zastaralý typ převážně z důvodu vysoké váhy a nízkého poměru kapacita/váha. Hraje pro něj pouze cena a jednoduchost. (Elektrokola - baterie, 2014)

Tabulka 3: Důležité technické specifikace baterie typu Olověné (Lead-Acid Batteries, 2008)

Síla/hmotnost	180 W/kg
Samovybíjení	3-20% měsíčně
Životnost v cyklech	500-800 cyklů
Nominální napětí článku	2,105 V



Obrázek 8: Princip olověné baterie (Lead-Acid Batteries, 2008)

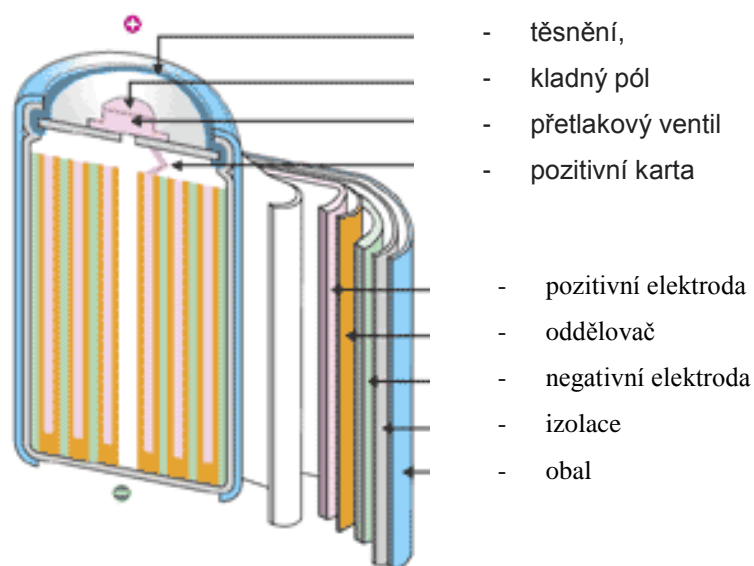
1.2.3 Nikl-Kadmiové (NiCd)

Jedná se opět o galvanický člunek, který se vyrábí dvěma způsoby. V elektrokolech se používá systém se zaplavenými elektrodami a kapalným elektrolytem (viz obrázek 6). Jedná se o málo používaný typ z důvodu závadnosti kadmia jako vysoce jedovaté látky, ze které se skládá záporná elektroda. Svými vlastnostmi se podobá modernějším akumulátorů NiMH, oproti nimž má menší kapacitu. (Elektrokola - baterie, 2014)

- + skladování ve vybitém stavu jej nepoškozuje
- + vysoká odolnost oproti hlubokému vybití
- + výrobní cena
- + Vysoký počet nabíjecích cyklů
- nižší měrná kapacita v porovnání s NiMH a Li-Ion
- použité Kadmium

Tabulka 4: Důležité technické specifikace baterie typu NiCd (NiCd akumulátory, 2013)

Síla/hmotnost	150 W/kg
Samovybíjení	10% měsíčně
Životnost v cyklech	1000-2000 cyklů
Nominální napětí článku	1,2 V



Obrázek 9: Schéma baterie NiCd (BAJ Website | Structure and Reaction Formula of Batteries, 2010)

1.2.4 Lithium-Iontové

Rozhodně nejrozšířenější druh baterií dnešní doby. Používají se téměř ve všem, s čím přijdeme v každodenním životě do styku. Ať už se jedná o mobilní telefon, notebook, fotoaparát či elektrokolo (obrázek 7). Jeho výhody jsou očekávané. Nízká váha a vysoká hustota energie vzhledem k objemu. Jedná se o moderní baterie, které je potřeba dobíjet speciální nabíječkou určenou pouze pro onu baterii. Baterie jsou vybaveny čipem, který hlídá její stav a nabíjení. Je zde ovšem třeba dát pozor na udržení baterie v nabitém stavu. Životnost baterie v tomto případě závisí hlavně na uživateli, jak s ní zachází. Baterie by se neměly přebíjet ani příliš vybíjet. (Elektrokola - baterie, 2014)

- + Vysoká hustota energie
- + Nízké samovybíjení do 50% při pokojové teplotě (s klesající teplotou roste)
- + Baterie nemají žádný paměťový efekt
- + Vysoká životnost
- + vysoce universální
- + vysoké výstupní napětí 3,7 V
- Stárnutí baterie bez ohledu na využívání
- Při nesprávném dobíjení hrozí nevratná deformace baterie
- Vysoká škodlivost úplného vybití
- bateriím škodí vysoké teploty a extrémní proudové zátěže

Tabulka 5: Důležité technické specifikace baterie typu Li-Ion (Používání Li-Ion akumulátorů v praxi, 2014)

Síla/hmotnost	200-500 W/kg
Samovybíjení	do 5% měsíčně
Životnost v cyklech	500-1200 cyklů
Nominální napětí článku	3,7 V



Obrázek 10: Moderní baterie Bosch technologie Li-Ion (Baterie 36V/11,1 Ah Li-ion Apache Bosch, 2015)

1.2.5 Lithium-polymerové

Vcelku nový druh, který se používá ve starších telefonech, RC modelech.... Články mají vysoké výstupní napětí, které je nejvyšší z používaných baterií, je zde ovšem velké riziko přebití a totálního vybití. Pokud klesne výstupní napětí pod 2,7 V, může dojít k nenávratné deformaci článku. (Elektrokola - baterie, 2014)

- + Velká kapacita v malém rozměru
- + malý paměťový efekt
- + minimální samovybití
- + dlouhá životnost
- + rychlonabíjení
- + vysoký vybíjecí proud
- nebezpečí vznícení nebo výbuchu při zkratu
- klesá kapacita i při nepoužívání akumulátoru
- při poklesu pod 2,7 V může dojít k nenávratnému zničení
- vyšší cena

Tabulka 6: Důležité technické specifikace baterie typu Li-Pol (Li-Pol akumulátory, 2011)

Síla/hmotnost	250-700 W/kg
Samovybíjení	do 5% měsíčně
Životnost v cyklech	1000-2000 cyklů
Nominální napětí článku	4,23 V

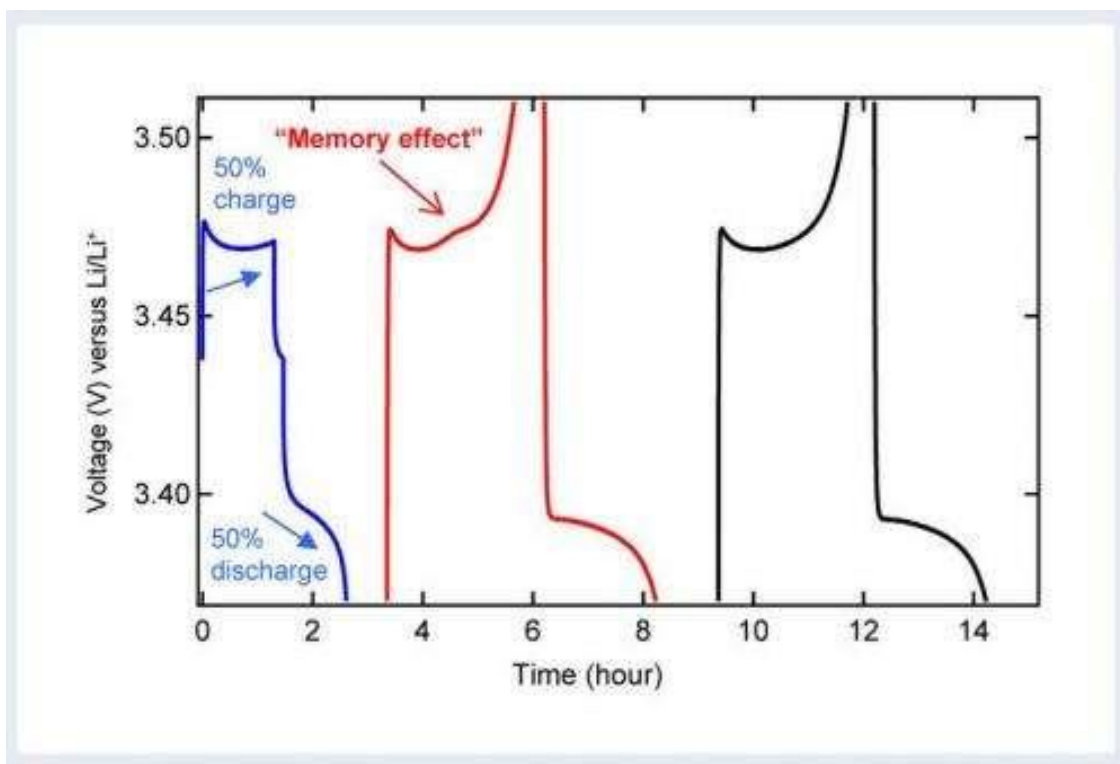
1.2.6 Lithium-železo-fosfátové

LiFePO jsou velmi podobné Li-Ion bateriím, co se týče vlastností. Jsou ovšem o něco flexibilnější v rozsahu odebíraných proudů při špičkových odběrech. Jako velký rozdíl je vysoká odolnost proti tepelným únikům, což výrazně zvyšuje bezpečnost baterie. (Elektrokola - baterie, 2014)

- + opět vysoká hustota energie, ale nižší než u Li-Ion
- + vysoký počet cyklů
- + životnost 3-10 let
- + účinnost nabíjení až 95%
- nižší hustota energie než Li-Ion
- rychlonabíjení zásadně snižuje životnost
- baterii vadí vybíjení i pod 30%

Tabulka 7: Důležité technické specifikace baterie typu LiFePo (Lithium-železo-fosfátové akumulátory, 2014)

Síla/hmotnost	>3000 W/kg
Samovybíjení	neudává se
Životnost v cyklech	2000 cyklů
Nominální napětí článku	3,3 V



Obrázek 11: Paměťový efekt baterie typu LI-Fe-Po (Memory effect, 2013)

Tabulka 8: Přehled tří variant baterií. (Komponenty na e-bike, Elektromotory, 2015)

	Výrobce	Výstupní napětí [V]	Druh baterie	Kapacita [Wh]	Cena [Kč]	Váha [kg]
1. Varianta	-	36	Pb	720	4 200	18
2. Varianta	E-Totem	36	LiFePO4	360	9 900	3,8
3. Varianta	Bosch	36	Li-Ion	400	20 500	2,5

V tabulce jsem sepsal možnosti k výběru baterie v různých cenových relacích v českých obchodech. Pro stavbu elektrokola bude využita samostatná baterie bez obalu z Aliexpress od ověřeného prodejce, která vyjde mnohem levněji.

1.2.7 Zvolení samostatné baterie

Abychom ušetřili peníze při stavbě elektrokola a zároveň mohli využít kvalitní a moderní technologie, rozhodl jsem se, že si vytvořím pouzdro na baterii vlastní a uvnitř bude sériově vyráběný Li-Iontový článek. Opět jsem zavítal na známý vyhledávač Alibaba.com a po doporučení obchodního partnera z jiného odvětví našel baterii mého typu. Je jí Li-Iontová

baterie s kapacitou 10Ah, které pro pražský provoz bohatě dostačují a zbývá nám i velká rezerva pro stárnutí baterie.

Baterie má rozměry 195*95*65 mm, takže nezabere mnoho místa a do jejího obalu se vejde i konvertor na 5V USB. Celý tento balík připevním na rám kola po sedlo, kde nebude překážet. Vyjmutí baterie se bude provádět tažením na levou stranu. Balení od Čínského prodejce obsahuje samozřejmě i nabíječku. Jednu rychlou 2 A a pomalejší 1A. Za cenu kolem 5 000 Kč se jedná o skvělou variantu, pokud je člověk trochu zručný a má potřebu šetřit. Obal na baterii bude vyroben z laminátu.

1.3 Muskulární síla

Svalová neboli muskulární síla je základním pohonem kola i elektrokola, nynější legislativa nepovoluje pohyb na elektrokole bez šlapání. Lidské tělo je dokonalý spalovač energie, který dokáže vyvinout obdivuhodný výkon. Cyklistika je jedním z nejdokonalejších pohybů vzhledem k využití lidské energie.

Kvalifikovaný odhad říká, že průměrný cyklista dokáže vyprodukovat zhruba 3 W na každý kilogram své váhy po dobu jedné hodiny. Testování probíhá v laboratořích na speciálních měřicích přístrojích (obrázek 9). To je okolo 200 W v případě sedmdesátakilového cyklisty. Špičkoví amatérští cyklisté jsou schopni až 5W a profesionální atleti kolem 6 W, což je kolem 400 W v případě průměrného cyklisty. Spurteři a sprinteři na uzavřených tratích vyprodukují až 25 W na kilogram své váhy. Zajímavostí je, že Usain Bolt vyvine krátkodobě až 2620 W. (Doprava lidskou silou, 2001).



Obrázek 12: Testování cyklistů (Emma Johansson, 2014)

2 Materiál rámu

Rám je základní nosnou částí elektrokola a je na něj kladen čím dál větší důraz. Dávno pryč jsou doby, kde jedinou možnou variantou byla ocel. V dnešní době máme na výběr několik základních materiálů, které se neliší jen cenou a váhou, ale i fyzikálními vlastnostmi, jízdními vlastnostmi, možnostmi obrábění, sváření a životností. Na trhu dnes najdeme rámy z oceli, hliníku, karbonu či titanu.

2.1 Ocelové rámy

Přesto že zaznamenáváme vysokou tendenci růstu alternativních materiálů, tak je ocel stále nejpoužívanějším materiálem na stavbu rámu kola. Levné ocelové rámy jsou vyráběny z oceli Hi-Ten. Tato ocel má vysokou pevnost, ale rámy z ní vyrobené jsou velice těžké. Dražší modely jsou ze sofistikovanější oceli chrom molybdenové, která vykazuje lepší tuhost v krutu a má lepší tvarovací vlastnosti. U dražších typů kol s ocelovým rámem se používají trubky o různém průměru stěn, kdy ve středu trubky je materiál tenčí a na krajích pochopitelně silnější. Je to v místech, kde je rám kola více namáhán. Spojování trubek probíhá svařování v ochranné atmosféře technologií T.I.G.

2.2 Hliníkové rámy

Čistý hliník se nepoužívá pro svoji měkkost, ale používají se jeho slitiny. Nejčastější jsou slitiny hliníku s hořčíkem, křemíkem a zinkem. Jejich nejlepší vlastnost je nízká hmotnost, na druhé straně není ale pevnost hliníkových slitin velká (obrázek 10). S ní se snaží výrobci bojovat jejich zušlechťováním (tepelným zpracováním). Na horská a krosová kola se používají hliníky řady 6000, která je na bázi slitiny hliníku, křemíku a hořčíku a řady 7000 na bázi slitiny hliníku, hořčíku a zinku. Dural je jedním z nejrozšířenějšího materiálu na výrobu rámu i přes svoje negativní vlastnosti včetně náročnějšího spojování.



Obrázek 13: Prasklý hliníkový rám není neobvyklý (Aluminium Bike Frame Repair, 2014)

2.3 Titanové rámy

Čistý titan je na výrobu rámu nevhodný materiál, protože má mnohem menší pevnost než železo. Nejpoužívanější jsou slitiny titanu a to Ti-Al-V. Hmotnost titanových rámu není tak nízká jako u hliníkových slitin, ale jsou pevnější a svými mechanickými vlastnostmi se blíží ocelím chrom molybdenovým. Titanové rámy jsou dražší, a protože titan nekoroduje, tak není potřeba jejich další povrchová úprava.

2.4 Kompozitní materiály

Tvoří se naprosto odlišným způsobem a jsou tvořeny většinou dvěma složkami jiných struktur a vlastností. První složkou jsou vlákna na vyztužení. Můžou být grafitová, uhlíková nebo aramidová a druhou složkou je pojivo. Jsou to vazebné látky (epoxidové živice, polyestery,

pryskyřice). Nejčastěji se používají uhlíková a kompozitová vlákna, která se kombinují s dalšími výstužnými vlákny v takzvaných hybridních kompozitech. Jako příklad můžeme uvést grafitová s aramidovými, která jsou známá pod názvem Kevlar.

Jejich tuhost a pevnost se blíží hliníkovým slitinám, ale jejich hmotnost je mnohem nižší, což u nich vytváří vysokou pevnost. Zápornou stránkou je nízká odolnost proti nárazům. Rámy se vyrábějí buď jako samostatné trubky spojené kovovými spojkami nebo jednoduté celky takzvané „monocoque“.

Tabulka 9: Výběr tří variant rámu. (AliExpress.com - Online Shopping, 2015)

	Výrobce	Materiál	Hmotnost [kg]	Cena [Kč]
1. Varianta	CYS (China)	CrMO ocel	2,5	4 200
2. Varianta	CYS (China)	Slitina hliníku	1,95	4 750
3. Varianta	RCA (China)	Uhlíkový kompozit	0,78	13 200

Všechny tyto tři rámy jsem zvolil z obchodu Aliexpress, jejich cena je nesrovnatelně nízká, až podezřele nízká, ale jedná se o ověřeného prodejce, který navíc garantuje záruku tří let. V České republice by například uhlíkový rám vyšel na tři až čtyřnásobek ceny přímo z Číny včetně poštovného, přesto bude vyroben ve stejném závodě.

3 Chytré příslušenství

V dnešní době si bez inteligentního čehokoli nedokážeme představit téměř žádný pohyb. V tom případě se nemůžeme divit, že k cyklistice už nám dnes nestačí pouze kolo a fyzická síla. Ať už pro zábavu nebo čistě z praktického hlediska používáme smart hodinky, ale hlavně smart telefony, které mají spoustu výhod. Jako základní a velká výhoda je google navigace, která nejen přesně a jednoduše dovede do jakéhokoli cíle, ale umí vcelku přesně informovat o dopravní situaci. Na kole musíme mít také osvětlení, chceme mít v brašně u zadního kola nabitý notebook potřebný pro práci atd. Všechny tyto vychytávky a nutnosti potřebují ke svému pohonu baterie a elektrickou energii, které máme v elektrokole pro kratší dojezdy dostatek. Nabízí se tedy možnost transformace z napětí 36V na potřebných 5V a 1A pro dobíjení pomocí USB, případně jako výstup zvolit 12V pro dobíjení větších zařízení typu notebook.

Pro transformaci na normované USB napětí 5V použijeme běžně dostupné součástky, které se vyskytují především na čínských e-shopech. Konvertor 36 V na 5 V stojí v kvalitním provedení kolem sto padesáti korun a ušetří nám spoustu času (obrázek 12). Jeho velikost není větší než 45x30x18 mm, takže se bez problémů vejde k chystané objímce na baterii, která bude vyplněná 10Ah baterií ne zcela zplna. Zapojení provedu mikropájením přímo na výstup z baterie, protože konvertor již obsahuje chránící odpor. (AliExpress.com - Online Shopping, 2015)



Obrázek 14: Konvertor z napětí 36 V na micro USB port s napětím 5 V (AliExpress.com - Online Shopping, 2015)

Dobíjení notebooků představuje ovšem větší oříšek. Problém je jednoduchý. Většina přenosných počítačů má odlišné vstupních napětí. Novější ultrabooky se celkem shodují na 12 V stejnosměrných, ale není to jistota. Starší počítače chtějí i 19 V či 20 V. Jako nejlepší řešení se mi zdálo umístění malé trafostanice do tašky k notebooku, která bude přeměňovat 36 V z baterie elektrokola na alespoň 110 V střídavého napětí.

Výstupem bude evropská samičí zdířka, do které uživatel zapojí standardně dodávanou nabíječku k počítači. Ano, opravdu nám stačí 110 V střídavého napětí i pro evropská zařízení. Dodávané nabíječky si s tím poradí a my ušetříme nějaké gramy mědi a ztrátové teplo. Bohužel si toto řešení vyžádá mnohem větší investici pohybující se pouze za součástky kolem 2500 Kč a je otázkou, jestli výsledek za tuto investici i váhovou stojí.

Vrátíme-li se k nabíjení mobilního telefonu a jeho spotřebě, tak budeme mile překvapeni. Má studie potvrdila, že provoz, respektive nabíjení i velkého a „žravého“ telefonu, jakým bezesporu je i můj iNew V3 stojí ročně asi 6 Kč. Spotřeba baterie do plného nabití je i se ztrátami v kabeláži a nabíječce 0,004 kWh, to odpovídá asi 300 metrům po rovině s minimálním úsilím elektromotoru.

Nabíjení notebooku je o poznání větší spotřebitel elektrické energie, z tohoto důvodu jsem se rozhodl neimplementovat nabíječku do cestovní brašny. Spotřeba energie se zde při nabíjení pohybuje kolem 40-50 W po dobu cca jedné hodiny, přestože jsem výsledky získal pouze ke staršímu přístroji, tak předpokládám, že moderní stroje nebudou v těchto charakteristikách řádově odlišné.

4 Bike Sharing

Bike Sharing je systém sdílení kol, který je hojně využívám v západních rovinných metropolích. Nároky na elektrokolo používané při sdílení kol jsou trochu odlišné od soukromého využívání. Aby byl bike sharing co možná nejvýnosnější, v některých případech spíše co nejméně prodělečný, je nutné náklady snížit, co to jen půjde.

Nemluvím teď ani tak o konstrukci vozidla, ale spíše o bezobslužný systém půjčování. Ve Francii funguje podobně car sharing a vozidla jsou tomu plně přizpůsobena. Nemají na hliníkové karoserii ani barevný lak, aby případné oděrky šly nejlevněji opravit. Přizpůsobený je k tomu i velmi jednoduchý a praktický interiér.

V tomto duchu by se mělo nést i zapůjčované elektrokolo. Masivní hliníková konstrukce bez laku s masivním příslušenstvím vyrobeným ideálně na míru podle našich představ. Důležitá je minimální servisní náročnost a vysoká odolnost i vůči vandalům, která může kromě jiného obsahovat například i bezpečnostní šrouby na kola.

5 Jízdní odpory

Odpory, které vznikají jízdou jakéhokoli dopravního prostředku, jsou nezanedbatelnou součástí dopravy a je na ně kladen čím dál tím větší důraz. Nejinak tomu nemůže být ani v dopravě cyklistické. Největší roli zde hraje konstrukce bicyklu, použité materiály a příslušenství. Konkrétně bych vypíchl váhu a kontaktní plochu s vozovkou. Je těžké najít vhodné uspořádání materiálů a příslušenství, abychom dostali ideální poměr cena/váha/pevnost u rámu a poměr bezpečnost/stabilita/styková plocha u použitých pneumatik. Základní odpory, které se vyskytují v dopravě, jsou: odpor vnitřního tření, odpor valení, odpor vzduchu, odpor stoupání a odpor proti zrychlení, který ale téměř neovlivníme.

(First, 2014)

5.1 Odpor vnitřního tření

Jedná se o účinnost vnitřních mechanismů a všech konstrukčních prvků, které se podílejí na přeměně muskulární a elektrické energie na energii kinetickou. U elektrokola se tato hodnota pohybuje kolem 0,7 – 0,9. Jedná se o bezrozměrnou veličinu často udávanou v procentech. Každý mechanismus musí překonávat odpor tření a několik dalších odporů. Je tedy k jejich práci využita určitá energie, se kterou už nemůžeme dále počítat. Jedná se tedy o poměr sledované veličiny výstupu ku sledované veličině na vstupu. Jde o velice komplexní výpočet, který se zjednodušuje vložением konstanty v rozmezí $<0,1>$, chcete-li 0-100 %. Na elektrokole můžeme tento odpor snadněji ovlivnit než například v automobilu (obrázek 13). Pomůže nám k tomu například nízkoadhezní lubrikant, kvalitní mazací olej například typu „Chain Lube Pells Bio“. Pokud se zanesou řetěz nečistotami, dochází k větší spotřebě energie a snižování výkonu. (First, 2014)



Obrázek 15: Rozdíl ve tření není zanedbatelný (cleanbikevsdirtybike.png, 2010)

5.2 Odpor valení

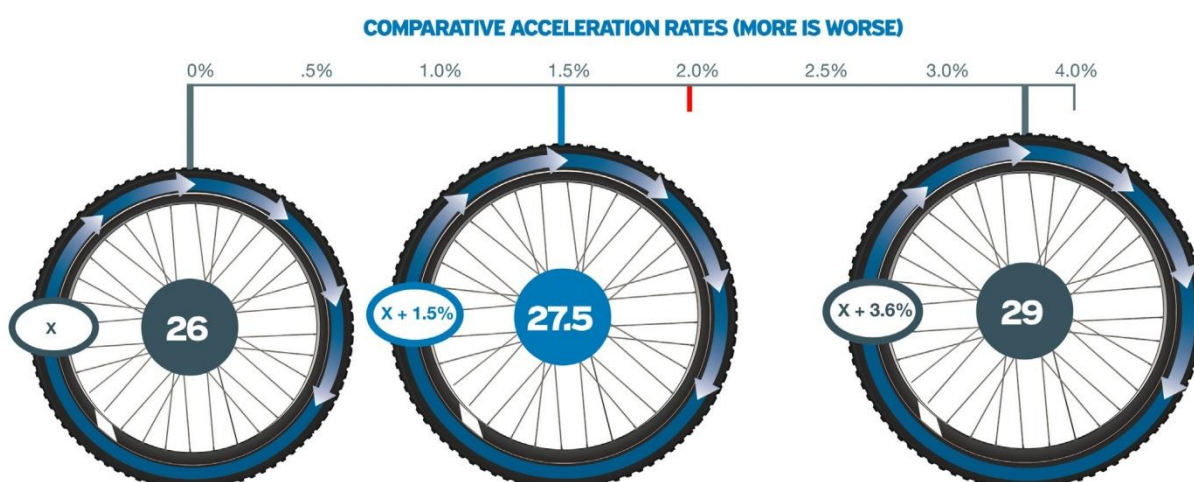
Tento odpor vzniká u všech vozidel, které používají pro styk se zemským povrchem kola. Nejmenší odpor se nachází u drážních vozidel s malou stykovou plochou. S větší plochou se zvyšuje odpor valení, který je pro nás nechtěný. Na druhou stranu se zvyšující se stykovou plochou dochází k větší směrové stabilitě jízdního kola. Najít universální pneumatiku je proto nemožné. Řešením jsou universální ráfky, které nabízejí montování jak silničních galusek, tak balónových pneumatik do terénu a to i toho městského, který skýtá mnohé překážky v podobě kočičích hlav, kanálových krytů a v neposlední řadě četnou síť tramvajových BKV panelů a výhybek. Jedná se o důležitý problém k vyřešení z hlediska jedné strany bezpečnosti a druhé úspory energie. (First, 2014)

V tomto tématu je vhodné zaměřit se i na průměr kola, který hraje také velkou roli. V dnešní době prochází jízdní kola zvětšováním a dříve běžné velikost 26“ nahrazují velikosti 27,5“ a 29“. Jaké výhody a nevýhody mají tyto velikosti? (POROVNÁNÍ VELIKOSTI RÁFKŮ, 2014)

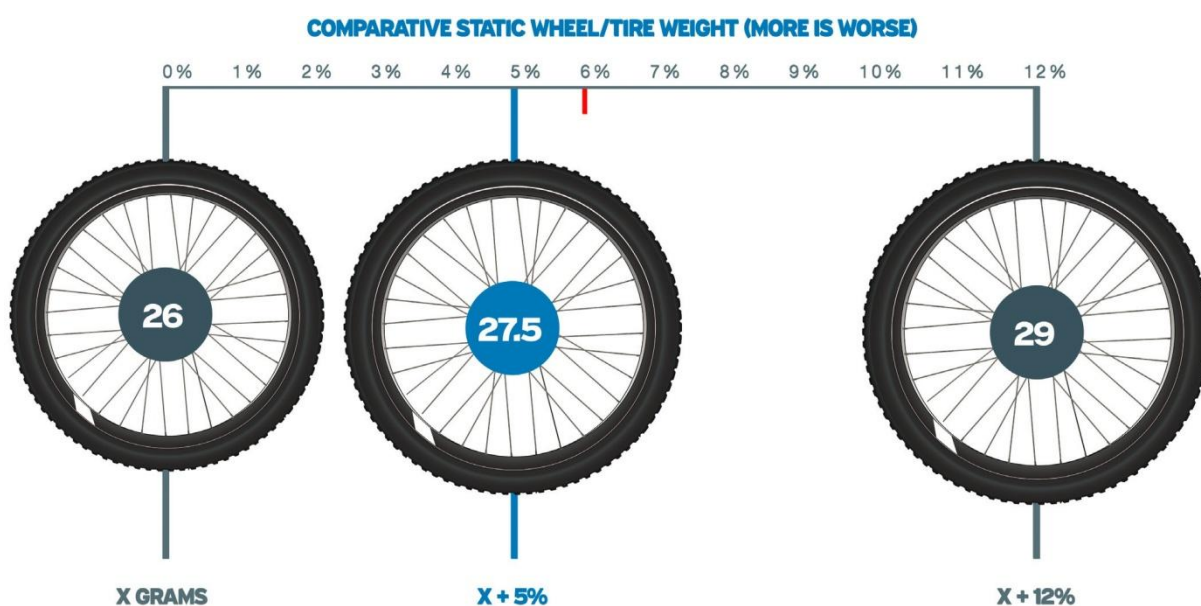
Informace jsem čerpal z testu společnosti adroit.cz, kde testovaly všechny tři velikosti na horských kolech firmy Giant.

Důležitým faktorem pro výběr ráfku je hmotnost. Každý jezdec pocítuje na kole dva druhy hmotnosti, které mají vliv na jízdu a chování. Jedná se o celkovou hmotnost soustavy a obvodovou hmotnost kol. Pro začátek prozradím, že velikost 27,5“ vyšla jako vítěz s nejuniversálnějším použitím.

Jedním z nejdůležitějších aspektů 27,5“ kola je jeho lepší akcelerace oproti 29“ konkurentům (obrázek 14). Cyklista pocítí rozdíl především v akceleraci, když se opře do pedálů z nulové rychlosti. Odezva na vynaloženou energii je zásadně rychlejší. Vliv na to má nejen nižší celková statická hmotnost, ale i to, jak je hmotnost kol rozložena. Logicky čím dále je od středu, tím horší akcelerace je. Klíčem by bylo použití lehčích ráfků, niplů a pláštěů, což ovšem výrazně zvyšuje cenu. Grafika ukazuje, že 27,5“ kolo je při akceleraci jen o 1,5 % pomalejší než stejné kolo o průměru 26, ale rychlejší o 3,6 % než kolo 29“. (POROVNÁNÍ VELIKOSTI RÁFKŮ, 2014)



Obrázek 16: Porovnání akcelerace ráfků (POROVNÁNÍ VELIKOSTI RÁFKŮ, 2014)



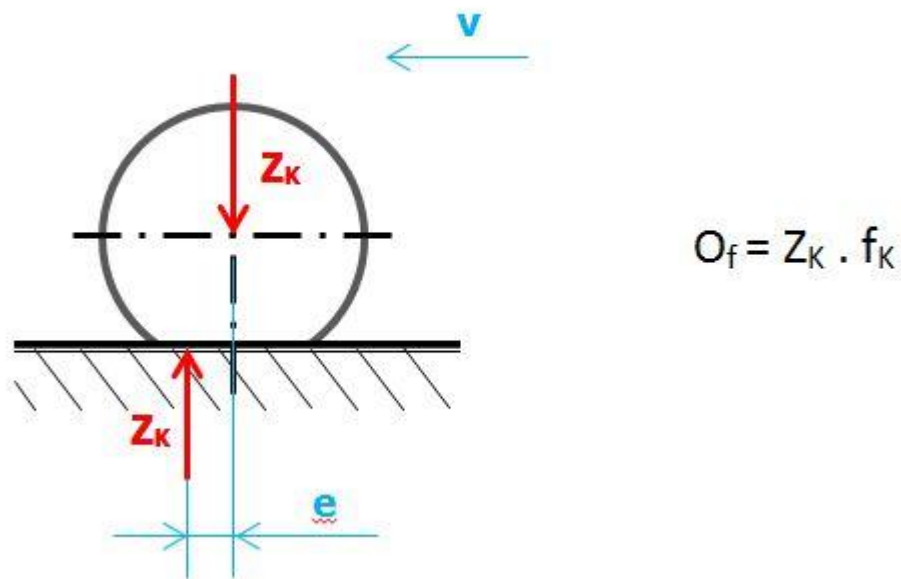
Obrázek 17: Porovnání hmotností ráfků (POROVNÁNÍ VELIKOSTI RÁFKŮ, 2014)



Obrázek 18: Porovnání trakce ráfků (POROVNÁNÍ VELIKOSTI RÁFKŮ, 2014)

Čím větší je průměr kola, tím větší je také styčná plocha mezi pláštěm a povrchem, což se projevuje lepší trakcí (obrázek 15) a větší adhezí (obrázek 16), to má za následek lepší akceleraci, stabilitu ale také větší spotřebu energie. V dnešní době je na trhu ovšem spousta druhů MTB ráfků, které se chovají stoprocentně v terénu, ale na silnici využívají jen malou styčnou plochu. To je typ pneu, který je vhodný pro naše použití ideálního elektrokola pro použití v městské džungli. Má nezanedbatelně větší valivý odpor, ale bezpečnost nelze v městském hustém provozu podceňovat. Raději uspoříme hmotnost a jízdní odpor na jiných místech. (POROVNÁNÍ VELIKOSTI RÁFKŮ, 2014)

Naměřil jsem, že u silniční polo galusky je rameno plochy na zadním kole 5,9 cm a na předním kole 5,35 cm. U horského kola s balónovými plášti je rameno plochy na zadním kole 8,7 cm a na předním kole 7,15 cm.



Obrázek 19: Nákres odporu valení a důležitých veličin (cs_odpor_valivy_003.jpg, 2011)

5.2.1 Výpočet odporu valení

$$e_{\text{přední polo galuska}} = 5,35 \text{ cm} = 0,0535 \text{ m}$$

$$e_{\text{zadní polo galuska}} = 5,9 \text{ cm} = 0,0590 \text{ m}$$

$$e_{\text{přední MTB}} = 7,15 \text{ cm} = 0,0715 \text{ m}$$

$$e_{\text{zadní MTB}} = 8,7 \text{ cm} = 0,0870 \text{ m}$$

Pro zjednodušení výpočtu měření jsem použil stejně osazené horské kolo s čistou váhou 13,2 kg. Hmotnost jezdce byla 85,4 kg. Rozložení váhy na přední kolo bylo tedy průměrně 19,72 kg a na zadní kolo zbylých 80%, které představují zbylých 78,88 kg statické váhy.

$$Z_{\text{přední kolo}} = 19,72 \text{ kg}$$

$$Z_{\text{zadní kolo}} = 78,88 \text{ kg}$$

Poloměr kola předního a zadního byl stejný jak u polo galusek, tak i u plášťů s MTB vzorem. Čítal 13,75“, což je při zaokrouhlení na setiny 0,35 m

$$r_d = 0,35 \text{ m}$$

- **Výpočet odporu valení polo galusky**

Součinitel valivého odporu

$$f_{k\text{-přední pologaluska}} = \frac{e_{\text{přední polo galuska}}}{r_d} = \frac{0,0535}{0,35} = 0,153$$

Odpor valení kola

$$\begin{aligned} O_{fk\text{-přední pologaluska}} &= Z_{k\text{-přední kolo}} * \frac{e_{\text{přední polo galuska}}}{r_d} \\ &= Z_{k\text{-přední kolo}} * f_{k\text{-přední pologaluska}} = 19,720 * 0,153 = 3,017 \text{ N} \end{aligned}$$

Součinitel valivého odporu

$$f_{k\text{-zadní pologaluska}} = \frac{e_{\text{zadní polo galuska}}}{r_d} = \frac{0,0590}{0,35} = 0,169$$

Odpor valení kola

$$\begin{aligned} O_{fk\text{-zadní pologaluska}} &= Z_{k\text{-zadní kolo}} * \frac{e_{\text{zadní polo galuska}}}{r_d} \\ &= Z_{k\text{-zadní kolo}} * f_{k\text{-zadní pologaluska}} = 78,880 * 0,169 = 13,297 \text{ N} \end{aligned}$$

Celkový odpor valení galusky je tedy součet odporu předního a zadního kola

$$O_{fk} = O_{fk\text{-přední pologaluska}} + O_{fk\text{-zadní pologaluska}} = 3,017 + 13,297 = 16,314 \text{ N}$$

- **Výpočet odporu valení MTB pneu**

Součinitel valivého odporu

$$f_{k\text{-přední MTB}} = \frac{e_{\text{přední MTB}}}{r_d} = \frac{0,0715}{0,35} = 0,204$$

Odpor valení kola

$$\begin{aligned} O_{fk\text{-přední MTB}} &= Z_{k\text{-přední kolo}} * \frac{e_{\text{přední MTB}}}{r_d} = Z_{k\text{-přední kolo}} * f_{k\text{-přední MTB}} \\ &= 19,720 * 0,204 = 4,029 \text{ N} \end{aligned}$$

Součinitel valivého odporu

$$f_{k\text{-zadní MTB}} = \frac{e_{\text{zadní MTB}}}{r_d} = \frac{0,0870}{0,35} = 0,249$$

Odpor valení kola

$$\begin{aligned} O_{fk\text{-zadní MTB}} &= Z_{k\text{-zadní kolo}} * \frac{e_{\text{zadní MTB}}}{r_d} = Z_{k\text{-zadní kolo}} * f_{k\text{-zadní MTB}} \\ &= 78,880 * 0,249 = 19,607 \text{ N} \end{aligned}$$

Celkový odpor valení MTB pneu je tedy součet odporu předního a zadního kola.

$$O_{fk} = O_{fk\text{-přední MTB}} + O_{fk\text{-zadní MTB}} = 4,028 + 19,607 = 23,635 \text{ N}$$

5.2.2 Shrnutí valivého odporu

Z předchozích výpočtů tedy vyplývá, že největší vliv na valivém odporu má hmotnost na kolo, rozdíl valivého odporu mezi polo galuskami a MTB pneumatikami je po zaokrouhlení 20%, což není zanedbatelná hodnota, ale z hlediska bezpečnosti jsme ji ochotni přijmout. Pokud snížíme hmotnost použitím lehčích materiálů na rám, dostaneme lepší výsledky valivého odporu. Je nutno podotknout, že měření stykových ploch bylo prováděno amatérským způsobem a šlo spíše o experimentální pokus. Velkou roli hraje také nahuštění pneumatiky, já jsem volil maximální doporučené huštění výrobcem plášťů. V běžných podmínkách se nezdá setkáváme se změnami tlaku v pneu během jízdy dofukováním a upouštěním.

5.3 Odpor vzduchu

Rychlost vzduchu je vzhledem k jezdcovi rozdílná před ním a za ním, což vede k rozdílu tlaků a s tím spojenému vzniku odporové síly. Exponenciálně do její velikosti promlouvá rychlost proudícího vzduchu. Další významný faktor je hustota vzduchu a přední plocha. Ta závisí na rozměrech cyklisty, opět je tedy hmotnost a velikost cyklisty jako nejdůležitější část při výpočtu odporu, závisí také na kolech a jejich tvaru. Běžná hodnota plochy se pohybuje okolo $0,4 \text{ m}^2$, při zvednutém trupu kolem $0,6 \text{ m}^2$. Hodnotu hustoty vzduchu budeme počítat jako $1,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Rozdělení odporu vzduchu mezi jezdce a jízdní kolo je asi 7:3, takže pokud chceme snižovat odpor vzduchu, je nejlepší začít u jezdce, jeho posedu, oblečení atak dále. Vylepšení kola z aerodynamického hlediska je navíc velice nákladnou záležitostí, takže se jím nebudeme při stavbě kola příliš zabývat a použijeme raději konvekční tvary z lehčích materiálů.



Obrázek 20: Až téměř kosmický design uhlíkového rámu speciálu z Tour de France (ergonomics-mainbanner-1.jpg, 2015)

Celkový odpor vzduchu je součtem několika odporů, které cyklista v atmosféře musí překonat. Hlavní ze složek je čelní odpor vozidla, dalšími složkami je odpor vzduchu rotujících kol a další blíže nespecifikované odpory. K výpočtu vynaložené energie představující odpor vzduchu platí následující vztah: (First, 2014)

$$O_v = \frac{1}{2} * \rho * c_x * S_x * v_r^2, \text{ kde}$$

O_v Odpor vzduchu [N]

ρ Hustota vzduchu, používá se hodnota 1,25 [kg*m⁻³]

S_x Čelní plocha vozidla [m²], získává se řezem nebo projekcí a planimetrií

v Rychlost proudícího vzduchu [m*s⁻¹]

c_x Součinitel odporu vzduchu [-], Poměrné číslo, které sdružuje jak tvarový, tak povrchový profil tělesa a jeho vliv na obtok vzduchu. Zjišťuje se experimentálně nejčastěji v aerodynamickém tunelu, u cyklisty se používá 0,7

V následující tabulce je uvedeno, jak podle Newtonova vzorce ovlivňuje rychlost odporovou sílu.

Tabulka 10: Závislost odporu vzduchu na rychlosti

Rychlost [km/h]	Odpor vzduchu [N]
6	7,56
9	17,01
12	30,24
15	47,25
18	68,04
21	92,61
24	120,96
27	153,09
30	189
33	228,69
36	272,16
39	319,41
42	370,44
45	425,25
48	483,84
51	546,21

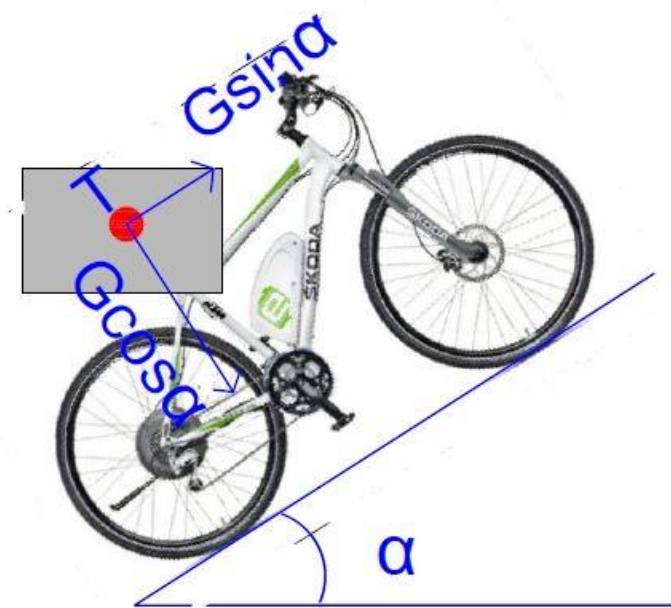
5.4 Odpor stoupání

Odpor stoupání O_s působí při jízdě v podélném sklonu vozovky. Při jízdě po rovině je nulový a při jízdě z kopce záporný, to znamená, že nás při jízdě urychluje. Zde je nejvýraznějším prvkem váha jízdní jednotky a samozřejmě úhel stoupání. Převážně váha cyklisty se podílí na odporu stoupání podle vzorce. (First, 2014)

$$O_s = \pm G * \sin \alpha, \text{ kde}$$

G je tíha cyklisty s bicyklem [N]

α je úhel stoupání vozidla



Obrázek 21: Zobrazení sil při stoupání

6 Měření

V této části bakalářské práce jsme se s kolegou Lukášem Jánešem zaměřili na průjezdnost a komfort cestování po Praze. Dostali jsme k zapůjčení od společnosti CYKLOPUJCOVNA.COM sídlící v Děčíně elektrické kolo značky Apache Elektronika typ Plus 7-sp.

S tímto půjčeným kolem jsme provedli měření na několika trasách pro zjištění pohodlí cestování a energetickou a časovou náročnost. Kolega pojal práci z hlediska prostředí a cest. Já jsem ji pojal z technického hlediska s ohledem na ideální parametry kola. Chtěli bychom, aby připravované kolo, jemuž bude tato práce základním podkladem, a ve stavbě budeme pokračovat v navazujícím studiu, bylo hlavně maximálně konkurenceschopné nejen MHD, ale i IAD.

6.1 Technické specifikace elektrokola

V tabulce číslo deset je shrnutý přehled technických specifikací zapůjčeného elektrokola.

Tabulka 11: Technické specifikace zapůjčeného kola v tabulce (Specifikace, 2012)

Technické specifikace	
Rám	Alu 6061 26" výška 470 mm, osa sedlové trubky/osa řízení 58 cm
Vidlice	ZOOM Al CHD-140-26" ZOOM odpružená
Brzdy	Alu v-brake, páky Al s vypínacím kontaktem
Převody	Shimano TX 7/13-28, 1-převodník 42 z
Řazení	Shimano Revoshift 7-sp
Přehazovačka	Shimano Tourney 7-sp
Osvětlovací systém	Baterie přední a zadní
Ráfky	26" HJC, dvojité
Sedlovka	27,2 s odklápěcím mechanismem (umožňuje vyjmutí baterie)
Představec	Al, nastavitelný
Motor	36 V/250 W, bezkartáčový, přední s volnoběžkou
Baterie	36 V/10,5 Ah, Li-Ion, váha 4,5 kg
Nabíječka	DC 36 V, 1,8 A, doba nabíjení prázdné baterie cca 5 - 8 hodin
Nosnost	Maximálně 120 kg
Hmotnost	25,5 kg

Na obrázku číslo 22 jsou popsány nejdůležitější části elektrokola, obrázek je převzatý z brožury, která je součástí balení elektrokola.



Obrázek 22: Obrázek od výrobce zapůjčeného elektrokola (Specifikace, 2012)

Obrázek číslo 23 ukazuje detail a umístění baterie.



Obrázek 23: Detail baterie fotkou od výrobce (Specifikace, 2012)

Vlastnosti elektrokola

- Koncepce jednoduchého snímání PAS snímačem
- Motor se zapne po 1,5 – 2sec. od chvíle, kdy začnete šlapat, a vypne se se stejným zpožděním, když šlapat přestanete.
- Silná podpora během cestovní rychlosti (v módu HIGH).
- Vzestupný výkon motoru se vypíná při rychlosti 25 km/hod.
- Vyhovuje všem evropským předpisům a je to stále jízdní kolo, NE moped!
- Dojezd: 30 až 60 km / odvislý od profilu trati a váhy jezdce
- Jednoduchý ovládací tlačítkový panel s přidaným tlačítkem 6km/h

(Specifikace, 2012)

Jízdní programy:

LOW - nízká motorová pomoc

MED - střední motorová pomoc

HIGH - vysoká motorová pomoc

6km/h – pomocí tlačítka jede kolo samo rychlostí cca 6 km/h(pomoc při rozjezdu, nebo při tlačení) (Specifikace, 2012)

6.2 Naměření a vyhodnocení tras

Před začátkem měření jsme si museli rozvrhnout jak kde a co budeme měřit, abychom dostali odpovídající a vyhovující obrázek o cestách a cestování v Praze. Museli jsme proto volit širokou škálu tras i časové rozpětí. Jako náš bod, ze kterého jsme vyjžděli a do kterého se opět po cestě vraceli, jsme zvolili budovu ČVUT FD v Ulici Horská na Praze 2, kde máme garáže a ustájení bicyklu přímo v areálu školy a nachází s téměř v centru hlavního města. Při měření spotřeby energie elektrokola jsme použili digitální měřič spotřebované elektrické energie. Odpor samostatné nabíječky baterie byl 1,3 Wh, což je v našich jednotkách 0,0013 kWh.

Zvolili jsme trasy do hvězdice, abychom pokryli všechny směry. Vybrali jsme deset cest, které vedly do Vršovic, na Prosek, Dejvic, Jinonic, Malé Chuchle, na Pankrác, Zahradního Města, Tróji, na Žižkov. Trasy jsme zanalyzovali z několika hledisek. Komfort cestování,

rychlost cesty, profil trasy, spotřeba energie baterie a samozřejmě vzdálenost. Většinu tras jsme také porovnávali vůči integrované automobilové dopravě a MHD.

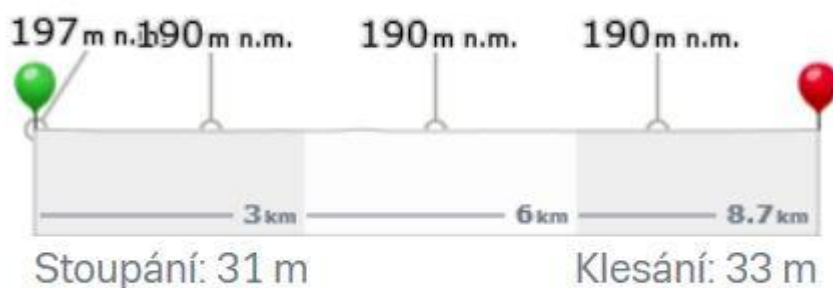
6.2.1 Trasa Horská - Nádraží Modřany (8,7 km)

Tato trasa je vhodnou především pro cyklisty, kteří nevyužívají kolo čistě k ušetření času. Nabízí příjemné prostředí, které je umocněno téměř nulovým převýšením a je vedena téměř celá po nové a kvalitní cyklostezce. V odpoledních hodinách je zde silnější provoz, ale přesto lze na elektrokolu udržovat téměř celou cestu maximální rychlost kole 28 km/h.

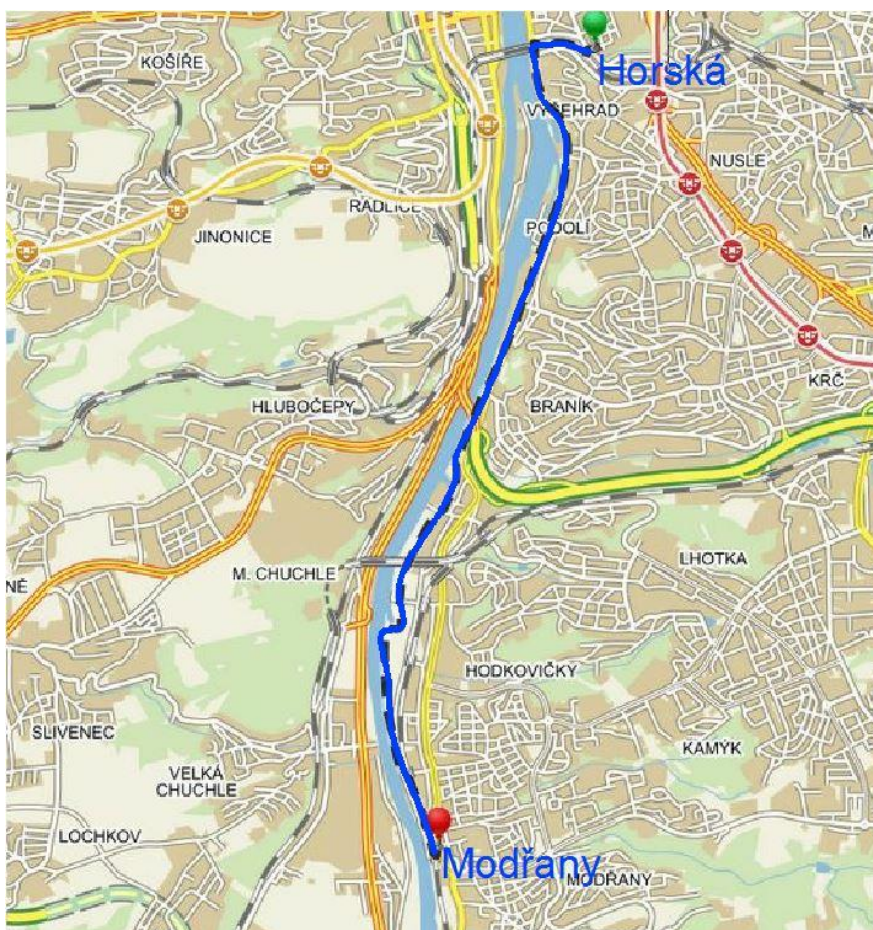
Podél stezky vede rovnoběžně tramvajová trať s denními linkami 3 a 17, takže bohužel použitím kola nedochází k úspoře času, ale jako ranní probuzení a odpolední protáhnutí je cesta ideální i pro nespoutovce.

Tabulka 12: Naměřené hodnoty na trase Horská - Nádraží Modřany

Čas tam [min]	Čas zpět [min]	Stoupání [m]	Klesání [m]	Energie	Počasí	Povrch	MHD [min]	IAD [min]
17	15	101	81	0,1	Slunečno	Asfalt	18	14



Obrázek 24: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010)



Obrázek 25: Trasa z Horské do Modřan (mapy.cz, 2010)

6.2.2 Trasa Horská - Vršovice (4,1 km)

U měření této trasy jsem bohužel nebyl přítomen, ale dostalo se nám jedno zásadní zjištění. A to, že jízda v silné bouři není příjemná ani za použití maximální ochrany v podobě ponča určeného přímo pro cyklistiku.

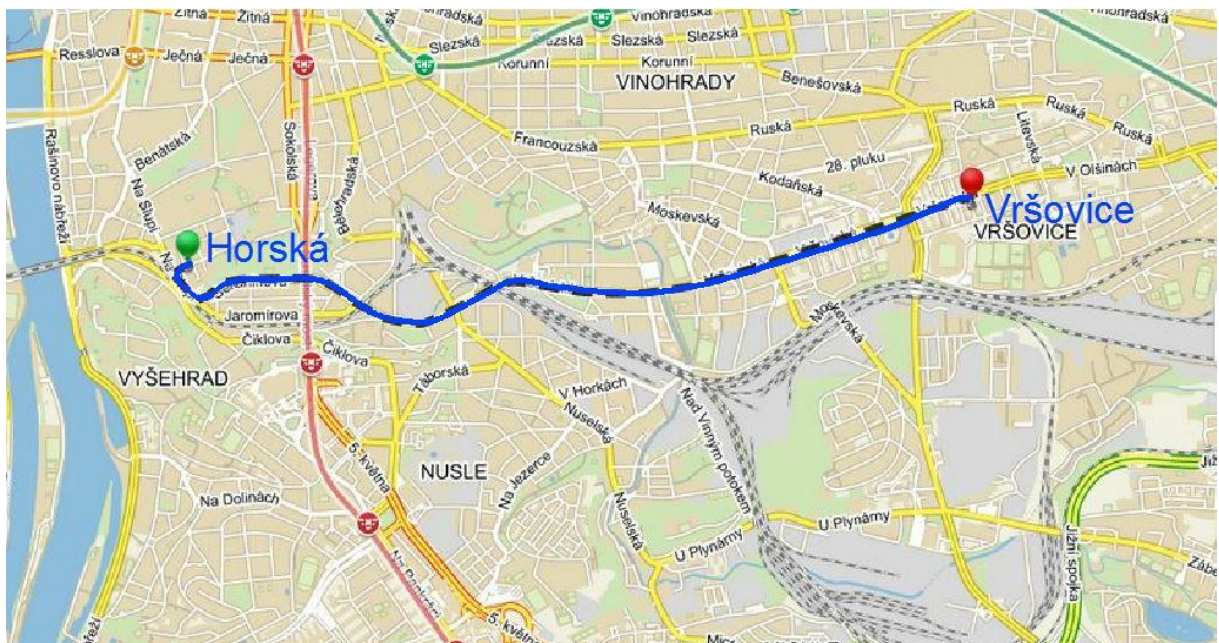
Každopádně trasa je takovou typickou pražskou, která je spíše alibisticky upravena pro cyklisty. Většina cesty totiž vedla pouze vyhrazeným pruhem pro cyklisty, což není v silném provozu téměř žádná výhoda oproti místům bez pruhu. Nicméně do cíle dorazila stejně IAD jako testovací jezdec.

Tabulka 13: Naměřené hodnoty na trati do Vršovic

Čas tam [min]	Čas zpět [min]	Stoupání [m]	Klesání [m]	Spotřebovaná energie [kWh]	Počasí	Povrch	MHD [min]	IAD [min]
17	15	21	4	0,05	Silný déšť	Asfalt	7	11



Obrázek 26: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010)



Obrázek 27: Trasa z Horské do Vršovic (mapy.cz, 2010)

6.2.3 Trasa Horská - Prosek (13,9 km)

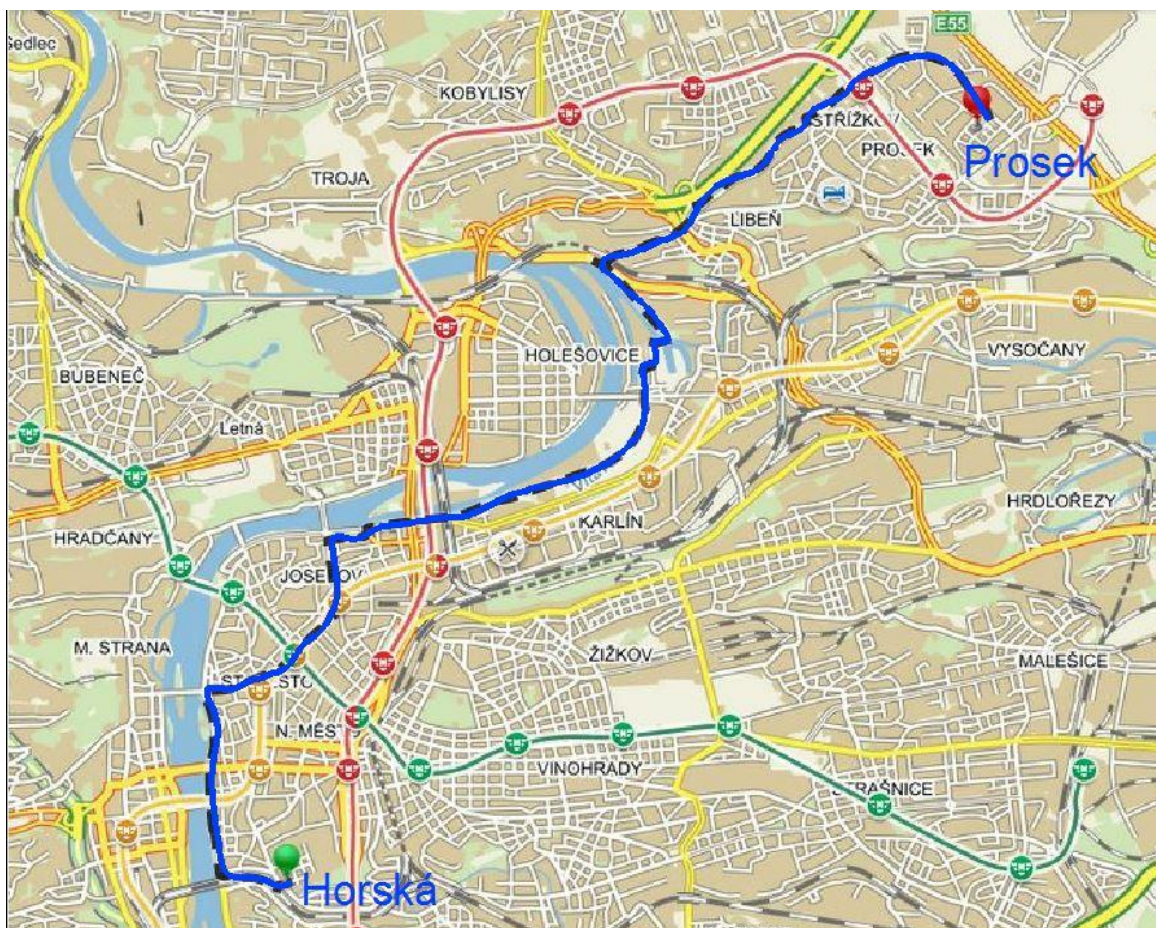
Jedná se o nejdelší trasu, kterou jsme zvolili. Jízda byla velice náročná z důvodu silné bouřky a následného krupobití. Z důvodu dostupnosti metra a okruhu není tato cesta vhodná pro cyklisty a to ani pro ty na elektrokole. Cestu znepríjemňuje hlavně velké stoupání v ulicích a jízda centrem. Pro cestování doporučujeme zvolit MHD.

Tabulka 14: Naměřené hodnoty trasy Prosek

Čas tam [min]	Čas zpět [min]	Stoupání [m]	Klesání [m]	Spotřebovaná energie [kWh]	Počasí	Povrch	MHD [min]	IAD [min]
46	40	145	55	0,32	Bouřka	Asfalt	31	22



Obrázek 28: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010)



Obrázek 29: Trasa z Horské na Prosek (mapy.cz, 2010)

6.2.4 Trasa Horská - Dejvice, NTK (8,2 km)

Trasa mezi Horskou a Technickou Knihovnou vede městem bez použití cyklotras. Cestování bylo tedy stísněné a člověk se občas i bál o život, je to ale situace, na které se dá lehce zvyknout zvláště, pokud jste na místě rychleji.

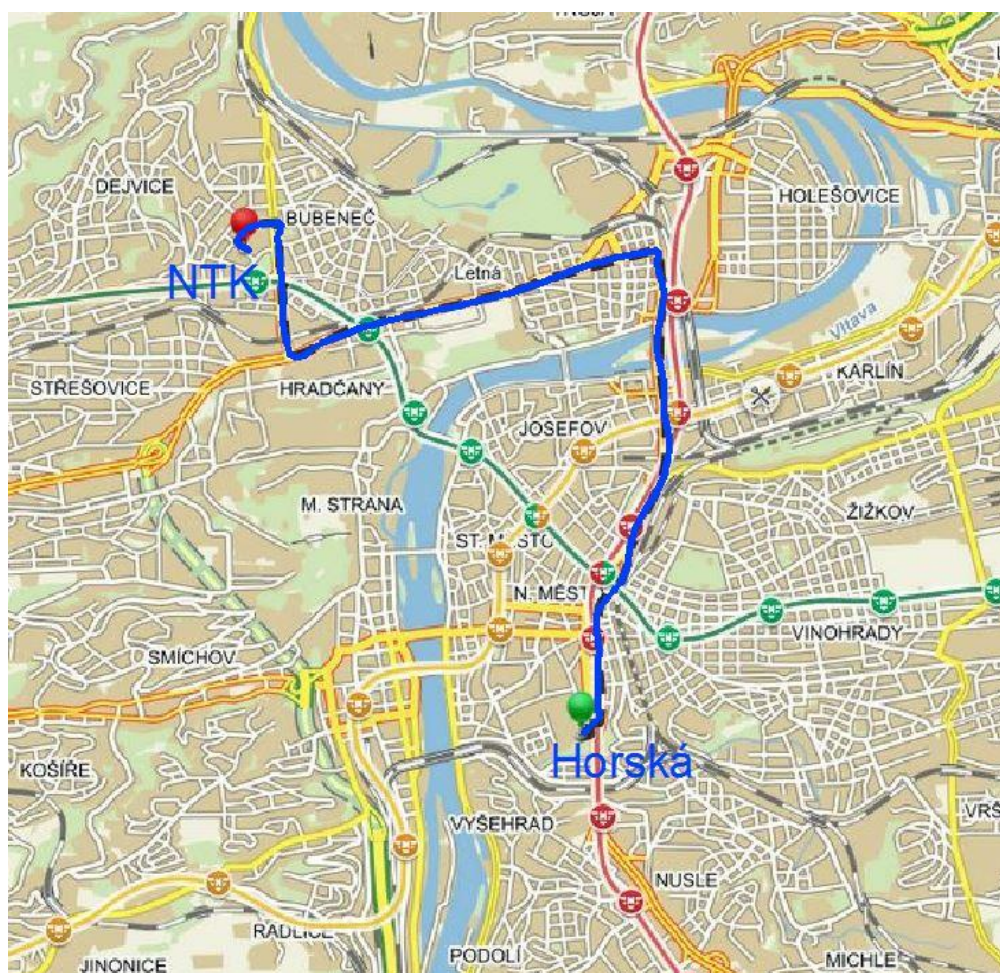
Jízda byla rychlejší než pomocí IAD a tudíž velmi časově výhodná. Byla srovnatelná s MHD, takže pro lidi, kteří jsou alespoň trochu sportovně založeni, je elektrokolo jasná a jistá volba dopravního prostředku.

Tabulka 15: Naměřené hodnoty na trase Dejvice, NTK (zdroj autor)

Čas tam [min]	Čas zpět [min]	Stoupání [m]	Klesání [m]	Spotřebovaná energie [kWh]	Počasí	Povrch	MHD [min]	IAD [min]
28	31	57	73	0,21	Slunečno	Asfalt, dlažba	24	58



Obrázek 30: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010)



Obrázek 31: Trasa z Horské k NTK (mapy.cz, 2010)

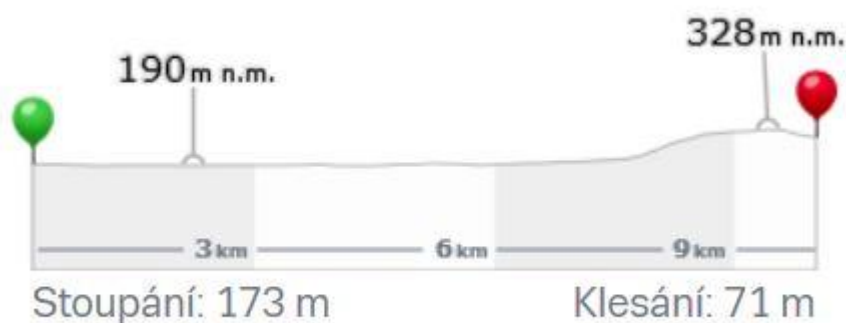
6.2.5 Trasa Horská - Jinonice (10,1 km)

Jízda byla příjemná, většinu trasy vedla po cyklostezce, takže jsem si ji užil a padla spíše do kategorie rekreačních. Bohužel v porovnání s IAD a MHD vyšla negativně, ale pokud bychom měli připočítat cestu na zastávku, tak se dostaneme na už srovnatelné časy.

Problém nastal u Barrandovského mostu, kde je velmi strmé stoupání a jízda je velice energeticky náročná i pro samotné elektrokolo. Pro každodenní jízdu je tedy obtížná.

Tabulka 16: naměřené hodnoty trasy Jinonice

Čas tam [min]	Čas zpět [min]	Stoupání [m]	Klesání [m]	Spotřebovaná energie [kWh]	Počasí	Povrch	MHD [min]	IAD [min]
33	26	173	71	0,17	Slunečno	Asfalt	18	14



Obrázek 32: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010)



Obrázek 33: Trasa Horská - Jinonice (mapy.cz, 2010)

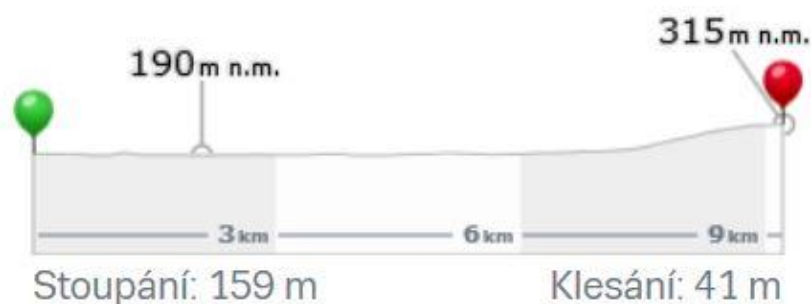
6.2.6 Trasa Horská - Malá Chuchle (8,0 km)

Podobně jako u předchozí trasy se tato řadí do kategorie rekreačních. Celá trasa je vedena po cyklostezkách a v druhé polovině trasy velice pěknou přírodou Barrandovských skal.

Jízda byla téměř po rovině, takže bychom si vystačili i bez pomoci motoru. Z hlediska dojíždění každý den do zaměstnání či školy je tato trasa více než vhodná a potěší i amatérské cyklisty.

Tabulka 17: Naměřené hodnoty trasy Malá Chuchle

Čas tam [min]	Čas zpět [min]	Stoupání [m]	Klesání [m]	Spotřebovaná energie [kWh]	Počasí	Povrch	MHD [min]	IAD [min]
21	23	47	49	0,12	Zataženo, vítr	Asfalt	31	14



Obrázek 34: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010)

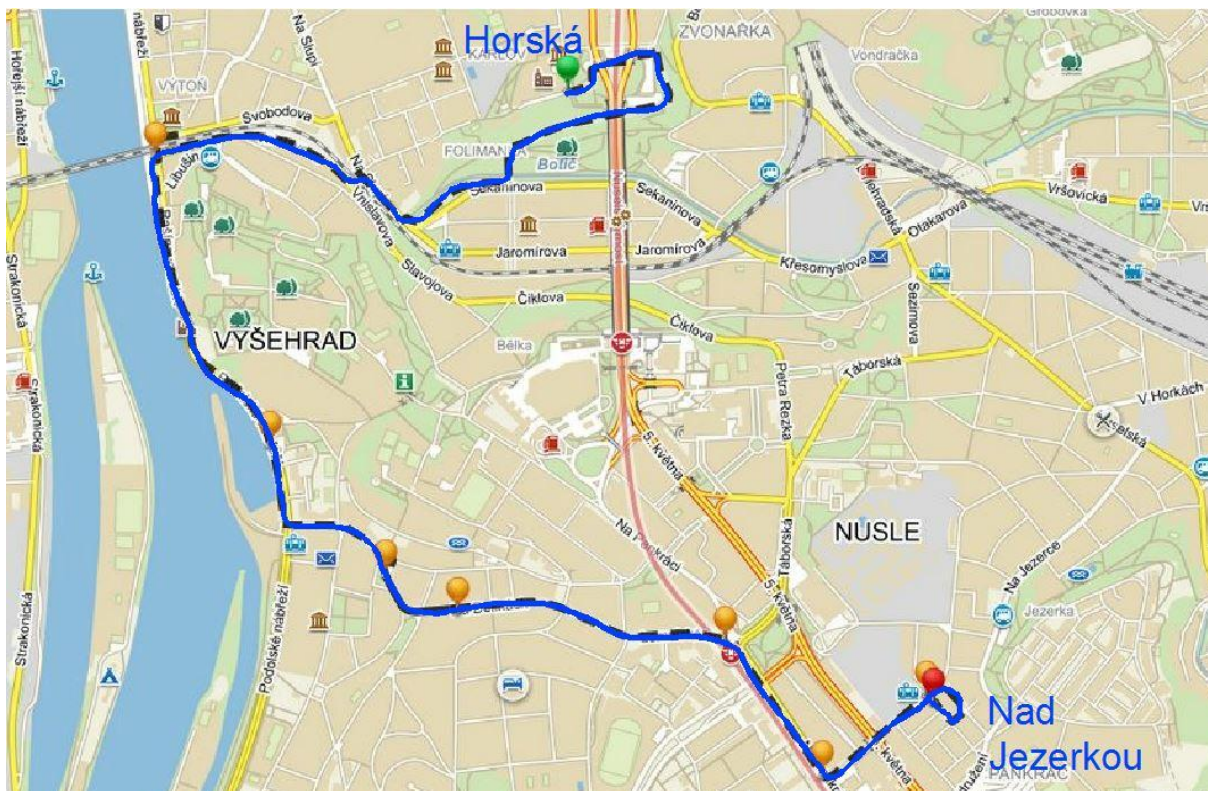
6.2.7 Trasa Horská - Pankrác (5,6 km)

Tato trasa vyšla velice výhodně pro elektrokolo. Časové rozdíly mezi IAD a MHD jsou zanedbatelné. Jízda nebyla stoprocentně pohodlná, protože se cyklista motá mezi auty a částečně i mezi tramvajemi a je nucen přejíždět tramvajové pásy.

Cyklisté musí být na jízdu plně koncentrováni, ale odměnou je jim rychlá doprava. Problém nepředstavoval ani táhlý kopec od řeky na Pankrácký vrch, kde se uplatní výhody elektrokola.

Tabulka 18: Naměřené hodnoty trasy Pankrác

Čas tam [min]	Čas zpět [min]	Stoupání [m]	Klesání [m]	Spotřebovaná energie [kWh]	Počasí	Povrch	MHD [min]	IAD [min]
17	15	101	81	0,1	Slunečno	Asfalt	18	14



Obrázek 35: Trasa z Horské na Pankrác (mapy.cz, 2010)



Obrázek 36: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010)

6.2.8 Trasa Horská - Zahradní město (7,1 km)

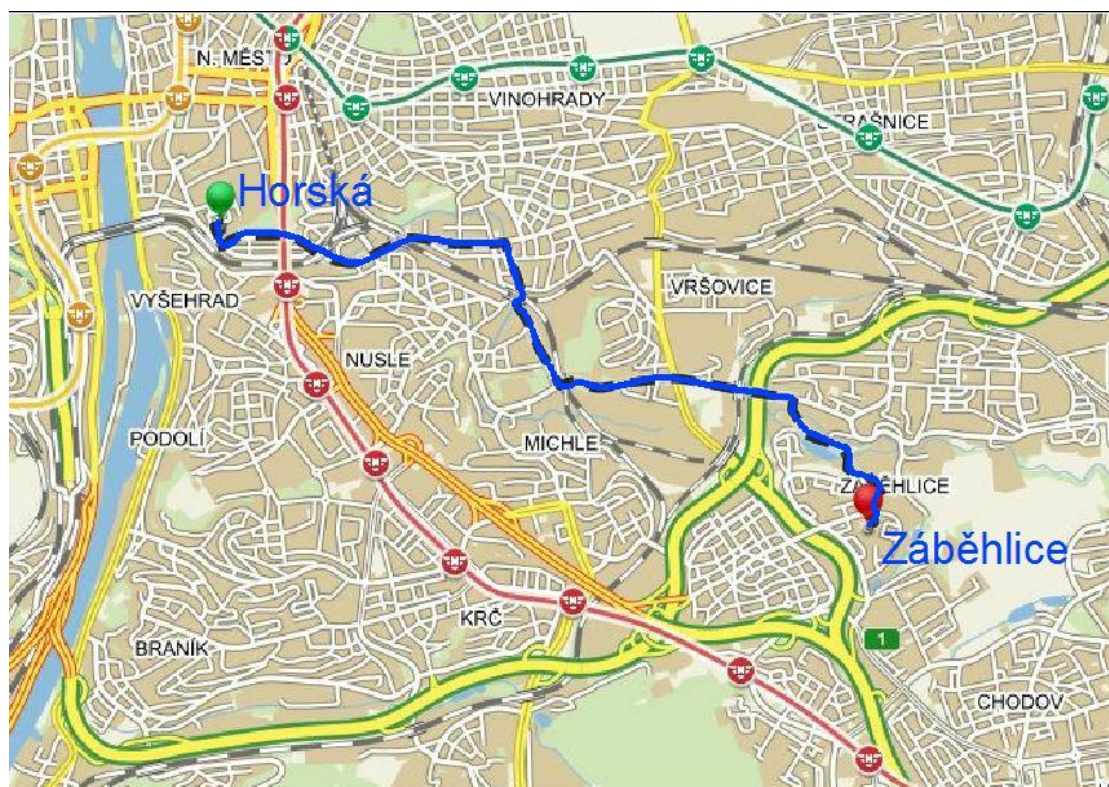
Trasa je opět vedena přidáním pruhem na místní komunikaci, což se pro některé jedince může jevit jako nebezpečné a mají z části správné obavy. Provoz byl zde hustý a automobilová doprava až nepříjemně blízko. Časová úspora zde není velká, ale dá se o této trase zcela určitě uvažovat z důvodu nízké náročnosti.

Tabulka 19: Naměřené hodnoty trasy Zahradní město (zdroj autor)

Čas tam [min]	Čas zpět [min]	Stoupání [m]	Klesání [m]	Spotřebovaná energie [kWh]	Počasí	Povrch	MHD [min]	IAD [min]
26	28	68	22	0,18	Slunečno	Asfalt	20	16



Obrázek 37: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010)



Obrázek 38: Trasa z Horské do Záběhlíc (mapy.cz, 2010)

6.2.9 Trasa Horská - Trója (9,2 km)

Tato trasa je z kategorie delších, ale vcelku příjemná. První část vede centrem Prahy, uliční síť povětšinou pouze s vyhrazenými jízdními pruhy pro cyklisty. Toto řešení není ideální, ale druhá část se nachází v příjemném až rekreačním prostředí v blízkosti Vltavy. Terén trasy je vlnitý a nečeká cyklisty žádné velké převýšení.

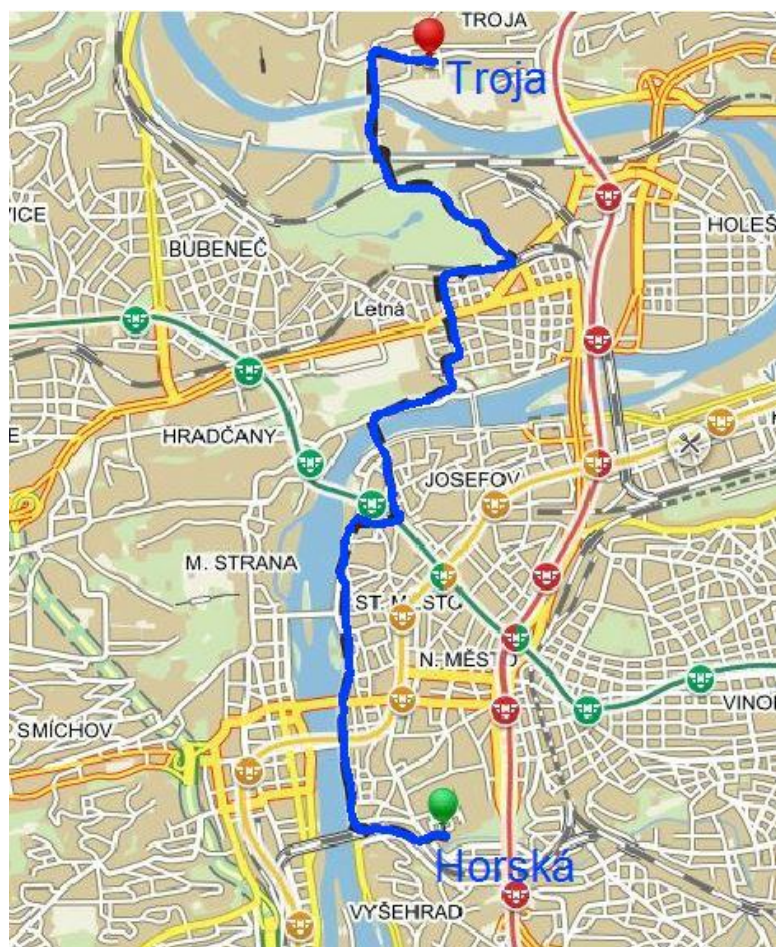
Podobná časová náročnost e-kola a MHD zaručuje vysokou konkurenci těchto dvou odvětví a není se čemu divit. Řidiči osobních automobilů ale pravděpodobně po zelenější variantě nesáhnou.

Tabulka 20: Naměřené hodnoty trasy Trója

Čas tam [min]	Čas zpět [min]	Stoupání [m]	Klesání [m]	Spotřebovaná energie [kWh]	Počasí	Povrch	MHD [min]	IAD [min]
37	41	70	85	0,30	Zataženo	Asfalt	44	21



Obrázek 39: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010)



Obrázek 40: Trasa z Horské do Troje (mapy.cz, 2010)

6.2.10 Trasa Horská - Žižkov (7,8 km)

Tato trasa byla vedena především po ulicích a komunikacích v centru Prahy. Z hlediska fyzické náročnosti jde o lehce náročnější trasu s většími nároky na elektrokolo z důvodu klesání a stoupání.

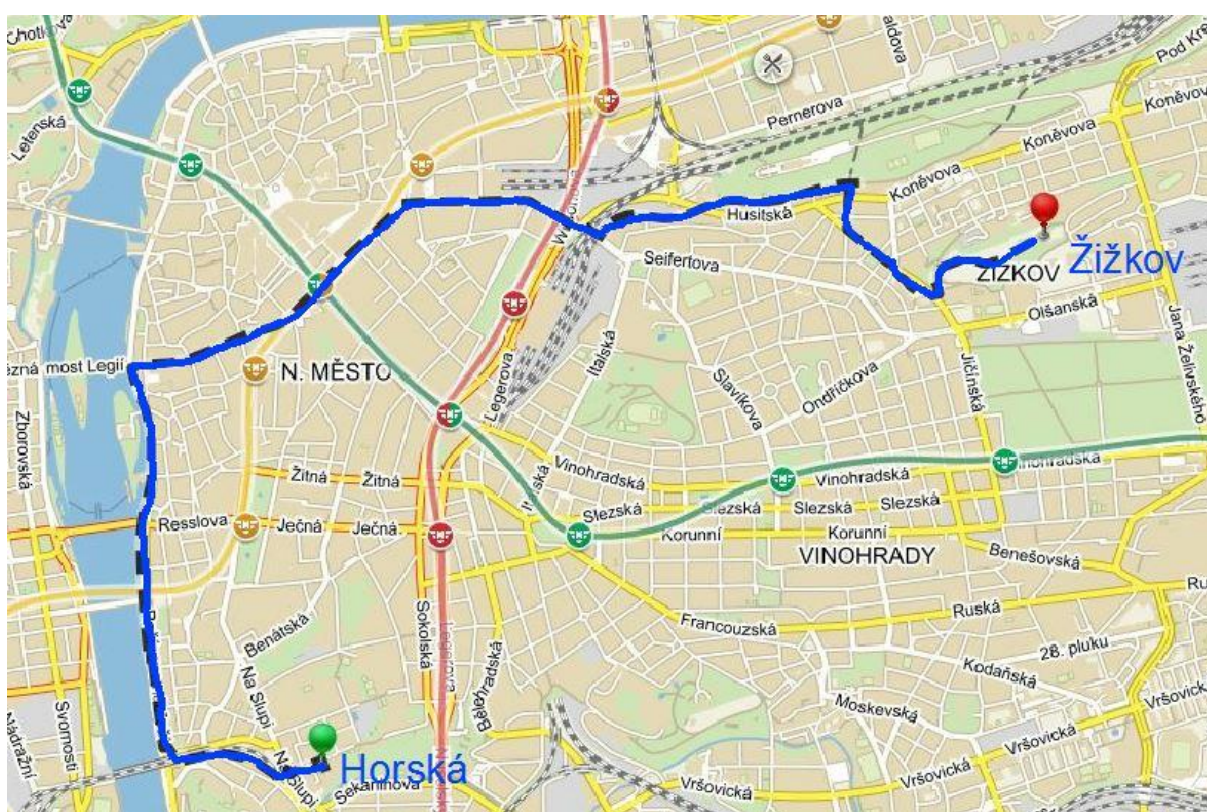
Čas přepravy hraje pro použití elektrokola. V místě jsou typické ranní dopravní kongesce, takže i řidič osobního automobilu může volit kolo jako lepší variantu.

Tabulka 21: Naměřené hodnoty trasy Žižkov (zdroj autor)

Čas tam [min]	Čas zpět [min]	Stoupání [m]	Klesání [m]	Spotřebovaná energie [kWh]	Počasí	Povrch	MHD [min]	IAD [min]
36	37	37	103	0,27	Slunečno	Asfalt	31	16



Obrázek 41: Podélný profil trasy (mapy.cz, 2010)



Obrázek 42: Trasa z Horské na Žižkov (mapy.cz, 2010)

6.3 Závěr měření

Z měření jsem dostal základní informace o běžných trasách skrz Prahu. Do návrhu ideálního elektrokola se jednoznačně promítne bezpečnost, které musím jít naproti při technickém návrhu, protože komunikace pro cyklisty rozhodně nepatří mezi promíjící a části byly i nebezpečné. Z toho důvodu volím raději větší kola s vyšším valivým odporem, než mají více nebezpečné galusky. Orientace není v Praze pro cyklisty také jednoduchá. Pomůže nám při

tom aplikace umístěná v jednoduchém zařízení na řídítkách. Měření také jasně ukázalo, že z hlediska cyklistické infrastruktury má Praha velké mezery, ale při cestách na elektrokole jsem se cítil bezpečněji než na horském kole bez elektrického pohonu. Rozhodně není na škodu mít při rozjíždění do kopců jistou podporu.

7 Návrh variant elektrol podle nákladů na realizaci

Výsledkem mého zkoumání a analyzování bude výběr tří elektrol různých cenových kategorií. Kategorie jsem třídil s ohledem na váhu, výkon a kapacitu baterie. Bohužel jsem zjistil, že v tomto případě dražší znamená ve většině případů lepší. Ať už se jedná o výkon motoru, váhu rámu či druh a kapacitu baterie. Z nabídky obchodů jsem proto sestavil tři konstrukce a varianty. Baterii používám konvekční, ale z předchozích výpočtů a zkušeností z měření víme, že kapacita baterie by nám stačila i poloviční. Proto jsem vytvořil návrh baterie a zvolil do ní Li-Iontový článek o dostatečné kapacitě 10 Ah, který nám bude plně dostačovat pro jízdu z práce i do práce přes celou Prahu na libovolném kole. Tímto zmenšením baterie ušetříme asi 50 % z její ceny.

7.1 Finančně nejméně náročná varianta elektrokola (Varianta 1)

Tato varianta bude tou nejzákladnější, ale přesto plně funkční. Použitím olovené baterie nám extrémně vzrostla hmotnost, ale kapacita je vysoce naddimenzovaná. Olovené články se nejčastěji vyrábějí s napětím 12 V, takže musím sériově spojit tři olovené články, abych dostal požadované napětí 36 V.

Tímto krokem mi vzrostla hmotnost akumulátoru na 18 kg, což je extrémně vysoké číslo. Dostanu tím ale za málo peněz hodně muziky, vysokou kapacitu 720 Wh za průměrnou cenu 4200 Kč. Rám zvolím ocelový s příměsí chromu a molybdenu. Tato slitina se nachází pod názvem CrMO ocel. Cena je asi o 50 % vyšší než u čistě ocelových rámu, má ale mnohem lepší fyzikální vlastnosti a nižší váhu, protože s ní dokážou výrobci lépe pracovat. Za cenu 4 200 Kč se u 27,5“ verze dostávám na váhu 2,5 kg.

S motorem nemám v nižších cenových relacích moc na výběr, byl proto jasnou volbou elektromotor umístěný v předním kole. Sada na instalaci do předního kola stojí kolem 3690 Kč a dává výkon 250 W s příkonem 36 V.

7.2 Finančně dostupná varianta elektrokola, zvolená jako optimální cesta (Varianta 2)

Střední cestu jsem zvolil jako ideální a v našem případě použitelnou pro stavbu. Samozřejmě dojde k nějakým změnám a úpravám, ale základ elektrokola bude rám ze slitiny hliníku, který je lehčí než ocelový, ale těžší a zásadně levnější než uhlíkový. Čínský výrobce rámu nabízí za maloobchodní cenu kolem 4 750 Kč slušnou variantu s váhou pouhých 1,95 kg.

Umístění silnějšího motoru o výkonu 500W do zadního kola se mi jeví jako optimální, zvyšuje stabilitu kola a nehrozí nebezpečí úrazu z důvodu proklouznutí předního kola. I cena do šesti tisíc se jeví jako přívětivá. Napětí je použito opět nejvhodnějších 36 V.

Baterie je i v tomto případě zásadní investicí. Střední cesta vyjde na necelých deset tisíc korun, za něž dostanu technologii LiFePO4 s výstupním napětím 36V a kapacitu 360 Wh.

7.3 Nejdražší, nejlepší varianta elektrokola (Varianta 3)

Nejvyšší třída je spíš o tom, jak bych si představoval moderní elektrokolo. Technologie, které přivádí na trh převážně Bosch, jsou v jiné dimenzi jak technologicky, tak cenově.

Do nejvyšší kategorie bych zařadil uhlíkové rámy, ikdyž si nejsem stoprocentně jistý pevností a odolností v pražském provozu. Lehkost je závratná a odpovídá jí i cena. Za devětadvaceti palcový rám horského typu si zaplatím u Čínského výrobce RCA 13 200 Kč. Odměnou za cenu je mi ale váha, která i s přední neodpruženou vidlicí nepřekročí 800 g.

Motor je nejdražší položkou. Použiji elektromotor od společnosti Bosch s uložením uprostřed kola. Toto uložení je nejpřirozenější a skvěle se díky umístění rozloží jeho váha na přední i zadní kolo. Cena je u varianty s výkonem 400 W a vstupním napětím 36 V 36 900 Kč.

Baterie je také velká investice, z části to může být značkou, která ovšem dělá reklamu svému jménu a s kvalitou a technologiemi nemá mnoho konkurentů. Cena Li-Ionové baterie od firmy Bosch činí 20 500 Kč. Nabídne mi moderní technologie s velkou životností a kapacitu 400 Wh.

Tabulka 22: Přehled vybraných variant

		Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Elektromotor	<i>Výkon [W]</i>	250	500	400
	<i>Napětí [V]</i>	36	36	36
	<i>Umístění</i>	Přední kolo	Zadní kolo	Střed
	<i>Cena Kč vč. DPH</i>	3 690	5 750	36 900
Baterie	<i>Výrobce</i>	-	E-Totem	Bosch
	<i>Výstupní napětí [V]</i>	36	36	36
	<i>Druh baterie</i>	Pb	LiFePO4	Li-Ion
	<i>Kapacita [Wh]</i>	720	360	400
	<i>Cena [Kč]</i>	4 200	9 900	20 500
	<i>Váha [kg]</i>	18	3,8	2,5
	<i>Životnost v cyklech</i>	500-800	500-1200	až 2000
Rám	<i>Výrobce</i>	CYS (China)	CYS (China)	RCA (China)
	<i>Materiál</i>	CrMO ocel	Slitina hliníku	Uhlíkový kompozit
	<i>Hmotnost [kg]</i>	2,5	1,95	0,78
	<i>Cena [Kč]</i>	4 200	4 750	13 200
<i>Celková cena [Kč]</i>		12 090	20 400	70 600

U všech druhů elektromotorů používaných při montáži na elektrokola je servisní interval stejný. Záleží spíše na prodejci, než na druhu a značce pohonu. Výrobci doporučují návštěvu servisu pravidelně jednou ročně. V záruční době dvou let jsou většinou tři prohlídky. Životnost baterie a počet nabíjecích cyklů je závislý na přístupu k nabíjení. Bateriím nejvíce škodí plné vybití a provoz při teplotách pod bodem mrazu. Dále jim pak škodí přebíjení, která je ale již u většiny vyřešeno inteligencí baterie.

V tabulce číslo 22 jsou vidět velké finanční rozdíly mezi komplety. Ceny navíc musí být doplněny o další příslušenství, kterému jsem v této práci nedal velký prostor. Jsou jim například kola, středy, pedály, přehazovací mechanismus atd. Možností sestavení elektrokola je mnohem více, tabulka reprezentuje pouze můj výběr na základě získaných informací a zkušeností.

8 Závěr

Mým cílem bylo zanalyzovat možnosti a vytvořit přehled možností při stavbě elektrokola. V práci jsem se věnoval rámu, pohonné jednotce a akumulátorům. Z analýzy vzešly tři kombinace různých, cenově odlišných, variant elektrokol pro použití v Praze. Mým výběrem je druhá varianta, kterou jsem změnil o použití baterie z čínského obchodu s mnohem nižší cenou, než je tomu u českých prodejců, ovšem je potřeba k ní navrhnout obal pro umístění na elektrokolo.

Dále jsem se věnoval odporům vznikajících při jízdě na kole a snažil jsem se o jejich eliminaci, toto se povedlo jen z půlky, protože jsem se dostával do střetu s bezpečností, případně finanční náročnosti úpravy, která plně nereflektovala uspořený odpor. Nejzásadnějším článkem v jízdním odporu je jezdec, jeho vysoké těžiště a čelní plocha, která zásadně ovlivňuje odpor vzduchu.

Měření, které jsme prováděli v jarních měsících, nám ukázalo, že pro jízdu v Praze plně dostačuje kapacita baterie 10 Ah, a přestože je většina tras vedených po zpevněném povrchu (beton, asfalt), využijeme kvůli bezpečnosti široké pneumatiky s vyšším valivým odporem. Dále nám dokázalo, že MHD není vždy jasným vítězem a cyklista může být rychlejší. V porovnání s individuální automobilovou dopravou ještě častěji vítězila cyklistická doprava, převážně ve špičkové hodiny pracovních dnů. Jistým úskalím jsou neovlivnitelné změny počasí, déšť a vítr, který cestu znepříjemňuje.

Pro lepší orientaci ve městě i například pro lepší přehled o aktuálním počasí a vývoji srážek bylo vhodné umístit držák na chytrý telefon včetně dobíjení přes konvektor přímo z baterie elektrokola. Alternativou k držáku může být i pětipalcový panel implementovaný do části řídicích. Na zařízení by běžel uzamknutý operační systém android s mapovými podklady a aplikací bike sharingu. Věřím, že tato drobnost ulehčí a zpříjemní cestování na dvou kolech.

V navazující magisterské práci se budu na tuto bakalářskou práci navazovat a budu se v ní věnovat stavbě ideálního elektrokola. Tato analýza mi k tomu rozhodně dopomůže.

9 Reference

AliExpress.com - Online Shopping [online]. 2015. [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://www.aliexpress.com/>

Aluminium Bike Frame Repair [online]. 2014. [cit. 2015-07-20]. Dostupné z: <http://www.carrswelding.co.uk/cycling.html>

APACHE Hawk Bosch Active 400Wh 2015. 2015. In: *AKUMO.cz - největší prodejce elektrokol* [online]. [cit. 2015-07-17]. Dostupné z: <http://www.akumo.cz/apache-hawk-29-bosch-400w-h-active-2015-elektrokolo-se-stredovym-pohonem-2>

BAJ Website | Structure and Reaction Formula of Batteries [online]. 2010. [cit. 2015-07-20]. Dostupné z: <http://www.baj.or.jp/e/knowledge/structure.html>

Baterie 36V/11,1 Ah Li-ion Apache Bosch [online]. 2015. [cit. 2015-07-19]. Dostupné z: <http://www.akumo.cz/akumulator-bosch1>

cleanbikevsdirtybike.png. 2010. In: *London Cyclist Blog* [online]. [cit. 2015-08-02]. Dostupné z: <http://www.londoncyclist.co.uk/wp-content/uploads/2009/10/cleanbikevsdirtybike.png>

cs_odpor_valivy_003.jpg. 2011. In: *Autolexicon* [online]. [cit. 2015-08-03]. Dostupné z: http://www.autolexicon.net/obr_clanky/cs_odpor_valivy_003.jpg

Cyklisté se mají v Pardubicích fajn.. 2014. In: *idnes.cz* [online]. [cit. 2015-08-18]. Dostupné z: http://pardubice.idnes.cz/pardubice-hlavni-mesto-cyklistu-2014-dts-/pardubice-zpravy.aspx?c=A140430_084631_pardubice-zpravy_jah

Doprava lidskou silou. 2001. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-07-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Doprava_lidskou_silou

Elektrokola - baterie. 2014. In: *Elektrokola* [online]. [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://elektroport.cz/vse-o-elektrokolech/baterie/typy-baterii-a-technologie>

Elektrokolo Giant. 2015. In: *Cykloport Kolin* [online]. [cit. 2015-07-17]. Dostupné z: http://www.cykloport-kolin.cz/~vo000116/pics/roam_xr2.jpg

Elektrokolo Spirit JOY2 "skládačka". 2014. In: *Elektrokola Spiritbike.cz* [online]. [cit. 2015-07-17]. Dostupné z: <http://www.spiritbike.cz/elektrokolo-spirit-joy2-skladacka-20-zelena-pastelova-250w-36v-10ah-d1412>

elektromotor elektrokola. 2014. In: *Elektrokola* [online]. [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://elektrosport.cz/vse-o-elektrokolech/hub-motor>

Emma Johansson [online]. 2014. [cit. 2015-07-20]. Dostupné z: <http://www.emmajohansson.com/2015/05/13/reset-test-and-summer/>

ergonomics-mainbanner-1.jpg. 2015. In: *Scott sport* [online]. [cit. 2015-08-03]. Dostupné z: <http://www.scottsport.cz/files/novinky/plasma-5/93634-ergonomics-mainbanner-1.jpg>

ČVUT. FIRST, Jiří. 2014. *Energetická analýza pozemní dopravy*. Praha: České vysoké učení v Praze. ISBN 978-80-01-05664-6.

Komponenty na e-bike, Elektromotory. 2015. In: *E-pohon - elektrokola a sety na přestavbu pro všechny* [online]. [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <http://www.e-pohon.cz/e-pohon/eshop/4-1-Komponenty-na-e-bike/1-2-Elektromotory>

KONCEPCE ROZVOJE CYKLODOPRAVY V HK. 2013. In: *Hradec Králové* [online]. [cit. 2015-08-18]. Dostupné z: <http://www.hradeckralove.org/file/4996/>

Lead-Acid Batteries [online]. 2008. [cit. 2015-07-20]. Dostupné z: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/leadacid.html>

Legislativa - elektrokola. 2012. In: *elektrokola = ekolo.cz* [online]. [cit. 2015-08-09]. Dostupné z: <https://ekolo.cz/legislativa-okolo-elektrokol>

Lithium-iontový akumulátor. 2001. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-07-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-iontov%C3%BD_akumul%C3%A1tor

Lithium-polymerový akumulátor. 2001. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-07-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-polymerov%C3%BD_akumul%C3%A1tor

Lithium-železo-fosfátový akumulátor. 2001. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-07-19]. Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-%C5%BEelezo-fosf%C3%A1tov%C3%BD_akumul%C3%A1tor

mapy.cz [online]. 2010. [cit. 2015-07-22]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz>

MARJÁN, Jiří. 2013. *Pohon lidskou silou*. Liberec. Disertační práce. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI FAKULTA STROJNÍ.

Memory effect [online]. 2013. [cit. 2015-07-20]. Dostupné z: *Memory effect*

Nikl-kadmiový akumulátor. 2001. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-07-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl-kadmiov%C3%BD_akumul%C3%A1tor

Nikl-metal hydridový akumulátor. 2001. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-07-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl-metal_hydridov%C3%BD_akumul%C3%A1tor

Olověný akumulátor. 2001. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-07-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Olov%C4%9Bn%C3%BD_akumul%C3%A1tor

POROVNÁNÍ VELIKOSTI RÁFKŮ. 2014. In: *adroit.cz* [online]. [cit. 2015-08-02]. Dostupné z: <http://www.adroit.cz/clanky/kola-giant-27-5>

Praha. 2001. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-07-16]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Praha>

prazskecyklostezky.cz. 2013. In: *prazskecyklostezky.cz* [online]. [cit. 2015-07-16]. Dostupné z: <http://www.prazskecyklostezky.cz/cyklostezky-praha.aspx>

Přestavby jízdních kol na elektrokola. 2015. In: *IGI elektrokola - pohyb v pohodě* [online]. [cit. 2015-07-17]. Dostupné z: <http://www.igielektrokola.cz/prestavby-elektrokol.aspx>


2012. Specifikace. *manual_elektronica_plus_7_sp_01_2012*. č. 1.

Výběr správného elektromotoru. 2014. In: *NaKole.cz* [online]. [cit. 2015-08-20]. Dostupné z: <http://www.nakole.cz/clanky/986-elektrokola-vyberem-spravneho-elektromotoru-usetrite-sily.html>

10 Příloha

Seznam běžně dostupných elektrokol vhodných pro použití v Praze

Druh kola	Základní technické specifikace	Obrázek
Městské	<p>Levnější městské elektrokolo Apache Elektronik 7-sp Gent s motorem v předním kole, baterií Li-Ion 36V/9Ah, rám hliníkový, cena 21 990 Kč</p>	
	<p>Dámské elektrokolo kolo Apache Wakita s motorem v zadním kole, baterií Samsung 36V/10,4 Ah, hliníkovým rámem a cenou 31 990 Kč. (Elektrokola Bike-Eshop.CZ, 2015)</p>	
	<p>Dámské elektrokolo Apache Elegance 28 Lady s motorem v zadním kole, baterií LI-Ion 36V/11,6Ah, hliníkovým rámem a cenou 51 990 Kč. (Elektrokola Bike-Eshop.CZ, 2015)</p>	
Terénní	<p>Pánské elektrokolo Apache Everest se zadním pohonem, Li-Ion baterií 36V/9Ah, hliníkovým rámem a cenou 24 990 Kč. (Elektrokola Bike-Eshop.CZ, 2015)</p>	
	<p>Elektrokolo Apache Manitou se zadním pohonem, baterií Li-Ion 36V/10Ah, hliníkovým rámem a cenou 29 990 Kč. (Elektrokola Bike-Eshop.CZ, 2015)</p>	

	<p>Moderní elektrokolo Apache Manitou Bosch Active s pohonou jednotkou Bosch umístěnou ve středu, baterií Li- Ion 36V/11,1Ah a hliníkovým rámem s cenou 59 990 Kč. (Elektrokola Bike-Eshop.CZ, 2015)</p>	
--	--	---