

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA DOPRAVNÍ

Lukáš Jáneš

**Testování systému bikesharing mezi budovami FD  
ČVUT z pohledu potřeb uživatelů**

Diplomová práce

**2017**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K616.....Ústav dopravních prostředků**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Lukáš Jáneš**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika**

Název tématu (česky): **Testování systému bikesharing mezi budovami FD  
ČVUT z pohledu potřeb uživatelů**

Název tématu (anglicky): Testing the system bikesharing between buildings FD CTU  
in terms of users' needs

### **Zásady pro vypracování**

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

- Výběr a testování vhodného elektrokola do Prahy
- Testování vybraných vhodných jízdních tras pro uživatele systému bikesharing
- Měření a vyhodnocení fyziologických vlastností a potřeb uživatelů s rozdílnou fyzickou zdatností
- V rámci projektu, příprava a testování sledovací aplikace pro provoz systému bikesharing
- V rámci projektu, návrh a testování dobíjecí stanice systému bikesharing
- Vyhodnocení funkčnosti a provozu schopnosti systému bikesharing pro provoz mezi budovami FD ČVUT



Rozsah grafických prací: Dle pokynů vedoucího


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


Seznam odborné literatury: článek - Šika Pavel: Elektrokola, 2011  
Bc. Lukáš Jáneš: Využití elektrokol v provozu Prahy z hlediska bezpečnosti a členitosti terénu, 2015  
Ing. Marta Lapáčková: Bikesharing elektrokol na Fakultě dopravní, 2014

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

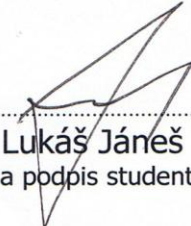
Datum zadání diplomové práce: **15. července 2016**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. května 2017**  
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. Petr Bouchner, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu dopravních prostředků

  
.....  
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

  
.....  
Bc. Lukáš Jáneš  
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....15. července 2016

## 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**

Mé poděkování patří především kolegům Michalovi Šlapákovi a Joranu Timmermanovi za spolupráci při navrhování a testování systému bikesharing mezi budovami FD. Dále chci poděkovat panu doc. Ing. Petru Bouchnerovi PhD. za vedení mé diplomové práce a odborné konzultace. V neposlední řadě chci poděkovat své rodině a přítelkyni za psychickou podporu. A nakonec chci poděkovat všem testovacím uživatelům za provedená měření.

## Abstrakt

Autor:	Bc. Lukáš Jáneš
Název diplomové práce:	Testování systému bikesharing mezi budovami FD ČVUT z pohledu potřeb uživatelů
Vysoká škola:	České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní
Rok vydání:	2017
Počet stránek:	67

Tato diplomová práce se zaměřuje na přípravu a testování systému bikesharing pro dopravu studentů mezi budovami FD ČVUT. Především na systém zapůjčování kol a jejich zabezpečení. V další části se práce věnuje potřebám uživatelů z hlediska jejich fyzických potřeb.

Klíčová slova: elektrokolo, bikesharing, bezpečnost, elektrické kolo, mobilita, dokovací stanice, sledovací aplikace, fyzická zdatnost, ekologie

## Abstract

Author: Bc. Lukáš Jáneš  
Title of diploma thesis: Testing the bikesharing system between buildings  
FD CTU in terms of user needs  
University: Czech Technical University in Prague, Faculty of  
Transportation Sciences  
Year of publication: 2017  
Number of pages: 67

This diploma thesis focuses on the preparation and testing of the bikesharing system for the transport of students between the buildings of the FD of the CTU, especially the bicycle lending and security system. In the next part the thesis is focus on the needs of users in terms of their physical needs.

Key words: Electric bike, bikesharing, safety, electric bicycle, mobility, docking station, tracking applications, physical fitness, ecology

# Obsah

1	PŘEDMLUVA .....	14
2	ÚVOD.....	15
3	Proč elektrokola.....	17
3.1	Výhody.....	17
3.2	Nevýhody.....	17
3.3	Legislativa.....	18
3.4	Baterie.....	18
4	Elektrokolo.....	20
4.1	Druhy elektrokol.....	20
4.2	Výběr elektrokola pro měření .....	22
4.2.1	Popis elektrokola .....	22
4.2.2	Technické parametry .....	23
4.2.3	Fotodokumentace elektrokola .....	24
4.2.4	Teoretický dojezd elektrokola .....	25
5	Bikesharing .....	27
5.1	Historie.....	27
5.2	Bikesharing elektrokol .....	28
5.3	Bikesharing v Praze.....	29
6	Testovací trasy .....	31
6.1	Trasa Horská - Konvikt .....	31
6.2	Trasa Konvikt - Florenc .....	32
6.3	Trasa Florenc - Horská .....	34
6.4	Shrnutí zkušebních jízd .....	35
7	Dokovací stanice pro elektrokola.....	37
7.1	Návrhy.....	37
7.2	Výroba dokovací stanice .....	39
7.3	Jednotka Arduino .....	40
7.3.1	Vlastní jednotka arduino .....	41
7.3.2	Technická specifikace Arduina.....	41
7.4	Zabezpečení elektrokol.....	43
8	Uživatelská náročnost jízdy .....	45
8.1	Příprava testovacích jízd .....	45
8.1.1	Dotazník pro testovací uživatele.....	45



8.1.2	Měřič tepové frekvence .....	46
8.1.3	Tepová frekvence.....	47
8.1.4	Výběr uživatelů pro testovací jízdy .....	48
8.2	Porovnání fyzické náročnosti jednotlivých druhů dopravy.....	48
8.2.1	Trasa pro testování .....	48
8.2.2	Naměřená data z jízd .....	49
8.2.3	Vyhodnocení.....	50
8.3	Uživatelské testování .....	52
8.3.1	Přehled dat získaných od uživatelů.....	52
8.3.2	Vyhodnocení testovacích jízd .....	54
8.3.3	Testování tras mezi budovami FD ČVUT uživateli.....	58
8.4	Celkové zhodnocení testovacích jízd .....	59
9	Vlastní model vzorového uživatele .....	60
9.1	Vlastní návrh modelového uživatele pro systém bikesharing.....	61
10	SWOT analýza systému bikesharing.....	62
11	Individuálně programovatelný elektromotor .....	64
11.1	Vlastní návrh programovatelného elektromotoru .....	64
11.2	Rekuperace .....	65
12	Provozní a pořizovací náklady.....	67
12.1	Pořizovací cena elektrokola .....	67
12.2	Náklady na dobíjení baterie.....	68
12.2.1	Teoretický výpočet energetické náročnosti .....	69
12.3	Náklady na pořízení dokovací stanice.....	70
13	Webová aplikace a programovatelný motor .....	71
13.1	Fungování aplikace z pohledu uživatelů .....	71
13.2	Návrh programovatelného elektromotoru pro uživatele .....	72
13.2.1	Vlastní návrh programu pro programovatelný motor v UML .....	73
14	Závěr.....	75
15	Reference .....	77
16	Přílohy .....	80
16.1	Příloha 1 Dotazník.....	80

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Ukázka nejběžnější Li-on baterie [17] .....	19
Obrázek 2 - Ukázka silničního elektrokola [5].....	20
Obrázek 3 - Ukázka horského elektrokola [5] .....	21
Obrázek 4 - Ukázka trekového elektrokola [5] .....	21
Obrázek 5 - Ukázka skládacího elektrokola [6] .....	22
Obrázek 6 - Ukázka pořízeného elektrokola [vlastní foto].....	24
Obrázek 7 - Ukázka řízení [vlastní foto].....	24
Obrázek 8 - Ukázka baterie a nabíječky [vlastní foto] .....	25
Obrázek 9 - Ukázka motoru a převodů [vlastní foto].....	25
Obrázek 10 - Ukázka systému bikesharing 1995 [9].....	27
Obrázek 11 - Ukázka nového elektrokola od firmy Homeport [10] .....	28
Obrázek 12 - Ukázka výpůjčního místa Rekola v Praze [11] .....	29
Obrázek 13 - Trasa Horská - Konvikt [12].....	31
Obrázek 14 - Převýšení trasy Horská - Konvikt [12] .....	32
Obrázek 15 - Trasa Konvikt - Florenc [12] .....	33
Obrázek 16 - Převýšení trasy Konvikt - Florenc [12] .....	33
Obrázek 17 - Trasa Florenc - Horská [12] .....	34
Obrázek 18 - Převýšení trasy Florenc - Horská [12] .....	35
Obrázek 19 - Návrh dokovací stanice [foto od Joran Timmerman] .....	37
Obrázek 20 - Návrh bezpečnostního mechanismu [foto od Joran Timmerman] .....	38
Obrázek 21 - Ukázka finálního technického výkresu [foto od Joran Timmerman] .....	39
Obrázek 22 - Výsledná dokovací stanice [vlastní foto] .....	40
Obrázek 23 - Testování bezpečnostního mechanismu [vlastní foto] .....	40
Obrázek 24 - Základní deska Arduino s ethernetovým rozhraním [20] .....	41
Obrázek 25 - RFID čip pro Arduino [20] .....	42
Obrázek 26 - Ukázka typů sledovacího čipu TrackR [25].....	44
Obrázek 27 - Ukázka měřiče tepové frekvence [vlastní foto] .....	46
Obrázek 28 - Přehled spalování tuků při fyzické zátěži dle počtu tepů za minutu, 100% = maximální tepová frekvence [21] .....	47
Obrázek 29 - Převýšení testovací trasy [12].....	48
Obrázek 30 - Testovací trasa [12] .....	49
Obrázek 31 - Ukázka elektrokola s programovatelným motorem [10] .....	64

<b>Obrázek 32 - Ukázka elektrokola s rekuperací [23] .....</b>	<b>65</b>
<b>Obrázek 33 - Ukázka aktuálně nejdražšího elektrokola HAIBIKE [27] .....</b>	<b>67</b>
<b>Obrázek 34 - Ukázka uživatelského rozhraní webové aplikace.....</b>	<b>71</b>
<b>Obrázek 35 - Ukázka možných RFID čipů [30] .....</b>	<b>72</b>
<b>Obrázek 36 - Návrh postupu půjčení a vrácení elektrokola v UML diagramu [30] .....</b>	<b>73</b>
<b>Obrázek 37 - Návrh vlastního programovatelného motoru v UML diagramu, připravený v programovacím jazyce [30].....</b>	<b>74</b>

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Porovnání cen MHD v Evropě [2] .....	16
Tabulka 2 - Technické parametry koupeného elektrokola [7] .....	23
Tabulka 3 - Ukázka cen jízdného, Rekola [11].....	29
Tabulka 4 - Porovnání možností dopravy Horská - Konvikt [12, 13] .....	32
Tabulka 5 - Porovnání možností dopravy Konvikt - Florenc [12, 13].....	33
Tabulka 6 - Porovnání možností dopravy Florenc - Horská [12, 13].....	35
Tabulka 7 - Technické parametry Arduino s ethernetovým rozhraním [20] .....	42
Tabulka 8 - Technická specifikace TrackR [25] .....	43
Tabulka 9 - Naměřená data, klasické jízdní kolo.....	49
Tabulka 10 - Naměřená data, elektrokolo .....	50
Tabulka 11 - Naměřená data, chůze .....	50
Tabulka 12 - Přehled získaných dat uživatelů .....	52
Tabulka 13 - Naměřená data uživateli při jízdě mezi budovami FD ČVUT.....	58
Tabulka 14 - SWOT analýza bikesharing systému elektrokol.....	62
Tabulka 15 - Teoretický výpočet energetické náročnosti vzorové jízdy .....	69

## Seznam grafů

Graf 1 - Přehled motorizace ve světě [1] .....	15
Graf 2 - Grafické vyhodnocení naměřených tepových frekvencí .....	51
Graf 3 - Grafické vyhodnocení sportovní aktivity uživatelů .....	54
Graf 4 - Grafické vyhodnocení délek zvolených tras uživateli.....	55
Graf 5 - Grafické vyhodnocení počtu tepů za minutu při jízdě po rovině .....	56
Graf 6 - Grafické vyhodnocení počtu tepů za minutu při jízdě v klesání .....	56
Graf 7 - Grafické vyhodnocení počtu tepů za minutu při jízdě ve stoupání .....	57

## Seznam příloh

Příloha 1 - Dotazník.....	80
---------------------------	----

## Seznam použitých zkratek

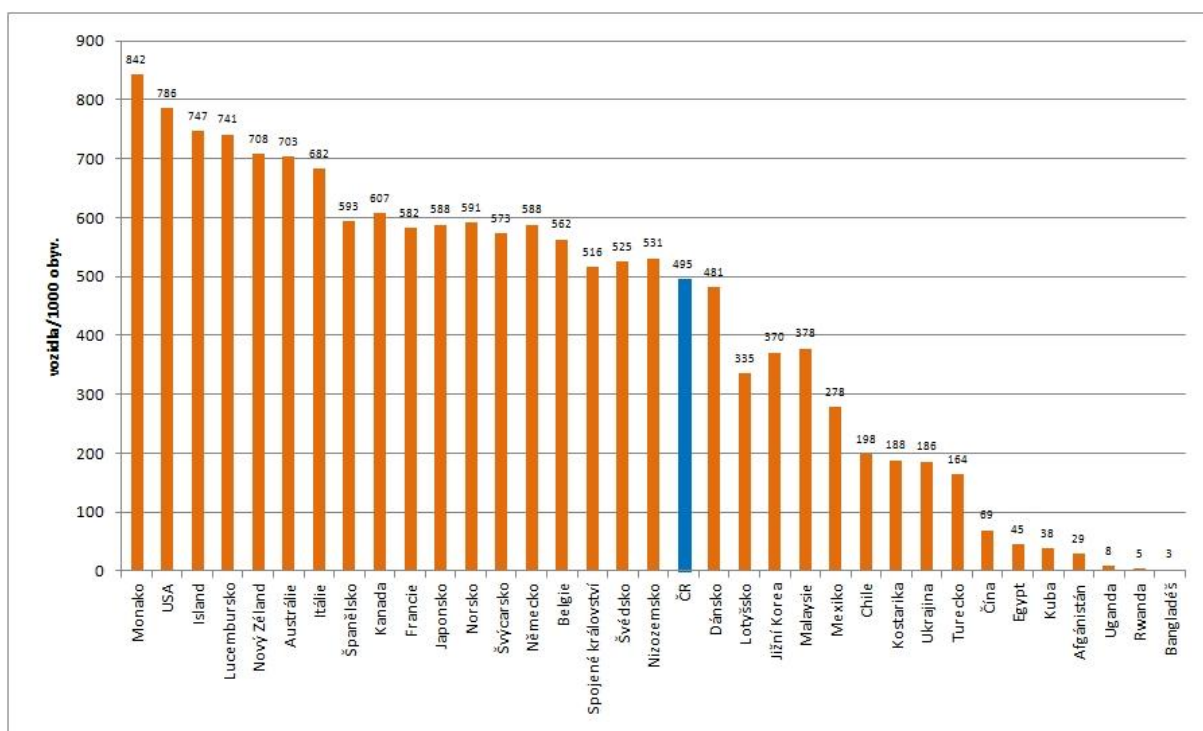
FD	Fakulta dopravní
ČVUT	České vysoké učení technické
MHD	Městská hromadná doprava
P+R (Park and ride)	Označení parkovišť u zastávek MHD pro odstavení vozidel
B+R (Bike and ride)	Označení parkovišť u zastávek MHD pro odstavení jízdních kol
K+R (Kiss and ride)	Označení parkovišť u zastávek MHD pro rychlé zastavení
ISIC	Mezinárodní studentská identifikační karta
RFID	Radiofrekvenční indentifikace

# 1 PŘEDMLUVA

Tato diplomová práce je zaměřena především na mobilitu studentů mezi budovami FD ČVUT. Cílem této práce je navrhnout a otestovat systém bikesharing, který by ze začátku sloužil, pro účel dopravy studentů mezi budovami školy. Součástí této práce také bude navrhnout zabezpečovací systém a systém půjčování elektrokol. Dále budeme s kolegy připravovat sledovací aplikaci. Poslední částí této diplomové práce bude výzkum fyzické obtížnosti jízdy na elektrokolech oproti jízdě na standardních kolech.

## 2 ÚVOD

V dnešní době je otázka dopravy stále více aktuálnějším tématem. Osobních vozidel stále přibývá a již brzy nebude možné dále rozšiřovat pozemní komunikace, a také se více klade důraz na ekologii. V dnešní době dosahuje celková světová motorizace okolo 100 vozidel na 1000 obyvatel. Nejvyšší motorizace je v USA, kde dosahuje až 800 vozidel na 1000 obyvatel, srovnatelná motorizace je i v západní Evropě. [1]



Graf 1 - Přehled motorizace ve světě [1]

Z těchto důvodů je potřeba podporovat vývoj nových, jednodušších a více ekologických druhů dopravy. Jednou z možností jsou ekologické automobily, mezi které patří automobily na CNG pohon a elektromobily. Samotný provoz těchto automobilů je více ekologický, ačkoli výroba baterií i elektrické energie pro elektromobily zatím nijak ekologická není. Stále to ovšem neřeší problém s počtem automobilů na pozemních komunikacích.

Lepším a efektivnějším řešením je doprava na elektrokolech. Právě z těchto důvodů, jsem si vybral diplomovou práci na dané téma. Má diplomová práce by měla navrhnout a otestovat dopravu na elektrokolech a systém bikesharing pouze pro studenty FD ČVUT.



V Praze je doprava velmi rozmanitá. Obyvatelé se dopravují po Praze osobními automobily, což generuje, jak v ranních, tak i odpoledních hodinách kongesce. Stále více obyvatel využívá pro dopravu po metropoli MHD. MHD je v Praze i v jejím okolí na velmi dobré úrovni. MHD v Praze byla v roce 2010 vyhlášena jako 3. nejlepší v Evropě. Toto hodnocení bylo z hlediska kvality, velikosti dopravní sítě a hlavně ceny za jízdné. [2]

**Tabulka 1 - Porovnání cen MHD v Evropě [2]**

Město (stát)	Kupní síla měsíčně	Cena	Kolik jízdenek za jeden měsíc
<b>Praha (Česká republika)</b>	<b>18 762 Kč</b>	<b>24 Kč</b>	<b>782</b>
Brno (Česká republika)	13 762 Kč	14 Kč	983
Ostrava (Česká republika)	13 339 Kč	14 Kč	953
Bratislava (Slovenská republika)	13 729 Kč	19 Kč	723
Varšava (Polsko)	12 440 Kč	15 Kč	829
Berlín (Německo)	42 152 Kč	38 Kč	1 109
Budapešť (Maďarsko)	12 485 Kč	27 Kč	462
<b>Kyjev (Ukrajina)</b>	<b>3 798 Kč</b>	<b>2 Kč</b>	<b>1 899</b>
<b>Oslo (Norsko)</b>	<b>56 621 Kč</b>	<b>91 Kč</b>	<b>622</b>

I přes zjevné výhody má systém MHD jisté nedostatky. Například v rozvoji záchytných parkovišť P+R nebo B+R. Z těchto důvodů je zapotřebí více podporovat cyklo dopravu, a to na klasických jízdních kolech i elektrokolech.

Praha má velmi členitý terén a kvůli tomu by jistě lidé využívali dopravu spíše na elektrokolech, z důvodu nižší fyzické náročnosti během jízdy. V rámci toho je vhodné podporovat rozvoj systémů bikesharing právě pro elektrokola, jak je tomu v západních zemích EU.

S kolegou Michalem Šlapákem a Joranem Timmermanem, proto provedeme návrh systému bikesharing zaměřený na bezpečnost elektrokol, stabilitu výpůjčního systému a sledování pohybu elektrokol. Další část práce se bude zabývat porovnáním fyzické náročnosti jízdy, na elektrokolech a na klasickém kole, pro vybrané uživatele z různých věkových kategorií a fyzickou zdatností.

Pokud by se tento systém dále osvědčil pro studenty FD ČVUT, jistě by bylo vhodné rozšířit ho i pro širší veřejnost.

## 3 Proč elektrokola

Jako vše tak i elektrokola mají své výhody i nevýhody. Pro jízdu na elektrokole, stejně jako na klasickém jízdním kole, nepotřebujeme žádný řidičský průkaz a ani povolení, pokud elektrokolo nemá výkon přes 250 W.

### 3.1 Výhody

Jízda na elektrokole je mnohem komfortnější a bezpečnější než na klasickém kole. Pokud jezdíme na elektrokole, můžeme dosáhnout mnohem vyšší rychlosti a plynulejší jízdy než na klasickém jízdním kole, a proto můžeme mít vyšší pocit bezpečí, protože nás automobily nepředjíždí s takovým rozdílem rychlostí.

Další výhodou elektrokol je jejich dojezd. U lepší elektrokol můžeme dosáhnout dojezdové vzdálenosti až 150 km, což je pro netrénovaného uživatele téměř nepředstavitelná vzdálenost. Co se týče pohybu v městském provozu, tak se můžeme pohybovat po vše komunikacích, kde je to povoleno pro klasická jízdní kola, ale mnohem vyšší rychlostí.

Finanční stránka elektrokol je také výhodou ne v porovnání s klasickými koly, ale v porovnání s poplatky v MHD a s cenami pohonných hmot. Pokud pomineme prvotní investici do elektrokola, tak provoz elektrokola je pak velmi levný. Elektrokolo pak jednoduše dobíjíme z elektrické sítě (230 V).

Další výhodou elektrokol je vliv na životní prostředí. Zejména pro uživatele je výhodou, že se nemusí speciálně oblékat pro jízdu na elektrokole, protože jízda na něm není nijak náročná. Uživatel se nezapotí tolik, i přes to koná zdravý pohyb a zlepšuje svou fyzickou kondici. [14]

### 3.2 Nevýhody

Hlavní nevýhodou elektrokol je pořizovací cena. Pokud bychom si chtěli pořídit elektrokolo střední třídy, jeho cena bude srovnatelná s klasickým jízdním kolem nejvyšší třídy. Pokud ovšem nechceme do elektrokola moc investovat, můžeme pořídit nějaké levnější elektrokolo, jejich cena začíná na cca 15 000 Kč. Další možností je si své klasické kolo přestavět na elektrokolo.

Elektrokolo je vhodné pro kratší každodenní jízdy. Jízda na něm je samozřejmě komfortní, ale musíme myslet, že alespoň přes noc je potřeba baterii nabít.

Další nevýhodou je, že elektrokola se v poslední době stávají terčem zlodějů. Ovšem to se nám může stát i u dražšího klasického jízdního kola.

Nevýhodou elektrokol je také jejich hmotnost. Platí nepřímá závislost mezi kapacitou baterie a její hmotností. Běžná hmotnost elektrokol je okolo 20 kg. Ovšem ani s touto váhou není problém dokud nám nedojde baterie, pak se z elektrokola stává velmi těžké klasické kolo. Právě proto je stále prostor pro zlepšování elektrokol a optimalizování elektrokola pro provozování v centru Prahy. [14]

### 3.3 Legislativa

V dnešní době se stále více diskutuje na téma jestli na elektrokola má být pohlíženo jako na klasická jízdní kola, nebo se mají zařadit mezi vozidla s pohonem. V aktuálním znění zákona není pro jízdu na elektrocole potřeba žádný řidičský průkaz ani TZ, pokud je výkon motoru elektrokola do 250 W. Některá elektrokola mají dokonce možnost samostatného rozjezdu, bez pomoci uživatele, což je z hlediska legislativy problém. [15]

### 3.4 Baterie

Základem elektrokol je elektromotor a kvalitní baterie. Aktuálně se pro elektrokola používají baterie: NiMH, Li-Ion, viz. Obrázek 1, Li-Pol a LiFePO<sub>4</sub>. Právě u této součástky elektrokol je stále co vyvíjet, zlepšovat a optimalizovat.

Baterie jsou téměř nejtěžší součástíkou na elektrocole a proto je potřeba dobře si uvědomit na jaké účely si budeme elektrocolo pořizovat, protože s tím úzce souvisí kapacita baterie. Každý typ baterie má své výhody i nevýhody a je vhodný pro různé typy elektrokol, ale běžně se jejich kapacity pohybují okolo 10 Ah.

Dalším význačným parametrem baterií je jejich napětí. Lze tvrdit, že čím vyšší napětí, tím vyšší výkon pak můžeme z elektromotoru získat. Běžně se pro elektrokola používají baterie s napětím 24 V, 36 V a 48 V.

Baterie 24 V - Tento typ baterií je nejméně používaný typ baterií pro elektrokola. Používá se pouze pro skládací elektrokola a pro elektrokola, u kterých není kladen důraz na výkon a maximální možný dojezd.

Baterie 36 V - Baterie s napětím 36 V je pro elektrokola standardně používaným typem baterie. Je to střední třída mezi bateriemi a tak se používá pro střední třídu elektrokol. Elektrokola s tímto typem baterie mají nejlepší poměr cena/výkon.

Baterie 48 V - Tyto baterie mají nejvyšší výkon a proto se používají do terénních elektrokol a elektrokol pro náročné uživatele. Na elektrocole s tímto typem baterie vyjedeme bez

problému i velmi strmé stoupání, ovšem s tímto komfortem roste i pořizovací cena elektrokol.  
[16]



Obrázek 1 - Ukázka nejběžnější Li-on baterie [17]

## 4 Elektrokolo

Elektrokolo je podobné jako klasické jízdní kolo, ovšem kromě muskulární energie od jezdce využívá pro pohon i elektrickou energii. Jsou tři základní typy elektrokol, a to dle umístění elektromotoru, buď v předním nebo zadním náboji nebo, což je v poslední době stále populárnější, ve středu kola.

Elektrokola jsou stále více oblíbeným dopravním prostředkem a to díky potřebě mnohem menšího fyzického výkonu. Tento dopravní prostředek je vhodný, jak pro starší občany na rekreační jízdy, tak i pro mladší obyvatelstvo pro každodenní dopravu do zaměstnání.

V Praze by se mohl stát tento dopravní prostředek velmi oblíbeným, díky operativnosti přepravy a potřebě malého fyzického výkonu ve velmi vertikálně členěném prostředí. [3]

### 4.1 Druhy elektrokol

V České republice se na trhu vyskytuje velké množství typů elektrokol, které lze koupit. Mezi nejzákladnější typy těchto kol patří stejně jako u klasických jízdních kol městské, trekkingová, horská a navíc skládací elektrokola.

Základním a nejběžnějším typem elektrokola je silniční, neboli městské elektrokolo. Vyznačuje se lehkou konstrukcí, úzkým profilem pneumatik a nízkou kapacitou baterie. Je určeno pro krátkou každodenní jízdu po zpevněných komunikacích, viz Obrázek 2. [4]



Obrázek 2 - Ukázka silničního elektrokola [5]

Dalším typem jsou horská elektrokola, viz. Obrázek 3. Jejich hlavní využití je na sport a obecně jízdu v náročném terénu. Mají mohutný těžký rám, často s předním i zadním odpružením, široké pneumatiky a jsou vybavena velkokapacitní baterií. [4]



Obrázek 3 - Ukázka horského elektrokola [5]

Třetím typem jsou elektrokola treková neboli cestovní, viz. Obrázek 4. Tento typ elektrokol je stavěn pro náročnější uživatele, kteří využívají kolo pro delší cesty v rovinatém terénu. Přednostmi těchto elektrokol je lehká konstrukce, pohodlí, jízdní komfort a především velmi vysoká kapacita baterie. [4]



Obrázek 4 - Ukázka trekového elektrokola [5]

Posledním typem je skládací elektrokolo, viz Obrázek 5. Hlavní výhodou tohoto typu elektrokol je, že se dá složit a je velmi praktické pro převoz, jak v automobilu, tak i v MHD. Jeho konstrukce patří do skupiny lehčích, má malá kola s tlustšími pneumatikami, ale baterie s nízkou kapacitou. [4]



Obrázek 5 - Ukázka skládacího elektrokola [6]

## 4.2 Výběr elektrokola pro měření

V bakalářské práci jsme s kolegou Michalem Šlapákem používali pro praktická měření zapůjčené elektrokolo, které již k dispozici nemáme. Pro tuto diplomovou jsme se rozhodli koupit vlastní elektrokolo, které bude přesně splňovat naše požadavky.

Vzhledem k tomu, že chceme vytvořit stabilní systém bikesharing pro studenty FD ČVUT, rozhodli jsme se pro praktické městské skládací elektrokolo od značky JOY2. Toto elektrokolo jsme koupili, jako zánovní zboží, za 13 000 Kč.

### 4.2.1 Popis elektrokola

Dle výrobce je toto elektrokolo díky prohnuté geometrii rámu a nízkému nástupu, pouze 38cm, jedním z nejkomfortnějších elektokol na českém trhu. Elektrokolo je určeno na všechny typy povrchů, jako silnice, chodníky, travnaté stezky a zvládne i tvrdý nezpevněný terén. Zadní výplet má únosnost až 130kg.

Elektrokolo JOY2 je dodáváno v základní výbavě s LED osvětlením, které je připojeno přímo na baterii, pohodlným gelovým sedlem, odrazkami v předním i zadním výpletu a nosičem zavazadel. Dále lze dokoupit uzamykatelný 12 litrový kufřík, brašnu nebo bezpečnostní zámek.

Dojezd tohoto elektrokola až 100 km, dle zvolené baterie, naše elektrokolo má baterii 36V/250W s dojezdem až 50 km. [7]

## 4.2.2 Technické parametry

Tabulka 2 - Technické parametry koupeného elektrokola [7]

Typ kola	skládací
Rám	materiál Al 6061, velikost 16"
Motor/výkon	36V/250W bezkartáčový motor s planetovou převodovkou v zadním kole
Barevné provedení	stříbrná
Stupeň stoupavosti	-
Příslušenství	osvětlení (napájení AA/AAA články), blatníky, zadní nosič, boční stojánek, zvonek
Nabíječka/čas nabíjení	4-6h (nabíječka je součástí dodávky)
Délka elektrokola	850
Výška řídítek/představce	volitelná
Výška sedla	volitelná
Sedlo/sedlovka	průměr 27,2mm, délka 275mm
Ráfek/pneumatiky	Al 20x1,75 / 20x1,75 (406-47)
Brzda přední/zadní	V-brake, Tektro 857
Vidlice	pevná
Řazení/převody	Shimano SL-TX50-6R / Shimano SL-TX50-6R / 6-kolečko 14-28z (šroubovací)
Ovládání	třístupňový pedal asistent (PAS)
Nosnost	100kg
Max. rychlost	25km/h
Hmotnost	23kg (včetně baterie)
Dojezd	až 50km
Baterie/cykly	36V/10Ah Li-Ion, s bezpečnostním zámkem, životnost 500-800 nabíjecích cyklů



### 4.2.3 Fotodokumentace elektrokola



Obrázek 6 - Ukázka pořízeného elektrokola [vlastní foto]



Obrázek 7 - Ukázka řízení [vlastní foto]



Obrázek 8 - Ukázka baterie a nabíječky [vlastní foto]



Obrázek 9 - Ukázka motoru a převodů [vlastní foto]

#### 4.2.4 Teoretický dojezd elektrokola

Hlavním parametrem, který ovlivňuje dojezd elektrokola je typ a kapacita instalované baterie. Potřebujeme, aby jistou dobu byla baterie schopna dodávat elektrický proud. Pro naše měření máme k dispozici elektrokolo s baterií typu Li-Ion, 36 V/10 Ah, a hmotností 4,5 kg. Teoreticky by nám baterie měla poskytovat elektrický proud 1 A po dobu 1 h.

Abychom získali výkon baterie musíme znát základní dva parametry baterie, elektrický proud v ampérhodinách a napětí ve voltech. Tyto dvě hodnoty vynásobíme a tím získáme výkon baterie. [18]

Pro naší zapůjčenou baterii:

$$P = 36 * 10 = 360 \text{ Wh}$$

Abychom získali vzdálenost, na které nám bude elektromotor pomáhat, musíme znát přibližnou spotřebu energie na jeden kilometr. S nejnižší asistencí je to přibližně 4,5 Wh a s nejvyšší asistencí přibližně 7 Wh. Výkon pak touto hodnotou vydělíme. [18]

Přibližná spotřeba energie na jeden kilometr s nejnižší asistencí:

$$\text{Dojezd} = \frac{360}{4,5} = 80 \text{ km}$$

Přibližná spotřeba energie na jeden kilometr s nejvyšší asistencí:

$$\text{Dojezd} = \frac{360}{7} = 51 \text{ km}$$

Naše baterie patří do skupiny spíše méně kapacitních, což je spíše výhoda pro provoz v centru města, protože se předpokládají kratší trasy, ale častější. Dokonce by se dalo v rámci optimalizace uvažovat i o baterii s ještě nižší kapacitou.

Další okolnosti, které ovlivňují dojezd elektrokola jsou terén, styl jízdy, protože ne každý jezdec využívá plný výkon baterie, technický stav elektrokola, technologie elektromotoru, odezva snímačů a další. [18]

## 5 Bikesharing

Sharing obecně znamená sdílení nějaké věci a bikesharing je systém sdílení kol. Tento systém začal v západní Evropě, již ke konci minulého století, ale v České republice začal rozmach až v posledních několika letech. Podpora systému bikesharing plyne především ze snahy o omezení jízdy osobních automobilů v centru měst. Přestavitelé měst se snaží motivovat občany k využívání MHD a kol pro přesun po centru. Je to z ekologických důvodů i z bezpečnostních důvodů.

Jízda na kolech by měla být postupně integrována do MHD. Postupným začleňováním jízdních kol do městské dopravy by se měla zlepšit dopravní situace ve městech, jako minimalizace kongescí, větší bezpečnost a snižování záboru půdy pro automobilovou dopravu. [8]

### 5.1 Historie

Historie systému bikesharing se dělí na 4 etapy:

První generace bikesharingu je z roku 1965 z Nizozemí, z Amsterdamu. Jízdní kola byla volně ve veřejném prostoru. Kvůli tomu, že byla kola volně dostupná, se provozovatel potýkal s vandalismem a krádežemi.

Druhá generace půjčování kol je z roku 1995 z Dánska, z Kodaně. Jízdní kola, byla již upravena do městského provozu a byla zpoplatněna mincemi, jako jsou dnes například nákupní vozíky. Bohužel, ani tento zápujční poplatek nezabránil krádežím kol. [8]



Obrázek 10 - Ukázka systému bikesharing 1995 [9]



Třetí generace systému bikesharing je z roku 1996 z Anglie, z Portsmouth, kde byla jízdní kola pod dohledem pomocí zabudovaného čipu a kolo šlo půjčit pouze přes registrovanou čipovou kartu.

Poslední, čtvrtá generace, je ze začátku 21. století až dodnes, kdy jsou kola sledována přes GPS. Jízdní kola v sobě mají zabudovaný GPS modul a lze je půjčovat pouze online přes mobilní aplikace či NFC čip. Kola jsou neustále sledována a díky tomu se zamezilo spoustě krádeží. [8]

## 5.2 Bikesharing elektrokol

Za pátou generaci systému bikesharing bychom mohli počítat bikesharing elektrokol. Hlavním průkopníkem v této oblasti je česká firma Homeport. Tato firma figuruje na světovém trhu od roku 2005, působí v 18 světových městech a disponuje téměř 10 000 koly. Společnost Homeport neprovozuje pouze systém bikesharing s klasickými jízdními koly, ale do systému začleňuje i elektrokola.

Je velmi paradoxní, že ačkoli je tato firma česká, doposud neposkytuje své služby v žádném českém městě. V letošním roce by se ovšem firma měla přihlásit do tendru o zavedení systému bikesharing v Praze.

Letos na jaře společnost Homeport představila v Praze nový typ elektrokol pro anglické město Oxford s úplně novými technologiemi. Elektrocolo má dojezd až 55 km a má integrované zadní i přední světlo. Dále jako jediné elektrocolo na světě má programovatelný elektromotor a díky tomu, lze při půjčení elektrokola přes mobilní aplikaci, nahrát osobní údaje o uživateli a na základě toho přizpůsobit výkon motoru. [10]



Obrázek 11 - Ukázka nového elektrokola od firmy Homeport [10]

### 5.3 Bikesharing v Praze

V Praze zatím oficiální systém bikesharing, který je provozovaný městem a integrovaný s MHD, není.

V současné době je od roku 2016 provozován systém bikesharing soukromou firmou Rekola. Tato firma poskytuje svoje služby v 5 městech ČR.

Firma Rekola byla založena v roce 2013, a začala tím, že servisovala stará kola od lidí, aby získali, s co nejmenším kapitálem, co největší základnu jízdních kol. Dnes disponují několika sty koly. Samotné vypůjčení funguje tak, že se registrujete do systému a zaplatíte předplatné. Dále pak přes mobilní aplikaci najdete nejbližší dostupná kola ve vypůjčném místě. Pro půjčení kola odešlete přes aplikaci žádost o půjčení kola, z vašeho účtu se strhne poplatek a přijde vám kód k bezpečnostnímu zámku. Pokud kola vracíte, tak jen v aplikaci zadáte, že kolo vracíte a jednoduše zamknete bezpečnostním zámkem. Všechna kola jsou sledována přes GPS modul. Poplatek za půjčení jízdního kola je srovnatelný s cenou jízdenky na 90 min v MHD. Samozřejmě si je možné předplatit kola na delší dobu, cena je opět srovnatelná s cenou předplacené jízdenky.[11]



Obrázek 12 - Ukázka vypůjčného místa Rekola v Praze [11]

Tabulka 3 - Ukázka cen jízdného, Rekola [11]

Praha	<b>32 Kč / 1 hodina</b>
Brno	<b>24 Kč / 1 hodina</b>
České Budějovice	<b>20 Kč / 1 hodina</b>
Teplíce	<b>20 Kč / 1 hodina</b>
Olomouc	<b>16 Kč / 1 hodina</b>

Vzhledem k tomu, že v Praze působí pouze firma Rekola, která poskytuje bikesharing s klasickými jízdními koly, měl by velkou šanci projekt FD ČVUT bikesharing elektrokol. Pokud se ukáže jako funkční systém bikesharing elektrokol pro studenty, byla by velká šance uvést tento systém i pro širší veřejnost.

## 6 Testovací trasy

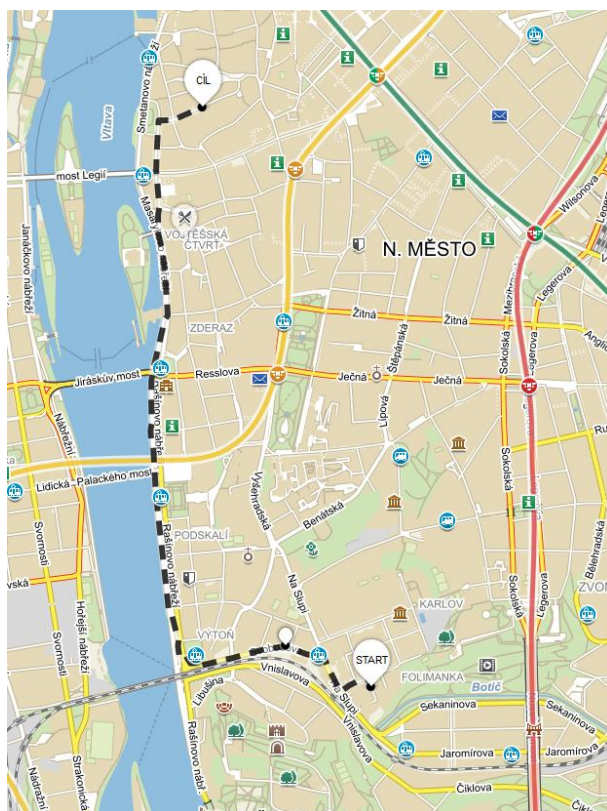
Hlavním cílem této práce je navržení funkčního systému bikesharing pro studenty FD ČVUT. Z tohoto důvodu byla potřeba prozkoumat a zanalyzovat jízdní trasy mezi budovami Fakulty dopravní.

Škola má celkem tři budovy, jedna se nachází v ulici Horská na Praze 2, druhá v ulici Na Florenci na Praze 1 a třetí v Konviktské ulici taktéž na Praze 1.

Před samotným navrhováním systému a jeho komponent bylo nutné prozkoumat potencionální jízdní trasy. Všechny testovací trasy byly zvoleny dle největšího komfortu pro uživatele nikoliv z hlediska vzdálenosti. Dále uvedu pro porovnání časové, vzdálenostní i finanční porovnání přesunů mezi elektrokošem, chůzí a MHD.

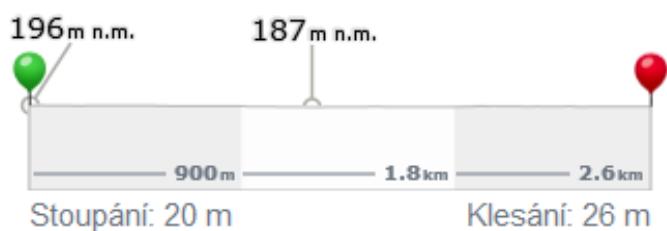
### 6.1 Trasa Horská - Konvikt

Výchozím bodem pro mé měření byla budova školy v ulici Horská. První trasu, kterou jsem provedl byla do budovy Konviktská. Trasa byla převážně po cyklostezce, po nábřeží s minimální převýšením.



Obrázek 13 - Trasa Horská - Konvikt [12]





Obrázek 14 - Převýšení trasy Horská - Konvikt [12]

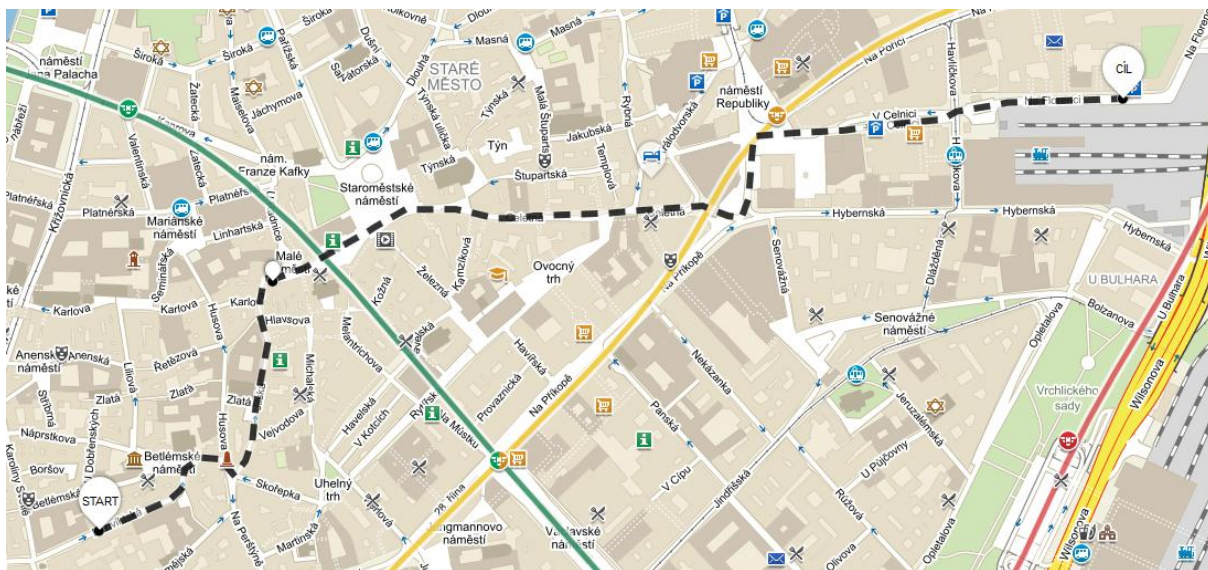
Tabulka 4 - Porovnání možností dopravy Horská - Konvikt [12, 13]

	Vzdálenost [km]	Čas [min]	Prům. rychlost [km/h]	Cena [Kč]
<b>Elektrokolo</b>	2,6	9	17,3	přibližně 1
<b>Chůze</b>	2,4	39	3,6	-
<b>MHD</b>	2,3	10	14,3	24
<b>Automobil</b>	4,1	10	25,6	11

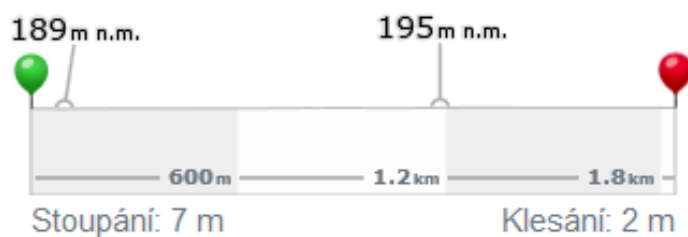
Jak je z přehledu patrné, viz. Tabulka 3, tak nejvýhodnějším dopravním prostředkem pro přesun na trase mezi budovami Horská a Konvikt je jízda na elektrokole. Přesun pěšky je velmi časově náročný a při přesunu MHD či osobní vozidlem se nám cesta velmi prodraží, přičemž časovou úsporu také nezískáme. Samozřejmě bychom mohli uvažovat i o klasickém jízdním kole, tam bychom měli nulové náklady na cestu, ale neposkytuje stejný komfort ani rychlost jako elektrokolo.

## 6.2 Trasa Konvikt - Florenc

Další zkoumanou trasou byla trasa mezi budovami školy Konvikt a Florenc. Tato trasa vedla především úzkými uličkami v samém centru Prahy. Na trase nebylo prakticky žádné stoupání ani klesání. Z hlediska komfortu jízdy tato trasa nebyla na dobré úrovni, kvůli hustému provozu chodců a celkově bezpečnosti v úzkých uličkách. Ovšem z hlediska časové úspory byla tato trasa optimální.



Obrázek 15 - Trasa Konvikt - Florenc [12]



Obrázek 16 - Převýšení trasy Konvikt - Florenc [12]

Tabulka 5 - Porovnání možností dopravy Konvikt - Florenc [12, 13]

	Vzdálenost [km]	Čas [min]	Prům. rychlost [km/h]	Cena [Kč]
<b>Elektrokolo</b>	1,9	7	15,8	přibližně 1
<b>Chůze</b>	1,7	27	3,7	-
<b>MHD</b>	1,8	4	30,0	24
<b>Automobil</b>	5,3	10	33,1	13

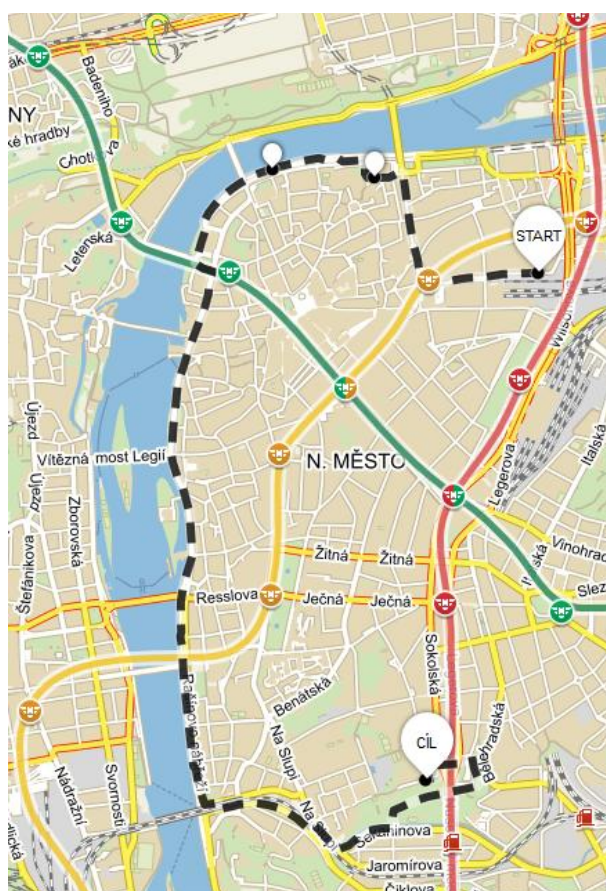
Tato trasa je velmi složitá na vyhodnocení. Všechny druhy dopravy jsou poměrně srovnatelné, jediný automobil není vůbec vhodný. Ačkoli je čas dle navigace srovnatelný s elektrokolem, tak z vlastní zkušenosti vím, že v běžném provozu v centru Prahy není reálný. Velmi časově výhodný je přesun MHD, protože lze využít metro, které je velmi rychlým dopravním prostředkem po centru, ovšem proti mluví cena jízdného. Další možnosti dopravy

je chůze, ačkoli je časově náročná, tak pokud bychom připočítali k MHD čas chůze ke stanici a dobu čekání, tak poté je chůze srovnatelná s MHD. Pokud jde o elektrokolo, tak za předpokladu, že bude vždy k dispozici hned u budovy školy, tak jde opět nejvýhodnější a nejrychlejší druh dopravy na této trase.

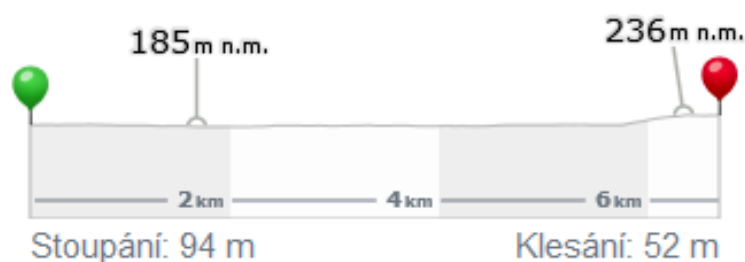
### 6.3 Trasa Florenc - Horská

Poslední trasa, kterou jsou analyzoval, byla trasa z Florence zpět do výchozího bodu na Horskou. Tato trasa byla ze všech tří nejdelší, tudíž se dali očekávat velmi rozdílné výsledky v porovnání jednotlivých druhů dopravy. Na této trase bylo větší stoupání ve srovnání s předchozími trasami, ovšem nic nekomfortního pro uživatele elektrokola.

Trasa nebyla zvolena dle vzdálenosti, ale z hlediska maximálního využití cyklostezek. Díky tomu byla jízda prodloužena o 1 km, ale z hlediska bezpečnosti a komfortu to bylo ku prospěchu.



Obrázek 17 - Trasa Florenc - Horská [12]



Obrázek 18 - Převýšení trasy Florenc - Horská [12]

Tabulka 6 - Porovnání možností dopravy Florenc - Horská [12, 13]

	Vzdálenost [km]	Čas [min]	Prům. rychlost [km/h]	Cena [Kč]
<b>Elektrokolo</b>	6,7	21	19,1	přibližně 1
<b>Chůze</b>	3,1	53	3,5	-
<b>MHD</b>	3,2	15	12,8	24
<b>Automobil</b>	3,8	12	19,0	12

Poslední měřená trasa vychází nejlépe pro přesun MHD, především díky časové úspoře, ačkoli finančně to tak není. Doprava osobním automobilem, také vychází časově a relativně i finančně výhodně, ovšem opět musím zdůraznit, že dle vlastních zkušeností vím, že v čase 12 minut, nelze trasu v běžném provozu zvládnout. Co se týká chůze, tak ta je časově velmi náročná a i z hlediska komfortu dopravy nevhodná.

Ačkoli elektrokolo na této trase nevychází jako nejvhodnější dopravní prostředek, tak bych se pro něj rozhodl. V jeho neprospěch mluví vzdálenost a čas, ale to jen díky zvolené trase po cyklostezkách, trasa by se samozřejmě dala zkrátit přes centrum, to by ale nebylo tak pohodlné.

## 6.4 Shrnutí zkušebních jízd

Dle naměřených časů a vzdáleností lze vyvozovat, že nejvhodnějším dopravním prostředkem mezi budovami FD ČVUT je elektrokolo, případně klasické jízdní kolo. Samozřejmě musíme brát v úvahu, že z finančního hlediska, jízda MHD nebude stát standardních 24 Kč, ale méně, protože se dá předpokládat, že studenti i ostatní obyvatelé budou mít předplacené jízdné. Na druhou stranu, pro dopravu osobním automobilem, jsem počítal pouze spotřebované palivo, spotřeba asi 8 litrů na 100 kilometrů, v městském

provozu, a cenu paliva 32 Kč, k tomu by se správně měla připočítat cena za amortizaci vozidla a další výdaje na údržbu.

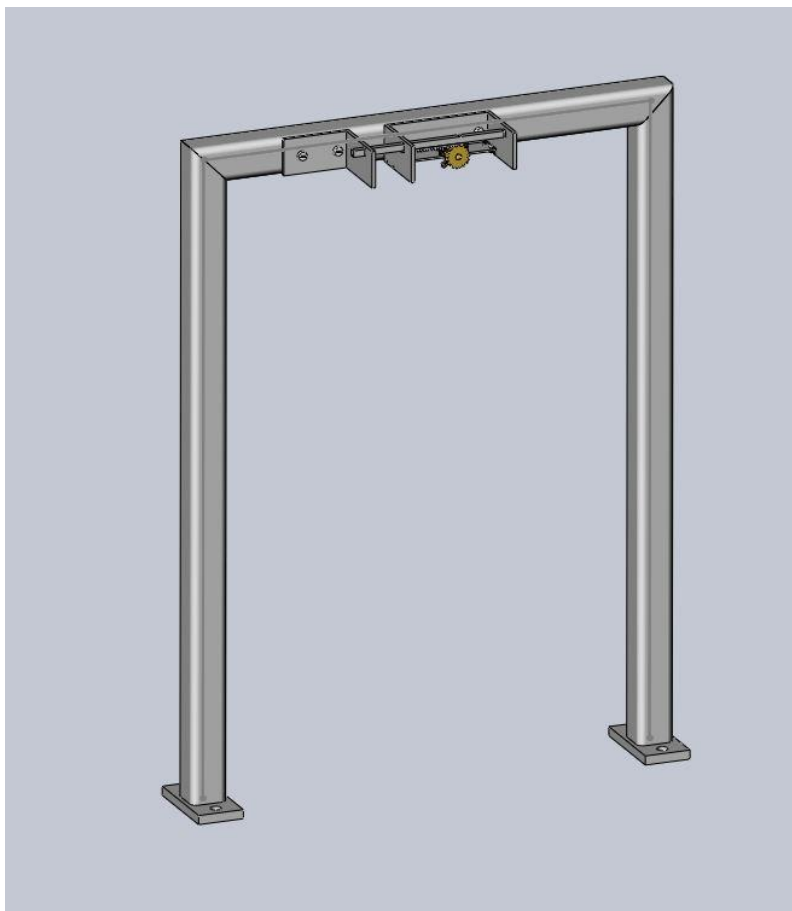
Celkově by se dalo říci, že cyklo doprava není ve městě jednoznačně nejlepší a nejvýhodnější, lidé se spíše přiklání k MHD a osobním automobilům, ale pokud by město začalo více podporovat cyklistickou dopravu a pokud by byla, alespoň z části jako je MHD, lidé by jí určitě více využívali. Pokud by se jednalo o bikesharing elektrokol, bylo by to, z hlediska komfortu jízdy, bezpečnosti a bez nutnosti vlastního uskladnění kol, úplně nejlepší.

## 7 Dokovací stanice pro elektrokola

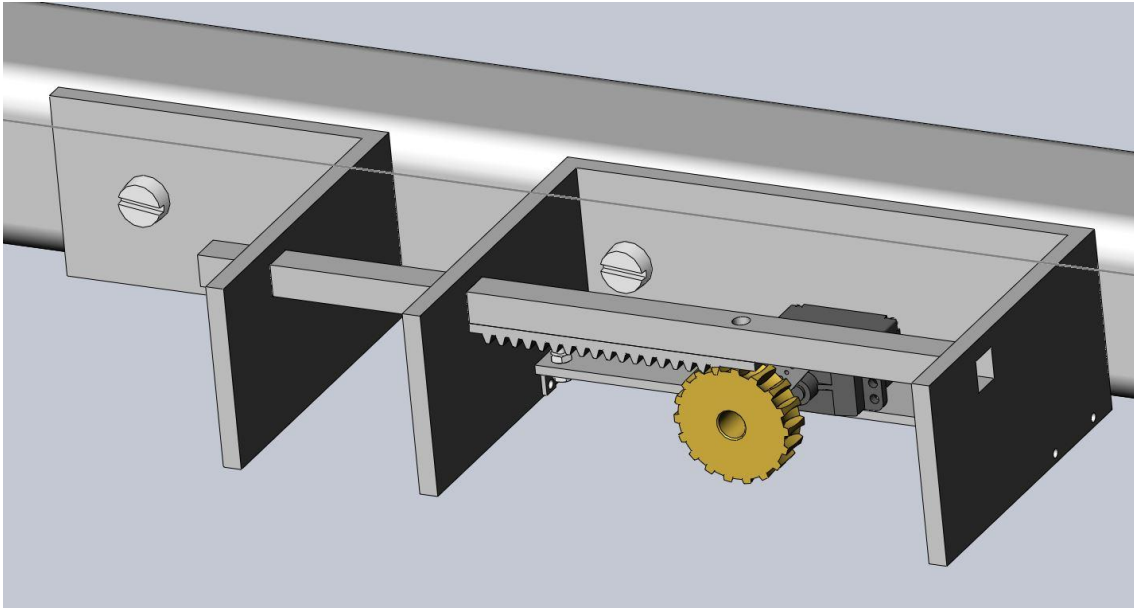
Další společnou prací, kterou jsme s kolegy Michalem Šlapákem a Joranem Timmermanem vytvořili byla dokovací stanice. Vzhledem k předchozím zkušenostem z projektu, z testování elektrokol, byly nároky na dokovací stanici poměrně vysoké. Stanice by měla být zabezpečená, aby zabránila krádežím a automatická, aby na základě bezdrátové komunikace zvládla otevřít či zavřít zámek na kolo. Dále by pak měla být schopna komunikovat s centrálním systémem, aby byl přehled o půjčených a vrácených elektrokolech.

### 7.1 Návrhy

Nejdříve jsme s kolegy provedli návrhy dokovací stanice, které by měly splňovat naše požadavky. Na následujícím obrázku, viz. Obrázek 19, je vidět celkový návrh konstrukce dokovací stanice. Celá konstrukce pak bude připevněna k podlaze.



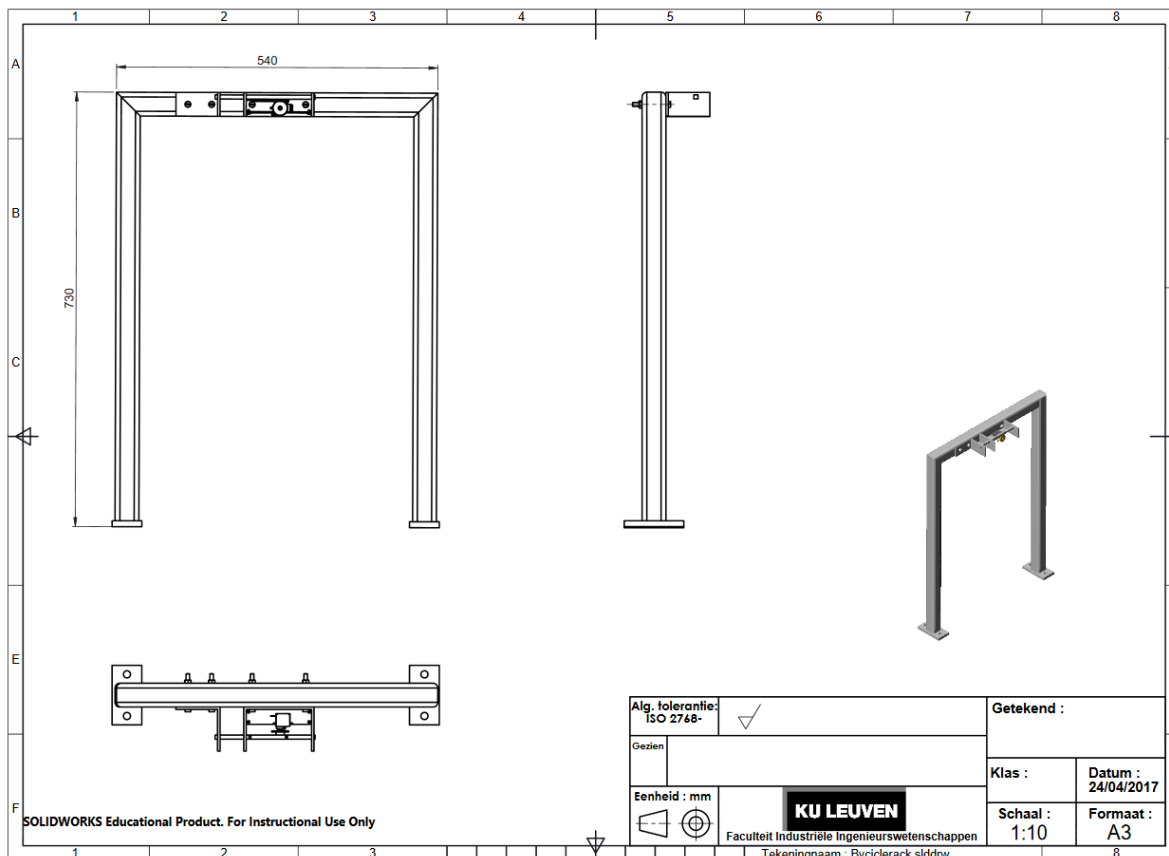
Obrázek 19 - Návrh dokovací stanice [foto od Joran Timmerman]



Obrázek 20 - Návrh bezpečnostního mechanismu [foto od Joran Timmerman]

Na Obrázku 20 je vidět detail bezpečnostního mechanismu, který bude uchycovat elektrokolo. Celý mechanismus bude řízen programovatelnou jednotkou Arduino, viz. Článek 7.3, a bude fungovat na NFC čip. Celý mechanismus bude fungovat tak, že uživatel přijde k dokovací stanici, přiloží kartu s NFC čipem a mechanismus mu otevře bezpečnostní západku, která drží rám elektrokola. Obdobným způsobem bude fungovat mechanismus při vrácení elektrokola.





Obrázek 21 - Ukázka finálního technického výkresu [foto od Joran Timmerman]

## 7.2 Výroba dokovací stanice

S kolegy jsme se rozhodli pro samostatnou výrobu prototypu dokovací stanice. Společně jsme uspořádali workshop v dílně u nás doma, kde byl dostatek potřebných nástrojů.

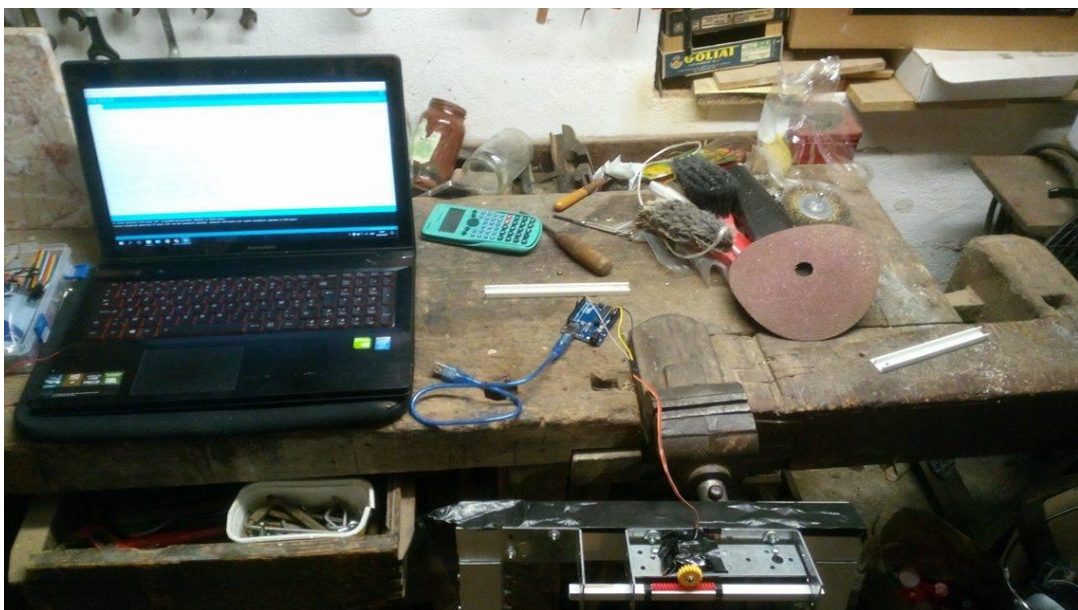
Nejdříve jsme si obstarali dostatek materiálu. Koupili jsme hliníkový profil 40x40x2500 mm, hliníkový profil 10x10x500 mm, 6x ocelový L profil 50 mm na spojení hliníkových profilů a 3x ocelový L profil 40 mm na vytvoření obalu pro ovládací jednotku a elektromotor, viz. Obrázek 21.

Nejdříve jsme hliníkové profily nařezali a poté opracovali. Dále jsme pomocí L profilů 50 mm spojili hliníkové profily v rám. Nakonec jsme na rám přidělali L profily 40 mm pro uchycení elektromotoru a jednotky Arduino.





Obrázek 22 - Výsledná dokovací stanice [vlastní foto]



Obrázek 23 - Testování bezpečnostního mechanismu [vlastní foto]

### 7.3 Jednotka Arduino

Programovatelná jednotka Arduino je otevřená elektronická platforma, která je založena na uživatelsky jednoduchém softwaru a hardwaru. Tato jednotka je schopná komunikovat s okolním prostředím pomocí mnoha senzorů, jako jsou RFID čipy, ethernetová síť či pomocí jiné bezdrátové komunikace.

Dále tato jednotka také může ovlivňovat své okolí pomocí výstupů, jako jsou LED diody, elektromotorky, či jiná mechanická zařízení.

Arduino je založeno na základní desce s mikroprocesorem a je programovatelný v jazyce Wiring, což je jazyk podobný jazyku C. Arduino lze jednoduše programovat na stolním počítači, deska komunikuje na USB rozhraní.

Arduino lze zakoupit samostatně, nebo s dalšími doplňky. [19]

### 7.3.1 Vlastní jednotka arduino

Pro naše účely jsme s kolegy zakoupili jednotku Arduino kit R3 s ethernetovým rozhraním, Arduino Ethernet Rev3 WITHOUT PoE.

Jednotka Arduino by měla fungovat samostatně v dokovací stanici, ovšem náš plán je, aby jednotka byla schopná komunikovat se stolním PC, a dále přenášet data do webové aplikace, kde bude zajištěno sledování výpůjček a vrácení elektrokol z jednotlivých dokovacích stanic.

K Arduino jsme dokoupili nastavbovou platformu s RFID čipem, pro bezdrátovou komunikaci. Ta bude sloužit k ovládání bezpečnostního zámku. Uživatel pomocí čipové karty bude moci odemknout zámek, a tím si půjčit elektrokolo, či zamknout zámek, a tím elektrokolo vrátit.

### 7.3.2 Technická specifikace Arduina



Obrázek 24 - Základní deska Arduino s ethernetovým rozhraním [20]

Tabulka 7 - Technické parametry Arduino s ethernetovým rozhraním [20]

Microcontroller: ATmega328  
Ovládací napětí: 5V  
Napájecí napětí : 7-12V  
Digital I/O Piny: 14  
PWM Digital I/O Piny: 4  
Analogové Piny: 6  
DC proud skrze I/O Piy: 40 mA  
Flash paměť: 32 KB  
Flash paměť pro Bootloader: 0.5 KB  
SRAM 2 KB  
EEPROM 1 KB  
Frekvence procesoru:16 MHz  
Délka 68.6 mm  
Šířka 53.3 mm  
Váha 28 g



Obrázek 25 - RFID čip pro Arduino [20]

## 7.4 Zabezpečení elektrokol

Dalším důležitým bodem v provozování systému bikesharing je zabezpečení samotných elektrokol. Elektrokola jsou zabezpečena v dokovacích stanicích a dokovací stanice by měla být na veřejném místě, v ideálním případě pod dohledem bezpečnostních kamer. To by ovšem nestačilo, protože je potřeba mít sledovaná elektrokola i během jeho vypůjčení uživatelem. Jednou z možností takového dohledu nad elektrokoly je TrackR.

TrackR je malý čip, který komunikuje s mobilní aplikací přes Bluetooth. Tento čip komunikuje s aplikací přes Low Energy Bluetooth a díky tomu je minimálně náročný pro výdrž baterie zařízení. [25]

Tabulka 8 - Technická specifikace TrackR [25]

<b>TrackR bravo</b>
Průměr: 31mm
Tloušťka: 3.5mm
Typ baterie: CR1616
Maximální životnost baterie: 1 rok
Typ Bluetooth: 4.0
Rozsah Bluetooth: až 30 metrů
Rozsah datového GPS: Celý svět
Hlasitost: 85dB
Materiál: Hliník, Plast
Bezpečné pro domácí zvířata: Ano
Použití po celém světě: Ano

Tento malý čip lze umístit na peněženku, mobilní telefon, klíče, psa a v našem případě i na elektrokolo. Čip má malé praktické rozměry, rozměrem přirovnatelný k dvacetikorunové minci. Pokud je čip v blízkosti zařízení, na kterém je puštěna sledovací aplikace, lze sledovat, kde se předmět nachází. Pokud se předmět vzdálí, aplikace uživatele upozorní, že se vzdaluje. Další možností, jak sledovat věci, je pomocí GPS, podmínka je, že pokud chceme získat polohu hledaného předmětu, musí být v jeho blízkosti jiné zařízení, které má zapnutou sledovací aplikaci.

Pro naše potřeby by stačilo, aby uživatel, který si půjčí elektrokol, měl stále zapnutou sledovací aplikaci, a díky tomu by bylo možno sledovat pohyb elektrokola. V další fázi zabezpečení bychom mohli mít na elektrokole zabudované Smart zařízení, jak pro naše potřeby zabezpečení, tak pro potřeby uživatele.



Obrázek 26 - Ukázka typů sledovacího čipu TrackR [25]

## 8 Uživatelská náročnost jízdy

Jedním z hlavních cílů této diplomové práce je hodnocení fyzické náročnosti jízdy na elektrokole a celkového jízdního komfortu pro uživatele. Toto hodnocení dále budu porovnávat s klasickým jízdním kolem a ostatními druhy dopravy.

Pro tato hodnocení jsem vytvořil dotazník pro uživatele, viz. Příloha 1, kteří budou testovat své fyzické schopnosti při jízdě na elektrokole. Škála uživatelů by měla být pokud možno, co nejrozmanitější, aby byly výsledky, co nejobjektivnější. Pokud se to povede, tak by se měření měli účastnit, jak muži, tak i ženy, ve věkovém rozmezí 15 - 60 let. Všichni uživatelé budou hodnotit jízdu subjektivně, pomocí vlastního dojmu z jízdy a dále objektivně, dle měření tepové frekvence.

Dalším dílčím bodem této práce bude mé vlastní testování, kdy budu pomocí měřiče tepové frekvence hodnotit, jaké jsou rozdíly ve fyzické náročnosti mezi elektrokolem, klasickým jízdním kolem a chůzí.

### 8.1 Příprava testovacích jízd

V rámci přípravy na testování jsem připravil několik věcí. Jednou z věcí, byl dotazník pro testovací uživatele, viz. Příloha 1. Další částí přípravy byl výběr vhodných testovacích uživatelů. Posledním krokem přípravy bylo získání a nastavení měřiče tepové frekvence.

#### 8.1.1 Dotazník pro testovací uživatele

Uživatelé budou testovat jízdy dle své volby, ovšem je nutné, aby v každé testovací jízdě byl úsek po rovině, ve stoupání a v klesání. V dotazníku budou uživatelé vyplňovat svůj věk, pohlaví, váhu a fyzickou zdatnost. Dále budou vyplňovat, terén své cesty, jak dlouhou cestu absolvovali a jakou asistenci elektromotoru využívali.

Hlavní částí dotazníku, je hodnocení fyzické náročnosti jízdy. Testovací uživatelé budou mít po celou dobu testovací jízdy jednoduchý měřič tepu, který je propojen se sportovními hodinkami, pro jednoduché sledování tepové frekvence. Každý testovací uživatel bude muset, dle požadavků rozsahu jízdy, vyplnit jakou měl přibližnou tepovou frekvenci při jízdě po rovině, v klesání a ve stoupání.

V neposlední řadě bude uživatel hodnotit svůj celkový dojem z cesty.



### 8.1.2 Měřič tepové frekvence

Nejdůležitější částí pro měření je výběr správného měřiče tepové frekvence, který budou testovací uživatelé využívat při každé jízdě. Pro měření tepové frekvence jsem vybral měřič od značky X Fact. Tento model je vybaven hrudním pásem, který bezdrátově komunikuje se sportovními hodinkami, na kterých ukazuje okamžitou tepovou frekvenci.



Obrázek 27 - Ukázka měřiče tepové frekvence [vlastní foto]

### 8.1.3 Tepová frekvence

Obecně je tepová frekvence tlaková vlna, která nastane v tepnách, vypuzením krve ze srdeční komory. Tato vlna se dále šíří v tepnách a žilách a proto je možné měřit puls na mnoha místech na těle.

Běžnou klidovou tepovou frekvencí pro muže je 70 - 75 tepů za minutu a pro ženy 80 - 85 tepů za minutu. U sportovců může být klidová frekvence i 40 tepů za minutu, to je způsobeno větším objemem krve, které srdce může vypumpovat z komory. [21]

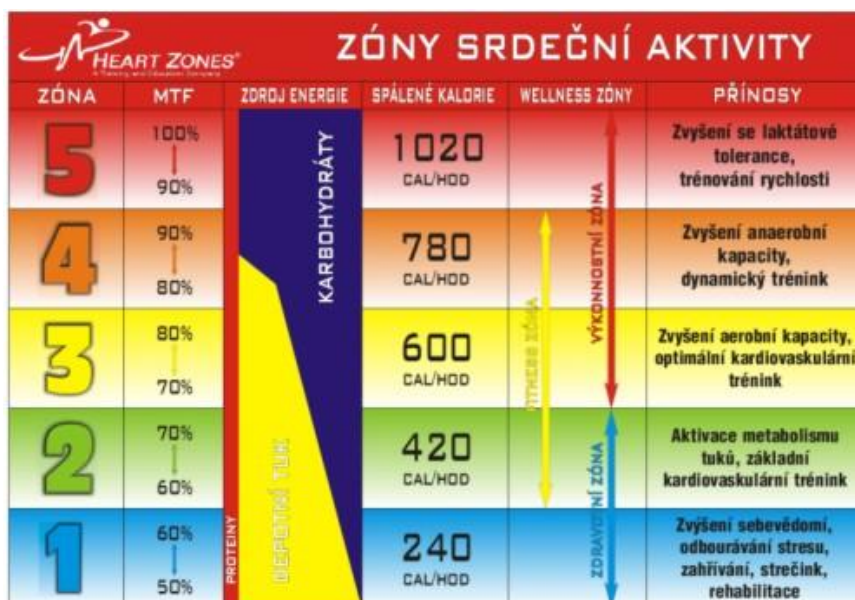
Výpočet maximální tepové frekvence:

Muži:  $214 - (\text{věk} \times 0,8)$

Ženy:  $209 - (\text{věk} \times 0,7)$

Například moje maximální tepová frekvence je dle výpočtu 196 tepů za minutu.

Sledování tepové frekvence a její stabilizace při sportovním výkonu je prospěšná pro zlepšení zdravotní kondice a pro celkové zvýšení fyzické zdatnosti jedince. Další výhodou rovnoměrného sportovního výkonu je efektivní snižování váhy, což je v dnešní době velmi žádané. [21]



Obrázek 28 - Přehled spalování tuků při fyzické zátěži dle počtu tepů za minutu, 100% = maximální tepová frekvence [21]



### 8.1.4 Výběr uživatelů pro testovací jízdy

Pro testovací jízdy, které budou jako podklady pro vyhodnocení fyzické náročnosti jízdy na elektrokole, jsem musel vybrat vhodné uživatele, kteří testovací jízdy provedou. Sám sobě jsem měřil tepové frekvence, při jízdě na elektrokole na různě vertikálních komunikacích, na stejných komunikacích při jízdě na klasickém jízdním kole a taktéž při chůzi. Tyto data jsou jako podklad pro porovnání fyzických náročností jednotlivých druhů dopravy.

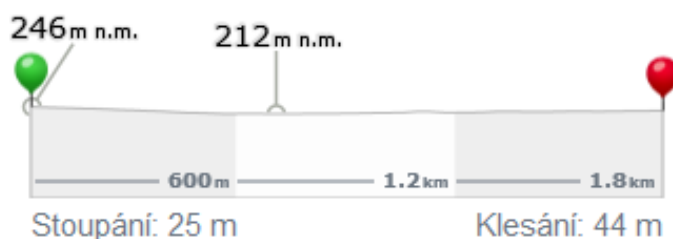
Pro získání dat, která budou vypovídat o fyzické náročnosti jízdy na elektrokole různých uživatelů, jsem se snažil zvolit, co možná největší a nejrozmanitější skupinu testovacích uživatelů. Skupina uživatelů byla složena z mužů i žen o různých fyzických dispozicích a o různém věkovém rozdělení.

## 8.2 Porovnání fyzické náročnosti jednotlivých druhů dopravy

Pro porovnání fyzické náročnosti různých typů dopravy jsem provedl několik testování sám. Testování zahrnovalo vhodně zvolené trasy a na těchto trasách zaznamenávat data o počtu tepů za minutu, při jízdě na elektrokole, na klasickém jízdním kole a při chůzi.

### 8.2.1 Trasa pro testování

Nejdůležitějším bodem testování bylo vhodné zvolení trasy. Trasa byla 5 km dlouhá, a dle vlastního zadání zahrnovala část trasy po rovině, v klesání a ve stoupání. V těchto úsecích jsem zaznamenával data o počtu tepů za minutu, která ukazovali sportovní hodinky, viz. Kapitola 8.1.2.. Toto měření jsem provedl při jízdě na elektrokole, na klasickém jízdním kole a při chůzi. Data z těchto měření jsou použita pro porovnání jednotlivých druhů pohybu z hlediska fyzické náročnosti.



Obrázek 29 - Převýšení testovací trasy [12]



Obrázek 30 - Testovací trasa [12]

Testovací trasa byla zvolena dle zvolených parametrů, viz. Obrázek 29, 30. Celková délka jízdy byla 5 km, jedna testovací jízda je brána jako trasa tam i zpět. Na Obrázku 29 je vidět přehled převýšení trasy.

Na začátku trasy je poměrně značné klesání, přibližně 10%, kde byla zaznamenávána data o tepech za minutu při pohybu v klesání. Na stejném úseku trasy, na konci jízdy, byla zaznamenávána data o pohybu ve stoupání, viz Obrázek 30, oblast vyznačena černě. V dalším úseku trasy, viz Obrázek 30, oblast vyznačena modře, byla měřena data o pohybu po rovině.

### 8.2.2 Naměřená data z jízd

Dle zadání vlastního měření jsem zaznamenával data o počtu tepů za minutu ve vybraných úsecích jízdy. Bylo to v úsecích jízdy ve stoupání, v klesání a při jízdě po rovině, viz. Tabulka 9,10 a 11.

Tabulka 9 - Naměřená data, klasické jízdní kolo

Klasické jízdní kolo	
Terén	Počet tepů za minutu
Klesání	88 - 96
Po rovině	115 - 128
Stoupání	160 - 195

Tabulka 10 - Naměřená data, elektrokolo

Elektrokolo	
Terén	Počet tepů za minutu
Klesání	85 - 92
Po rovině	100 - 118
Stoupání	136 - 152

Tabulka 11 - Naměřená data, chůze

Chůze	
Terén	Počet tepů za minutu
Klesání	81 - 85
Po rovině	88 - 97
Stoupání	102 - 111

### 8.2.3 Vyhodnocení

Dle naměřených dat je očividné, že běžná chůze, 5 km/h, je z hlediska fyzické náročnosti nejméně náročná. Tepová frekvence je při chůzi poměrně stálá a nedosahuje více než 40% maximální tepové frekvence. Ovšem z pohledu dopravy musíme zdůraznit, že je tento typ pohybu velmi pomalý.

Jízda na elektrokole je fyzicky náročnější než chůze, ovšem ne tak razantně. Jízda v klesání a chůze v klesání je prakticky stejně náročná. Rozdíl nalezneme až při pohybu po rovině. Při chůzi jsem dosáhl maximální frekvenci 100 tepů za minutu, ale při jízdě na elektrokole jsem dosáhl až 118 tepů za minutu. Ovšem i s těmito hodnotami nepřesáhnou 60% své maximální tepové frekvence.

Při stoupání je už rozdíl razantnější. Při chůzi jsem nedosáhl na více než 111 tepů za minutu, ale při jízdě na elektrokole jsem si naměřil i 152 tepů za minutu, což dosahuje 75% mé maximální tepové frekvence.

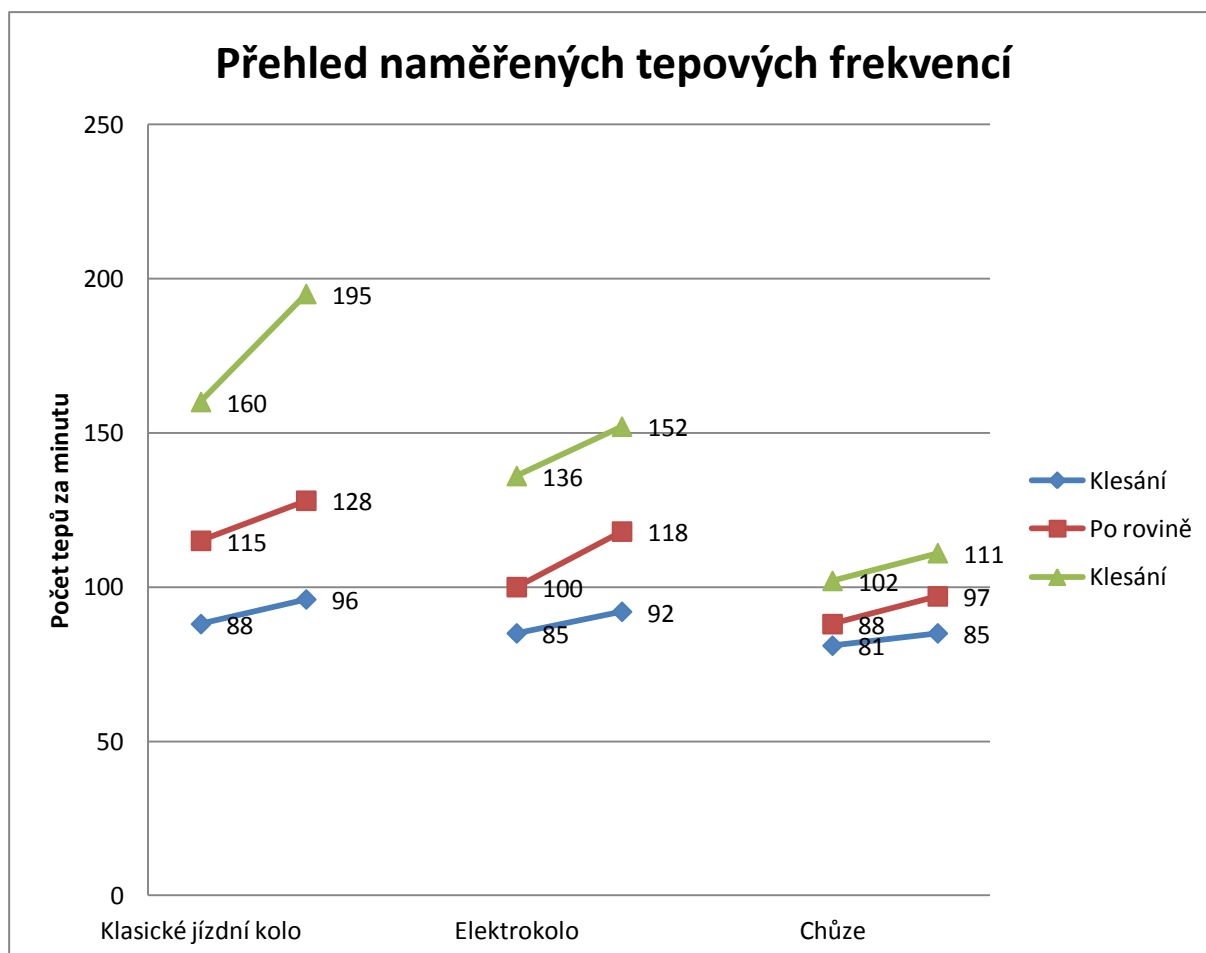
Rozdíl ve fyzické náročnosti při jízdě na elektrokole a klasickém jízdním kole v klesání není žádný. Při obou jízdách se má tepová frekvence pohybovala cca mezi 85 - 95 tepy za minutu. Patrnější rozdíl nastává až při jízdě po rovině. Na elektrokole jsem naměřil do 118 tepů za minutu, ale na klasickém jízdním kole jsem naměřil 130 tepů za minutu, což odpovídá nejmenší naměřené hodnotě počtu tepů za minutu při jízdě na elektrokole ve stoupání.

Nejzásadnější rozdíl jsem naměřil při jízdě ve stoupání na klasickém jízdním kole a na elektrokole. Na elektrokole jsem dosáhl maximálně 152 tepů za minutu, což odpovídá 75% mé maximální tepové frekvenci, ale na klasickém jízdním kole jsem naměřil i 195 tepů za minutu, což je má maximální tepová frekvence.

Z výsledků je jasné, že nejméně náročným typem dopravy je chůze, ale je velmi pomalá a neefektivní. Jízda na elektrokole i na klasickém jízdním kole je srovnatelná z hlediska rychlosti, 15 - 25 km/h. V porovnání fyzické náročnosti jízdy je elektrokolo mnohem méně náročným dopravním prostředkem. I do velmi prudkého stoupání jsem nebyl fyzicky vyčerpán a ani jsem se neblížil k maximální hranici své tepové frekvence.

Výsledky mohou být mírně nepřesné, z důvodu nasazení a používání měřiče tepové frekvence.

Z těchto důvodů by elektrokolo mohlo v budoucnu být vhodným dopravním prostředkem do měst s vertikálním členěním, jako je například Praha.



Graf 2 - Grafické vyhodnocení naměřených tepových frekvencí

## 8.3 Uživatelské testování

Pro co nejobektivnější testování fyzické náročnosti jsem požádal několik obyvatel o testovací jízdu na elektrokolech. Trasu si mohli zvolit dle své volby, jediná podmínka byla, že jejich trasa musí zahrnovat úsek v klesání, úsek ve stoupání a úsek jízdy po rovině.

Dle mého doporučení měla být ideální jízda přibližně 5 - 10 km.

Testovací uživatelé museli mít během jízdy na sobě hrudníkový měřič tepů, viz. Kapitola 8.1.2 a sledovat aktuální tepovou frekvenci. Pro vyhodnocení byly nejdůležitější hodnoty tepové frekvence z úseků klesání, stoupání a z jízdy po rovině.

Po skončení jízdy musel poté každý testovací uživatel, vyplnit připravený dotazník, viz. Příloha 1. Data z vyplněných dotazníků poté byly datovým podkladem pro mé vyhodnocení fyzické náročnosti jízdy na elektrokolech.

### 8.3.1 Přehled dat získaných od uživatelů

Tabulka 12 - Přehled získaných dat uživatelů

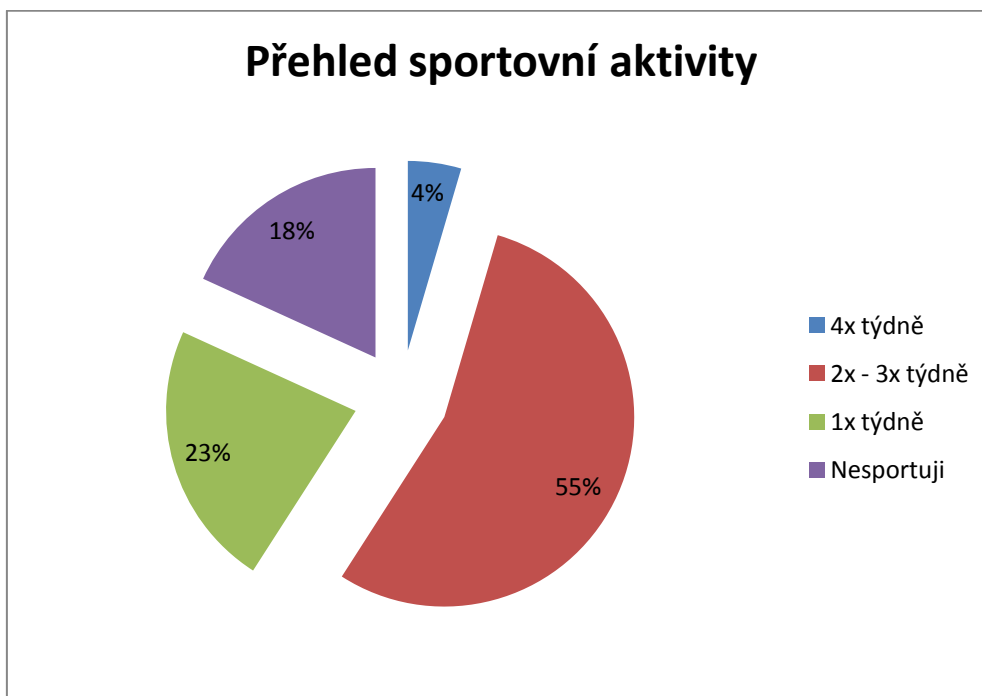
Číslo otázky	Otázka	Počet
1. Pohlaví:	Muž	15
	Žena	7
2. Věk:	0 - 15 let	2
	16 - 26 let	10
	27 - 40 let	7
	41 - 60 let	2
	60 let a více	1
3. Váha:	0 - 40 kg	0
	41 - 80 kg	8
	81 - 120 kg	14
	120 kg a více	0
4. Jak často sportuji:	4x týdně	1
	2x - 3x týdně	12
	1x týdně	5
	Nesportuji	4

<b>5. Délka jízdy:</b>	Do 5 km	6
	6 -10 km	12
	11 - 20 km	3
	21 - 50 km	1
	50 km a více	0
<b>6. Jízdní terén:</b>	Asfalt/ Beton	20
	Lesní cesta	0
	Dlažba	1
	Nezpevněný terén	1
<b>7. Asistence elektromotoru při jízdě:</b>	Low	0
	Medium	1
	High	21
	Bez asistence	0
<b>8. Počet tepů při jízdě po rovině:</b>	0 - 80 tepů	2
	81 - 120 tepů	20
	121 - 160 tepů	0
	161 - 200 tepů	0
	201 tepů a více	0
<b>9. Počet tepů při jízdě po v klesání:</b>	0 - 80 tepů	8
	81 - 120 tepů	14
	121 - 160 tepů	0
	161 - 200 tepů	0
	201 tepů a více	0
<b>10. Počet tepů při jízdě po ve stoupaní:</b>	0 - 80 tepů	0
	81 - 120 tepů	4
	121 - 160 tepů	16
	161 - 200 tepů	2
	201 tepů a více	0
<b>11. Celkové hodnocení jízdy:</b>	Nenáročná	6
	Částečně náročná (kopce)	16
	Velmi náročná	0

### 8.3.2 Vyhodnocení testovacích jízd

Pro testování fyzické náročnosti jízdy na elektrokole jsem získal soubor 22 uživatelů. Každý uživatel provedl testovací jízdy dle své vlastní volby, pouze s požadavkem, aby jízda zahrnovala úsek s klesáním, úsek se stoupáním a úsek jízdy po rovině. Po jízdě každý uživatel vyplnil dotazník k jízdě, viz. Příloha 1. Data získaná od uživatelů, viz. Tabulka 11, jsem použil pro vyhodnocení.

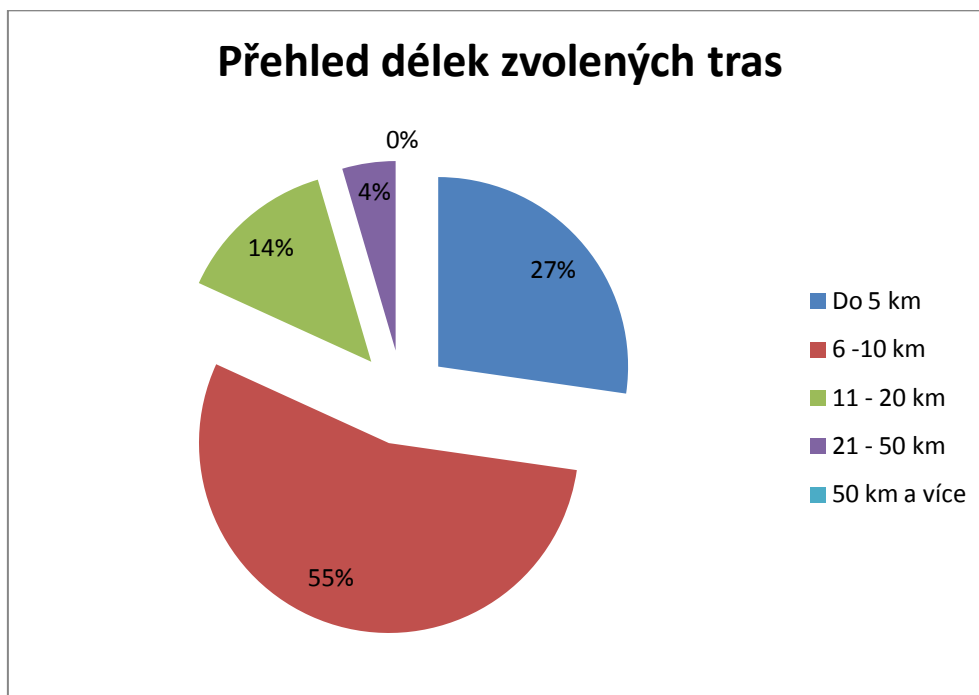
Testovací soubor uživatelů byl složen ze 7 žen a 15 mužů. Převážná většina byla ve věkovém rozpětí od 16 do 40 let, pouze několik málo výjimek bylo mimo tento interval. Dle váhy a toho, jak tito uživatelé často sportují, se dá dedukovat, že se jedná o pravidelné sportovce, kteří mají ovšem sport pouze jako koníček. Dalo by se předpokládat, že pro sportovně založené obyvatele, by elektrokolo nebyl vhodný dopravní prostředek. Tito obyvatele by spíše použili klasické jízdní kolo, protože nepotřebují méně fyzicky náročný dopravní prostředek, ale dle ústního hodnocení by jej využili pro náročnější a delší jízdy.



Graf 3 - Grafické vyhodnocení sportovní aktivity uživatelů

Testovací uživatele jsem žádal, aby absolvovali ideálně jízdu 6 - 10 km, více jak polovina mému přání vyhověla, ale přibližně třetina ne. Žádal jsem to z důvodu větší přesnosti měření, protože při jízdě na delší vzdálenosti se více projeví fyzická zdatnost, aktuální kondice a

testovací uživatelé budou mít stabilizovaný tep. Ovšem i z těchto krátkých jízd jsem vyhodnotil, že elektrokolo uživatelům výrazně fyzicky ulevilo.



Graf 4 - Grafické vyhodnocení délek zvolených tras uživateli

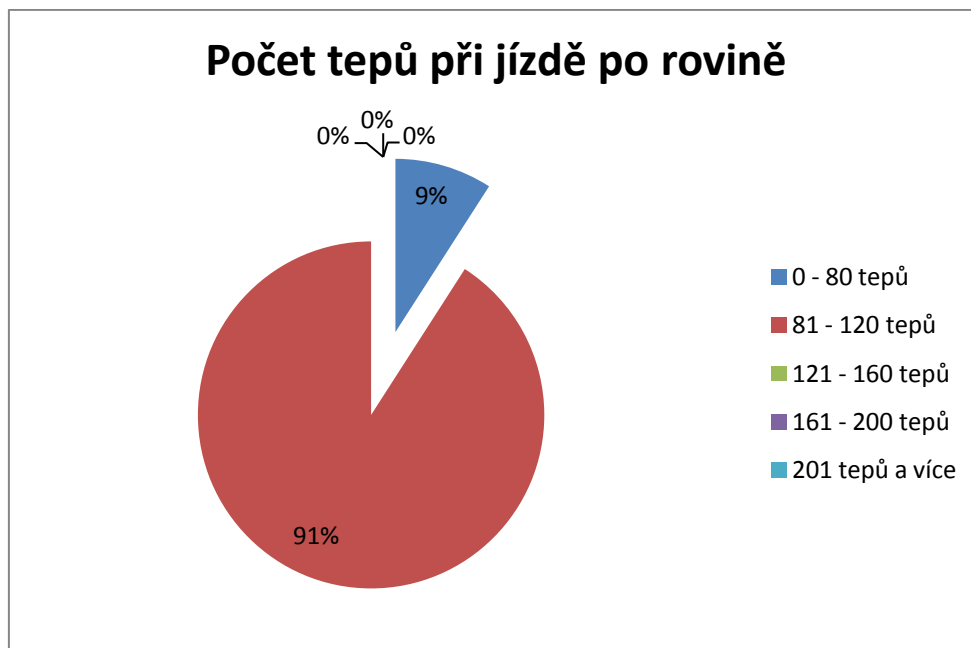
Dalším bodem dotazníku byl terén. Doufal jsem, že data ohledně terénu budou pestřejší, ale většina uživatelů absolvovala měření v okrajové části Prahy, téměř všichni uživatelé absolvovali jízdy po asfaltových komunikacích.

Co se týká volby asistence elektromotoru využívali převážně maximální asistenci. Pro testování bylo přínosné, že si jeden uživatel zvolil nižší asistenci elektromotoru, ale ve vyhodnocení to může zkreslit výsledky měření počtu tepů za minutu, nejvíce se to může projevit při jízdě ve stoupání.

Nejdůležitějším vyhodnocením dotazníku je vyhodnocení měřených tepů za minutu, které uživatelé měřili v daných terénních podmínkách.

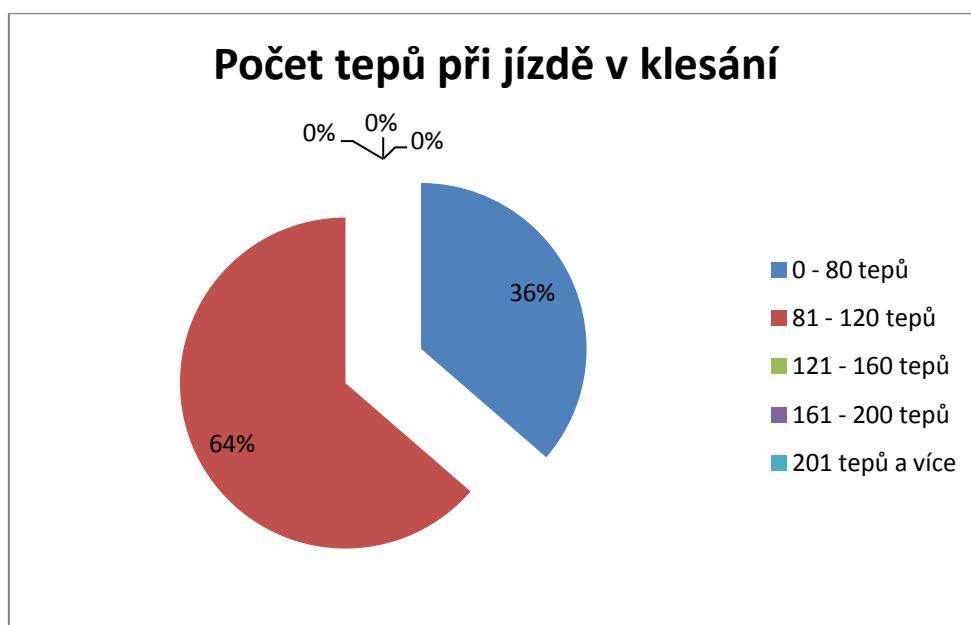
Při jízdě po rovině vyšla valně většině tepová frekvence v intervalu 81 - 120 tepů za minutu. Pouze dva uživatelé naměřili tepovou frekvenci pod 80 tepů za minutu, dá se očekávat, že tyto dva uživatelé jsou více trénovaní sportovci.





Graf 5 - Grafické vyhodnocení počtu tepů za minutu při jízdě po rovině

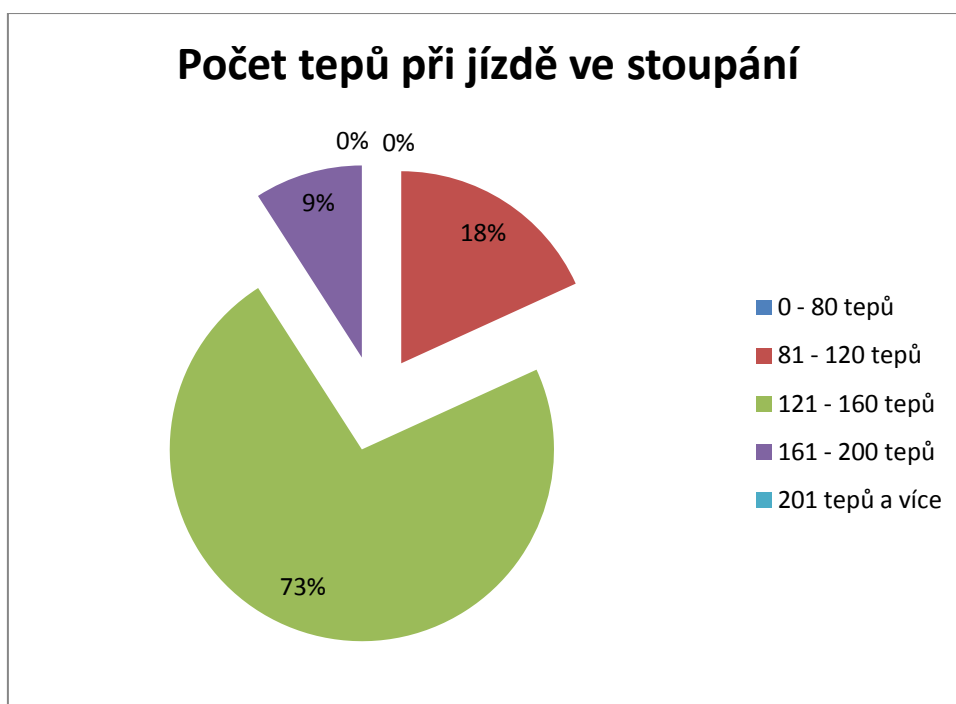
Měření počtu tepů za minutu při jízdě v klesání bylo rozdělením podobné jako při jízdě po rovině. Dvěma třetinám testovacích uživatelů vyšla tepová frekvence také v rozmezí 81 - 120 tepů za minutu, a jedné třetině vyšla tepová frekvence pod 80 tepů za minutu. Velmi záleží na konkrétním výběru trasy, ale hodnoty vypovídají o tom, že se testovací uživatelé nemuseli při jízdě příliš namáhat.



Graf 6 - Grafické vyhodnocení počtu tepů za minutu při jízdě v klesání

Výsledky měření jízdy ve stoupání již byly pestřejší. Většině testovacích uživatelů vyšla tepová frekvence v rozmezí 121 - 160 tepů za minutu, což vypovídá o větší fyzické námaze, 75% maximální tepové frekvence. 4 uživatelé naměřili svou tepovou frekvenci v intervalu 81 - 120 tepů za minutu, a 2 uživatelé v intervalu 161 - 200 tepů za minutu, což vypovídá o vysoké fyzické náročnosti, případně mohli využívat nižší asistenci elektromotoru.

Dle předchozích výsledků bych předpokládal, že ačkoli byli dva z testovacích uživatelů v intervalu největší fyzické náročnosti, byli spíše na nižší okraji intervalu. Z vlastního měření vím, že jsem při měření jízdy ve stoupání také chvílemi dosáhl na 160 tepů za minutu.



Graf 7 - Grafické vyhodnocení počtu tepů za minutu při jízdě ve stoupání

Celkově hodnotím testování jako úspěšné. Z výsledků je patrné, že většina testovacích uživatelů provedla testování přesně, protože jejich výsledky odpovídají výsledkům, které jsem naměřil sám při svém testování. Výsledné subjektivní hodnocení uživatelů vyšlo také velmi dobře, protože všichni jízdu na elektrokole hodnotí jako nenáročnou či částečně náročnou.

Ačkoli testovací skupina uživatelů prováděla pouze jízdy na elektrokole, tak v porovnání s mými výsledky jízdy na elektrokole jsou srovnatelné. Díky tomu mohu i výsledky testovacích uživatelů porovnávat s výsledky mých jízd na klasické jízdním kole, viz. Kapitola 8.2.3.

Výsledky mohou být nepatrně zkreslené, díky vlastní volbě trasy uživateli. Pokud bych zvolil jednu trasu pro všechny testovací uživatele, bylo by měření mnohem přesnější a objektivnější, ale organizace testování by byla velmi složitá, protože všichni dotázaní provedli testovací jízdu ve své chvílce volna a ze své dobré vůle. Další nepřesnosti mohl vnést do měření měřič počtu tepů za minutu a špatné umístění hrudního pásu na těle.

Z hodnocení výsledku mohu konstatovat, že jízda elektrokolech je podstatně méně fyzicky náročná oproti klasickému jízdním kolu. Mohlo by se zdát, že sportovně založení občané by elektrokolo pro jízdu nevyužili, ovšem dle podrobnějšího individuálního hodnocení jsem zjistil, že tito uživatelé by elektrokolo využili. Méně fyzicky zdatní uživatelé využijí elektrokolo z důvodu menší fyzické náročnosti i při kratších jízdách, ale fyzicky zdatnější uživatelé by jej využili pro kratší jízdy, kdy se nechtějí vůbec namáhat a nebo pro delší trasy, na kterých by se odvážili i do náročného terénu. Díky tomu by v budoucnu mohla být doprava na elektrokolech mnohem více využívána pro všechny typy uživatelů, ať už jednotlivci nebo v systému bikesharing.

### 8.3.3 Testování tras mezi budovami FD ČVUT uživateli

Pro získání přesnějšího obrazu o trasách, které jsou mezi budovami FD ČVUT, jsem nechal provést testovací jízdy, na elektrokole i na klasickém jízdním kole, několik uživatelů. Ačkoli tyto trasy neodpovídají celkovému testování uživatelů dle požadavků a dle dotazníku, nechal jsem 3 uživatele provést testovací jízdu mezi všemi budovami FD ČVUT. Trasy měli stejné jako já ve svých testovacích jízdách, viz. Článek 6, měřili a zaznamenávali své tepové frekvence během jízdy. Všechny trasy mají minimální převýšení, viz. Obrázek 14, 16, 18, tudíž se uživatelé pohybovali téměř po rovině. Výsledky těchto jízd by měly být srovnatelné s výsledky testovacích jízd dle dotazníku při jízdě po rovině.

#### 8.3.3.1 Naměřená data testovacích jízd mezi budovami FD ČVUT

Tabulka 13 - Naměřená data uživateli při jízdě mezi budovami FD ČVUT

	Počet tepů při jízdě na elektrokole	Počet tepů při jízdě na klasickém jízdním kole
<b>Uživatel 1</b>	85 - 112	131 - 155
<b>Uživatel 2</b>	92 - 117	128 - 150
<b>Uživatel 3</b>	87 - 121	126 - 162

Dle výsledků z měření je patrné, že jízda na elektrokole je mnohem méně náročná než jízda na klasickém jízdním kole. Výsledky z měření jsou srovnatelné s daty, které naměřili uživatelé na svých jízdách, které si volili sami, při jízdě po rovině. V dotazníkovém měření měla většina uživatelů tepovou frekvenci při jízdě na rovině v rozmezí 81 - 120 tepů za minutu. Tyto data jsou taktéž srovnatelné s daty, které jsem naměřil při svých testovacích jízdách na elektrokole i na klasickém jízdním kole, viz. Článek 8.2. Z těchto dat vyplývá, že je elektrokolo mnohem vhodnější a méně fyzicky náročný dopravní prostředek do města, než klasické jízdní kolo.

#### **8.4 Celkové zhodnocení testovacích jízd**

Hlavní cíl těchto všech testování bylo zhodnocení, zda je elektrokolo vhodný dopravní prostředek, a zda je vhodné zavádět systém bikesharing jako součást městské hromadné dopravy.

V dnešní době se cyklistická doprava stále více podporuje a stále více prostoru dostává v integraci dopravy. V Praze je od loňského roku zaveden systém bikesharing klasických jízdních kol, ovšem dle mého názoru nejsou klasická jízdní kola vhodným dopravním prostředkem do Prahy. Z tohoto důvodu bylo hlavním tématem mé práce testování fyzické náročnosti elektrokol v porovnání s klasickými jízdními koly i s jinými druhy dopravy. Na základě naměřených dat a jejich vyhodnocení je patrné, že by bylo vhodné podporovat rozvoj cyklistické dopravy v Praze. Ačkoli jak jsem již zmínil, tak v Praze je zaveden systém bikesharing klasických jízdních kol, ale z mé práce vyplývá, že elektrokola jsou podstatně méně náročným dopravním prostředkem. Z tohoto důvodu by bylo vhodné zavést v Praze systém bikesharing elektrokol, tak jak je to v zemích západní Evropy. Tato práce by měla směřovat k zavedení systému bikesharing elektrokol pro studentské účely, ale v budoucnu by to mohl být podklad pro zavedení systému pro širokou veřejnost.

## 9 Vlastní model vzorového uživatele

Na to abychom vytvořili model typického uživatele elektrokola musíme zohlednit mnoho vnitřních a vnějších vlivů, a parametrů. Pro vytvoření tohoto modelu budeme uvažovat uživatele, který elektrokolo již vlastní, nebo bude jako budoucí uživatel systému bikesharing. Uživatel má také možnost využít osobní automobil i MHD. Tento uživatel bude elektrokolo využívat především jako dopravní prostředek ekvivalentní k automobilu a MHD pro dopravu do zaměstnání či školy, nebudeme tedy uvažovat jízdy pro rekreační účely.

Do skupiny vnitřních parametrů, které mnohdy rozhodují o tom zda uživatel elektrokolo vůbec vlastní, patří především věk, pohlaví, fyzická zdatnost, psychický stav a IQ. Do druhé, podstatně obsáhlejší skupiny vnějších parametrů, podle kterých se jedinec rozhoduje zda elektrokolo použije jako dopravní prostředek, patří počasí, délka trasy, doba jízdy, možnost využití jiného druhu dopravního prostředku, dopravní situace, typ potřebného použití oblečení, cena za jízdu na požadované místo, přesun zavazadla a mnoho dalších.

Vnější vlivy mohu vyhodnotit pouze z dat, které jsem získal od testovacích uživatelů. Toto testování bohužel neobsahovalo možnosti volby mezi elektrokolem, MHD či osobním vozidlem. Testovací uživatele neovlivňovala cena dopravy, potřeba přepravy zavazadla a mnoho dalších ukazatelů. Z dotazníků uživatelů mohu vyhodnotit, ačkoli dotazník shrnující testovací jízdu neobsahoval otázky na počasí, délku trasy a dobu jízdy, tak uživatelé byli ochotni jet svou jízdu i za deštivého počasí. Dále pak z ústního vyhodnocení vyplynulo, že jsou s elektrokolem spokojeni a využili by ho i na delší cesty než požadované kilometry v dotazníku, protože byla jejich jízda rychlá a komfortní. Jízdy některých uživatelů měli dokonce průměrnou rychlost 20 km/h.

Vnitřní vlivy lze již vyhodnotit na základě dat získaných z dotazníku měření. Většina testovacích uživatelů byli muži. Tuto statistiku jsem neovlivnil svým výběrem testovací skupiny lidí, ale vycházel jsem z toho kdo měl o testování zájem, což byli především muži. Věkové rozdělení uživatelů jsem bohužel nepatrně ovlivnil, protože jsem žádal o testování především uživatele ve věku 20 - 40 let. Několik uživatelů bylo i v jiném věkovém intervalu a většina z nich není aktivními sportovci, tak si jízdu na elektrokole velmi chválili a hodnotili ji jako nenáročnou či mírně náročnou.

Celkově bych vlivy ovlivňující uživatele při rozhodování o jízdě na elektrokole vyhodnotil následovně. Většina uživatelů se nerozhodne pro dopravu na elektrokole, protože nemá tuto možnost a jízda na klasickém jízdním kole je pro ně velmi náročná, zvláště ve velmi vertikálně členěném území Prahy. Z tohoto důvodu by bylo potřeba více podporovat cyklistickou dopravu v Praze, protože by se pak mnohem více zlepšila dopravní situace ve městě. S tím souvisí i zavedení systému bikesharing, ale ne jen klasických jízdních kol, ale hlavně elektrokol. Většina občanů je vlastníkem jízdního kola, ovšem protože je jízda na něm

poměrně náročná, určitě by raději využili elektrokolo. Tuto možnost by jim mohla nabídnout dostatečně rozsáhlá síť systému bikesharing elektrokol. Cena za jízdu by byla podstatně nižší než jízda MHD nebo osobním vozidlem a neměli by ani problém s parkováním. [22]

## **9.1 Vlastní návrh modelového uživatele pro systém bikesharing**

Chtěli bychom získat obraz ideální skupiny občanů, kteří jsou vhodní pro užívání elektrokol, na které bychom potencionálně mohli směřovat propagaci v rámci začleňování elektrokol do sítě MHD. Obraz těchto možných uživatelů jsem získal z již provedeného měření.

Typy uživatelů:

1. Student s minimálním příjmem, bez vlastního osobního automobilu, a se zájmem o pohyb
2. Běžný zaměstnanec s průměrným příjmem, který má snahu o snižování nákladů na dopravu - předplacené jízdné jako v MHD
3. Živnostník/podnikatel, který vlastní osobní automobil, ale v místě zaměstnání má nedostatek parkovacích míst a v rámci zaměstnání potřebuje přejíždět na krátké vzdálenosti v centru města
4. Starší občan, méně fyzicky zdatný, který by elektrokolo mohl využívat na dojíždění do kratších vzdáleností pro osobní účely
5. Fyzicky zdatnější uživatel, který by elektrokolo využil pro delší a náročnější trasy, které by s klasickým jízdním kolem nezvládl

## 10 SWOT analýza systému bikesharing

Na elektrokolo a systém bikesharing elektrokol lze vytvořit SWOT analýzu, viz. Tabulka 14, v rámci vlastností elektrokola a možnostech začlenění systému bikesharing do městského provozu.

Tabulka 14 - SWOT analýza bikesharing systému elektrokol

Silné stránky	Slabé stránky
- čistá mobilita	- nedostatečná cyklo infrastruktura
- nízké provozní náklady, srovnatelná cena s MHD	- počáteční investice pro zřizovatele
- obsluha jako u klasického jízdního kola	- nebezpečí v městském provozu
- zdravý pohyb	- převoz nákladu na elektrokole
- vhodné i pro méně fyzicky zdatné občany	- nedostatek výpůjčních míst
- rychlejší pohyb při kongescích	
- není potřeba výstavba nové infrastruktury	
- odstraní problémy s parkováním	
- v centru města operativnější druh dopravy než osobním vozidlem	
- sledovací aplikace o dostupných elektrokolech	
Příležitosti	Hrozby
- snížení emisí	- růst nehodovosti cyklistů
- snížení počtu automobilů ve městech	- pohyb cyklistů v místech určených pro pěší
- menší vytížení prostředků MHD	- nárůst krádeží elektrokol
- lepší zdravotní stav obyvatel	
- možnost pohybu i pro starší občany	

Elektrokola a celkově cyklistická doprava bohužel není v Praze příliš rozšířená, tak jako ve státech západní Evropy. Pokud vidíme cyklisty na cyklostezkách, tak pouze na klasických jízdních kolech. Vidět jet nějakého cyklistu na elektrokole jsem během svého měření viděl pouze jednou. Se zavedením systému bikesharing elektrokol by se tato situace mohla změnit.

Elektrokola mají mnoho pozitivních přínosů jako čistá mobilita, minimální provozní náklady a zdravý pohyb. Toto nám mohou nabídnout i klasická jízdní kola, ale co nám elektrokola nabízejí navíc je možnost lepší akcelerace a rychlejší pohyb v městském provozu, což zvyšuje bezpečnost při jízdě mezi osobními vozidly. Další výhodou elektrokol je možnost jízdy pro méně fyzicky zdatné občany a starší občany.

Bohužel elektrokola mají jednu velkou nevýhodu a tou je pořizovací cena. Pořizovací cena běžného elektrokola je přibližně 5 krát vyšší než pořizovací cena klasického jízdního kola. Pro zavedení obstojného systému bikesharing elektrokol, by bylo potřeba pořízení mnoha elektrokol, a to by bylo pro zřizovatele velmi nákladné.

Další příležitostí je rozšíření sítě komunikací pro cyklisty. Ačkoli se toto v poslední době podporuje, omezují se jízdní pruhy pro osobní automobily a vytváří se vyhrazené pruhy pro cyklistickou dopravu, stále těchto komunikací není dostatečné množství.

Co se týká budoucnosti elektrokol, je jich vize velmi silná. Pokud by občané měst více využívali cyklo dopravu, dopravu na elektrokolech, která je mnohem pohodlnější než na klasických kolech, místo IAD a MHD bylo by ve městech mnohem příjemnější prostředí pro život, snížili by se produkovaní emise a zlepšil by se zdravotní stav občanů. Bohužel momentálně správná propagace cyklistické dopravy chybí a není ani dostatečně financovaný rozvoj cyklostezek. V ideálním případě by byla investice města pro zavedení systému bikesharing a integrace jej do veřejné hromadné dopravy. [22]



## 11 Individuálně programovatelný elektromotor

Dalším možným krokem, pro uspokojení potřeb uživatelů je možnost programovatelného elektromotoru individuálně pro každého. Předpokládejme, že máme již stabilně zavedený systém bikesharing elektrokol a chceme dále podpořit zájem občanů o tento druh dopravy.

S touto možností přišla v loňském roce česká firma Homeport. Je to česká firma, která momentálně provozuje v 18 světových městech systémy bikesharing s klasickými jízdními koly i elektrokoly. Bohužel v České republice zatím služby neprovozuje.

V roce 2016 firma představila nový model elektrokola, který je navržen pro systém bikesharing elektrokol v anglickém městě Oxford. Tento nový model elektrokola disponuje, kromě standardního vybavení jako je například osvětlení, také elektromotorem, který si uživatel může nastavit dle svých potřeb. [10]



Obrázek 31 - Ukázka elektrokola s programovatelným motorem [10]

### 11.1 Vlastní návrh programovatelného elektromotoru

Společnost Homeport představila elektrokolo, které má možnost uživatelsky programovatelného elektromotoru. Funguje tak, že každý uživatel, který využívá služeb systému bikesharing elektrokol, má svůj vytvořený účet v mobilní aplikaci pro půjčování elektrokol. Na tomto účtu má také nastavené své fyzické dispozice a požadavek na výkon elektromotoru. [10]

Moje představa o vlastním programovatelném elektromotoru je taková, že každý uživatel, který by chtěl využívat služeb systému bikesharing elektrokol, by musel mít svůj zaregistrovaný účet. Tento účet by byl propojený se systémem pro půjčování a sledování pohybu elektrokol. Dále by tento program uměl uživateli před jízdou nabídnout volbu asistence elektromotoru. Každý uživatel by samozřejmě měl také nastavené fyzické dispozice, ale mohl by si zvolit před každou aktuální jízdou, jak bude elektromotor využívat. Této funkce by se dalo velmi dobře využívat, pokud by pravidelní uživatelé systému často měnili účel své jízdy. Každý uživatel by si jistě rád zvolil pomoc elektromotoru při jízdě do zaměstnání nebo pro rekreační jízdu. Pro jízdu do práce by jistě každý uživatel volil co největší výpomoc elektromotoru, ale pro rekreační jízdu by volil nastavení pro fyzicky náročnější jízdu. Bohužel je toto, alespoň pro Prahu, velmi vzdálená budoucnost.

## 11.2 Rekuperace

V dnešní době jsou na vše kladené stále větší a větší nároky. Stejně je tomu i pro elektrokola. Elektrokola mají běžně dojezdovou vzdálenost 40 - 70 km na jedno nabití baterie a proto je snaha stále zvyšovat dojezdovou vzdálenost.

Kapacita baterie se dá zvyšovat, pomocí snižování odporů, novými a kapacitnějšími bateriemi a nebo pomocí rekuperace energie.

Rekuperace energie je zpětné získávání energie do baterie. Tato energie se dá získat z kinetické energie, která vzniká při brzdění. Několik výrobců elektromotorů se o tento druh získávání zpětné energie pokusilo.



Obrázek 32 - Ukázka elektrokola s rekuperací [23]

Podstatnou částí elektromotoru, který bude schopen rekuperace energie, je absence volnoběžky. Volnoběžka je ozubené kolečko, které podporuje pouze otáčení v jednom směru. Pokud je v elektromotoru volnoběžka nainstalována, rekuperace kinetické energie není možná, protože se motor při brzdění neotáčí. Volnoběžka minimalizuje odpor elektromotoru při brzdění a proto je téměř ve všech typech elektromotorů, jak v elektrokolech tak i elektromobilech.

Dle doporučení výrobce, se ale nedoporučuje do elektrokol instalovat možnost rekuperace energie, protože dobíjení baterie je minimální a navíc se tím snižuje její životnost.

Elektrokolo vybavené rekuperací kinetické energie, viz. Obrázek 32, je elektrokolo Focus Jafira X29 s motoru XION v zadním náboji, kotoučovými brzdami a baterií s kapacitou 15,5 Ah. V loňském roce se prodávalo za 69 999 Kč a získalo ocenění Prahy 10. [23, 24]

## 12 Provozní a pořizovací náklady

Náklady na provoz systému, je asi jedna z nejdůležitějších informací, které by nás měla zajímat, pokud bychom systém bikesharing elektrokol zaváděli. Celkové náklady se budou skládat z jednorázových pořizovacích nákladů na elektrokolo, náklady na dokovací stanice a průběžné provozní náklady.

### 12.1 Pořizovací cena elektrokola

Cena elektrokola je největší částka z celkových nákladů, které jsou potřeba na zavedení systému bikesharing elektrokol. Cena klasických jízdních kol se pohybuje od 5000 Kč až po několik set tisíc. Samozřejmě lze na jízdní kola kombinovat mnoho doplňků z různých materiálů, horní mez ceny tedy není.

U elektrokol je to téměř totožné jako u klasických jízdních kol, ale s tím rozdílem, že cena elektrokol začíná na 10 000 Kč a také nemá horní mez.



Obrázek 33 - Ukázka aktuálně nejdražšího elektrokola HAIBIKE [27]

Aktuálně nejdražší sériově prodávané elektrokolo na trhu je HaiBike XDURO FullSeven Carbon 10.0 2017 40 cm za 399 999 Kč, viz. Obrázek 33. Celá konstrukce elektrokola je z carbonu, je vybaveno středovým pohonem s elektromotorem od firmy Bosch. Elektrokolo má dojezd až 190 km. Dále je elektrokolo vybaveno řídicí jednotkou, která získává data z elektromotoru a akcelerometrů na šlapkách a na základě informací vyhodnocuje a upravuje optimální míru asistence elektromotoru. Elektrokolo je doplněno multifunkčním displejem s GPS navigací a Bluetooth.

Pro naše účely bychom určitě nezvolili takto vybavené a drahé kolo. Pro zavedení systému bikesharing bychom zvolili podobné kolo, jaké jsem měl k dispozici pro testování, viz. Kapitola 4. [26, 27]

## 12.2 Náklady na dobítí baterie

Během měření, které jsem prováděl, jsem zaznamenával i dobu nabíjení a energetickou náročnost. Průměrné jízdy byly do 10 km s minimálním stoupáním a klesáním.

Ačkoli měli testovací uživatelé část jízdy ve stoupání, část jízdy v klesání a zbylou část jízdy po rovině, tak v průměru byla celá jízda v rovinném terénu.

Průměrná spotřeba baterie byla 0,25 kWh a průměrná doba nabíjení 3 - 4 hodiny. Dle aktuálních cen elektřiny v Praze jsem zjistil, že 1 kWh stojí 4,83 Kč.

$$\begin{aligned}\text{Celková cena dobítí} &= \text{dobitá energie} * \text{cena za 1kWh} = \\ &= 0,25 * 4,83 = 1,21 \text{ Kč}\end{aligned}$$

Dle naměřených průměrných hodnot jsem určil cenu za zvolenou jízdu v centru města v rovinném až lehce vertikálně členěném terénu. Cena byla stanovena na 1,21 Kč, což je opravdu minimální náklad na provoz elektrokola. V ceně není zahrnuta amortizace, poměrná částka prvotní investice a ztrátová energie při dobíjení. [28]

## 12.2.1 Teoretický výpočet energetické náročnosti

Tabulka 15 - Teoretický výpočet energetické náročnosti vzorové jízdy

<b>Výpočet teoretické energetické náročnosti vzorové jízdy</b>				
<b>E</b>	Spotřeba baterie	Wh		
<b>Pinput</b>	Celkový výkon motoru	W		
<b>Poutput</b>	Výkon motoru po ztrátách	W		
<b>t</b>	Čas jízdy	h	0,183	
<b>v</b>	Průměrná rychlost	km/h	14,1	
<b>n</b>	Účinnost	%	85	
<b>mtot</b>	Celková hmotnost	kg	100	
<b>a</b>	Úhel proti odporu	°	90	
	Rovnice			
	$E = P_{input} \times t = P_{output} \times n \times t$			
	$P_{output} = F_{tot} \times v$			
	$F_{tot} = F_{rol} + F_{air} + F_{incl}$			
	$F_{rol} = m_{tot} \times g \times C_r$			
	$F_{air} = 1/2 \times \rho \times v^2 \times c_w \times A_f$			
	$F_{incl} = m_{tot} \times g \times \sin a$			
	<b>Výpočet</b>			
	Fair	6,12		
	Frol	5,30		
	Ftot	99,26		
	Pout	390,08		
	E	0,35	Wh	

Jak je z výpočtu patrné, tak řádově teoretický výpočet spotřeby energie odpovídá reálné spotřebě. Chyba výpočtu může být způsobena nepřesnými koeficienty odporů a nepřesným určením úhlu odporů.

### 12.3 Náklady na pořízení dokovací stanice

Dokovací stanice je jednou z nejdůležitějších komponent pro vybudování systému bikesharing. Pro začátek fungování systému je zapotřebí alespoň tří dokovacích stanic, pro studentské potřeby dopravy. Tyto stanice by byly u budov FD ČVUT. V rámci této diplomové práce a společné práce s kolegy na projektu jsme navrhli a zkonstruovali prototyp dokovací stanice, viz. Kapitola 7.

Koupili jsme hliníkový profil 40x40x2500 mm za 659 Kč, hliníkový profil 10x10x500 mm za 229 Kč, 6x ocelový L profil 50 mm na spojení hliníkových profilů za 29 Kč, 3x ocelový L profil 40 mm na vytvoření obalu pro ovládací jednotku a elektromotor za 25 Kč a balení spojovacího materiálu za 189 Kč, viz. Obrázek 19.

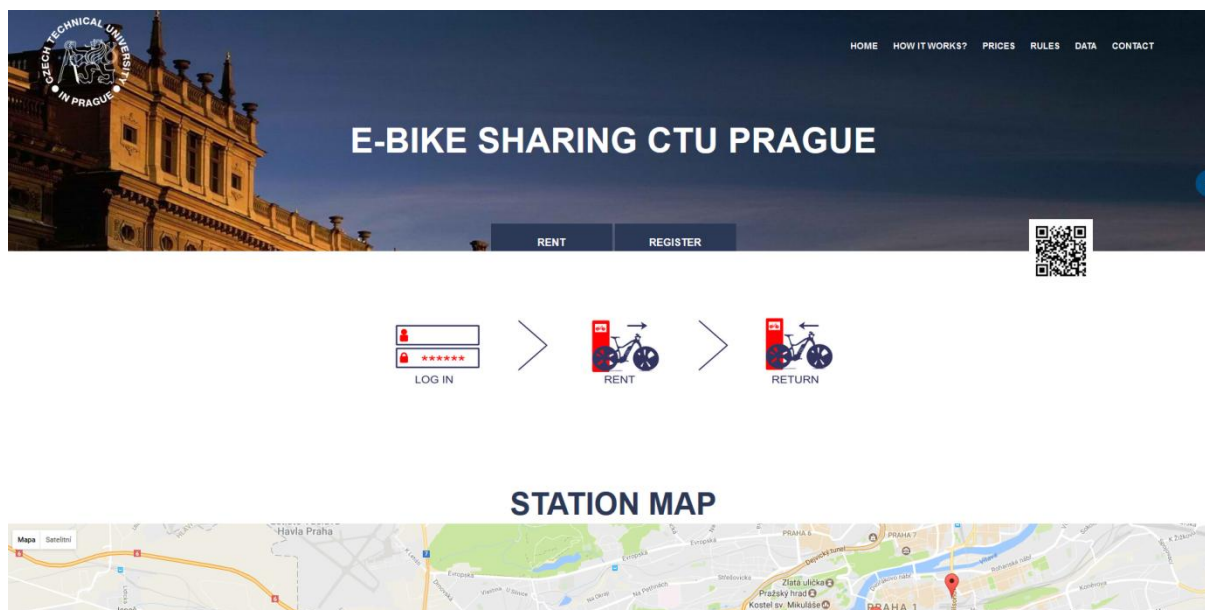
Dále jsme s kolegy pořídili programovatelnou jednotku Arduino v sadě za 989 Kč, viz. Článek 7.3.

Celkové náklady na výrobu prototypu dokovací stanice činí 2315 Kč. Takto jednotlivě jsou náklady poměrně vysoké, navíc musím započítat další krycí materiál a serverové řízení dokovací stanice, ale pokud bychom dále vyráběli více dokovacích stanic, jednotkové náklady bychom snížili. [29]



## 13 Webová aplikace a programovatelný motor

Navržení a naprogramování webové aplikace, viz. Obrázek 34, která by řídila celý systém bikesharing byla společná práce s kolegy, ale hlavní podíl měl Joran Timmerman. Aplikace by měla obsahovat databázi registrovaných uživatelů, dále sledovat půjčovaná elektrokola a funkčnost dokovacích stanic.



Obrázek 34 - Ukázka uživatelského rozhraní webové aplikace

### 13.1 Fungování aplikace z pohledu uživatelů

Nejprve by systém bikesharing měl fungovat pouze pro studentské účely dopravy mezi budovami FD ČVUT. Každá dokovací stanice bude vybavena zabezpečovacím zařízením, viz. prototyp na Obrázku 22.

Zabezpečovací zařízení bude fungovat tak, že programovatelná jednotka Arduino, připojená na elektromotor, bude otevírat a zavírat zámek bezpečnostního systému na základě bezkontaktního RFID čipu. Prakticky to bude fungovat tak, že registrovaný uživatel přijde k dokovací stanici, přiloží čip, který bude propojen s účtem uživatele a na základě toho otevře bezpečnostní zámek. Ještě předtím bude muset uživatel zadat v aplikaci jaké elektrokolo a z jaké dokovací stanice si bude elektrokolo půjčovat. Nejprve by systém v beta verzi měl fungovat na čip dodaný v setu s jednotkou Arduino, ale v další fázi by měl systém fungovat pro registrované studenty FD ČVUT na ISIC kartu, která bude nabitá financemi, obdobně jako ve školní menze.



Vrácení elektrokola do dokovací stanice bude stejné jako při vypůjčení. Uživatel v aplikaci zadá, kde elektrokolo vrací a čipovou kartou vrátí elektrokolo a bezpečnostní zámek se zavře.

V budoucnu je možné rozšíření i pro veřejnost, ovšem bude zapotřebí změnit čipové ISIC karty pro uživatele na jiný druh čipových karet či RFID nálepky.



Obrázek 35 - Ukázka možných RFID čipů [30]

### 13.2 Návrh programovatelného elektromotoru pro uživatele

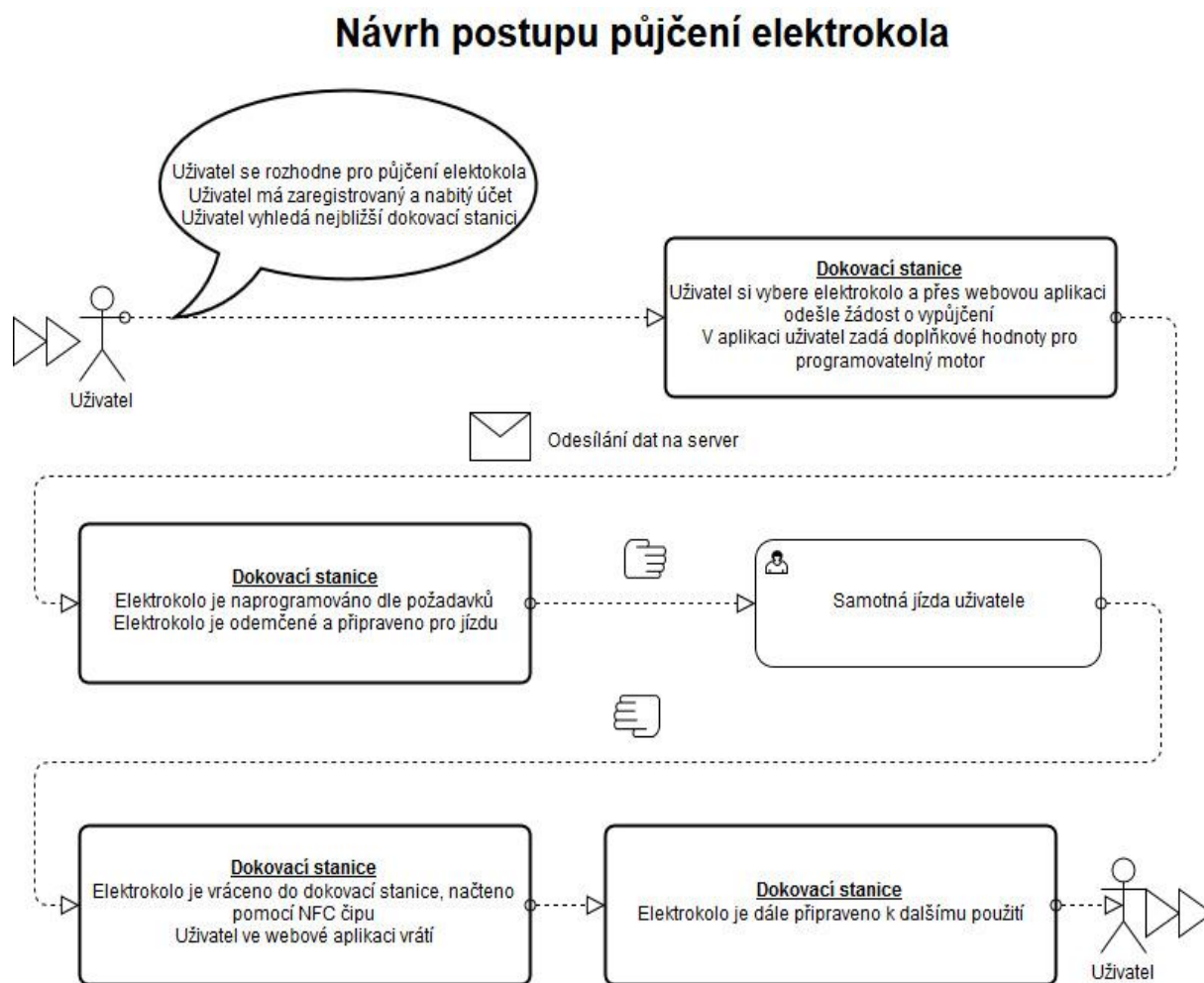
V rámci mobilní webové aplikace by bylo vhodné nabídnout uživatelům i programovatelný elektromotor, dle vzoru firmy Homeport, viz. Kapitola 5, která tuto možnost nabízí uživatelům od loňského roku v anglickém městě Oxford.

Moje představa by byla, aby si každý registrovaný uživatel mohl navolit asistenci motoru dle vlastního přání. V rámci systému by byla databáze, ve které by každý registrovaný uživatel měl na svém uloženém profilu své fyzické dispozice, jako výška, hmotnost a věk. Tyto parametry by byli fixní, ale před každou jízdou by si uživatel mohl naprogramovat motor podle aktuálního přání. Například pokud by si uživatel půjčoval elektrokolo pro jízdu do zaměstnání, mohl by si zvolit maximální asistenci, aby měl co nejmenší fyzickou zátěž. Naopak pokud by si elektrokolo půjčoval pouze pro rekreační jízdu, mohl by si zvolit menší asistenci. V ideálním případě by byly umístěné senzory i na pedálech, pro snímání síly, kterou uživatel působí a software by vyhodnocoval míru asistence a optimalizoval by ji pro nejefektivnější výkon.

### 13.2.1 Vlastní návrh programu pro programovatelný motor v UML

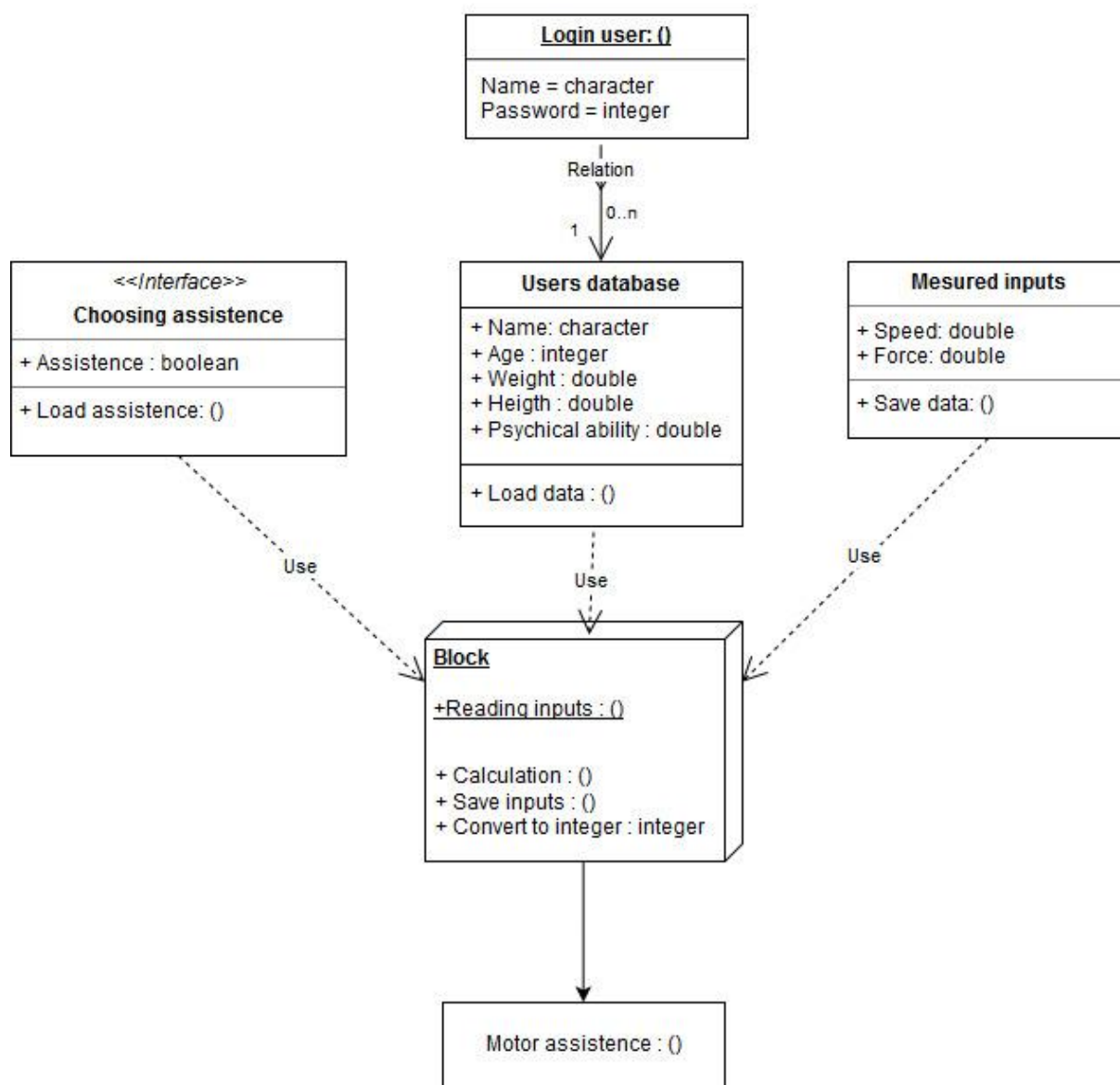
Podle potřeb uživatelů jsem navrhl UML diagram, viz. Obrázek 36, na jehož základě by mohla fungovat nástavba aplikace pro uživatelsky programovatelný elektromotor. Z diagramu je patrné, že nejdříve se uživatel musí přihlásit do aplikace, toto je stejný postup jako pro klasické vypůjčení elektrokola. Po přihlášení do aplikace se z databáze uživatelů nahrají do paměti osobní uživatelská data. Jako další vstup budou měřená data během jízdy uživatele, jako je síla na šlapky a točivý moment. Poslední vstup bude od uživatele. Uživatel si bude před jízdou moci zvolit míru předpokládaná asistence elektromotoru.

Dále se provede celková kalkulace vstupních dat do reprodukovatelného formátu. Posledním krokem bude hodnotový výstup, který bude ovlivňovat aktuální asistenci elektromotoru během celé jízdy, viz. SMART software, Článek 12.1.



Obrázek 36 - Návrh postupu půjčení a vrácení elektrokola v UML diagramu [30]

## Návrh vlastního programovatelného motoru



Obrázek 37 - Návrh vlastního programovatelného motoru v UML diagramu, připravený v programovacím jazyce [30]

## 14 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navržení a posouzení systému bikesharing. S kolegy na projektu jsme společně navrhli dokovací stanici a webovou aplikaci pro systém bikesharing. Dalším krokem bylo zakoupení a testování vhodného elektrokola pro tento systém.

Mým hlavním cílem bylo testování elektrokola pro systém bikesharing z pohledu uživatelů, především z pohledu fyzické náročnosti jízdy. Dalším cílem bylo celkové hodnocení elektrokol jako vhodný dopravní prostředek do městské dopravy.

Praha je velmi vertikálně členěná, oproti městům, kde jízda na klasických jízdních kolech i elektrocolech je nedílnou součástí městské dopravy, proto je velmi složité lidi motivovat k jízdě na kole, když se mohou dopravovat mnohem snadněji a s menší námahou. V evropských velkoměstech jako je Amsterdam, Vídeň a mnoho dalších je cyklistická doprava nedílnou součástí městské dopravy a to především díky terénnímu uspořádání měst.

Další nevýhodou pro elektrokola je velmi silné zázemí MHD. V porovnání s jinými státy v Evropě lze tvrdit, že máme velmi levnou MHD s perfektní dostupností. Jen málo měst se může pochlubit tak propracovanou sítí MHD jako má Praha.

Bohužel i nevhodné vedení silničních okruhů, nepřispívá k využívání cyklistické dopravy, ale využívání IAD i v centru města. Například vedení hlavní dopravní tepny (Magistrála) úplným centrem Prahy je rarita, bohužel ne v dobrém smyslu slova.

Dále není dostatečně vypracovaný systém parkovišť P+R, K+R a B+R, nejsou dostatečně propagovány a využívány. Není regulovaný vjezd osobních vozidel do centra a omezení parkování v centru Prahy není dostačující.

Na všech těchto nedostatcích se neustále pracuje a zlepšují se. Bohužel to vše nejde nijak rychle, především kvůli finančním nedostatkům a celkově kvůli množství a velikosti některých úprav.

Ve vyhodnocení fyzické náročnosti jízdy na elektrocolech jsem dosáhl závěru, že elektrokola jsou podstatně méně náročným dopravním prostředkem, než klasické jízdní kolo. Z dotazníkové měření, které jsem podnikl u vybraných testovacích uživatelů, i z mého měření, jsem vyhodnotil, že elektrokola jsou podle měřených tepových frekvencí velmi málo náročným dopravním prostředkem. V případě, že se rozhodujeme mezi klasickým jízdním kolem a elektrocolem, tak je elektrocolo jasná volba, nejen díky vertikálnímu členění prostředí Prahy. Zvolit elektrocolo nemusí pouze obyvatelé, kteří jsou méně fyzicky zdatní, a chtějí v dnešní době, kdy je mnoho obézních lidí, pomalu začít s každodenním sportováním. Elektrocolo mohou zvolit jako dopravní prostředek i sportovně založení obyvatelé, kteří jej využijí na náročnější jízdy, než by zvládli na klasickém jízdním kole.

Navržení a testování systému bikesharing bylo velmi prospěšné. Ačkoli jsme s kolegy navrhovali pouze prototypy jednotlivých komponentů systému, tak výsledek je více než

dostačující. Navrhli a zkonstruovali jsme prototyp dokovací stanice a především kolega Joran Tommerman naprogramoval webovou aplikaci pro systém bikesharing.

Ačkoli jsme tento systém navrhovali zatím pouze pro účely studentské dopravy FD ČVUT, tak v budoucnu by bylo možné rozšířit systém i pro širší veřejnost. V dalším postupu by pak bylo možné integrovat fungující systém bikesharing elektrokol do MHD. Toto by bylo jistě vhodné především z důvodu členitosti Prahy a díky tomu by obyvatelé jistě uvítali více elektrokola než klasická jízdní kola.

## 15 Reference

- [1] Vítejte na Zemi.. *Vítejte na Zemi..* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=kolik\\_aut\\_jezdi\\_ve\\_svete&site=doprava](http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=kolik_aut_jezdi_ve_svete&site=doprava)
- [2] BLAŽEK, Petr a Martin KEBZA. *Kvalita a úroveň městské hromadné dopravy v Praze* [online]. 2011, 2011 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [http://cena-dekana.fd.cvut.cz/prezentace/4\\_rocnik/blazek/prace.pdf](http://cena-dekana.fd.cvut.cz/prezentace/4_rocnik/blazek/prace.pdf)
- [3] JÁNEŠ, Lukáš. *Využití elektrokol v Praze z hlediska bezpečnosti a členitosti terénu*. Praha, 2012.
- [4] Akumo. *Akumo* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [www.akumo.cz/kategorie-typy-elektrokol](http://www.akumo.cz/kategorie-typy-elektrokol)
- [5] Cyklo Atom. *Cyklo Atom* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [www.horska-silnicni-kola.cz/Elektrokolo-Kalkhoff-Agattu-P7-26-d1440.htm?tab=description](http://www.horska-silnicni-kola.cz/Elektrokolo-Kalkhoff-Agattu-P7-26-d1440.htm?tab=description)
- [6] 4freetime. *4freetime* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: [www.4freetime.cz/skladaci-elektrokolo-praktik36.html](http://www.4freetime.cz/skladaci-elektrokolo-praktik36.html)
- [7] Elekt.cz. *Elekt.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.elekt.cz/spirit-joy2-skladacka-20-stibrna>
- [8] Prahou na kole. *Prahou na kole* [online]. 2017 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://prahounakole.cz/tag/bike-sharing/>
- [9] Building Our Sustainable Future. *Building Our Sustainable Future* [online]. 2016 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <http://buildingoursustainablefuture.blogspot.cz/2012/09/copenhagen-bike-share.html>
- [10] Homeport. *Homeport* [online]. 2017 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <https://www.homeport.cz/>
- [11] Rekola. *Rekola* [online]. 2017 [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <https://www.rekola.cz/>
- [12] Mapy.cz. *Mapy.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)

- [13] DPP. *DPP* [online]. 2017 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: [spojeni.dpp.cz](http://spojeni.dpp.cz)
- [14] Ekolo.webnode.cz. *Ekolo.webnode.cz* [online]. 2015 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://ekolo.webnode.cz/proc-elektrokolo-klady-a-zapory/>
- [15] Ekolo.webnode.cz. *Ekolo.webnode.cz* [online]. 2015 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://ekolo.webnode.cz/legislativa/>
- [16] Elektro sport. *Elektro sport* [online]. 2016 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://elektrosport.cz/vse-o-elektrokolech/baterie/typy-baterii-a-technologie>
- [17] Delta sport. *Delta sport* [online]. 2017 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: [http://deltasport.cz/index.php?main\\_page=index&cPath=177](http://deltasport.cz/index.php?main_page=index&cPath=177)
- [18] Kolo shop. *Kolo shop* [online]. 2015 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: [www.koloshop.cz/jizdni-kola-elektrokola-211/](http://www.koloshop.cz/jizdni-kola-elektrokola-211/)
- [19] CzechDUINO.cz. *CzechDUINO.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://czechduino.cz/?co-je-to-arduino,29>
- [20] GMEletronic. *GMEletronic* [online]. 2017 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/arduino-ethernet-rev3-without-poe>
- [21] Tepová frekvence. *Tepová frekvence* [online]. 2015 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://tepova-frekvence.eu/>
- [22] LAPÁČKOVÁ, Marta. *Bike sharing na Fakultě dopravní*. Praha, 2014. Diplomová práce.
- [23] Bike way. *Bike way* [online]. 2014 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://www.elektrolapraha10.cz/?p=634>
- [24] E-pohon. *E-pohon* [online]. 2017 [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: <https://www.e-pohon.cz/e-pohon/5-Casto-kladene-dotazy-FAQ>
- [25] The TrackR. *The TrackR* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://thetrackr.cz/>



[26] Svět elektrokola. *Svět elektrokola* [online]. 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: [www.svet-elektrokola.cz/elektrokola/horska-sportovni-elektrokola/](http://www.svet-elektrokola.cz/elektrokola/horska-sportovni-elektrokola/)

[27] Elektrokola. *Elektrokola* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: [https://www.kola-elektrokola.cz/index.php?tpl=detail-produkt&rw=1&id\\_produk=2275&uri=elektrokola/haibike-xduro-fullseven-carbon-10-0-2017&rw=1](https://www.kola-elektrokola.cz/index.php?tpl=detail-produkt&rw=1&id_produk=2275&uri=elektrokola/haibike-xduro-fullseven-carbon-10-0-2017&rw=1)

[28] Ceny energie. *Ceny energie* [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: [www.cenyenergie.cz/ceniky-elekriny-2015/#/promo-ele](http://www.cenyenergie.cz/ceniky-elekriny-2015/#/promo-ele)

[29] Bauhaus [online]. 2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: [www.bauhaus.cz](http://www.bauhaus.cz)

[30] ID karta. *ID karta* [online]. 2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.id-karta.cz/identifikace-3/rfid-34/>

[31] Draw diagram. *Draw diagram* [online]. 2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://www.draw.io/>



**7. Asistence elektromotoru při jízdě:**

- |                  |           |         |
|------------------|-----------|---------|
| a. Low           | b. Medium | c. High |
| d. Bez asistence |           |         |

**8. Počet tepů za minutu při jízdě po rovině:**

- |                   |                    |                   |
|-------------------|--------------------|-------------------|
| a. 0-80 tepů      | b. 81 - 120 tepů   | c. 121 - 160 tepů |
| d. 161 - 200 tepů | e. 201 tepů a více |                   |

**9. Počet tepů za minutu při jízdě v klesání:**

- |                   |                    |                   |
|-------------------|--------------------|-------------------|
| a. 0-80 tepů      | b. 81 - 120 tepů   | c. 121 - 160 tepů |
| d. 161 - 200 tepů | e. 201 tepů a více |                   |

**10. Počet tepů za minutu při jízdě ve stoupání:**

- |                   |                    |                   |
|-------------------|--------------------|-------------------|
| a. 0-80 tepů      | b. 81 - 120 tepů   | c. 121 - 160 tepů |
| d. 161 - 200 tepů | e. 201 tepů a více |                   |

**11. Celkové hodnocení jízdy**

- |              |                             |                  |
|--------------|-----------------------------|------------------|
| a. Nenáročná | b. Částečně náročná (kopce) | c. Velmi náročná |
|--------------|-----------------------------|------------------|