

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh elektrické koloběžky**

## ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2019/2020

### ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Kateřina JOZOVÁ**  
Osobní číslo: **E17B0168P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Téma práce: **Návrh elektrické koloběžky**  
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

#### Zásady pro vypracování

1. Provedte literární rešerši komponentů potřebných pro stavbu elektrické koloběžky.
2. Na základě 1. bodu zadání proveďte návrh elektrické koloběžky. Návrh proveďte pro různé komponenty a vypočítejte jízdní vlastnosti koloběžky. Proveďte kalkulaci ceny koloběžky.
3. Vytvořte 3D model navržené koloběžky a porovnejte s koloběžkami dostupnými na trhu.


Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**


Seznam doporučené literatury:

1. Veřejně dostupné informační zdroje, databáze [www.ieee.org](http://www.ieee.org)
2. VLK, František. Dynamika motorových vozidel: jízdní odpory: hnací charakteristika: brzdění: odpruženost: říditelnost: ovladatelnost: stabilita. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5273-6.
3. CROMPTON, T. R. Battery reference book. 3rd ed. Boston: Newnes, 2000. ISBN 075064625X.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radek Čermák**  
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **4. října 2019**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **11. června 2020**

  
**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan

  
**Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.**  
vedoucí katedry

V Plzni dne 4. října 2019

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce se zabývá návrhem elektrické koloběžky, konkrétně také výběrem vhodných komponent, ze kterých bude koloběžka sestavena. Pro porovnání byly navrženy tři koloběžky a pro každou z nich se vypracovaly kalkulace cen ze jejich sestavení. Pro výsledný vzhled navrhované koloběžky byl vytvořen 3D model.

## **Klíčová slova**

Elektrická koloběžka, BLDC, motor, baterie, battery pack, kapacita, rám, komponenty, materiály, 3D model, cena

## **Abstract**

The bachelor theses presents the design of electric scooter and adequate components which will be used for building the electric scooter. There were made three designs of electric scooters for comparison. The price calculation was also made all of the three scooters. The final look of the electric scooter was created as a 3D model.

## **Key words**

Electric scooter, BLDC, motor, battery, battery pack, capacity, frame, components, materials, 3D model, price

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 19.6.2020

Kateřina Jozová

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Radkovi Čermákovi, za cenné rady, připomínky a vstřícnost při konzultacích.

# Obsah

ÚVOD .....	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	11
<b>1 VÝROBCI ELEKTRICKÝCH KOLOBĚŽEK.....</b>	<b>13</b>
1.1 PŘÍKLADY PRODÁVANÝCH KOLOBĚŽEK .....	13
<b>2 KOMPONENTY PRO ELEKTRICKOU KOLOBĚŽKU .....</b>	<b>15</b>
2.1 RÁM .....	15
2.1.1 Ocelový rám.....	16
2.1.2 Hliníkový (duralový) rám .....	16
2.1.3 Karbonový rám.....	17
2.1.4 Rám z 3D tiskárny.....	17
2.1.5 Dostupné rámy.....	18
2.2 MOTOR.....	20
2.2.1 Stejnoseměrné kartáčové motory.....	20
2.2.2 Stejnoseměrné bezkartáčové motory („BLDC“) .....	21
2.2.3 Výběr motoru pro koloběžku.....	23
2.3 BATERIE .....	24
2.3.1 Olověné akumulátory.....	24
2.3.2 Lithiové baterie.....	25
2.3.3 Výhody lithiových baterií.....	25
2.3.4 Nevýhody lithiových baterií .....	26
2.3.5 Baterie na trhu.....	26
2.4 NABÍJEČKY PRO LITHIOVÉ BATERIE .....	28
2.4.1 Doba nabíjení .....	28
2.5 BATTERY PACK .....	29
2.5.1 Postup výroby battery packu .....	29
2.6 BATERIE PRO NAVRHOVANÉ KOLOBĚŽKY .....	31
2.7 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA .....	33
2.8 DALŠÍ KOMPONENTY .....	35
2.8.1 Zadní kolo.....	35
2.8.2 Pláště.....	35
2.8.3 Akcelerátor .....	36
2.8.4 Brzdy.....	36
2.8.5 Řídítka .....	36
2.8.6 Displej .....	36
2.8.7 Světla .....	37
<b>3 VÝPOČET JÍZDNÍCH VLASTNOSTÍ KOLOBĚŽKY .....</b>	<b>37</b>
3.1 JÍZDNÍ VLASTNOSTI KOLOBĚŽKY .....	37
3.2 VÝPOČET ZRYCHLENÍ KOLOBĚŽKY.....	44
<b>4 DOJEZD KOLOBĚŽEK .....</b>	<b>45</b>
4.1 VÝPOČET TEORETICKÉHO DOJEZDU KOLOBĚŽEK .....	45
4.2 SIMULACE REÁLNÉ TRASY .....	49
4.2.1 Úbytek baterie na simulované trase.....	53
<b>5 STANOVISKO K POUŽÍVÁNÍ ELEKTROKOL A ELEKTROKOLOBĚŽEK .....</b>	<b>54</b>
<b>6 NÁVRH 3D MODELU KOLOBĚŽKY .....</b>	<b>54</b>
<b>7 KALKULACE PRO NAVRHOVANÉ KOLOBĚŽKY .....</b>	<b>56</b>
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>58</b>



<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....</b>	<b>60</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>1</b>

## Úvod

V současné době obliba elektrických koloběžek stoupá a setkáváme se s nimi stále častěji. Jsou totiž vhodnou alternativou pro dopravní prostředky městské hromadné dopravy. S elektrickou koloběžkou se lze vyhnout dopravním zácpám a případným zpožděním, navíc člověk není vázán na určité doby odjezdů MHD, což velmi šetří čas. Elektrokoloběžky nacházejí využití ve městě například pro každodenní jízdu do práce nebo do školy, některé jsou ale vhodné i pro výlety do přírody ve větším terénu mimo silnice (spíše koloběžky s většími koly pro snazší překonávání překážek). Elektrické koloběžky mají velkou řadu výhod, mezi které patří třeba jednoduché ovládání. Některé koloběžky jsou díky skládací konstrukci i snadno přenositelné. Pořizovací cena i následné náklady na provoz jsou navíc menší než při jízdě například autem či motorkou. Pro výběr vhodné elektrické koloběžky je nutné stanovit si její požadované parametry (potřebný výkon motoru, kapacita baterie, váha, cena a další) a v jakém terénu bude využívána (chodník/lesní cesty, roviny/kopce). Konkrétní koloběžka je pak ale většinou kompromisem těchto parametrů. Možností pro získání koloběžky s určitými vlastnostmi je její sestavení.

Tato práce se zabývá návrhem tří koloběžek, které budou sdílet stejný rám, ale liší se v použitém motoru, konkrétně jeho výkonu. Pro srovnání jízdních vlastností byly vybrány motory 350 W, 500 W, 1 000 W a kapacita baterie 16 000 mAh. Další komponenty si lze vybrat podle potřeby a koloběžku z nich pak sestavit. Další variantou může být zakoupení klasické koloběžky a nechat si ji elektrifikovat. Jednotlivé komponenty a jejich ceny jsou popsány v kapitole 2. Výsledný vzhled koloběžky byl vytvořen pomocí 3D modelu v programu progeCAD. Důležitým parametrem je také dojezd na jedno nabití baterie. Tím se zabývá kapitola 3, kde jsou vypočítány dojezdy jednotlivých navrhovaných koloběžek. Dojezdy byly zjištěny bez okolních jízdních vlivů (na rovině bez protivětru), a poté pro reálnou trasu.

Na závěr byla vytvořena přibližná kalkulace pro výrobu navrhovaných koloběžek. Výsledné ceny byly sestaveny z pořizovacích cen jednotlivých komponent. Po vyčíslení je zde i porovnání parametrů koloběžky s podobnou cenovkou.

## Seznam symbolů a zkratk

$m_o$	Hmotnost osoby	(kg)
$m_k$	Hmotnost koloběžky	(kg)
$d_p$	Tloušťka pláště	(m)
$d_r$	Průměr ráfku 26“	(m)
$d_k$	Průměr kola	(m)
$U_{max}$	Napětí baterie	(V)
$U_s$	Sdružené napětí	(V)
$U_f$	Napětí motoru	(V)
$v_{max}$	Maximální rychlost	(km/h)
$v_{max}$	Maximální rychlost	(m/s)
$a$	Zrychlení	(m/s <sup>2</sup> )
$v_{pv}$	Rychlost protivětru	(km/h)
$v_{pv}$	Rychlost protivětru	(m/s)
$m$	Celková hmotnost	(kg)
$g$	Tíhové zrychlení	(m/s <sup>2</sup> )
$\alpha$	Sklon vozovky	(rad)
$s$	Sklon vozovky	(%)
$f$	Součinitel valivého odporu asfaltu	(-)
$\vartheta$	Součinitel vlivu rotačních částí	(-)
$\rho_{vz}$	Hustota vzduchu	(kg/m <sup>3</sup> )
$c_x$	Součinitel vzdušného odporu	(-)
$S_x$	Čelní plocha lidského těla	(m <sup>2</sup> )
$r_d$	Dynamický průměr pneumatiky	(m)
$v_p$	Průměrná rychlost	(km/h)
$v_p$	Průměrná rychlost	(m/s)
$h_p$	Výška pláště	(m)
$n$	Počet otáček	(ot/min)
$O_{val}$	Odpor valení	(N)
$O_s$	Odpor stoupání	(N)
$O_a$	Odpor zrychlení	(N)
$O_{vz}$	Odpor vzduchu	(N)

---

$m_r$	Hmotnost rámu	(kg)
$m_m$	Hmotnost motoru	(kg)
$m_b$	Hmotnost baterie	(kg)
$m_{kom}$	Hmotnost kol a dalších komponentů	(kg)
$F$	Síla	(N)
$P$	Výkon	(W)
$M$	Moment	(Nm)
$s$	Dojezd	(km)
$t$	Čas	(h)
$t_n$	Doba nabíjení	(h)
$C$	Kapacita baterie	(Ah)
$C$	Kapacita baterie	(Wh)
$n_s$	Počet v sérii	(ks)
$n_p$	Počet paralelně	(ks)
$U_{\check{c}}$	Napětí článku	(V)
$C_b$	Kapacita baterie	(mAh)
$C_{\check{c}}$	Kapacita článku	(mAh)

# 1 Výrobci elektrických koloběžek

Mezi české výrobce elektrických koloběžek patří například Kostka, Mamibike, M-I-B-O či Nitro Scooters. Každý výrobce má v nabídce koloběžky v různých konfiguracích, které se liší v použitých materiálech rámu, motorech nebo třeba bateriích. Ze zahraničních výrobců lze uvést Segway nebo Xiaomi, jehož koloběžky jsou u nás neprodávány.

## 1.1 Příklady prodáváných koloběžek

Pro porovnání bylo vybráno několik prodáváných elektrických koloběžek. V Tab. 1 jsou srovnány jejich základní parametry [37-41]:

**Tab. 1: Parametry prodáváných elektrických koloběžek**

	Xiaomi Mi Electric Scooter Pro	Kostka e-HILL MAX (E1)	MAMIBIKE EASY 2020	MIBO e-Royal P	Nitro Scooters XE900 Plus
výkon (W)	300	250	250	500	900
dojezd (km)	45	50	25-35	30-80	24
max. rychlost (km/h)	25	20-25	25	25	25
kapacita baterie (mAh)	12 800	5 300	10 000	13 000	12 000
materiál rámu	hliník	neuvedeno	ocel	ocel	neuvedeno
hmotnost (kg)	14,2	11,9	18,0	22,0	neuvedeno
cena (Kč)	13 990,-	29 990,-	29 500,-	10 690,-	13 990,-



Obr. 1: Xiaomi Mi Electric Scooter Pro [37]



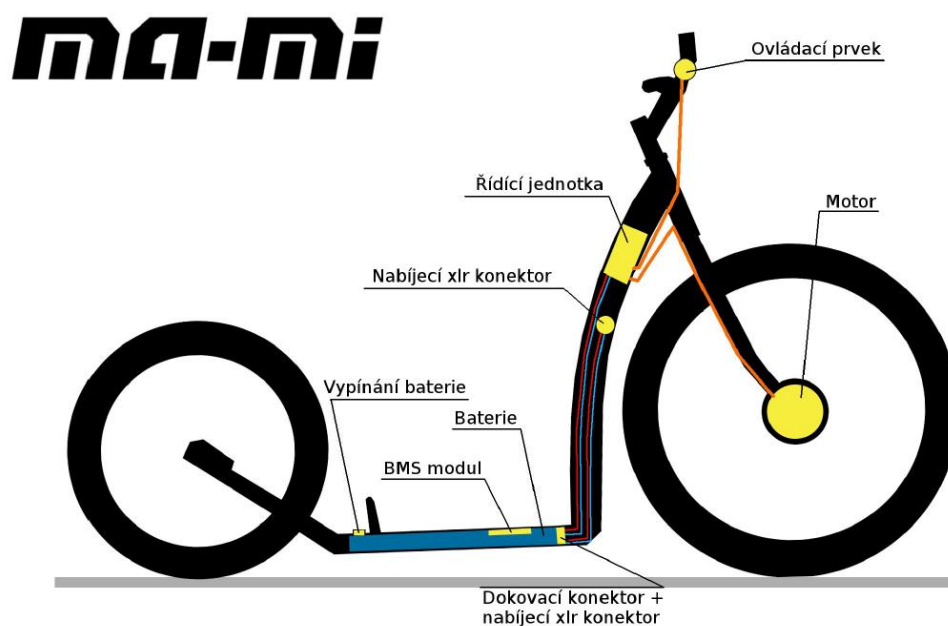
Obr. 2: MAMIBIKE EASY 2020 [39]



Obr. 3: Nitro Scooters XE900 Plus [41]

## 2 Komponenty pro elektrickou koloběžku

Elektrická koloběžka se skládá z mnoha komponentů, které pak ovlivňují její celkové jízdní vlastnosti. Existuje i více možností, jak si elektrokoloběžku pořídit. Nejjednodušší je zakoupit si již hotovou elektrickou koloběžku, kterou si lze vybrat dnes z již poměrně velké nabídky prodejců. Druhým způsobem je vybrat si určité komponenty a koloběžku si u specializovaných výrobců/prodejců nechat sestavit. Tento způsob je nejvhodnějším pro uživatele, kteří od koloběžky požadují určité vlastnosti, které nemají žádné sériově vyráběné. Jako poslední možnost je přestavba klasické koloběžky. Pokud někdo již takovou koloběžku vlastní, lze si zakoupit speciální sadu pro přestavbu na elektrickou koloběžku, kterou může člověk provést sám nebo jí pověřit specializovanou prodejnu (KOLOBĚHsport, Svět koloběžek).



Obr. 4: Komponenty elektrické koloběžky MAMIBIKE [29]

### 2.1 Rám

Rám koloběžky je základním prvkem, který nese ostatní komponenty. Je tedy nutné zvolit vhodný rám, podle požadovaných celkových jízdních vlastností. Záleží nejen na jeho váze, ale například i na konstrukci, která by například umožňovala zabudování baterie do nášlapu.

Hlavními parametry pro výrobu rámu jsou nízká hmotnost, poddajnost materiálu a pevnost. Nikdy nelze dosáhnout všech vlastností, je proto nutný kompromis. Rám lze například zhotovit velmi pevný, jízda by pak ale byla ve větším terénu velmi nepohodlná. Při výběru určitého materiálu je také nutno zohlednit, v jakém terénu (silnice, lesní cesty) bude koloběžka používána. [4]



Obr. 5: Rám koloběžky [56]

### 2.1.1 Ocelový rám

Pro rám koloběžky lze použít ocel nebo její slitiny. Ocel byla jako materiál pro rámy (především u jízdních kol) používána nejčastěji již od 19. století. Jedná se o velmi pevnou a robustní konstrukci určenou pro větší koloběžky/skútry, která je v porovnání s hliníkovými rámy o něco těžší (viz. porovnání rámu v Tab. 2). Jedná se ale také o nejvíce „prostudovaný“ materiál a dnešní technologie jsou velmi dobře zvládnuté. Výhodou je také známé chování rámu po delším používání (i po dvaceti letech) a možnost svařování při vyšších teplotách. Nevýhodou ocelových rámu je jejich náročná výroba. [1, 4]

### 2.1.2 Hliníkový (duralový) rám

Hliníkové/duralové (dural = hliníkokřemičité slitiny) rámy jsou v dnešní době spolu s ocelí nejpoužívanější. Na rozdíl od ocelových konstrukcí jsou rámy z duralu lehké, ale zároveň velmi pevné. Dural jako takový má menší pevnost než ocel, ale to bylo vyřešeno použitím silnějších trubek. Existuje také nová technologie zvaná hydroformní tvarování trubek, která umožňuje vyrobit rámové trubky s různou tloušťkou stěn a vytvořit tak



na určitých místech zesílení pro větší pevnost rámu. Výhodou oproti ocelovým ráům je lepší a snadnější opracovatelnost, ale také menší cena. Pro novější koloběžky se využívá kombinace těchto slitin s ocelí, která se využívá pro více namáhané části rámu koloběžky pro větší pevnost. [1,4]

### 2.1.3 Karbonový rám

Karbonové rámy jsou další variantou, která je mnohonásobně lehčí, pružnější, ale také stále oblíbenější (především pro jízdní kola). Jedná se ale o luxusnější materiál, což se projevuje na jeho vyšší ceně. Stejně jako u duralu je i pro karbon možné využít technologie hydroformního tvarování. Nevýhodou karbonu je náchylnost jeho povrchu, kdy může například dojít k proražení rámové trubky (od letícího kamene) a rám je pak velmi těžko opravitelný, jelikož dojde totiž k narušení vláken karbonu. [1,4]

### 2.1.4 Rám z 3D tiskárny

Moderní alternativou pro výrobu rámu koloběžky může být i stále populárnější 3D tisk. Tento způsob výroby vyzkoušela jako první na světě Technická univerzita Ostrava (přesněji Centrum podpory inovací VŠB-TUO, tým Protolab). [2]

Rám z 3D tiskárny je oproti běžně vyráběným ráům podstatně lehčí (až o čtvrtinu), hmotnost prototypu je pouhých 3,2 kg. S touto technologií bylo dosaženo úspory použitého materiálu, jelikož její součástky jsou odlehčené a duté. Prototyp je nyní stále ve fázi vývoje stejně spolu s vývojem koloběžky druhé generace, u které bude kladen větší důraz na atraktivitu designu. U rámu z 3D tiskárny je ta výhoda, že ho lze upravit přesně podle požadavků a potřeb zákazníka. Je tedy možné spočítat potřebné rozměry a pevnost konstrukce podle váhy zákazníka. Nevýhodou je ale v současné době nedostatečná technologie 3D tisku, kvůli čemu se rám skládá z více samostatně vytisknutých částí. Ty jsou následně svařovány, což představuje nemalé náklady. [2]

Podle informací od vedoucího centra 3D tisku Protolab Ing. Marka Pagáče, Ph.D., se jedná konkrétně o topologicky optimalizovaný bionický dutý rám vyrobený z korozi-vzdorné oceli 316L. Pro výrobu byla použita technologie Powder Bed Fusion – Selective Laser Melting. Cena rámu se v dnešní době pohybuje v řádech stovek tisíc korun.



Obr. 6: Rám koloběžky z 3D tiskárny [2]

### 2.1.5 Dostupné rámy

Některé specializované prodejny kol a koloběžek nabízejí i možnost zakoupit si již hotový rám nebo si ho nechat vyrobit na zakázku přesně podle určitých požadavků (například použitý materiál, nosnost na váhu jezdce nebo výběr místa pro uložení baterie). Ceny samotných ráků byly zjištěny provedením rešerše v českých obchodech se pohybují přibližně od 7 000 do 9 000 korun. Většinou se jedná o ráky nenalakované, barvu laku si však lze za určitý poplatek (obchod KOLOBĚHsport si za nalakování rámu účtuje od 1 000,- Kč do 1 500,- Kč v závislosti na typu barvy) doobjednat. V obchodech jsou k dostání následující ráky (příklady jednotlivých ráků z různých materiálů):

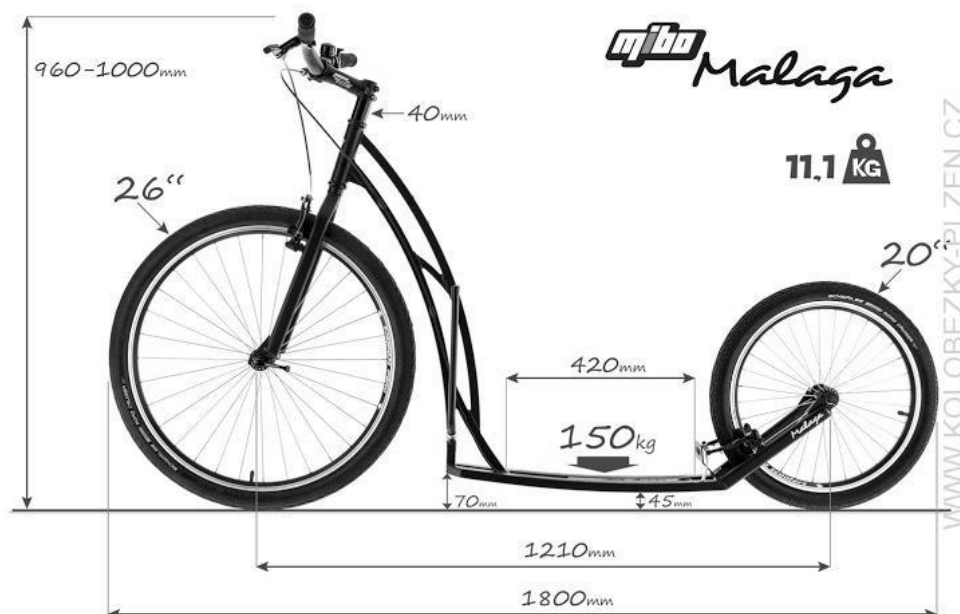
Tab. 2: Porovnání cen koloběžkových ráků z různých materiálů [17]

	<b>Kickbike RaceMAX</b>	<b>IDEA STRNADEL</b>	<b>MIBO REVOO</b>
Materiál ráku	hliník	karbon	ocel
Hmotnost ráku	3,20 kg	2,05 kg	3,45 kg
Průhyb ráku	1,3 cm	1,39 cm	1,64 cm
Brzdy	silniční, kotoučové	silniční	silniční
Cena	<b>8 900 Kč</b>	<b>45 000 Kč</b> (včetně vidlice)	<b>10 500 Kč</b>



Obr. 7: (zleva) hliníkový rám Kickbike, karbonový rám IDEA STRNADEL a ocelový rám MIBO [17]

V některých obchodech lze najít i hotové rámové sety pro koloběžky, které obsahují nejen samotný rám, ale i vidlici (hodí se do většího terénu pro tlumení nárazů) a hlavové složení (umožňuje natáčení řídicích tyčí do stran). Sety mohou být oproti samotným ráům i cenově výhodnější jako například u následujícího setu MIBO Malaga (cena za set 8 500,- Kč).



Obr. 8: Rámový set MIBO Malaga - ocelový rám + vidlice + hlavové složení [30]

Je také možné nechat si vyrobit rám na zakázku. Příklady cen za výrobu [50]:

Tab. 3: Ceny za výrobu rámu [50]

<i>rám ocel CrMo (bez vidlice)</i>	<i>4 000 – 5 000,- Kč</i>
<i>rám ocel Columbus (bez vidlice)</i>	<i>5 000 – 8 500,- Kč</i>
<i>hliníkový rám (nezeslabovaný)</i>	<i>5 500 – 6 500,- Kč</i>
<i>ocelová vidlice</i>	<i>2 000,- Kč</i>

Pro rám navrhovaných koloběžek byla zvolena ocel, přibližná cena pro jeho výrobu byla zvolena 5 000,- Kč + 2 000,- Kč za vidlici.

## 2.2 Motor

Motor je pro elektrickou koloběžku hlavním prvkem, který ji odlišuje od klasických koloběžek, u kterých je nutné vynaložit pouze vlastní síly k jejímu pohybu. Nejčastěji používané jsou bezkartáčové stejnosměrné motory, tzv. BLDC („**B**rush**L**ess **D**irect **C**urrent motor“). Podle použitého motoru s určitým výkonem má pak koloběžka určité jízdní vlastnosti. Výkony se v internetových obchodech pohybují od 250 W do 1 000 W, které jsou povoleny legislativou, ale najdou si i výkonnější koloběžky (s výkonem nad 1 000 W), které však na našich komunikacích nebo cyklostezkách nelze legálně používat [36]. Podle [51] patří mezi nejprodávanější menší koloběžky s motory od 250 W do 350 W, konkrétně se jedná především o koloběžky od Xioami.

### 2.2.1 Stejnosměrné kartáčové motory

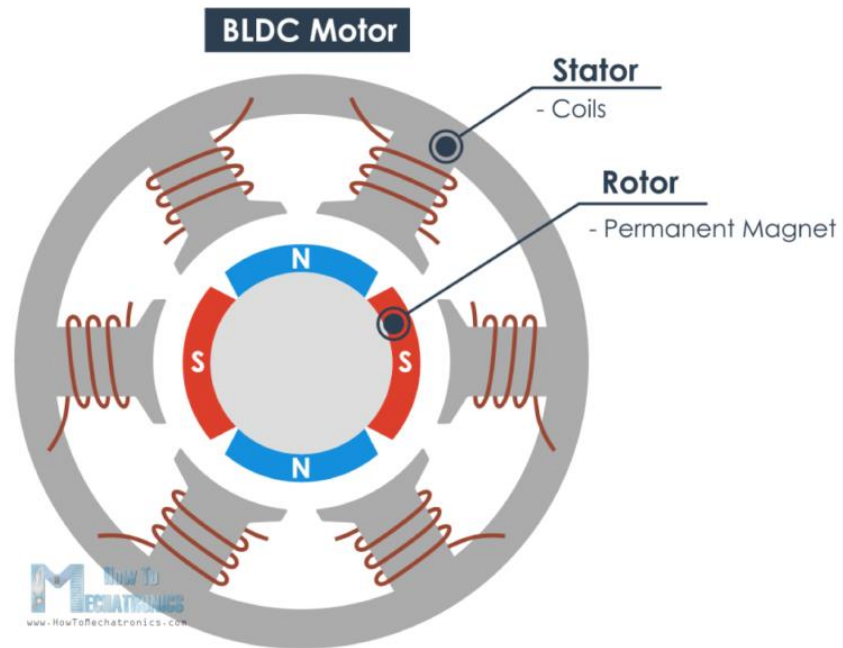
Stejnosměrné kartáčové motory lze označit za starší technologii, která je ale časem již osvědčená. Jedná se totiž o historicky nejstarší stroje pro zdroj elektrické energie, jsou tedy detailně propracovány. Jejich vývoj se ale již před lety dostal ke svým mezím, kdy nejsou další možnosti pro jejich zlepšení. Své využití si ale stále najdou, i když se jedná o výrazně menší podíl. Výhodou je jejich snadné řízení a dobrá regulace. Hlavním prvkem těchto motorů je komutátor, což je rozdíl oproti BLDC, které mají komutaci řešenou elektronicky [6]. Využívané jsou především jako pohony pro těžký průmysl (např. těžní stoje). Po delším používání u těchto motorů dochází k tzv. ošoupaní uhlíků v elektromotoru. Jedná se sice o vratný proces, ale pro opravu je nutná odborný servis. [1,5,7]

## 2.2.2 Stejnoseměrné bezkartáčové motory („BLDC“)

Tato inovativní technologie je dnes pro elektrické koloběžky často využívána. Bezkartáčové motory jsou oproti kartáčovým motorům výkonnější, nenáročné na údržbu a zároveň mají menší spotřebu energie. [1]

Pro správnou funkci stejnosměrného komutátorového stroje je nutná bezchybná komutace. Při požadavku dlouhé živostnosti a nenáročnosti na údržbu, zvláště u menších strojů, ale stále dochází k problémům s kluzným kontaktem. Probíhá na něm komutace (proces, při kterém dochází u komutující cívky ke změně směru proudu) mezi kartáčem a komutátorem. Tento problém u dnešních BLDC motorů vyřešila takzvaná elektronická komutace, která je řešena elektronickými systémy. Součástí motoru je elektronická jednotka, která řídí napětí napájení vinutí statoru tím, že přepíná jeho vinutí (náhrada mechanického komutátoru). Zpětná vazba je pak vyhodnocována mikroprocesorem, který generuje data pro spínání FET tranzistorů. Hallovy sondy se pak používají nejvíce u menších strojů a indikují úhlové natočení rotoru. Další přídatné zařízení pro regulaci otáček není nutné, jelikož elektronická jednotka motoru již obsahuje výkonný mikroprocesor. Stejně tak dokáže jednotka zajistit ochrany proti přetížení, přehřátí nebo přepólování. [6]

Odlišnosti jsou i v konstrukci, kdy jsou pevné a rotující části oproti klasickým komutátorovým strojům uspořádány naopak. Statorové vinutí je u BLDC motorů pevné, rotuje budič, na kterém jsou obvykle permanentní magnety. Využití mají například pro různé akumulátorové zvedací nebo přepravní vozíky, akumulátorové nářadí, dopravní prostředky, pohonné systémy pro armádu a letectvo a spoustu dalších. Pro širokou veřejnost se stávají tyto motory známější díky modelářské technice (různé RC modely, drony) a dopravním prostředkům (například elektrické koloběžky, skútry nebo elektrické skateboardy). [6]



Obr. 9: BLDC motor - stator s cívkami a rotor s permanentními magnety [31]



Obr. 10: Bezkartáčový stejnosměrný motor pro dron [52]



Obr. 11: BLDC motor pro výplet do zadního kola [53]

BLDC motory jsou dnes běžně dostupné. Lze sehnat motory různých výkonů a parametrů podle požadovaných vlastností. Motory se dají zakoupit buď samostatně nebo již vypletené do ráfku kola, což se jeví jako jednodušší varianta (pokud předem znáte požadovaný rozměr kola). Je pak také nutné rozhodnout se pro přední nebo zadní pohon koloběžky, nabídka v obchodech je v tomto směru přibližně stejná. Časté využití nacházejí nejen u elektrických koloběžek, ale i u elektrokol či RC modelů.

### 2.2.3 Výběr motoru pro koloběžku

Pro účely návrhu koloběžek v této práci byly pro srovnání vybrány BLDC motory o výkonech 350 W (36 V), 500 W (36 V) a 1 000 W (48 V). Nejslabší koloběžka bude osazena motorem 350 W do 26“ (66 cm) ráfku předního kola. Výběr výkonu motoru je shodný s nejprodávanějšími elektrokoloběžkami, které sice mají menší kola (8,5“ = 21,6 cm), ale tyto motory jsou používány i pro větší koloběžky do terénu. Druhá koloběžka dostane motor s výkonem 500 W (36 V), který bude pro porovnání opět osazen v předním 26“ kole. Nejsilnější motor s výkonem 1 000 W bude u třetí koloběžky osazen stejným způsobem jako u předchozích dvou koloběžek.

Motory pro elektrické koloběžky lze sehnat v některých obchodech a e-shopech, mezi které patří například kolobezky-plzen.cz, motokolobezky.cz nebo třeba Svět koloběžek. Následující sady lze koupit v internetovém obchodě e-pohon.cz:

Tab. 4: Různé motory a jejich parametry (z obchodu e-pohon)

Výkon [W]	Napětí [V]	Max. rychlost [km/h]	Hmotnost [kg]	Cena [Kč]
250	36	25	3	5 400,-
750	36	30	6,4	6 400,-
1000	48	45	6,4	8 800,-

Levnější motory lze sehnat přímo z Číny z různých internetových obchodů (Aliexpress.com, Ebay.com a další). Je zde i větší nabídka motorů nebo celých sad. Příkladem může být následující sada (ceny jsou přibližné a přepočítané z dolarů na české koruny dle aktuálního kurzu) [18]:





Obr. 12: Motor v 26" ráfku s příslušenstvím [18]

Sada obsahuje motor (lze si vybrat v rozmezí 250 W-1500 W) vypletený v 26" ráfku, který je vhodný pro „V brzdy“ nebo kotoučové brzdy. Jednotlivé parametry odpovídají konkrétnímu motoru (viz. **tabulka 2**). Dále je v sadě řídicí jednotka (36 V pro motory s výkony 250W/350W/500W a 48 V pro motory 1000W/1500W), LCD displej, volnoběžka a brzdové páčky.

Tab. 5: Nabídka různých motorů s příslušenstvím pro 26" kola a jejich parametry [18]

Výkon [W]	Napětí [V]	Max. rychlost [km/h]	Otáčky [ot/min]	Moment [Nm]	Cena [Kč]
250	36	20-27	300	20-30	4 700,-
350	36	20-30	320	25-30	5 120,-
500	36	20-35	350	30-35	5 600,-
500	48	35-45	450	30-40	5 600,-
1 000	48	45-55	470	30-40	5 950,-
1 500	48	50-60	540	35-45	6 350,-

## 2.3 Baterie

### 2.3.1 Olověné akumulátory

Ještě nedávno bývaly olověné akumulátory nejpoužívanějším sekundárním zdrojem (elektrochemickým) proudu. Lze je pořídit s různými kapacitami a to od 1 do 10 000 Ah.



Výhodami těchto akumulátorů je velmi dobrá technologie výroby, spolehlivost v provozu, celkem malá pořizovací cena, dále i dostatečná účinnost a výkon. Podle dat z roku 2003 byla celková roční spotřeba olova pro výrobu baterií přibližně 2,5 milionu tun. Nutno ale dodat, že část olova se získávala recyklací použitých akumulátorů. [10]

Olověné akumulátory lze využít i pro napájení motocyklů nebo skútrů. Vyrábějí se baterie s jmenovitým napětím 6 V (kapacitní rozsah 2 000 ÷ 14 000 mAh) a 12 V (kapacitní rozsah 2 000 ÷ 30 000 mAh). Baterie pro motocykly s nejnižšími kapacitami mají ploché pólové vývody (nástrčné konektory), běžně se používají baterie s plochými olověnými vývody, které lze přišroubovat díky otvorům na šrouby. Při správném zacházení je možné u těchto akumulátorů dosáhnout životnosti až 4 roky. Dnes tyto baterie nahrazují lithiové díky jejich malé hmotnosti, větší energetické hustotě a možnosti častého dobíjení bez poškození baterie. [11]

### 2.3.2 Lithiové baterie

Tyto články mají obvykle tvar válce a jejich elektrody dosahují velmi malé tloušťky (přibližně 200 µm). Pro kolektory elektrod jsou použité fólie, na záporné konkrétně z mědi, na kladné pak z hliníku. Poté jsou potaženy aktivními elektrodoými materiály. Napětí Li-ion článků závisí na použitých materiálech a pohybuje se mezi 3-4 V. Jejich energie je přibližně 120-130 Wh/kg (běžně). Baterie dosahují životnosti až 1 000 cyklů a při samovybití dochází po měsíci ke ztrátám kapacity o 5-8 %. [10]

### 2.3.3 Výhody lithiových baterií

Jmenovité napětí lithiových akumulátorů je větší než u Ni-Cd nebo Ni-MH akumulátorů (pro Li-ion je to hodnota 3,6 V, pro Ni-Cd a Ni-MH 1,2 V). Další předností je nízká hmotnost, konkrétně 40 g pro 4/3AF (Ni-MH 60 g). Označení 4/3 AF je nejběžnějším typem baterií používaných pro notebooky [4]. Typická je také dlouhá životnost s počtem cyklů (nabití/vybití) přibližně 500-1 500 (větší počet cyklů závisí na správném používání baterií). Samovybití článků je také velmi malé, protože po jednom měsíci dojde k poklesu o 8 % (pokles u Ni-Cd/Ni-MH akumulátorů je 25 %). Takzvaný „paměťový efekt“ je u lithiových baterií potlačen, což znamená, že nedochází ke snížení jejich kapacity. V praxi tento efekt znamená to, že baterie se úplně nenabíjí nebo nevybíjí a tento menší rozsah kapacity si poté baterie „zapamatuje“ (na paměťový efekt trpí Ni-MH a Ni-Cd).

Neobsahují závadné prvky jako olovo nebo rtuť, takže nejsou závadné pro životní prostředí. [12,13]

### 2.3.4 Nevýhody lithiových baterií

Vnitřní odpor běžných lithiových baterií je poměrně velký (až 10 krát větší než Ni-Cd/Ni-MH). Nižší je také pracovní teplota, kdy baterie pracují bez problémů do  $-20^{\circ}\text{C}$  (Ni-CD až do  $-40^{\circ}\text{C}$ ). Vykazují také větší náchylnost na přebíjení (do 100 %) a hluboké vybití (pod 20 %), což vede k trvalému poškození akumulátoru.

Nabíječky pro tyto akumulátory nelze zaměnit s jinými (nelze použít nabíječky pro Ni-Cd/Ni-MH baterie). Lze je použít pouze v případě, že je akumulátor vybaven elektronickým obvodem, což se aplikuje například u mobilních telefonů. Původně by byla nevýhodou i vysoká pořizovací cena. Ta ale postupem času klesá a již kolem roku 2000 tato cena klesla na polovinu. [12]

### 2.3.5 Baterie na trhu

Pro srovnání baterií a jejich pořizovacích cen byly vybrány prodejny, které se specializují na elektrokola a elektrokoloběžky. Olověné a lithiové baterie mají různé parametry, které mohou ovlivnit celkové vlastnosti koloběžky.

- Olověné akumulátory:

Příkladem může být olověný trakční akumulátor 36 V 12 Ah ACCU PLUS, který se skládá z tří 12 V akumulátorů. Celkově váží 9,6 kg a jeho pořizovací cena je 3 190,- Kč. [25]



Obr. 13: Olověný akumulátor 36 V 12 Ah [25]

- Lithiové akumulátory:

Pro elektrické koloběžky lze použít i baterie, kterými se běžně osazují elektrokola. Baterie je v tomto případě uložena v plastovém krytu a připevňuje se šrouby přímo na rám. Takovým příkladem může být baterie EVBIKE 36 V/20 000 mAh o hmotnosti 4,1 kg s pořizovací cenou 14 531,- Kč [26].



Obr. 14: EVBIKE baterie na rám 36 V/20 Ah [26]

Nejčastěji jsou pro elektrické koloběžky ale používány takzvané „battery packy“. Jedná se o baterie sestavené z jednotlivých (lithiových) článků.



Obr. 15: Battery Pack Panasonic 48 V/18 Ah [27]

Tab. 6: Příklady dostupných battery packů z Aliexpressu

Napětí [V]	Kapacita [mAh]	Doba nabíjení [hod]	Rozměry [mm]	Cena [Kč]
36	9 800	5	340x66x42	2 400,-
36	11 600	neuveдено	190x85x70	2 450,-
36	20 000	4	188x78x68	1 900,-
48	10 000	6	250x70x70	1 900,-
48	18 000	neuveдено	240x66x56	1 900,-
48	28 000	neuveдено	240x68x64	2 800,-

## 2.4 Nabíječky pro lithiové baterie

Akumulátory je možné znovu nabíjet, je ale nutné zvolit vhodnou nabíječku, která baterii nabije na plnou kapacitu a pak se v ideálním případě přepne na udržovací proud. Ten pak zajišťuje kompenzaci samovybití, baterie tedy zůstane nabitá. Přebíjení ale může způsobit poškození baterie. [46] Pro 36 V baterii byla vybrána automatická nabíječka STC-8150LC (36 V, nabíjecí proud 4 A), cena: 1 490,- Kč [48].



Obr. 16: Nabíječka 36 V s nabíjecím proudem 4 A [48]

Baterie 48 V se bude nabíjet pomocí automatické nabíječky (48 V, nabíjecí proud 3 A), cena: 1 490,- Kč [49].

### 2.4.1 Doba nabíjení

Použitá baterie má určitou kapacitu, stejně jako má nabíječka daný určitý nabíjecí proud. Z těchto dvou hodnot lze zjistit přibližnou dobu (počítá se s větší kapacitou kvůli tepelným ztrátám) do plného nabití baterie [47]:

$$t_n(h) = \frac{1,2 \cdot C(mAh)}{I_n(mA)} = \frac{1,2 \cdot 16\,000}{4\,000} = 4,8 \text{ hodiny} \quad (2.1)$$

$$t_n(h) = \frac{1,2 \cdot C(mAh)}{I_n(mA)} = \frac{1,2 \cdot 16\,000}{3\,000} = 6,4 \text{ hodiny} \quad (2.2)$$

Doba do nabití baterie 36 V je 4,8 hodiny, pro 48 V baterii je to 6,4 hodiny.

## 2.5 Battery pack

Baterie (battery pack/akupack) je pro koloběžku velmi důležitým komponentem, ale také bývá tím nejdražším. Výrobci nabízejí battery packy s různými parametry, ale i přesto je těžké najít ten vyhovující. Pro sestavení vlastní koloběžky je pak nutné brát ohled velikost baterie, váhu, kapacitu, napětí a další parametry. Častým řešením tedy bývá sestavení konkrétního battery packu (akupacku) na zakázku. [20]

Nejen u elektrokol, ale i pro elektrické koloběžky se dnes nejvíce využívají lithiové baterie sestavené z lithiových článků (asi v 90 % případů). Jednotlivé lithiové články se prodávají ve tvaru válečku o rozměrech 18 mm na šířku a 65 mm na výšku (z těchto rozměrů pak plyne i jejich označení 18650). Články se skládají sériově a paralelně, což pak u sestavené baterie určuje výsledné napětí a kapacitu. Nejčastěji se pro běžné Li-ion baterie používají články s napětím 3,6 V, které jsou v baterii propojeny paralelně (vedle sebe) i sériově (za sebou). Články spojené sériově udávají výsledné napětí baterie (například deset sériově spojených článků s napětím 3,6 V dá výsledné napětí 36 V). Paralelním spojením článků získáme požadovanou kapacitu baterie. Lithiové články mají nejčastěji kapacitu 3 200 mAh. Spojením deseti článků sériově a pěti paralelně (označuje se jako 10S5P) získáme baterii o napětí 36 V a kapacitě 16 mAh (16 Ah). Výslednou kapacitu lze přepočítat na Watthodiny (Wh) tím, že se vynásobí napětím baterie (v tomto případě 36 V): [19]

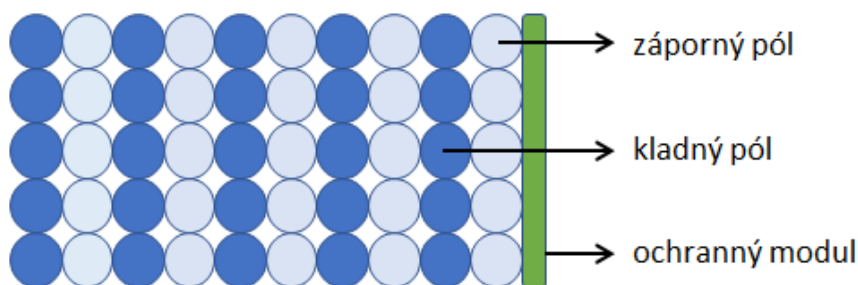
$$C[Wh] = C[Ah] \cdot U = 16 \cdot 36 = 576 Wh \quad (2.3)$$

### 2.5.1 Postup výroby battery packu

Nejpoužívanějšími články pro výrobu battery packů jsou již zmiňované lithiové 18650 články. K dostání jsou od mnoha známých výrobců – Samsung, Panasonic, Sony, atd. Lze sehnat i levnější články (od výrobců Ultrafire, Surefire, Trustfire), které ovšem z psané kapacity například 5 000 mAh dosahují pouze 2 000 mAh. Možný je pak nákup přímo z Číny (třeba přes Aliexpress), kde se dají sehnat levněji i kvalitní články (porovnání různých článků viz. Tab. 7). [20]

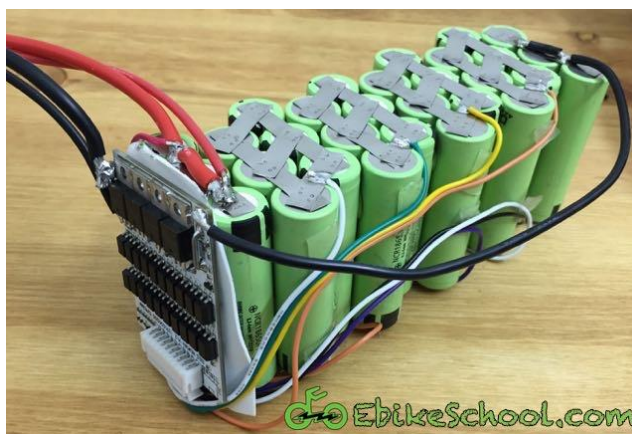
Před samotnou výrobou je třeba stanovit konfiguraci baterie, tedy jakou bude mít kapacitu a pro jaké napětí. Pro stanovené hodnoty se články sestaví do sério-paralelní kombinace. Rozložení na Obr. 17 je velmi jednoduché, jedná se o pět článků spojených

paralelně a v každé řadě deset sériově (vpravo je zobrazen BMS ochranný modul baterie). [20]



Obr. 17: Ukázka sestavení battery packu z jednotlivých článků (pohled shora)

K vzájemnému propojení článků je možné použít niklovou pásku (tento postup je jednoduchý a baterie se takto dá vyrobit i v domácích podmínkách). Lepší variantou je páska z čistého niklu, protože levnější poniklované ocelové pásky mají větší rezistivitu, která způsobuje větší zahřívání baterie a toto teplo pak poškozuje její články. Jelikož jsou lithiové články náchylné na teplo, které je může zničit, provádí se propojení bodovou svářečkou. Tato svářečka články bezpečně a pevně propojí bez nadbytečného zahřívání. Jako první se niklovou páskou spojí kladné a záporné póly paralelních článků. Poté se paralelní skupiny článků spojí do série. Dvě paralelní skupiny se spojují niklovou páskou (spojení kladný a záporný pól) shora, poté se přidá další paralelní skupina (kladným nebo záporným pólem podle předchozí skupiny), která se připojí zdola. Postup se opakuje pro propojení všech článků. K sestavenému battery packu se přidává ochranný modul BMS („Battery Management System“), který kontroluje nabíjení a vybíjení baterie a chrání ji před poškozením. [20]



Obr. 18: Propojené články s ochranným modulem [20]

Nakonec se battery pack pro ochranu zapouzdří. Spojené články se mohou pro větší ochranu (například při pádu) obalit v pěnové fólii. Celá baterie je pak zabalena do smršťovací fólie, která se teplem (za použití horkovzdušné pistole) stáhne a pevně k baterii přilne. Posledním úkonem je připojení konektorů. [20]

## 2.6 Baterie pro navrhované koloběžky

Pro elektrokoloběžku jsou nevhodnějšími typy baterií olovené nebo lithiové. Olovené baterie mají nízkou pořizovací cenu, jsou nenáročné na údržbu, a také jsou kompatibilní s většinou dostupných koloběžek. Další vlastnosti, např. životnost baterie, závisí na kvalitě použitého olova. Pro navrhované koloběžky byly vybrány lithiové akumulátory, které jsou oproti těm oloveným lehčí. Mají delší dojezd na jedno nabití a doba nabíjení je kratší (o 2-4 hodiny). Elektrokoloběžka s lithiovou baterií má celkově větší výkon a dosahuje nižší celkové hmotnosti. [14]

Pro první dvě koloběžky (350 W/36 V a 500 W/36 V) bude potřeba vyrobit baterie (battery pack) o napětí 36 V. Je tedy nutné spojit sériově tolik článků (každý o napětí 3,7 V), aby bylo výsledné napětí baterie 36 V. Počet článků v sérii:

$$n_s = \frac{U_b}{U_\xi} = \frac{36}{3,7} = 10 \text{ článků} \quad (2.4)$$

Koloběžka s motorem 1000 W/48 V bude potřebovat baterii o napětí 48 V. Počet článků v sérii:

$$n_s = \frac{U_b}{U_\xi} = \frac{48}{3,7} = 13 \text{ článků} \quad (2.5)$$

Dalším parametrem baterie je kapacita. Ta musí být dostačující pro určitý celkový dojezd koloběžky. Při zvolení kapacity 16 mAh (16 Ah) je pro její dosažení třeba spojit články paralelně. Počet paralelních článků:

$$n_p = \frac{C_b}{C_\xi} = \frac{16\,000}{3\,200} = 5 \text{ článků} \quad (2.6)$$

Tab. 7: Dostupné články 18650 a jejich parametry [28]

Výrobce	Kapacita [mAh]	Napětí [V]	Rozměry [mm]	Váha [g]	Cena [Kč]
LG	2 500	3,7	65 x Ø18	46	269,-
Samsung	2 600	3,7	65 x Ø18	47	145,-
SANYO	2 600	3,7	65 x Ø18	46	235,-
Ultrafire	2 600	3,7	65 x Ø18	46	95,-
Samsung	3 200	3,7	65 x Ø18	50	235,-
Panasonic	3 400	3,7	65 x Ø18	48	285,-

Cena výsledné baterie závisí na ceně jednotlivých článků, ze kterých je složena, a na poplatku za její výrobu. Nabíjecí lithiový článek Samsung 18650 (Obr. 19) s kapacitou 3 200 mAh (3,7 V), který je vhodný pro výrobu akupacků (battery packů), vyjde na 235,- Kč. Rozměry jsou 18,1 x 64,8 mm, váha 47 g, vybíjecí proud 2,5 A (max. 5 A) [21]. Baterie 36 V bude složena celkově z padesáti článků (10 sériově x 5 paralelně), výsledná cena jen za články je pak 11 750,- Kč. Pro 48 V baterii bude potřeba šedesát pět článků, cena tedy bude vyšší, konkrétně 15 275,- Kč.

K cenám za použité články je nutné přičíst cenu za výrobu baterie. Od prodejce TOPbattery byly po telefonu získány informace o cenách výroby baterií, které běžně nejsou udávány. Cena zakázkové výroby baterie (battery packu) se odvíjí především na množství použitých článků. Jako příklad bylo uvedeno sestavení 16 000 mAh (36 V) baterie z článků o kapacitě 3 450 mAh (3,6 V), cena 295,- Kč za článek. Pro tuto baterii je potřeba celkem 50 článků a cena její výroby je 10 489,- Kč. Výroba baterie 16 000 mAh (48 V) by stála 11 690,- Kč. Kvůli použití více článků jsou výsledné ceny za hotové baterie nižší než cena za články. Uplatňuje se zde totiž množstevní sleva při větším odběru článků – cena pouze za články je v případě 36 V baterie 14 750,- Kč (oproti 10 489,- za zhotovenou baterii). Cena za výrobu baterie se tedy zhruba určuje jako 70 % z ceny použitých článků. Tyto ceny se budou u jiných výrobců lišit.



Obr. 19: Nabíjecí lithiový článek Samsung 3,7 V/3 200 mAh [21]



Po spojení jednotlivých lithiových článků (celkem 50) bude mít 36 V baterie rozměry a váha:

- šířka:  $10 \times 18,1 \text{ mm} = 181 \text{ mm}$
- výška: 64,8 mm
- hloubka:  $5 \times 18,1 \text{ mm} = 90,5 \text{ mm}$
- váha:  $50 \times 47 \text{ g} = 2\,350 \text{ g}$  ( $m_b = 2,35 \text{ kg}$ )

Baterie 48 V pro nejsilnější motor bude složena z více článků (celkem 65), její rozměry a váha budou:

- šířka:  $13 \times 18,1 \text{ mm} = 235,3 \text{ mm}$
- výška: 64,8 mm
- hloubka:  $5 \times 18,1 \text{ mm} = 90,5 \text{ mm}$
- váha:  $65 \times 47 \text{ g} = 3\,055 \text{ g}$  ( $m_b = 3,055 \text{ kg}$ )

Tab. 8: Výsledné ceny za vyrobené baterie

	36 V baterie	48 V baterie
počet článků	50	65
cena za články	11 750,-	15 275,-
cena za baterii	8 225,-	10 692,-

Výsledné ceny za baterie jsou vypočítány s množstevní slevou pro nákup většího množství článků.

## 2.7 Řídící jednotka

Jak už plyne z názvu, řídicí jednotka je „mozkem“ elektrické koloběžky. Je tedy velmi důležitou částí, kterou je třeba chránit před nežádoucími vlivy (především voda, vlhkost, teplotní změny nebo mechanické poškození). [1]

Jedná se o miniaturní počítač, který se používá u elektrokol i u elektrických koloběžek. Hlavní funkcí řídicí jednotky (anglicky „ECU“ – Electronic Control Unit) je ovládání připojených komponent. Obstarává tedy například zapínání/vypínání, displej, ovládá brzdy, různé senzory a motor. Uložení řídicí jednotky bývá u baterie, v některých případech je zabudována přímo do rámu (výhodou tohoto uložení je chlazení během jízdy). Správnou

funkci obstarává software, který je možné upravovat podle potřeby. Změnou parametrů je tak třeba možné nastavit určitou citlivost senzorů nebo docílit snížení výkonu motoru. [9]

Další funkcí je i udržování určité veličiny na nějaké konstantní hodnotě. V tomto případě se jedná o požadovanou rychlost koloběžky. Důležitým prvkem pro regulaci je porovnávací člen. Ten zjišťuje regulační odchylku z naměřené hodnoty veličiny, kterou chceme regulovat (např. rychlost), a z požadované hodnoty řídicí veličiny (může být ručně nastavena nebo řízena signálem). Může dojít k odchýlení regulované veličiny od požadované hodnoty, a to vlivem poruchy, nebo jako důsledek změny požadované hodnoty. [22]

Nově se vyrábějí i řídicí jednotky, které fungují prostřednictvím Bluetooth, a lze je tak ovládat pomocí aplikace v mobilním telefonu (jednotky od českého výrobce Agogs pro svá terénní elektrokola). [9]

Příkladem může být řídicí jednotka pro výkon 1000 W (48 V) s možností připojení motoru, osvětlení, pojistek brzd, baterie, ovládání plynu a omezovače, cena: 1 190,- Kč. [23]



Obr. 20: Řídicí jednotka pro max. výkon 1 000 W, 48 V [23]

Tab. 9: Parametry řídicích jednotek pro výše zmíněné motory [18]

Napětí [V]	Výkon [W]	Proud [A]	Max. proud [A]	Rozměry [mm]
36	250/350/500	10	20 ± 1 A	94x62x36
48	1 000	15	30 ± 1 A	147x82x41
48	1 500	22	45 ± 1 A	240x82x41

Při použití motoru 500 W by jeho vybíjecí proud byl 13,9 A, který ale první uvedená řídicí jednotka (Tab. 9) nedokáže trvale pokrýt. Výkon motoru bude ale naplno využit jen výjimečně (např. při zrychlení), proto je proud 10 A dostačující. Pro navrhované koloběžky byly vybrány sady s motory, které obsahují řídicí jednotku, tato cena je tedy již zahrnuta.

Tab. 10: Dostupné řídicí jednotky pro BLDC motory na českém trhu [24]

Napětí [V]	Výkon [W]	Proud [A]	Max. proud [A]	Cena [Kč]
24-48	250 - 1 000	30	50	1 690,-
neuveďeno	250	neuveďeno	neuveďeno	1 200,-
36	250 - 350	7	15	1 590,-

## 2.8 Další komponenty

Pro sestavení elektrické koloběžky jsou potřebné další komponenty jako zadní kolo či brzdy. Ke zjištění cen za tyto komponenty byla provedena rešerše prodáváných komponent. Uvedené ceny jsou tedy orientační (pohybují se zhruba v polovině cenového rozmezí), mohou se u různých prodejců lišit.

### 2.8.1 Zadní kolo

Pro koloběžky byly zvoleny motory v předním 26“ kole. Je k nim tedy nutné pořídit ještě kolo zadní (velikost ráfku 20“). Cena ráfku s výpletem: 749,- Kč.



Obr. 21: Zadní kolo - ráfek 20" s výpletem [42]

### 2.8.2 Pláště

Ráfky předního i zadního kola je nutné oplástit. Byly vybrány pláště vhodné pro 26“ a 20“ kola. Cena pláště pro přední 26“ kolo: 235,- Kč, pro zadní 20“ kolo: 149,- Kč.

### 2.8.3 Akcelerátor

Akcelerace („přidávání plynu“) je u koloběžek vyřešena pomocí otočné rukojeti na řídítkách. Cena: 390,- Kč.

### 2.8.4 Brzdy

Byly zvoleny spolehlivé hliníkové brzdy od výrobce Shimano (tzv. „V-brzdy“), které brzdí přitlačením brzdových špalků na ráfek kola. Cena je 490,- Kč. [42]



Obr. 22: Hliníkové V-brzdy Shimano [42]

### 2.8.5 Řídítka

Řídítka umožňují koloběžce zatáčet do stran. Pro správnou manipulaci je potřeba vybrat vhodnou délku řídítek (s krátkými řídítky se špatně zatáčí). Cena řídítek: 300,- Kč [43].



Obr. 23: Řídítka pro koloběžku KOSTKA [43]

### 2.8.6 Displej

Je dobré znát například stav nabití baterie, zbývající dojezd na baterii, počet ujetých kilometrů, či jiné parametry. Pro jejich zobrazení je vhodné na koloběžku umístit displej. Je

možné ho umístit třeba na řídítka, zobrazené informace závisí na pořízeném displeji. Cena: 1 500,- Kč [44].



Obr. 24: Digitální displej pro elektrickou koloběžku [44]

### 2.8.7 Světla

Při jízdě večer nebo v noci je při nedostatku světla nutné na sebe nějakým způsobem upozornit, proto se na koloběžky instalují světla („blikačky“). Je to jednoduchý způsob, jak o sobě dát vědět například protijedoucím autům a vyhnout se tak srážce. Cena za sadu světel (přední + zadní) je 129,- Kč [45].



Obr. 25: Force sada blikaček AMBIT (přední + zadní) [45]

## 3 Výpočet jízdních vlastností koloběžky

### 3.1 Jízdní vlastnosti koloběžky

Jízdní vlastnosti koloběžky závisí nejen na parametrech koloběžky, ale i na dalších okolních podmínkách. Pro zjištění jízdních vlastností byl provedeny přibližné výpočty momentů, výkonů a dalších proměnných (výpočty podle [32]). Před provedením výpočtů byly vybrány počáteční parametry:

- hmotnost osoby  $m_o = 60$  kg
- celková hmotnost koloběžky  $m_k = 19,53$  kg (350 W), 19,6 kg (500 W), 23 kg (1 000 W)
- průměr ráfku kola  $d_r = 26''$  (0,6604 m)
- celkový průměr kola  $d_k = 0,7604$  m
- napětí baterie  $U_{max} = 36$  V (350 W/500 W), 48 V (1 000 W)
- maximální rychlost  $v_m = 30$  km/h (350 W), 35 km/h (500 W), 45 km/h (1 000 W)
- rychlost protivětru  $v_{pv} = 14$  km/h
- sklon vozovky  $s = 5$  %
- průměrná rychlost  $v_p = 19$  km/h

Celková hmotnost koloběžky byla přibližně určena jako součet hmotností rámu ( $m_r$ ), motoru ( $m_m$ ), baterie ( $m_b$ ), kol a dalších komponentů ( $m_{kom}$ ).

U vybraných motorů nebyla uvedena informace o hmotnosti, byly proto zvoleny hodnoty prodáváných motorů se stejnými parametry. Nejslabší motor s výkonem 350 W má hmotnost  $m_m = 3,48$  kg, hmotnost druhého motoru  $m_m$  (500 W) je 3,55 kg a poslední 1 000 W motor  $m_m = 6,2$  kg.

Hodnoty hmotností jednotlivých komponentů byly přibližně zvoleny podle podobných dostupných, protože tyto údaje nebývají běžně prodávajícími udávány. Zvolené hmotnosti:

řídící jednotka – 700 g, 26'' ráfek s výpletem – 1 050 g, 20'' ráfek s výpletem – 600 g, plášť pro přední 26'' kolo – 600 g, plášť pro zadní 20'' kolo – 400 g, řídítka – 250 g, displej a kabeláž budou mít přibližně 300 g. Celková hmotnost komponent koloběžky  $m_{kom}$  je tedy: 3 900 g (3,9 kg).

Hmotnost rámu  $m_r$  byla zvolena podle ocelového rámu pro koloběžku MIBO GT 26''/20'', která je včetně vidlice a hlavového složení 9,8 kg [30]. Ocelový rám byl zvolen kvůli velmi dobré pevnosti a pohodlnější jízdě (ocel si poradí s nerovnostmi lépe než hliník).

Výpočet celkové hmotnosti koloběžky  $m_k$  s motorem 350 W a výsledné hmotnosti  $m$  i s jezdcem:

$$m_k = m_r + m_m + m_b + m_{kom} = 9,8 + 3,48 + 2,35 + 3,9 = 19,53 \text{ kg} \quad (3.1)$$

$$m = m_k + m_o = 19,53 + 60 = 79,53 \text{ kg} \quad (3.2)$$

Výpočet celkové hmotnosti koloběžky  $m_k$  s motorem 500 W a výsledné hmotnosti  $m$  i s jezdcem:

$$m_k = m_r + m_m + m_b + m_{kom} = 9,8 + 3,55 + 2,35 + 3,9 = 19,6 \text{ kg} \quad (3.3)$$

$$m = m_k + m_o = 19,6 + 60 = 79,6 \text{ kg} \quad (3.4)$$

Výpočet celkové hmotnosti koloběžky  $m_k$  s motorem 1 000 W a výsledné hmotnosti  $m$  i s jezdcem:

$$m_k = m_r + m_m + m_b + m_{kom} = 9,8 + 6,2 + 3,055 + 3,9 = 22,955 \text{ kg} \quad (3.5)$$

$$m = m_k + m_o = 22,955 + 60 = 82,955 \text{ kg} \quad (3.6)$$

Pro pohyb koloběžky je potřebný moment, který byl vypočítán následovně [32]. Aby se koloběžka začala pohyboval, je nutné vynaložit určitou sílu. Tato síla musí překonat odpory, které koloběžku brzdí (uvedené výpočty jsou pro 350 W motor):

$$F = O_{val} + O_s + O_a + O_{vz} = 11,693 + 38,961 + 22,393 = 73,05 \text{ N} \quad (3.7)$$

Výpočet odporu valení:

$$O_{val} = m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot f = 79,53 \cdot 9,81 \cdot \cos(0,05) \cdot 0,015 = 11,693 \text{ N} \quad (3.8)$$

$g$  – gravitační zrychlení ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ),  $\alpha$  – sklon vozovky v radiánech,  $f$  – součinitel valivého odporu asfaltu (zvolena průměrná hodnota podle [54]  $f = 0,015$ )

Výpočet odporu vzduchu:

$$O_{vz} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{vz} \cdot c_x \cdot S_x \cdot (v_p + v_{pv})^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 0,32 \cdot 0,756 \cdot (19 + 14)^2 = 22,393 \text{ N} \quad (3.9)$$

$\rho_{vz}$  – hustota vzduchu ( $\rho_{vz} = 1,25 \text{ kg/m}^3$ ),  $c_x$  – součinitel vzdušného odporu ( $c_x = 0,32$ ),  $S_x$  – čelní plocha osoby na koloběžce ( $S_x$  bylo zvoleno přibližně  $0,756 \text{ m}^2$ ),  $v_p$  – průměrná

rychlost koloběžky,  $v_{pv}$  – rychlost protivětru. Čelní plocha osoby byla přibližně spočítána pro výšku osoby 164 cm a šířku 46 cm.

Výpočet odporu stoupání:

$$\begin{aligned} O_s &= m \cdot g \cdot \sin\left(\arctg\left(\frac{s}{100}\right)\right) \\ &= 79,53 \cdot 9,81 \cdot \sin\left(\arctg\left(\frac{5}{100}\right)\right) = 38,96 \text{ N} \end{aligned} \quad (3.10)$$

$s$  – sklon vozovky.

Výpočet zrychlení:

$$O_a = m \cdot a \cdot \vartheta = 79,53 \cdot 0 \cdot 1,05 = 0 \text{ N} \quad (3.11)$$

$\vartheta$  – součinitel vlivu rotačních částí (byla zvolena nízká hodnota 1,05 kvůli uložení motoru v kole, což znamená menší počet rotačních částí než u spalovací motorů [55]),  $a$  – zrychlení koloběžky (zrychlení bylo na začátku pro výpočty zvoleno jako nulové).

Pro překonání všech odporů je potřebný moment:

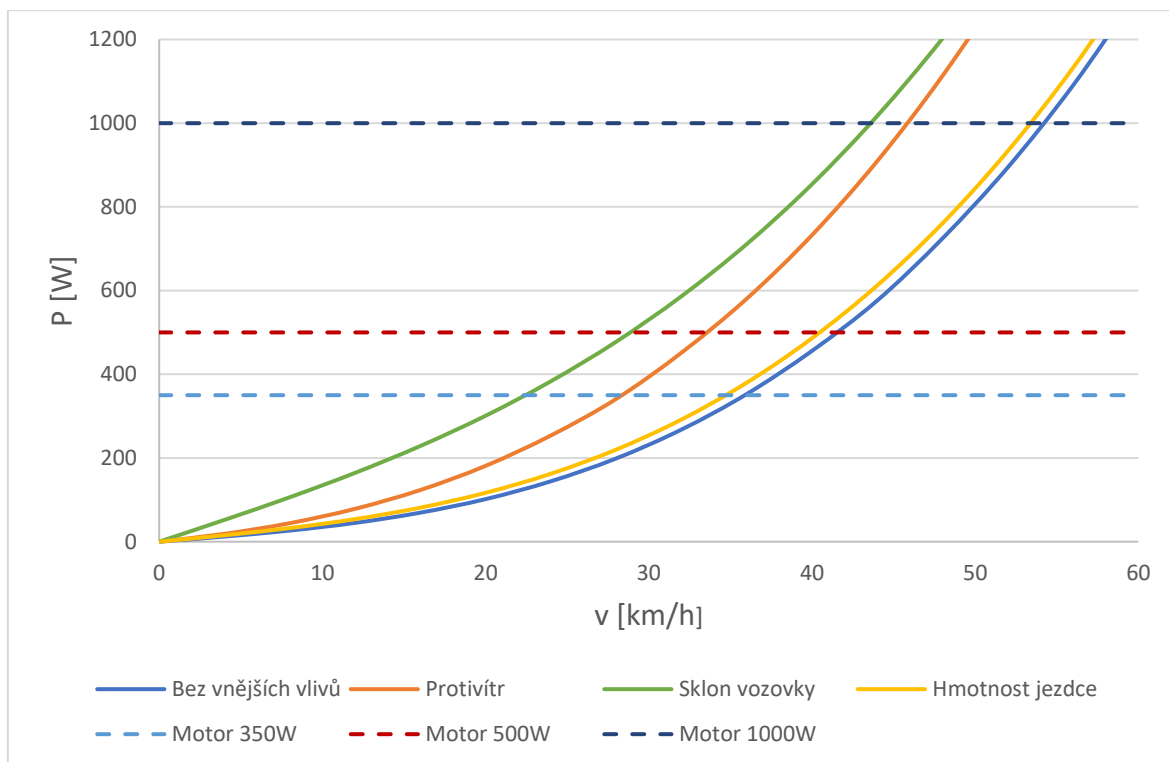
$$M = F \cdot r_d = 79,53 \cdot 0,3498 = 25,55 \text{ Nm} \quad (3.12)$$

$r_d$  – dynamický poloměr pneumatiky (počítá s deformací pneumatiky během jízdy).

$$r_d = 0,92 \cdot \frac{d_k}{2} = 0,92 \cdot \frac{0,7604}{2} = 0,3498 \text{ m} \quad (3.13)$$

Pomocí těchto rovnic bylo provedeno ověření pro dostatečný výkon motoru koloběžky, který je nutný pro její ustálený pohyb.





Obr. 26: Závislost výkonu na rychlosti při různých jízdních podmínkách

Pro srovnání byly pro všechny tři motory zvoleny stejné jízdní podmínky. Při hmotnosti jezdce 60 kg byla zvolena rychlost protivětru  $v_{pv} = 14$  km/h. Tato hodnota vychází z Beaufortovy stupnice, jedná se konkrétně o stupeň 3 – slabý vítr [33]. Jako další byl zvolen sklon vozovky  $s = 5$  %. Posledním jízdním vlivem byla změna váhy jezdce ze 60 kg na 80 kg (v grafu zaneseno jako „Hmotnost jezdce“).

Pro zobrazení výkonu v závislosti na rychlosti byl proveden přepočít výkonu z momentu:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot M \cdot n}{60} \quad (3.14)$$

Z grafu na Obr. 26 je patrné, že při různých jízdních vlivech klesají maximální rychlosti, kterých jsou motory schopné dosáhnout. S většími výkony motorů se lze dostat na vyšší rychlosti. Je však nutné počítat s tím, že při vyšším sklonu vozovky, větším protivětru nebo při vyšší hmotnosti jezdce se tyto rychlosti sníží (např. pro 500 W motor klesne maximální rychlost při zvýšení sklonu vozovky o 5 % z hodnoty 42 km/h na 28 km/h).

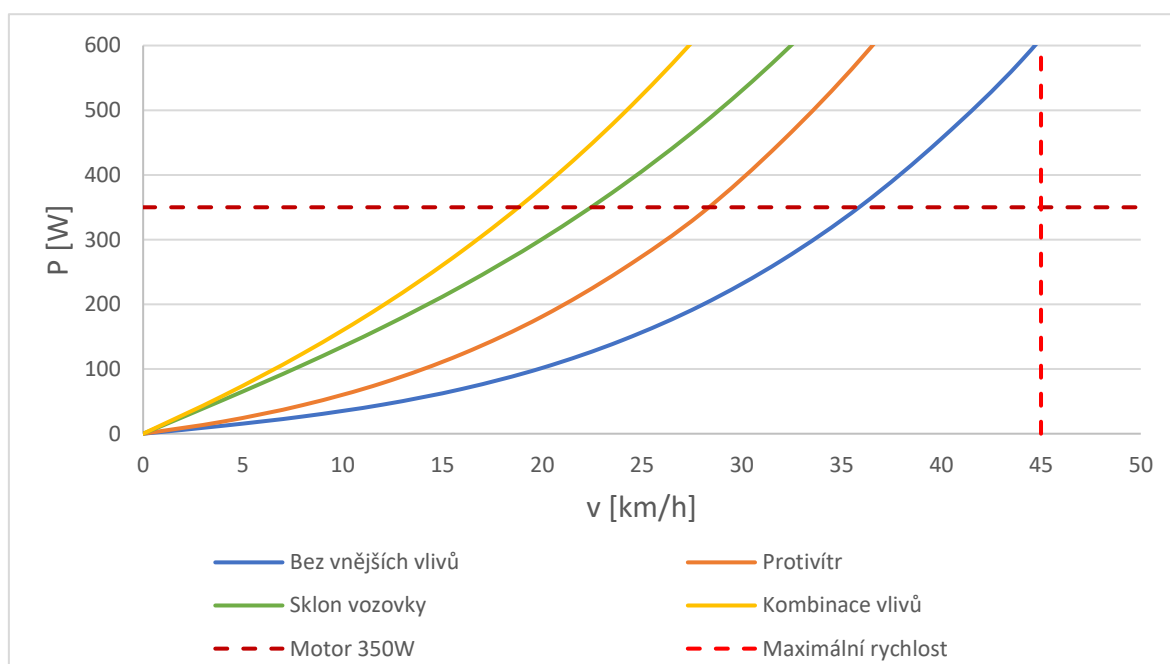
Maximální rychlosti koloběžek byly vypočítány z uvedených otáček u motorů [18]:

$$v_{max} = \frac{n \cdot \pi \cdot d_k}{60} \cdot 3,6 = \frac{320 \cdot \pi \cdot 0,7604}{60} \cdot 3,6 = 45,9 \text{ km/h} \quad (3.15)$$

Tab. 11: Maximální rychlosti koloběžek

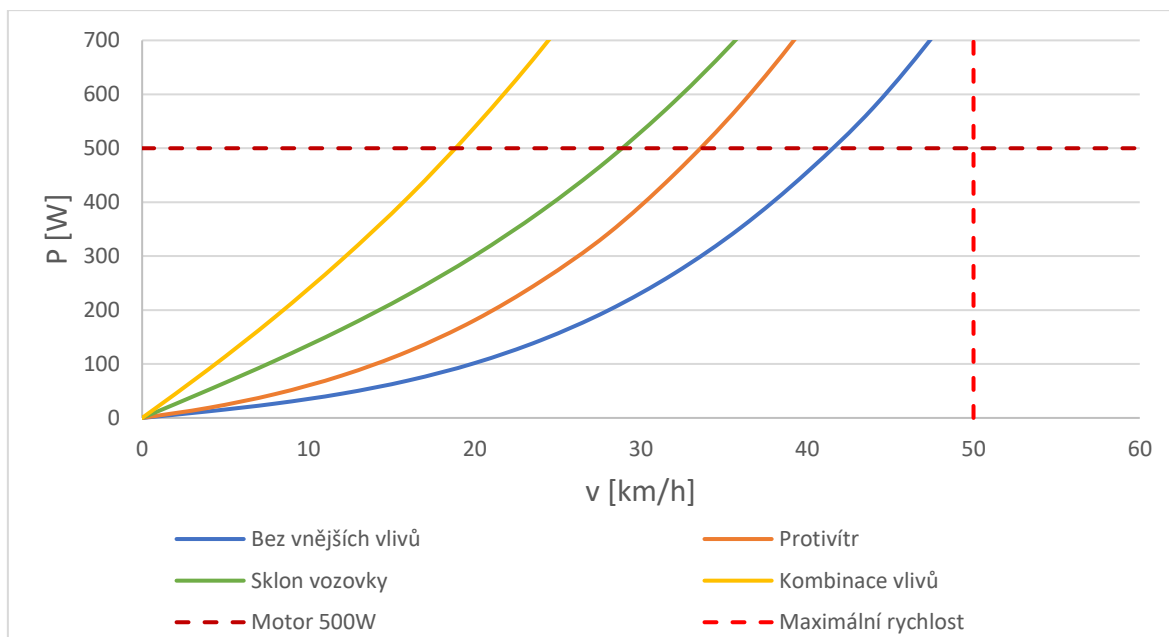
	P = 350 W	P = 500 W	P = 1 000 W
n (ot/min)	320	350	470
v <sub>max</sub> (km/h)	45,9	50,2	67,4

První koloběžka osazená motorem 350 W může (viz. Tab. 11) dosáhnout maximální rychlosti (bez působení vnějších vlivů, na rovině) 45,9 km/hod. Koloběžka s motorem 500 W má maximální rychlost 50,2 km/h a pro 1 000 W je to 67,4 km/h. Tyto rychlosti je však nutné omezit (naprogramováním řídicí jednotky), legislativou je povolena maximální rychlost pouze 25 km/h [36].



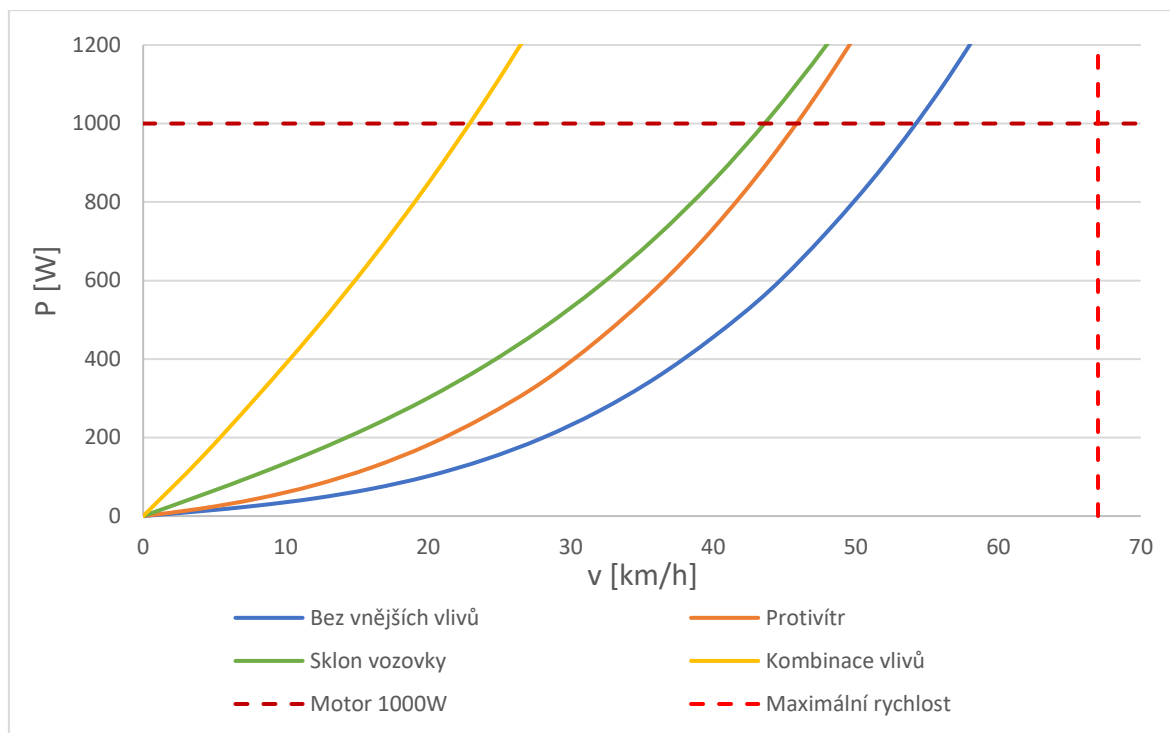
Obr. 27: Graf maximálních rychlostí koloběžky s motorem 350 W

Pro koloběžku s motorem 350 W byly při návrhu zvoleny počáteční jízdní vlivy: váha jezdce – 60 kg, protivítr – 14 km/h, sklon vozovky – 5 %. Jak je vidět z grafu na Obr. 27, při těchto podmínkách může koloběžka jet rychlostí maximálně 19 km/hod. Maximální rychlost, kterou je tento motor schopný vyvinout, je 45 km/h, ale i bez vnějších vlivů dosáhne rychlosti maximálně 35 km/h.



Obr. 28: Graf maximálních rychlostí koloběžky s motorem 500 W

Druhou elektrickou koloběžku bude pohánět motor 500 W, jehož počáteční jízdní podmínky byly zvoleny: váha jezdce – 60 kg, protivítr – 14 km/h, sklon vozovky – 9 %. Stejně jako u první zmíněné koloběžky (350 W), dosahuje i tato při zvolených podmínkách maximální rychlosti 19 km/h, Obr. 28. Výkonnější motor ale zajistí tuto rychlost i při vyšším sklonu (350 W – sklon 5 %, 500 W – sklon 9 %). Maximální rychlost motoru je 67 km/h, které koloběžka při jízdě ale nedosáhne, max. rychlost bez vnějších vlivů je 40 km/h.



Obr. 29: Graf maximálních rychlostí koloběžky s motorem 1 000 W

Poslední koloběžka s motorem 1 000 W má zvolené jízdní podmínky: váha jezdce – 60 kg, protivítr – 20 km/h (dle Beaufortovy stupnice se jedná o mírný vítr – stupeň 4 [33]), sklon vozovky – 15 %. Podle grafu na Obr. 29 dosahuje motor při zvolených podmínkách průměrné rychlosti 23 km/h. Koloběžka dosahuje bez vnějších vlivů nejvyšší rychlosti 55 km/h, motor tedy pokryje rychlosti i pro vlivy jako protivítr nebo větší sklon vozovky.

### 3.2 Výpočet zrychlení koloběžky

Z výpočtu pro sílu lze vyjádřit zrychlení koloběžky:

$$F = O_{val} + O_s + m \cdot a \cdot \vartheta + O_{vz} \quad (3.16)$$

$$a = \frac{\frac{2 \cdot M}{r_d} - O_{val} - O_s - O_{vz}}{m \cdot \vartheta} \quad (3.17)$$

Pomocí rovnice pro výkon lze vyjádřit moment:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot M \cdot n}{60} \quad (3.18)$$

$$M = \frac{P \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad (3.19)$$

Vyjádřená rovnice pro výpočet zrychlení při dosažení výkonu do momentu:

$$a = \frac{2 \cdot \left( \frac{P \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n} \right) - O_{val} - O_s - O_{vz}}{r_d \cdot m \cdot \vartheta} \quad (3.20)$$

$r_d$  – dynamický poloměr pneumatiky ( $r_d = 0,3498$  m),  $\vartheta$  – součinitel vlivu rotačních částí ( $\vartheta = 1,05$ ).

U zvolených BLDC motorů prodejce udává účinnost přibližně 80 % [18]. V reálu je tedy zapotřebí o 20 % vyšší výkon, než je ten udávaný (350 W → 420 W, 500 W → 600, 1 000 W → 1 200 W). Počet otáček byl zvolen v závislosti na motoru podle [18]. Zrychlení bylo počítáno pro různé hmotnosti osoby (jezdce), na rovině ( $s = 0$  %) a bez protivětru. Dále byla vypočítána doba, za kterou koloběžky zrychlí z 0 na 20 km/h.

Tab. 12: Zrychlení koloběžek pro různé hmotnosti jezdce, doba z 0 na 20 km/h

m (kg)	motor 350 W		motor 500 W		motor 1 000 W	
	a (m/s <sup>2</sup> )	t (s)	a (m/s <sup>2</sup> )	t (s)	a (m/s <sup>2</sup> )	t (s)
60	0,58	9,6	0,99	5,6	2,1	2,6
80	0,47	11,8	0,76	7,3	1,67	3,3
100	0,37	15,0	0,61	9,1	1,38	4,0
120	0,29	19,2	0,50	11,1	1,17	4,7

Z vypočtených hodnot v Tab. 12 je například pro osobu o hmotnosti 60 kg, jedoucí na koloběžce s motorem 350 W, výsledné zrychlení 0,58 m/s<sup>2</sup>. Koloběžka je tedy schopna dosáhnout rychlosti 20 km/h z nuly za necelých 10 sekund.

## 4 Dojezd koloběžek

### 4.1 Výpočet teoretického dojezdu koloběžek

Dojezd elektrické koloběžky závisí na více faktorech. Od výrobců/prodejců bývá udáván teoretický dojezd, který závisí na jízdních podmínkách, ale i na váze jezdce. Tento dojezd je v reálu menší, protože na koloběžku působí určité odpory jako například odpor protivětru či odpor stoupání. Byly provedeny stejné výpočty pro všechny tři koloběžky. Výsledné dojezdy se pro různé konfigurace přibližně shodovaly (rozdíl ±1 km). Zvolené parametry: kapacita baterie – 16 000 mAh (pro 36 V je  $E = 576$  Wh, pro 48 V je  $E =$

768 Wh), rychlost protivětru – 14 km/h, průměrná rychlost – 16 km/h, sklon pro středně těžký terén – 3 %, sklon pro těžký terén – 7 %. Totožné výpočty byly provedeny pro váhy jezdců 60 kg, 80 kg, 100 kg a 120 kg. Teoretické dojezdy koloběžek byly stanoveny následovně [34]:

Výkon přepočtený z jízdních odporů pro průměrnou rychlost 16 km/h (příklady dosazení do rovnic jsou pro hmotnost jezdce 60 kg):

$$P = F \cdot \frac{v}{3,6} = 30,21 \cdot \frac{16}{3,6} = 134,24 \text{ W} \quad (4.1)$$

Hodnoty jízdních odporů byly vypočítány stejným způsobem jako v kapitole 3.

Tab. 13: Výpočet výkonu z odporů pro jízdu na rovině,  $s = 0\%$

hmotnost jezdce (kg)	350/500 W		1 000 W	
	celkový odpor F (N)	výkon odporů (W)	celkový odpor F (N)	výkon odporů (W)
60	30,7	136,44	30,21	134,24
80	33,65	149,56	33,15	147,32
100	36,59	162,62	36,09	160,38
120	39,53	175,69	39,03	173,45

Tab. 14: Výpočet výkonu z odporů pro jízdu v mírném terénu,  $s = 3\%$

hmotnost jezdce (kg)	350/500 W		1 000 W	
	celkový odpor F (N)	výkon odporů (W)	celkový odpor F (N)	výkon odporů (W)
60	53,62	238,29	55,1	244,89
80	62,44	277,51	63,94	284,18
100	71,26	316,71	72,76	323,38
120	80,09	355,96	81,58	362,58

Tab. 15: Výpočet výkonů z odporů pro jízdu v těžkém terénu,  $s = 7\%$

hmotnost jezdce (kg)	350/500 W		1 000 W	
	celkový odpor F (N)	výkon odporů (W)	celkový odpor F (N)	výkon odporů (W)
60	84,72	376,52	87,53	389,02
80	101,36	450,49	104,18	463,02
100	118,00	524,44	120,82	536,98
120	134,64	598,40	137,46	610,93

Doba do vybití baterie 16 000 mAh:

$$t (s) = \frac{E(Wh)}{P(W)} = \frac{576}{134,24} = 4,3 h \quad (4.2)$$

E – přepočítaná kapacita baterie ve Wh, P – potřebný výkon pro překonání jízdních odporů.

Teoretický dojezd na jednu baterii:

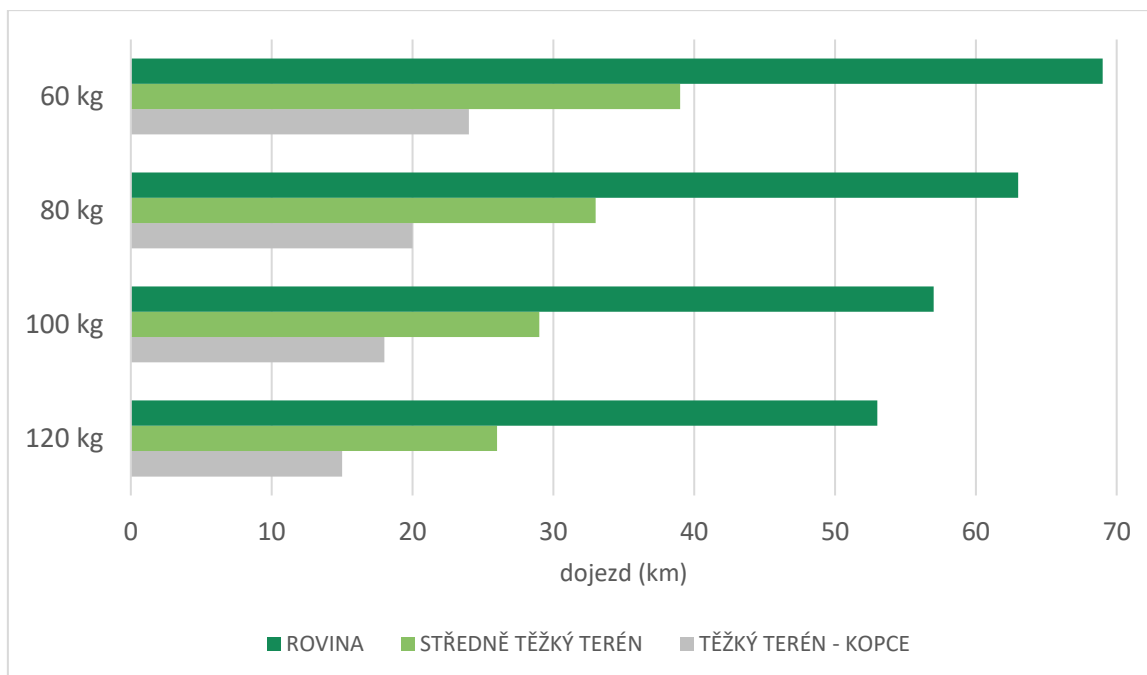
$$s (km) = t(h) \cdot v = 4,3 \cdot 16 = 69 km \quad (4.3)$$

Tab. 16: Teoretické hodnoty pro doby do vybití baterie a dojezdy (350 W, 500 W)

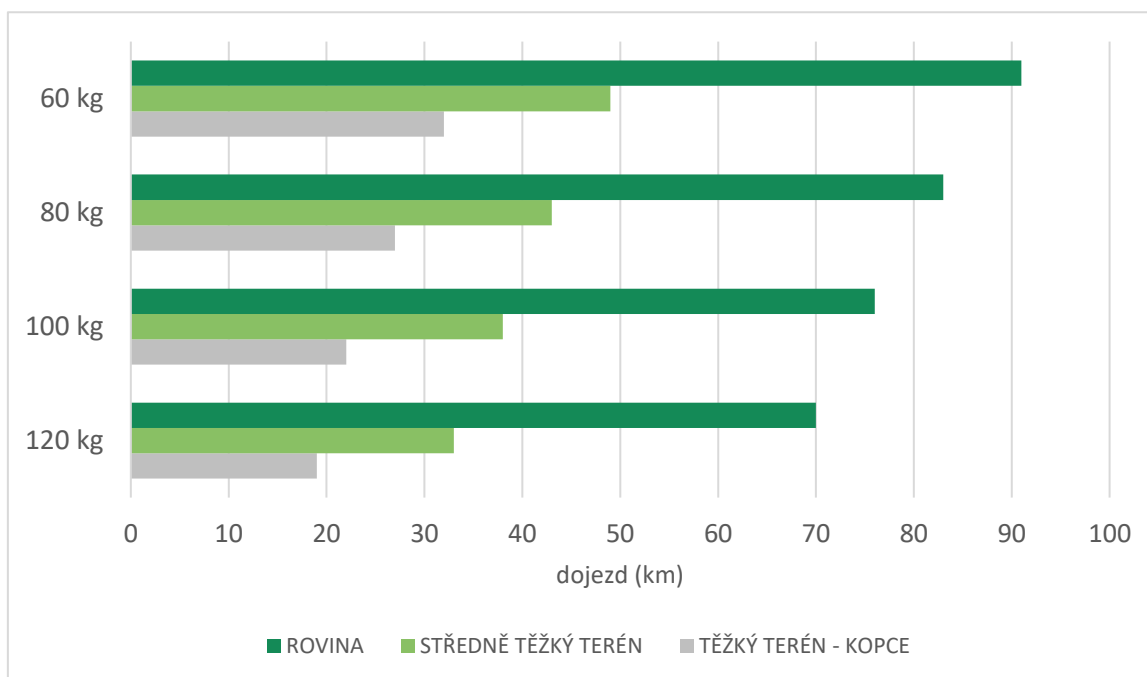
m (kg)	rovina		středně těžký terén		těžký terén	
	t (h)	s (km)	t (h)	s (km)	t (h)	s (km)
60	4,3	69	2,4	39	1,5	24
80	3,9	63	2,1	33	1,3	20
100	3,6	57	1,8	29	1,1	18
120	3,3	53	1,6	26	1,0	15

Tab. 17: Teoretické hodnoty pro doby do vybití baterie a dojezdy (1 000 W)

m (kg)	rovina		středně těžký terén		těžký terén	
	t (h)	s (km)	t (h)	s (km)	t (h)	s (km)
60	5,7	91	3,1	49	2,0	32
80	5,2	83	2,7	43	1,7	27
100	4,8	76	2,4	38	1,4	22
120	4,4	70	2,1	33	1,2	19



Obr. 30: Teoretické dojezdy koloběžek s baterií 16 000 mAh (pro motory 350 W, 500 W)



Obr. 31: Teoretické dojezdy koloběžek s baterií 16 000 mAh (pro motor 1 000 W)

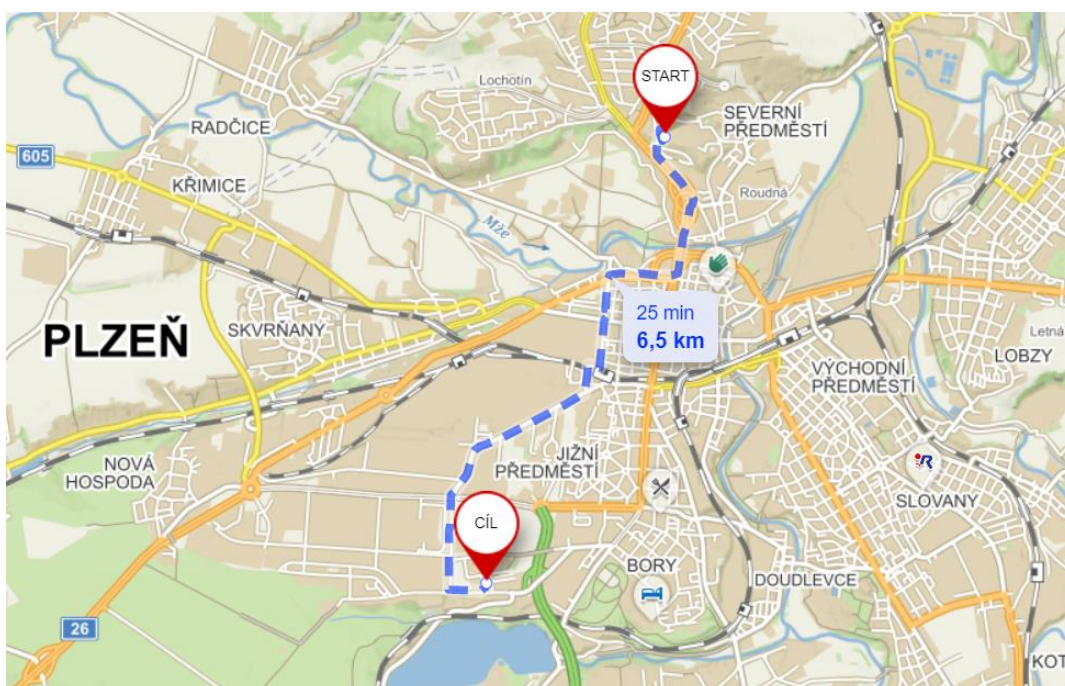
Celkové dojezdy se mění v závislosti na sklonu vozovky i hmotnosti člověka na koloběžce (viz. Obr. 30, Obr. 31). Je tedy patrné, že největšího dojezdu dosáhne při jízdě na rovině člověk s nejnižší hmotností. Pro koloběžku s motorem 350 W (500 W) konkrétně 69 km dojezdové vzdálenosti pro jezdce, který váží 60 kg. S celkovou vahou se dojezdy snižují, stejně jako při vyšším sklonu vozovky, kde je největší rozdíl v dojezdu. Pro šedesátakilového člověka se při jízdě do kopce sníží dojezd ze 69 km na 24 km.



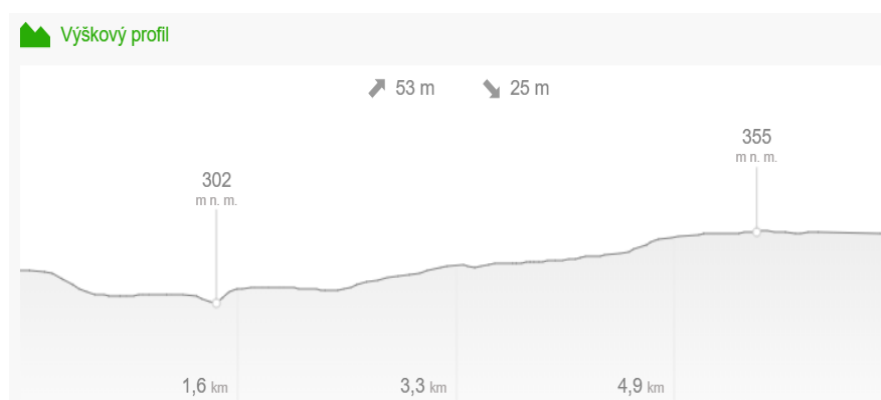
U koloběžky s motorem 1 000 W jsou dojezdové vzdálenosti vyšší ( $E = 768 \text{ Wh}$  oproti  $E = 576$  pro 350 W a 500 W).

## 4.2 Simulace reálné trasy

Koloběžky jsou stále oblíbenějším dopravním prostředkem, a to i u studentů. Pro simulaci reálného provozu koloběžek byla proto vybrána trasa z vysokoškolské koleje Bolevecká 30-32 na Západočeskou univerzitu v Plzni a zpět. Tato trasa má následující parametry [35]:



Obr. 32: Náhled na simulovanou trasu [35]



Obr. 33: Výškový profil simulované trasy [35]

- celková délka trasy: 13 km

Trasa byla pro přesnější parametry rozdělena na více úseků. Cesta na univerzitu:

- 0 – 1,5 km: klesání (11,5 % celkové trati, výškový rozdíl 25 m → sklon 1,7 %)
- 1,5 – 3,3 km: stoupání (13,8 % celkové trati, výškový rozdíl 29 m → sklon 1,6 %)
- 3,3 – 6,5 km: stoupání (24,7 % celkové trati, výškový rozdíl 24 m → sklon 0,8 %)

Cesta z univerzity zpět na vysokoškolskou kolej:

- 6,5 – 9,7 km: klesání (24,7 % celkové trati, výškový rozdíl 24 m → sklon 0,8 %)
- 9,7 – 11,5 km: klesání (13,8 % celkové trati, výškový rozdíl 29 m → sklon 1,6 %)
- 11,5 – 13 km: stoupání (11,5 % celkové trati, výškový rozdíl 25 m → sklon 1,7 %)

Výpočty byly provedeny pro plynulou jízdu při stálé rychlosti 20 km/h. Doba potřebná pro zvládnutí celé trasy je pak při této rychlosti přibližně 40 minut (tj. 20 minut jízdy z koleje na univerzitu nebo zpět). Pro srovnání je zde možnost využití MHD, pro tuto trasu konkrétně z tramvajové zastávky „Pod Záhorskem“ do zastávky „Univerzita“ (tramvaj č. 4). Podle Plzeňských městských dopravních podniků (PMDP) dojede tramvaj do cílové zastávky za 16 minut. Je však nutné přidat čas strávený přesuny na zastávky, které jsou přibližně dalších 10 minut. Celkový potřebný čas při použití MHD je tedy zhruba 26 minut. Čas se však může ještě zvýšit, například z důvodu různých výluk či zpoždění dopravních prostředků.

Zvolené jízdní vlivy pro výpočty: hmotnost jezdce: 80 kg rychlost protivětru: 15 km/h, sklon podle konkrétního úseku. Jízdní odpory byly vypočteny dle výše uvedených rovnic (odpor klesání zvolen jako  $O_{kl} = 0 \text{ N}$ , neuvažujeme rekuperaci). Výpočty byly provedeny podle [34]:

Potřebné síly k překonání odporů při jízdě na různých sklonech vozovky:

Tab. 18: Jízdní odpory pro reálnou trasu, motor 350 W

	Motor 350 W			
	stoupání 0,8 %	stoupání 1,6 %	stoupání 1,7 %	klesání
odpor stoupání (N)	7,81	15,62	16,59	0
odpor valení (N)	14,65	14,65	14,65	14,65
odpor vzduchu (N)	25,19	25,19	25,19	25,19
odpor celkem (N)	47,65	55,46	56,43	39,84

Tab. 19: Jízdní odpory pro reálnou trasu, motor 500 W

	Motor 500 W			
	stoupání 0,8 %	stoupání 1,6 %	stoupání 1,7 %	klesání
odpor stoupání (N)	7,82	15,63	16,61	0
odpor valení (N)	14,66	14,66	14,66	14,66
odpor vzduchu (N)	25,19	25,19	25,19	25,19
odpor celkem (N)	47,67	55,48	56,46	39,85

Tab. 20: Jízdní odpory pro reálnou trasu, motor 1 000 W

	Motor 1 000 W			
	stoupání 0,8 %	stoupání 1,6 %	stoupání 1,7 %	klesání
odpor stoupání (N)	8,08	16,16	17,17	0
odpor valení (N)	15,15	15,15	15,15	15,15
odpor vzduchu (N)	25,19	25,19	25,19	25,19
odpor celkem (N)	48,42	56,5	57,51	40,34

Výsledná síla pro překonání odporů při simulaci provozu (příklady dosazení pro motor 350 W) byla určena jako součet celkových odporů pro jednotlivé úseky trasy:

- stoupání 0,8 %

$$F = 0,247 \cdot O_{s_c} = 0,247 \cdot 47,65 = 11,77 \text{ N} \quad (4.4)$$

- stoupání 1,6 %

$$F = 0,138 \cdot O_{s_c} = 0,138 \cdot 55,46 = 7,65 \text{ N} \quad (4.5)$$

- stoupání 1,7%

$$F = 0,115 \cdot O_{s_c} = 0,115 \cdot 47,65 = 5,48 \text{ N} \quad (4.6)$$

- klesání

$$\begin{aligned} F &= 0,115 \cdot O_{kl_c} + 0,138 \cdot O_{kl_c} + 0,247 \cdot O_{kl_c} \\ &= 0,115 \cdot 39,84 + 0,138 \cdot 39,84 + 0,247 \cdot 39,84 \\ &= 19,92 \text{ N} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Součet potřebných sil na úsecích:

$$F = 11,77 + 7,65 + 5,48 + 19,92 = 44,82 \text{ N} \quad (4.7)$$

Celkové dojezdy na jedno nabití koloběžky byly provedeny pro kapacitu baterie 20 000 mAh (20 Ah). Tato kapacita byla pro výpočty snížena o 20 %. V reálném provozu nebude koloběžka používána v rozsahu nabití baterie 0–100 %, ale spíše v rozmezí 20-100 % (10-90 %), také kvůli nutnosti správného zacházení s lithiovými bateriemi.

Tab. 21: Potřebné síly pro překonání jízdních odporů a vypočtené dojezdové vzdálenosti

	motor 350 W	motor 500 W	motor 1 000 W
F (N)	44,82	45,84	46,54
P (W)	249,0	254,67	258,56
C (Ah)	16	16	16
E (Wh)	576	576	768
t (h)	2,31	2,26	2,97
s (km)	46,2	45,2	59,4

Při jízdě na simulované trase jsou podle Tab. 21 dojezdy koloběžek do jejich vybití: 46,2 km (350 W motor), 45,2 km (500 W) a 59,4 km (1 000 W). V průběhu jízdy je sklon

vozovky menší (max. 1,7 %), nevyužijí se proto maximální výkony motorů, ale pouze jejich potřebná část pro tuto konkrétní trasu. Celková délka trasy je 13 km, podle výsledných dojezdů na jedno nabití jsou koloběžky s motory 350 W a 500 W schopné tuto trasu zvládnout třikrát na jedno nabití, s motorem 1 000 W čtyřikrát.

#### 4.2.1 Úbytek baterie na simulované trase

Navrhované koloběžky mají na simulované trase, respektive při jejich jízdách podmínkách, různé dojezdy. Při použití 350 W motoru a baterie s kapacitou 576 Wh je dojezd koloběžky 46,2 km (při rychlosti 20 km/h). Po přepočtu těchto hodnot dochází k úbytku kapacity baterie o 12,47 Wh při každém ujetém kilometru. Podobné přepočty platí i pro zbylé dva motory.

Tab. 22: Úbytek kapacity baterie pro simulovanou trasu

	motor 350 W	motor 500 W	motor 1 000 W
úbytek kapacity na 1 km (Wh)	12,47	12,74	12,93

Z úbytků kapacity, které byly určeny pro 1 km jízdy při rychlosti 20 km/h, lze získat celkový úbytek pro simulovanou trasu. Lze ho jednoduše vypočítat vynásobením délky požadované trasy, v tomto případě se jedná o 13 km. Budeme uvažovat baterii nabitou na 100 % své kapacity.

Tab. 23: Výsledné úbytky kapacity baterie pro simulovanou trasu

	motor 350 W	motor 500 W	motor 1 000 W
původní kapacita (Wh)	720	720	960
úbytek kapacity (Wh)	162,11	165,62	168,09
koncová kapacita (Wh)	557,89	554,38	791,91
koncová kapacita (%)	77	77	82

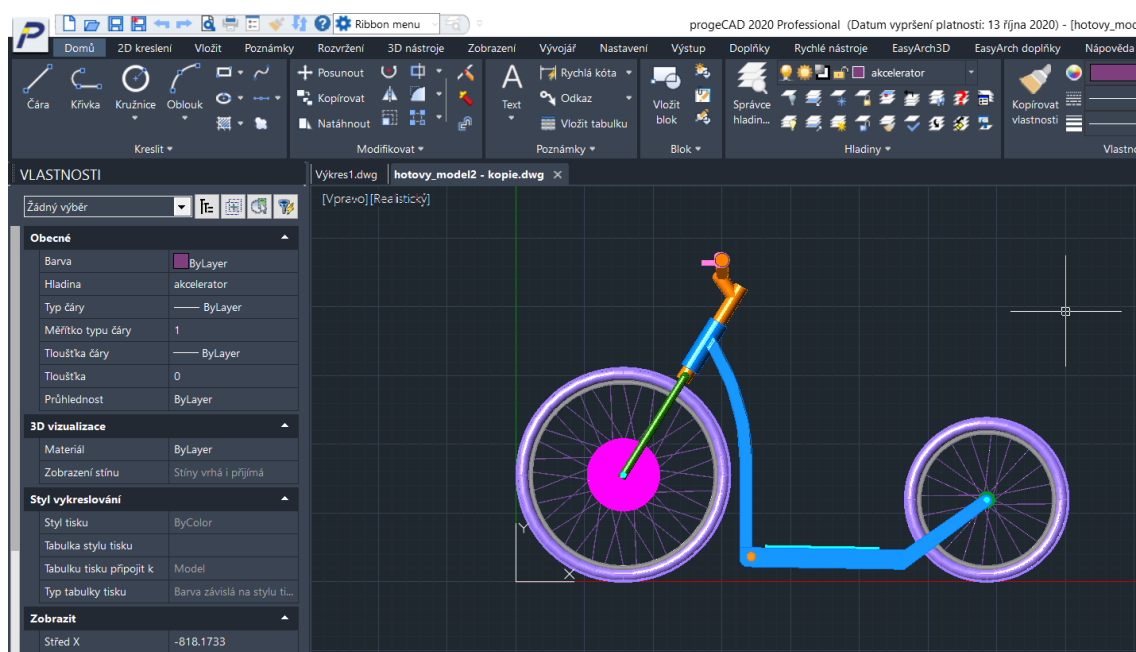
Podle Tab. 23 budou baterie u koloběžek s motory 350 W a 500 W po dokončení trasy na 77 % své kapacity, s motorem 1 000 W pak na 82 % kapacity.

## 5 Stanovisko k používání elektrokol a elektrokoloběžek

Elektrokoloběžky se považují za dopravní prostředek a při jejich uvedení do provozu je tedy nutné splňovat určité podmínky. Tím se zabývá vyhláška **Ministerstva dopravy č. 341/2014 Sb.** o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích (konkrétně část z přílohy č. 12). Maximální povolená rychlost je 25 km/h. Ve vyhlášce je také uvedeno, že maximální výkon pohonu koloběžky musí být do 1 kW (1 000 W). Při vyšším výkonu je možnost ho u odborníka snížit na požadované hodnoty, v opačném případě není koloběžka určena k legálnímu provozu na veřejných komunikacích. [36]

## 6 Návrh 3D modelu koloběžky

Pro všechny tři koloběžky byl navržen stejný rám. Baterie byla umístěna do náslapu a řídicí jednotka do rámu koloběžky. Bylo proto nutné počítat s tím, aby se tyto komponenty rozměrově do rámu vešly, a proto byly zvoleny rozměry největší řídicí jednotky a baterie. Přední kolo o rozměru ráfku 26“ je dostatečně velké pro umístění každého ze tří motorů, rozměr zadního kola je 20“ Pro návrh bylo vycházeno z koloběžky MAMIBIKE EASY 2020 [39]. Modelování bylo provedeno v programu progeCAD 2020, ke kterému byla poskytnuta licence pro studijní účely od ZČU.



Obr. 34: Ukázka prostředí programu progeCAD s hotovým 3D modelem

Hotový 3D model byl po jeho vytvoření upraven do výsledné podoby pomocí renderování (vytvoření reálného obrazu ze 3D modelu) a jednotlivým částem koloběžky byl přiřazen vhodný materiál (např. ocel pro rám koloběžky).



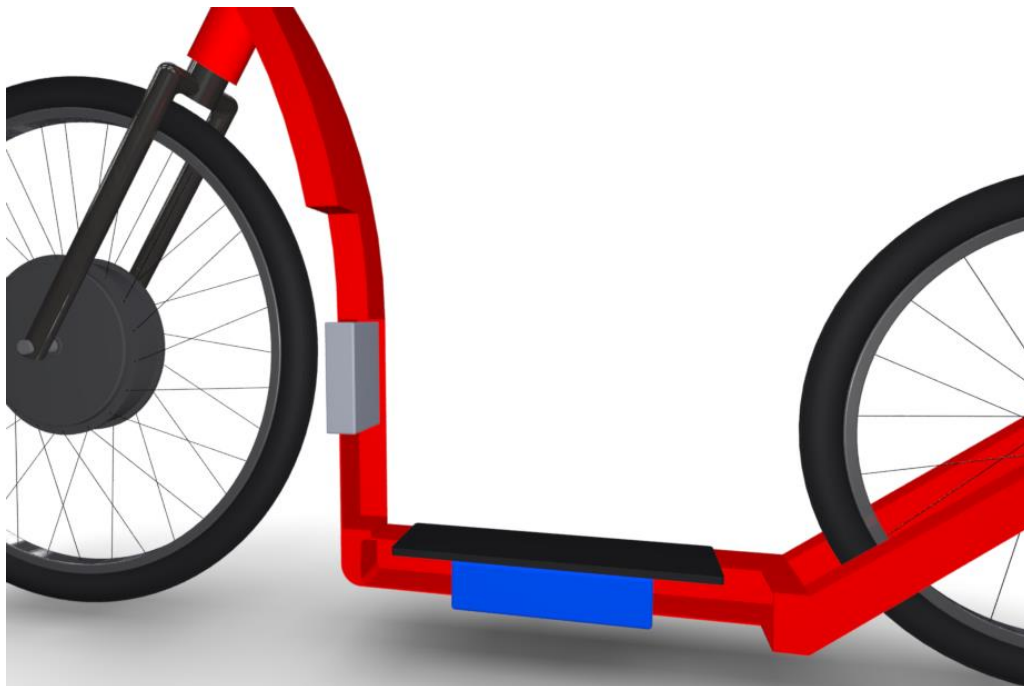
Obr. 35: 3D model navrhované koloběžky

*Navržená elektrická koloběžka má akceleračtor řešen pomocí otočné rukojeti. Rychlost bude možno udržovat na stálé hodnotě naprogramováním řídicí jednotky.*



Obr. 36: Akceleračtor řešený jako otočná rukojeť

Pro baterii a řídicí jednotku bylo nutné dodržet takové rozměry rámu, aby je do něj bylo možné umístit (Obr. 37). Baterii umístěnou v nášlapu je možno nabíjet přes nabíjecí konektor (viz obrázek 27) umístěný vpředu ze strany nášlapu.



Obr. 37: Řez rámem - řídicí jednotka umístěná v rámu, baterie v nášlapu

## 7 Kalkulace pro navrhované koloběžky

Celková cena elektrické koloběžky se odvíjí od použitých komponent. Zde jsou výsledné kalkulační údaje pro všechny tři navrhované koloběžky:

Tab. 24: Kalkulace výsledných cen navrhovaných koloběžek

	koloběžka s motorem 350 W	koloběžka s motorem 500 W	koloběžka s motorem 1 000 W
rám (ocel)	5 000,-	5 000,-	5 000,-
lakování rámu	1 000,-	1 000,-	1 000,-
vidlice	2 000,-	2 000,-	2 000,-
motor *	5 120,-	5 600,-	5 950,-
baterie	8 225,-	8 225,-	10 692,-
nabíječka	1 490,-	1 490,-	1 490,-
zadní kolo (ráfek)	749,-	749,-	749,-
plášť přední	235,-	235,-	235,-
plášť zadní	149,-	149,-	149,-
akcelerátor	390,-	390,-	390,-
brzdy	490,-	490,-	490,-
řídítka	300,-	300,-	300,-
světla	129,-	129,-	129,-
cena celkem:	25 277,- Kč	25 757,- Kč	28 574,- Kč



\* sada: motor, 26“ ráfek s výpletem, řídicí jednotka, LCD displej, brzdové páčky

Výsledné ceny koloběžek jsou pouze orientační, ale poskytují jistou představu o zhotovení vlastní koloběžky na míru. Všechny potřebné komponenty se dají pořídit již hotové, nebo je zde možnost nechat si vyrobit rám či baterii na zakázku podle svých potřeb. Podle ceny se hotové koloběžky mohou porovnat s koloběžkou MAMIBIKE EASY 2020 [39], která stojí 29 500,- Kč.

Tab. 25: Porovnání navržených koloběžek s prodávanou koloběžkou ve stejné cenové relaci

	MAMIBIKE EASY 2020	koloběžka s motorem 350 W	koloběžka s motorem 500 W	koloběžka s motorem 1 000 W
výkon [W]	250	350	500	1000
max. rychlost [km/h]	25	46	50	67
dojezd [km]	25-35	63-69	63-69	83-91
materiál rámu	ocel	ocel	ocel	ocel
hmotnost [kg]	18,0	19,53	19,6	23,0

V Tab. 25 jsou porovnány základní parametry navrhovaných koloběžek s již prodávanou elektrokoloběžkou MAMIBIKE EASY 2020. Se skoro totožnou cenovkou má tato koloběžka osazen motor v kole pouze o výkonu 250 W a její dojezd na jedno nabití je oproti koloběžce s motorem 350 W přibližně dvakrát menší.

## Závěr

Tato bakalářská práce měla za cíl popsat komponenty potřebné pro stavbu elektrické koloběžky, poté ji i navrhnout a zjistit výslednou cenu pro její sestavení. Pro porovnání jízdních vlastností byly navrženy tři koloběžky s BLDC motory o různých výkonech – 350 W (36 V), 500 W (36 V) a 1 000 W (48 V).

V kapitole 1 jsou uvedeny již prodávané elektrické koloběžky od českých i zahraničních výrobců. Pro porovnání vybraných koloběžek byly vybrány určité parametry – výkon (P), dojezd (km), maximální rychlost (km/h), kapacita baterie (mAh), materiál rámu, hmotnost koloběžky (kg) a celková cena (Kč).

V kapitole 2 jsou popsány potřebné komponenty pro sestavení elektrické koloběžky. Motor byl u každé z nich umístěn do předního kola, vybrané motory byly již vypletené v ráfku kola. Pro koloběžky byl zvolen společný ocelový rám s velikostí kol 26“ (přední) a 20“ (zadní). Stejně zvolená byla i kapacita lithiových baterií jako  $C_b = 16\,000\text{ mAh}$ . Pro výrobu baterií 36 V a 48 V bylo nutné zvolit vhodné články a zjistit jejich potřebné množství pro požadovanou kapacitu a napětí. Pro 36 V baterii je to konkrétně 50 článků (pro 48 V baterii celkem 65 článků). Baterie byla uložena do nášlapu rámu koloběžky, bylo proto nutné zajistit dostatečné rozměry rámu pro její umístění. Dále byly zvoleny vhodné nabíječky pro lithiové baterie a vypočteny jejich přibližné doby nabíjení ( $t = 4,8\text{ h}$  pro 36 V baterii,  $t = 6,4\text{ h}$  pro 48 V baterii). K sestavení koloběžky bylo dále potřeba zajistit zadní 20“ kolo, plášť, brzdy, řídítka, akcelerátor a světla. Další komponenty jako vhodná řídicí jednotka, displej a brzdové páčky byly již součástí setu u vybraných motorů. Pro všechny komponenty byly nalezeny jejich ceny pro celkovou kalkulaci.

V kapitole 3 jsou provedeny výpočty pro zjištění jízdních vlastností navrhovaných koloběžek. Byly nastaveny počáteční parametry: hmotnost osoby  $m_o = 60\text{ kg}$ , celková hmotnost koloběžky  $m_k = 19,53\text{ kg}$  (350 W),  $m_k = 19,6\text{ kg}$  (500 W),  $m_k = 23\text{ kg}$  (1 000 W), průměr ráfku  $d_r = 0,6604\text{ m}$ , celkový průměr kola  $d_k = 0,7604\text{ m}$ , napětí baterie  $U_{\max} = 36\text{ V}$  (350/500 W),  $U_{\max} = 48\text{ V}$  (1 000 W). Provedením výpočtů byly zjištěny jízdní charakteristiky motorů (viz Obr. 26-29) pro různé vnější vlivy – sklon vozovky, protivítr, vyšší hmotnost jezdce. Dále byly z uvedených otáček zjištěny maximální rychlosti, kterých

jsou vybrané motory schopné dosáhnout:  $v_m = 45,9$  km/h (350 W),  $v_m = 50,2$  km/h (500 W),  $v_m = 67,4$  km/h (1 000 W). Koloběžky však v reálu dosáhnou menších maximálních rychlostí i bez působení vnějších vlivů (viz Obr. 26-29). Dalším požadovaným parametrem koloběžek bylo jejich zrychlení, které bylo spočteno pomocí výkonů. Nejslabší zvolený motor dokáže s jezdce o hmotnosti 60 kg zrychlit na rovině z 0 na 20 km/h za necelých 10 vteřin, nejsilnější motor za necelé 3 vteřiny. Při změně hmotnosti osoby jedoucí na koloběžce na 120 kg se tyto hodnoty změny na necelých 20 vteřin a 5 vteřin.

V kapitole 4 jsou zjištěny dojezdové vzdálenosti koloběžek a doby do vybití baterie. Byly provedeny výpočty teoretických dojezdů při jízdě na rovině ( $s = 0\%$ ), v mírném terénu ( $s = 3\%$ ) a v těžkém terénu ( $s = 7\%$ ). Při hmotnosti jezdce 60 kg je dojezd na rovině pro 350/500 W motory  $s = 69$  km, pro 1 000 W motor  $s = 91$  km. Do kopce ( $s = 7\%$ ) se tyto hodnoty snížily na 24 km a 32 km. Dojezdové vzdálenosti se odlišovaly při změně sklonu i změně hmotnosti jezdce (viz. Obr. 30-31). Následně byla provedena simulace reálného provozu, kde byla pro navrhované koloběžky zvolena trasa z vysokoškolské koleje Bolevecká 30-32 na Západočeskou univerzitu v Plzni a zpět (celková délka trasy 13 km). Výpočty byly provedeny obdobně jako u teoretických dojezdů pro průměrnou rychlost  $v = 20$  km/h. Koloběžky s motory 350 W a 500 W jsou schopné tuto trasu absolvovat celkem třikrát na jedno nabití baterie, s 1 000 W motorem čtyřikrát.

V kapitole 5 je zobrazen výsledný 3D model koloběžky vytvořený v programu progeCAD, který byl pomocí renderování uveden do reálné podoby. Při navrhování rámu bylo vycházeno z koloběžky MAMIBIKE EASY 2020. Na Obr. 37 je vidět řešení pro umístění řídicí jednotky v rámu a baterie v nášlapu koloběžky.

Kapitola 6 zahrnuje kalkulace výsledných cen navrhovaných elektrických koloběžek. Výsledné ceny byly zjištěny sečtením cen za jednotlivé použité komponenty: 26 541,- Kč (350 W), 27 021,- Kč (500 W), 28 572,- Kč. Koloběžky byly nakonec porovnány s prodávanou koloběžkou ve stejné cenové relaci (MAMIBIEK EASY 2020, cena: 29 500,- Kč). Za přibližně stejnou cenu mají navrhované koloběžky lepší výsledné parametry – výkonnější motory (350/500/1000 W oproti 250 W) a delší dojezdové vzdálenosti na jedno nabití. Udávaný dojezd pro koloběžku MAMIBIKE je 25-35 km, vypočítané dojezdy pro navržené koloběžky:  $s = 63-69$  km (350/500 W),  $s = 83-91$  km (1 000 W).

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Elektrická koloběžka - Elektrický Dsvět. Elektrická koloběžka | Elektrický longboard | ElektrickySvet.cz [online]. Copyright © 2016 [cit. 12.04.2020]. Dostupné z: <https://www.elektrickysvet.cz/elektricka-kolobezka-elektrokolobezka>
- [2] V Protolabu vznikl unikát - první 3D koloběžka na světě - VŠB-TUO. 302 Found [online]. Dostupné z: <https://www.vsb.cz/cs/detail-novinky?reportId=38181>
- [3] KŮS, Václav. Elektrické pohony a výkonová elektronika. V Plzni: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-422-8.
- [4] Rámová alchymie / ŠTĚRBA-KOLA.cz. Jízdní kola, komponenty, doplňky / ŠTĚRBA-KOLA.cz [online]. Dostupné z: <https://www.sterba-kola.cz/item/ramova-alchymie>
- [5] BARTOŠ, Václav. Elektrické stroje. Plzeň: Západočeská univerzita, 2006. ISBN 978-80-7043-444-4.
- [6] BLDC aneb DC motor s nulovými náklady na údržbu - Časopis Elektro - Odborné časopisy. Odborné časopisy [online]. Copyright © 2014 [cit. 29.04.2020]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/bldc-aneb-dc-motor-s-nulovymi-naklady-na-udrzbu--10016>
- [7] BARTOŠ, Václav. Elektrické stroje. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2004. ISBN 80-7043-332-9.
- [8] 3. Ústav počítačové a řídicí techniky [online]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F3/F3k34-sprg.htm>
- [9] Elektromotory pro elektrokola - Jak na elektrokolo?. Elektromotory pro elektrokola - Jak na elektrokolo? [online]. Copyright © 2016 [cit. 5.05.2020]. Dostupné z: <https://jak-na-elektrokolo.cz>
- [10] CENEK, Miroslav. Akumulátory od principu k praxi. Praha: FCC Public, 2003. ISBN 80-86534-03-0.
- [11] CENEK, Miroslav. Akumulátory a baterie. Praha: STRO.M, 1996. Knižnice Elektro.
- [12] Li-ion baterie: principy, provoz, rady (1.část) - Cnews.cz. Cnews.cz | Od tranzistorů až po PC sestavy [online]. Dostupné z: <https://www.cnews.cz/li-ion-baterie-principy-provoz-rady-1-cast/>
- [13] Scienceworld | Jak se starat o různé druhy baterií – paměťové a jiné efekty. Science World.cz | Novinky ze světa vědy a techniky: technologie, neživá příroda, člověk, biologie [online]. Dostupné z: <https://www.scienceworld.cz/aktuality/jak-se-starat-o-ruzne-druhy-baterii-pametove-a-jine-efekty/>
- [14] AKUMO.cz | Největší prodejce elektokol [online]. Dostupné z: <https://www.akumo.cz/baterie-do-elektricke-kolobezky-nejvhonejsi-typ-baterie-do-elektrokolobezky>
- [15] KICKBIKE Race Max 20 rám koloběžky - Svět koloběžek. Svět koloběžek - koloběžky pro děti i dospělé [online]. Copyright © 2009 [cit. 20.05.2020]. Dostupné z: <https://www.svetkolobezek.cz/sportovni-kolobezky/kickbike-race-max-20-ram-kolobezky/>
- [16] Rám pro koloběžku MIBO Revoo EVO bez barvy | Koloběžky-Plzeň. Koloběžky-Plzeň [online]. Dostupné z: <https://www.kolobezky-plzen.cz/canard-zero-cz/eshop/-1-/-4-5/1879-Ram-pro-kolobezku-MIBO-Revoo-EVO-bez-barvy>
- [17] Testování tří králů | Články | Koloběžkový portál. [online]. Copyright © 2017 [cit. 04.06.2020]. Dostupné z: <http://www.kolobezkovyportal.cz/cs/clanky/testovani-tri-kralu-314>
- [18] Electric bike kit 26" rear wheel dropout 135mm fits disc/ V brake bicycle conversion 250/350/500W 36/48V 1000W/1500W Ebike kit|Electric Bicycle Motor| - AliExpress. 302

- Found [online]. Copyright © [cit. 05.06.2020]. Dostupné z: [https://www.aliexpress.com/item/4000796648229.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.38681269MDpPcW&algo\\_pvid=4c288864-01f7-41c7-a77d-fd3231af4cc6&algo\\_expid=4c288864-01f7-41c7-a77d-fd3231af4cc6-0&btsid=0ab6fa8115917137264177619eeac6&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_,searchweb201603\\_](https://www.aliexpress.com/item/4000796648229.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.38681269MDpPcW&algo_pvid=4c288864-01f7-41c7-a77d-fd3231af4cc6&algo_expid=4c288864-01f7-41c7-a77d-fd3231af4cc6-0&btsid=0ab6fa8115917137264177619eeac6&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_)
- [19] Baterie pro elektrokola | EKOLO.CZ. ELEKTROKOLA - U NÁS JE NEJVĚTŠÍ VÝBĚR V ČESKU [online]. Copyright © 2007 [cit. 08.06.2020]. Dostupné z: <https://ekolo.cz/baterie-elektrokola>
- [20] How To Build A DIY Electric Bicycle Lithium Battery From 18650 Cells - EbikeSchool.com. Home - EbikeSchool.com [online]. Copyright © 2020 [cit. 10.06.2020]. Dostupné z: <http://www.ebikeschool.com/how-to-build-a-diy-electric-bicycle-lithium-battery-from-18650-cells/>
- [21] Neven - Elektronické součástky - Baterie - Samsung 18650 3200mAh ICR18650. Neven - Úvod [online]. Copyright © Neven [cit. 2.06.2020]. Dostupné z: <https://www.neven.cz/kategorie/elektronicke-soucastky/baterie/samsung-18650-3200mah-icr18650/>
- [22] 3. Ústav počítačové a řídicí techniky [online]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F3/F3k34-sprg.htm>
- [23] Řídicí jednotka 1000W 48V Captain, StreetRider, DirtKing - Minibike Shop. Minibike Shop, Minibike, Minicross, Náhradní díly pro minibike [online]. Copyright © [cit. 10.06.2020]. Dostupné z: <https://www.minibike-shop.cz/nahradni-dily-elektricke-kolobezky/1789-ridici-jednotka-1000w-48v-captain-stretrider-dirtking.html>
- [24] Řídicí jednotky | elektrokola, středový pohon, shop-elektrokola.cz. Úvodní stránka | elektrokola, středový pohon, shop-elektrokola.cz [online]. Copyright © elektrokola, středový pohon, shop [cit. 11.06.2020]. Dostupné z: <http://shop-elektrokola.cz/ridici-jednotky-c47/?sort=na&dsp=line&onpage=32>
- [25] Sady akumulátorů pro elektro vozítka - široká nabídka | AKUMO.cz. AKUMO.cz | Největší prodejce elektrokol [online]. Dostupné z: <https://www.akumo.cz/sady-akumulatoru>
- [26] EVBIKE baterie na rám 36V, 20Ah - Svět koloběžek. Svět koloběžek - koloběžky pro děti i dospělé [online]. Copyright © 2009 [cit. 11.06.2020]. Dostupné z: <https://www.svetkolobezek.cz/baterie/evbike-baterie-na-ram-36v-20ah/>
- [27] Panasonic 48v 18Ah 13S3P Lithium ion Battery Pack For 48V E bike Electric bicycle Scooter with discharge BMS+charger|Battery Packs| - AliExpress. 302 Found [online]. Copyright © [cit. 11.06.2020]. Dostupné z: [https://www.aliexpress.com/item/4000752649166.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.5182f8a36Ahqih&algo\\_pvid=d98dfd0a-c465-4f4c-bc2c-b2b55df27053&algo\\_expid=d98dfd0a-c465-4f4c-bc2c-b2b55df27053-13&btsid=0be3769015918849467043856ed482&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_,searchweb201603\\_](https://www.aliexpress.com/item/4000752649166.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.5182f8a36Ahqih&algo_pvid=d98dfd0a-c465-4f4c-bc2c-b2b55df27053&algo_expid=d98dfd0a-c465-4f4c-bc2c-b2b55df27053-13&btsid=0be3769015918849467043856ed482&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_)
- [28] Neven - Elektronické součástky - Baterie. Neven - Úvod [online]. Copyright © Neven [cit. 11.06.2020]. Dostupné z: <https://www.neven.cz/kategorie/elektronicke-soucastky/baterie/>
- [29] Elektrokoloběžky MAMI bike - unikátní česká koloběžka [online]. Copyright © [cit. 11.06.2020]. Dostupné z: <https://www.mamibike.cz/wp-content/uploads/2019/05/manuál-mamibike-elektro-EASY.pdf>
- [30] RÁMY A RÁMOVÉ SETY | Koloběžky-Plzeň. Koloběžky-Plzeň [online]. Dostupné z: <https://www.kolobezky-plzen.cz/canard-zero-cz/eshop/250-1-RAMY-A-RAMOVE-SETY/0/5/1878-Ramovy-set-MIBO-Malaga-26-20>

- [31] How Brushless Motor and ESC Work - HowToMechatronics. How To Mechatronics [online]. Copyright © 2019 HowToMechatronics.com. All rights reserved. [cit. 12.06.2020]. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-brushless-motor-and-esc-work/>
- [32] VLK, František. Dynamika motorových vozidel: jízdní odpory: hnací charakteristika: brzdění: odpruženost: říditelnost, ovladatelnost: stabilita. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5273-6.
- [33] Beaufortova stupnice rychlosti větru . Předpověď počasí a meteoradar | Meteogram.cz [online]. Copyright © Meteogram.cz 2020, [cit. 15.06.2020]. Dostupné z: <https://www.meteogram.cz/beaufortova-stupnice-rychlosti-vetru/>
- [34] MAREK, Václav. Konstrukční návrh skeletu sportovního elektromobilu. Diplomová práce, Západočeská univerzita v Plzni, 2015
- [35] Mapy.cz. Mapy.cz [online]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?planovani-trasy&x=13.3635405&y=49.7430395&z=13&rc=93zbsxVte3ix2xW2DI&rs=pubt&rs=addr&ri=15207369&ri=9065113&mrp=%7B%22c%3A121%7D&xc=%5B%5D>
- [36] Ministerstvo dopravy ČR - Ministerstvo. Ministerstvo dopravy ČR - Domovská stránka [online]. Copyright © 2020 Ministerstvo dopravy ČR [cit. 04.05.2020]. Dostupné z: [https://www.mdcz.cz/Ministerstvo/Zadost-o-poskytnuti-informace-\(1\)/Poskytnute-informace/Provoz-kolobezky-s-elektrickym-pohonem,-tzv-elekt](https://www.mdcz.cz/Ministerstvo/Zadost-o-poskytnuti-informace-(1)/Poskytnute-informace/Provoz-kolobezky-s-elektrickym-pohonem,-tzv-elekt)
- [37] Mi Global Home. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 2010 [cit. 17.06.2020]. Dostupné z: <https://www.mi.com/global/mi-electric-scooter-pro>
- [38] Elektrokoloběžka KOSTKA e-HILL MAX (E1) - KOSTKA footbike. Koloběžky KOSTKA - Koloběžky pro dospělé i děti - KOSTKA footbike [online]. Copyright © 2018 KOSTKA Scooters, by [cit. 17.06.2020]. Dostupné z: <https://www.kostkakolobezky.cz/hill/818-elektrokolobezka-kostka-e-hill-max-e1.html>
- [39] MAMIBIKE EASY 2020 | MAMIBIKE. Elektrokoloběžky MAMI bike - unikátní česká koloběžka [online]. Copyright © 2020 [cit. 17.06.2020]. Dostupné z: <https://www.mamibike.cz/model/mamibike-easy/>
- [40] MIBO e-Royal P Skladací elektrokoloběžka | Koloběžky-Plzeň. Koloběžky-Plzeň[online]. Dostupné z: <https://www.kolobezky-plzen.cz/canard-zero-cz/eshop/-1/-4-5/128-MIBO-e-Royal-P-Skladaci-elektrokolobezka>
- [41] Nitro scooters XE900 Plus SL - Nitro scooters - benzínové a elektrické koloběžky a tříkolky. Home - Nitro scooters - benzínové a elektrické koloběžky a tříkolky[online]. Copyright © 2007 [cit. 17.06.2020]. Dostupné z: <https://www.motokolobezky.cz/eshop/p/1022-nitro-scooters-xe900-sl/cp-21>
- [42] SHIMANO V-brzdy BR-T4000 přední+zádní černé | Mojekolo.cz. Jízdní kola, elektrokola a cyklo doplňky | Mojekolo.cz [online]. Copyright © 2020 Jízdní kola, komponenty a cyklo doplňky [cit. 18.06.2020]. Dostupné z: [https://www.mojekolo.cz/shimano-v-brzdy-br-t4000-predni-zadni-cerne/?gclid=EAIaIQobChMIwK\\_l8vaJ6gIVjpAYCh21RwluEAQYASABEgIYO\\_D\\_BwE](https://www.mojekolo.cz/shimano-v-brzdy-br-t4000-predni-zadni-cerne/?gclid=EAIaIQobChMIwK_l8vaJ6gIVjpAYCh21RwluEAQYASABEgIYO_D_BwE)
- [43] Kostka paket FBH 26 XL řídítka - Svět koloběžek. Svět koloběžek - koloběžky pro děti i dospělé [online]. Copyright © 2009 [cit. 18.06.2020]. Dostupné z: [https://www.svetkolobezek.cz/blatniky-kosiky/kostka-paket-fbh-26-xl-riditka/?kampan=gNakupy&gclid=EAIaIQobChMI\\_dyZrPqJ6gIVh7UYCh3tlwjZEAQYCyABEgLY4fD\\_BwE](https://www.svetkolobezek.cz/blatniky-kosiky/kostka-paket-fbh-26-xl-riditka/?kampan=gNakupy&gclid=EAIaIQobChMI_dyZrPqJ6gIVh7UYCh3tlwjZEAQYCyABEgLY4fD_BwE)
- [44] Elektrické koloběžky, elektrické tříkolky Digitální displej na elektrickou koloběžku Elektrické koloběžky, elektrické tříkolky. Elektrické koloběžky[online]. Copyright © [cit. 18.06.2020]. Dostupné z: <https://www.elektrickekolobezky.eu/digitalni-displej-na-elektrickou-kolobezku/>

- [45] Force Sada blikaček AMBIT bateriové (přední + zadní) | MALL.CZ. MALL.CZ – bílé zboží, elektronika, PC, outdoor, hobby, hračky, kosmetika, chovatelské potřeby [online]. Copyright © 2000 [cit. 18.06.2020]. Dostupné z: <https://www.mall.cz/svetla-kolo/force-sada-blikacek-ambit-bateriove-predni-zadni-100019087500>
- [46] dTest: Jak vybrat baterie a nabíječku - Nezávislé testy, víc než jen recenze. dTest: Nezávislé testy, víc než jen recenze [online]. Copyright © dTest, o.p.s., Všechna práva vyhrazena. [cit. 16.06.2020]. Dostupné z: <https://www.dtest.cz/clanek-1831/jak-vybrat-baterie-a-nabijecku>
- [47] Nábíjení pohonných baterií Ni-Mh / Li-Pol - Himoto.cz. Rc modely - rc modely auta, drony, letadla, vrtulníky, lodě, příslušenství.. [online]. Dostupné z: <https://www.himoto.cz/blog/nabijeni-pohonnych-baterii-ni-mh/>
- [48] Nabíječka pro Li-ion aku 36V, 4A - STC-8150LC | E-pohon - elektrokola a sety na přestavbu pro všechny. E-pohon - elektrokola a sety na přestavbu pro všechny [online]. Dostupné z: <https://www.e-pohon.cz/Nabijecka-pro-Li-ion-aku-36V-4A-STC-8150LC-d1164.htm>
- [49] Nabíječka pro Li-ion aku 48V, 3A - XLR | E-pohon - elektrokola a sety na přestavbu pro všechny. E-pohon - elektrokola a sety na přestavbu pro všechny [online]. Dostupné z: <https://www.e-pohon.cz/Nabijecka-pro-Li-ion-aku-48V-3A-XLR-d1166.htm>
- [50] Ceník výroby rámu a vidlic | Cykloservis Jiří Bareš. Cykloservis Jiří Bareš [online]. Copyright © 2019 [cit. 16.06.2020]. Dostupné z: <https://www.cyklobares.cz/cenik-vyroby-ramu-a-vidlic.html>
- [51] Elektrické koloběžky – nejprodávanější [online]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/sport/nejprodavanejsi-nejlepsi-elektricke-kolobezky/18859663.htm>
- [52] Motory pro drony. Droneweb [online]. Copyright © Droneweb.cz 2015 [cit. 16.06.2020]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/konstrukce/item/310-drony-motory>
- [53] Přestavba na elektrokolo zadní motor rámová baterie 14, | Citybikes. Městská kola, elektrokola, skládací kola, retrokola | Citybikes [online]. Dostupné z: [https://www.citybikes.cz/prestavba-na-elektrokolo/electrokit-iv-zadni-motor-baterie-do-ramu-14\\_6ah](https://www.citybikes.cz/prestavba-na-elektrokolo/electrokit-iv-zadni-motor-baterie-do-ramu-14_6ah)
- [54] Odpor valivý – autolexicon.net. [online]. Copyright © 2020 [cit. 17.06.2020]. Dostupné z: [https://www.autolexicon.net/cs/articles/odpor-valivy/?fbclid=IwAR1fXYH5y-WJzA6MNDAGTUE2y2Dlwx5\\_zZZndRPnt9rSxE\\_kv6Ov3lNj5TA](https://www.autolexicon.net/cs/articles/odpor-valivy/?fbclid=IwAR1fXYH5y-WJzA6MNDAGTUE2y2Dlwx5_zZZndRPnt9rSxE_kv6Ov3lNj5TA)
- [55] Úvod [online]. Copyright © [cit. 17.06.2020]. Dostupné z: [http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:2779/4\\_TVO\\_J%C3%ADzdn%C3%AD%20odpory.pdf?fbclid=IwAR10p6RnFakXjMH9n61W8gMsYNMVjmwSxSxFXOKWoWpBLFHxOZAY7CWafHzE](http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:2779/4_TVO_J%C3%ADzdn%C3%AD%20odpory.pdf?fbclid=IwAR10p6RnFakXjMH9n61W8gMsYNMVjmwSxSxFXOKWoWpBLFHxOZAY7CWafHzE)
- [56] KICKBIKE Race Max 28 rám koloběžky černá - Svět koloběžek. Svět koloběžek - koloběžky pro děti i dospělé [online]. Copyright © 2009 [cit. 17.05.2020]. Dostupné z: [https://www.svetkolobezek.cz/sportovni-kolobezky/kickbike-race-max-28-ram-kolobezky/?v=2&kampan=gNakupy&gclid=EAIAIQobChMIs5ayy8GM6gIVzsmYCh2rEAm7EAQYASABEgKqkfD\\_BwE](https://www.svetkolobezek.cz/sportovni-kolobezky/kickbike-race-max-28-ram-kolobezky/?v=2&kampan=gNakupy&gclid=EAIAIQobChMIs5ayy8GM6gIVzsmYCh2rEAm7EAQYASABEgKqkfD_BwE)

# Přílohy

## Příloha A – Nákresy navrhované koloběžky s jejími rozměry

