

Šolski center Nova Gorica  
Gimnazija in zdravstvena šola

# IZDELAVA ELEKTRIČNEGA KOLESA IN MERJENJE RAZLIČNIH SPREMENLJIVK OB VOŽNJI

Raziskovalna naloga

Področje: elektrotehnika, elektronika in robotika



Lan Koglot, Ahac Mozetič  
Mentorica: Mirijam Pirc

Šolsko leto 2023/24



# Podatki o raziskovalni nalogi

---

## Šola

---

Šolski center Nova Gorica, Gimnazija in zdravstvena šola  
Cankarjeva 10, 5000 Nova Gorica

## Avtorja

---

Lan Koglot  
lankoglot@gmail.com

Ahac Mozetič  
ahaci.mozetic@gmail.com

## Mentorica

---

Mirijam Pirc  
mirijam.pirc@guest.arnes.si

## Področje raziskovanja

---

Elektrotehnika, elektronika in robotika



# Povzetek

---

V prvem delu raziskovalne naloge je opisano delovanje in konstrukcija električnega kolesa. Opisani so postopek izdelave, zapleti, ki so spremljali izdelavo in stroškovni izračun, ali je izdelava lastnega kolesa stroškovno smiselna.

V drugem delu naloge so opisane meritve, s katerimi so pridobljene največja hitrost, ki jo kolo lahko doseže, čas vožnje z enim polnjenjem pri ustreznih povprečnih hitrosti ter korelacija med največjo možno hitrostjo in močjo elektromotorja. Z meritvami je bilo tudi ugotovljeno, kolikšen je vpliv mase ali prestavnega razmerja obratov motorja na pospešek in končno hitrost kolesa.

**Ključne besede:** električna kolesa, izdelava, meritve, elektromotorji, stroški



# Abstract

---

In the first part of the research paper, the operation and construction of an electric bicycle are described. The process of creating, complications encountered during production, and cost calculation are discussed to determine whether building a custom bicycle is cost-effective.

The second part of the paper details measurements conducted to ascertain the maximum speed attainable by the bicycle, the duration of a single charge at an appropriate average speed, and the correlation between the maximum possible speed and the power of the electric motor. These measurements also reveal the impact of factors such as the mass or gear ratio on the motor's revolutions per minute, acceleration, and the final speed of the bicycle.

**Keywords:** electric bicycles, creating, measurements, electric motors, expenses.



# Kazalo

---

<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 Namen raziskovalne naloge . . . . .	1
1.2 Hipoteze . . . . .	1
1.3 Zahvala . . . . .	2
<b>2 DELOVANJE ELEKTRIČNIH KOLES</b>	<b>3</b>
<b>3 KOMPONENTE ZA IZDELAVO ELEKTRIČNEGA KOLESA</b>	<b>7</b>
<b>4 POSTOPEK IZDELAVE</b>	<b>9</b>
4.1 Izbira kolesa . . . . .	9
4.2 Izbira motorja . . . . .	9
4.3 Mreža celotne baterije . . . . .	10
4.3.1 Nakup baterij . . . . .	11
4.3.2 Merjenje kapacitete baterij . . . . .	13
4.3.3 Sestava celotne baterije . . . . .	13
4.4 Pogonski sklop . . . . .	16
4.4.1 Izbira jermenja . . . . .	16
4.4.2 Izračun prestavnega razmerja . . . . .	16
4.4.3 Modeliranje zobate jermenice na kolesu . . . . .	18
4.4.4 Pritrjevanje zobate jermenice . . . . .	19
4.5 Modeliranje napenjalnika . . . . .	21
4.6 Montaža elementov . . . . .	23
<b>5 MERITVE</b>	<b>27</b>
5.1 Merjenje končne hitrosti kolesa v odvisnosti od razpoložljive moči pri večjem prestavnem razmerju . . . . .	28
5.2 Merjenje končne hitrosti kolesa v odvisnosti od razpoložljive moči pri manjšem prestavnem razmerju . . . . .	29
5.3 Merjenje končne hitrosti kolesa v odvisnosti od razpoložljive moči pri dodatni masi na kolesu . . . . .	29
5.4 Merjenje dometa . . . . .	30
<b>6 STROŠKOVNI IZRAČUN</b>	<b>33</b>
<b>7 UGOTOVITVE</b>	<b>35</b>
<b>8 ZAKLJUČEK</b>	<b>37</b>
<b>Literatura in viri</b>	<b>39</b>
<b>A Tabela kapacitet</b>	<b>A.1</b>

## Tabele

---

6.1 Stroškovni izračun (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	34
--	----

# Slike

---

2.1	Motor električnega kolesa z baterijo in prikazovalnikom [1] . . . . .	3
2.2	Krtačni motor [2] . . . . .	3
2.3	Brezkrtačni motor s trofaznim napajanjem [4] . . . . .	4
2.4	Primer kolesa z motorjem kot del pogonskega sklopa na sredini okvirja [5] . . . . .	4
2.5	Primer kolesa z motorjem nameščenim v sprednjem pestu [6] . . . . .	5
2.6	Baterije električnega kolesa [7] . . . . .	5
2.7	Prikazovalnik [8] . . . . .	5
4.1	Kolo Muddyfox Colossus 400 [9] . . . . .	9
4.2	Motor MY1020 3000W [10] . . . . .	10
4.3	Motor Flipsky 7070 110KV [11] . . . . .	10
4.4	Nosilec za motor viden v okvirju v modrem (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	11
4.5	Krmilnik FSESC 75100 ALU [12] . . . . .	11
4.6	Primer vezave 4S9P [13] . . . . .	12
4.7	Baterije DMEGC INR18650-26E [14] . . . . .	12
4.8	Vidni ostanki varjenja na polu baterije [15] . . . . .	12
4.9	Merjenje kapacitet (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	13
4.10	Spletne orodje repackr [16] . . . . .	14
4.11	Vse baterije z izmerjenimi kapacitetami (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	14
4.12	Sklop 9 vzporedno vezanih baterij (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	14
4.13	Nosilec baterij (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	15
4.14	Sestavljanje sklopov v nosilcu (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	15
4.15	Zaporedno povezovanje sklopov (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	16
4.16	1. BMS, 2. Priključek za polnjenje, 3. Napajalni konektor XT90S (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	17
4.17	Zobati jermen HTD-5M dolžine 1500mm [17] . . . . .	17
4.18	V zareze pri prvi jermenici namenjeni pritrditvi z vezicami (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	19
4.19	V zareze pri drugi generaciji namenjeni pritrditvi na pesto (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	19
4.20	Z vezicami pritrjena zadnja jermenica (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	19
4.21	Vidna obraba špic na stičiščih (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	20
4.22	Zadnja jermenica in disk zavora (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	20
4.23	Aluminijasti disk za pritrditev jermenice na zadnji pesto (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	20
4.24	Prva različica napenjalnika (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	21
4.25	Druga različica napenjalnika z vodilom (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	21
4.26	Napenjalnik s plastičnim vodilom (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	22
4.27	Aluminijasti škripec z robovi (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	22
4.28	Končna različica napenjalnika (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	23
4.29	Veza shema krmilnika na motor in ročico za regulacijo hitrosti (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	23
4.30	VESC Tool: Rezultati samokalibracije (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	24
4.31	Obračanje smeri vrtenja motorja v orodju VESC Tool (Vir: spletni [21]) . . . . .	24
4.32	1.Baterija, 2. Motor, 3.Krmilnik (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	25

4.33 Kolo s krmilnikom na strani okvirja (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	25
4.34 Končano kolo (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	26
5.1 Opravljanje meritev hitrosti na poligonu GAS Vrtejba (Avtor: Ahac Mozetič)	27
5.2 Odvisnost moči in hitrosti pri večjem prestavnem razmerju (Avtor: Ahac Mozetič) . . . . .	28
5.3 Opravljanje meritev pri manjšem prestavnem razmerju (Avtor: Ahac Mozetič)	29
5.4 Odvisnost moči in hitrosti pri manjšem prestavnem razmerju (Avtor: Ahac Mozetič) . . . . .	30
5.5 Odvisnost moči in hitrosti pri manjšem prestavnem razmerju in s povečano maso (Avtor: Ahac Mozetič) . . . . .	30
5.6 Pot v odvisnosti od časa (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	31
5.7 Podatki v programu VESC Tool (Avtor: Lan Koglot) . . . . .	32



## POGLAVJE 1

# UVOD

---

V raziskovalni nalogi bova predstavila proces izdelave lastnega električnega kolesa ter njegovo delovanje. Odločila sva se za to temo, ker sva opazila, da so električna kolesa na trgu precej visokih cen, kar naju je vodilo do prvega vprašanja, ali je mogoče izdelati električno kolo, ki bi bilo cenovno bolj dostopno kot že obstoječa ponudba na trgu. Poleg tega naju je zanimalo, ali bi bilo možno izdelati kolo, ki bi doseglo hitrost 60 km/h, kar je primerljivo s hitrostmi gokartov.

Kot dijaka Tehniške gimnazije Nova Gorica sva že imela osnovno znanje na področju elektrotehnike in strojništva, kar nama je olajšalo izvedbo projekta. Kljub temu sva se skozi celoten proces raziskovanja naučila veliko novih stvari, ki so se izkazale za ključne pri izdelavi električnega kolesa. Med drugim sva spoznala pomembnost tolerance pri modeliranju delov za 3D tiskanje ter kako pravilno vezati baterije, da jih lahko maksimalno izkoristimo.

Preverila sva tudi, ali se rezultati ujemajo s teoretičnimi predpostavkami glede moči, hitrosti, prestavno razmerje obratov in vpliva mase. Skozi ta proces sva pridobila vpogled v kompleksnost in izzive izdelave električnega kolesa ter preizkusila meje najinega znanja in spretnosti na področju tehniških ved. Ta raziskovalna naloga nama je predstavljala poseben izziv, saj sva združila teoretično znanje s praktičnimi izkušnjami.

### 1.1 Namen raziskovalne naloge

Glavni namen najine raziskovalne naloge je bil temeljito preučiti in primerjati teoretične lastnosti električnega kolesa, kot so hitrost in domet, z dejanskimi vrednostmi, pridobljenimi s praktičnimi meritvami. Preverila bi ali teoretični modeli in predpostavke ustrezajo dejanskemu delovanju električnega kolesa v praksi.

Poleg tega je bil namen izdelati električno kolo, ki bo čim bolj ekonomično, hkrati pa bo sposobno doseči razdaljo 60 kilometrov z enim polnjenjem baterije in doseči hitrost 60 km/h. S tem sva si postavila visok izziv, da združiva ekonomičnost, vzdržljivost ter visoke zmogljivosti v enem električnem kolesu.

### 1.2 Hipoteze

Pri raziskovalni nalogi sva postavila naslednje hipoteze:

- Moč elektromotorja bo sorazmerna s tretjo potenco končne hitrosti. Odstopanje ne bo preseglo 20%.

- Celotno električno kolo bo stalo manj, kot podobno električno kolo na trgu.
- Kolo bo zmožno preseči hitrost 60 km/h. Poleg tega ga bova lahko omejila na dovoljeno hitrost 25 km/h.
- Pri večjem prestavnem razmerju 14,2 (170/12) bo končna hitrost pri omejeni moči manjša, pri manjšem prestavnem razmerju 11,3 (170/15) bo končna hitrost pri omejeni moči večja.
- Masa ne bo vplivala na končno hitrost kolesa.
- Izmerjen domet bo približno 60km. Odstopanje ne bo večje od 10%.

### 1.3 Zahvala

Za uspešno izvedbo najine raziskovalne naloge, bi se rada iz dna srca zahvalila vsem, ki so nama pri tem pomagali ter naju spodbujali. Najprej bi se zahvalila profesorici Mirijam Pirc, ki nama je pomagala s svojim znanjem, nasveti in pripomogla pri nastajanju naloge same. Zahvalila bi se tudi AMZS-ju Nova Gorica, ki nama je omogočil tehnični pregled. Poleg tega bi se rada zahvalila društvu GAS Vrtejba, ki so nama omogočili, da sva na njihovi stezi testirala kolo in opravljala meritve. Luki Pirc se zahvaljujeva za pomoč pri oblikovanju raziskovalne naloge v programu Latex. Franciju Koglotu pa gre zahvala za financiranje projekta.

## POGLAVJE 2

# DELOVANJE ELEKTRIČNIH KOLES

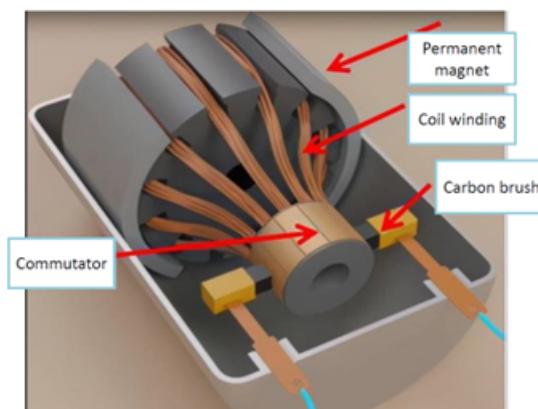
Električna kolesa delujejo na podoben način kot običajna kolesa, vendar imajo dodatno električno pomoč, ki vozniku pomaga pri premagovanju različnih ovir, kot so vzponi ali dolge razdalje. Glavne komponente električnih koles vključujejo:

Električni motor: To je najpomembnejši del električnega kolesa. Električni motor je običajno nameščen v pesto prednjega ali zadnjega kolesa ali pa je del pogonskega sklopa na sredini okvirja. Motor deluje na osnovi električne energije, ki jo dobiva iz baterije.



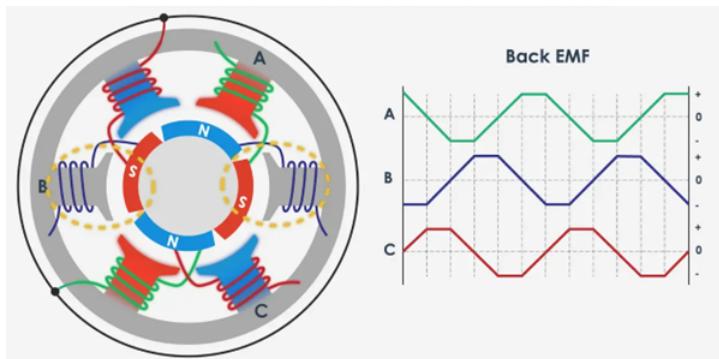
Slika 2.1: Motor električnega kolesa z baterijo in prikazovalnikom [1]

Poznamo dva glavna tipa elektromotorjev: krtačne in brezkrtačne. Krtačni elektromotorji, ki so tradicionalnejši tip, vključujejo rotor s kolektorjem in krtačkami, ki omogočajo prenos električnega toka na rotor, s čimer ustvarijo magnetno polje in posledično vrtenje rotorja. Kljub relativno nizki ceni imajo krtačni motorji nekaj pomanjkljivosti, kot so obraba krtačk in kolektorja, kar lahko vodi do rednega vzdrževanja in zmanjšane učinkovitosti.



Slika 2.2: Krtačni motor [2]

Po drugi strani pa brezkrtačni elektromotorji delujejo brez krtačk in kolektorja ter uporabljajo elektronsko krmiljenje, ki ustvarja magnetno polje za vrtenje rotorja. Zaradi tega so običajno bolj učinkoviti, zanesljivi in imajo daljšo življenjsko dobo, saj manjše število gibljivih delov zmanjšuje možnost obrabe. Kljub višjim stroškom izdelave se brezkrtačni motorji pogosteje uporabljajo v primerih, kjer je pomembna visoka učinkovitost, zanesljivost in nizko vzdrževanje. Zaradi teh lastnosti se uporabljajo predvsem pri električnih vozilih, robotskih sistemih in industrijski opremi. Izbor med krtačnimi in brezkrtačnimi motorji je odvisen od specifičnih zahtev aplikacije, pri čemer se upoštevajo kriteriji, kot so cena, učinkovitost, vzdržljivost in hrup [3].



Slika 2.3: Brezkrtačni motor s trofaznim napajanjem [4]



Slika 2.4: Primer kolesa z motorjem kot del pogonskega sklopa na sredini okvirja [5]

**Baterija:** Baterija napaja električni motor. Shranjuje električno energijo, ki jo lahko uporabi motor za pomoč pri vožnji. Baterije so običajno litij-ionske in so nameščene na kolesu. Njihova kapaciteta vpliva na doseg električnega kolesa.

**Nadzorni sistem:** Ta sistem nadzira delovanje električnega kolesa. Vključuje krmilnik, senzorje hitrosti in včasih tudi senzorje navora, ki zaznavajo, kako močno kolesar poganja pedala. Na podlagi teh informacij nadzorni sistem prilagaja moč, ki jo zagotavlja motor.

**Prikazovalnik:** Prikazovalnik na krmilu električnega kolesa omogoča vozniku, da spremlja različne informacije, kot so hitrost, nivo baterije, način pomoči motorja itd. Nekatera kolesa imajo tudi dodatne funkcije, kot so navigacija, spremljanje razdalje in podobno.



Slika 2.5: Primer kolesa z motorjem nameščenim v sprednjem pestu [6]



Slika 2.6: Baterije električnega kolesa [7]



Slika 2.7: Prikazovalnik [8]

Senzorji: Električna kolesa imajo vgrajene senzorje, ki zaznavajo različne parametre, kot so hitrost, navor, pospešek in število obratov pedal. Te informacije se uporabljajo za prilagajanje električne pomoči glede na potrebe voznika.

Senzorji za pedaliranje zaznavajo, kadar kolesar začne poganjati pedala. Ti senzorji lahko merijo navor na pedalih, kar omogoča sistemom, da določijo, kako močno naj motor pripomore.

Ko kolesar začne poganjati pedala, senzorji zaznajo to gibanje, in nadzorni sistem sproži električni motor, ki nudi dodatno moč. Voznik lahko običajno izbira med različnimi nivoji moči, kar omogoča prilagajanje ravni električne moči glede na teren, osebne želje ali želeni doseg.

## POGLAVJE 3

# KOMPONENTE ZA IZDELAVO ELEKTRIČNEGA KOLESA

---

Za izdelavo električnega kolesa sva kupila navadno kolo in električne komponente. Poleg tega sva s pomočjo 3D tiskalnika in CNC rezkarja izdelala druge potrebne elemente.

Elementi, ki sva jih kupila so bili:

- kolo Muddyfox colossus 400,
- električni motor Flipsky 7070 110KV 4200W,
- zobati HTD-5M jermen dolžine 1500mm,
- regulator hitrosti in bluetooth modem,
- ležaje za napenjalnik,
- sprednje dve jermenici,
- polnilec,
- battery management system,
- konektorji in žice,
- baterije,
- ročica za reguliranje hitrosti.

Doma izdelani elementi, ki so bili 3D natisnjeni:

- nosilec za motor,
- ogrodje in pokrovi za baterijo,
- škatla za krmilnik motorja,
- napenjalnik za jermen, zobata jermenica,
- distančnik med zadnjim diskom in zobato jermenico.

Podjetje, ki se ukvarja z lasersko CNC tehnologijo, nama je izdelalo aluminijasta diska za zadnje kolo.



## POGLAVJE 4

# POSTOPEK IZDELAVE

---

### 4.1 Izbira kolesa

Kupila sva kolo Muddyfox Colossus 400, saj je bilo to najugodnejše kolo, ki ima hidravlične disk zavore in ima kolesa premera 29 col (polmer 37 cm). Hidravlične zavore so priporočljive pri zaviranju pri velikih hitrostih. Večja kolesa imajo večjo površino na stiku s tlemi, kar omogoča učinkovitejše zaviranje in udobnejšo vožnjo.



Slika 4.1: Kolo Muddyfox Colossus 400 [9]

### 4.2 Izbira motorja

Hitrost neregistriranih električnih koles je v Sloveniji omejena na 25 km/h. Najin prvi cilj je bila izenačiti hitrost električnega kolesa s hitrostjo gokartov, ki znaša okoli 60 km/h.

Povprečni navor pri močnejših električnih kolesih, ki dosežejo večji pospešek, znaša nekje 70 Nm. Z uporabo formule, ki povezuje navor, kotno hitrost in moč, sva izračunala potrebno mehansko moč 3300 W, pri hitrosti 60 km/h:

$$P_m = M\omega = M \cdot \frac{v}{r} = 70 \text{ Nm} \cdot \frac{17 \text{ m/s}}{0,37 \text{ m}} = 3200 \text{ W} = 3,2 \text{ kW} \quad (4.1)$$

Glede na to, da so izgube pri električnih motorjih od 10% do 20%, sva prišla do ugotovitve, da bi električna moč morala znašati približno 4000 W.

$$P_m = 0,8 \cdot P_e \rightarrow P_e = \frac{P_m}{0,8} = 4000 \text{ W} = 4 \text{ kW} \quad (4.2)$$

Izbirala sva med dvema električnima motorjema. Prvi električni motor MY1020 3000W je namenjenim električnim gokartom, drugi električni motor Flipsky 7070 110KV 4200W pa je namenjenim električnim rolkam. Prednost prvega motorja je boljše hlajenje. Večjo vlogo pri izbiri električnega motorja pa sta imela velikost in teža, ki sta bistveno manjši pri drugem motorju. Po tem premisleku sva se odločila za nakup drugega električnega motorja Flipsky 7070 110KV 4200W.



**Slika 4.2:** Motor MY1020 3000W [10]



**Slika 4.3:** Motor Flipsky 7070 110KV [11]

Motor sva na okvir pritrdila s pomočjo nosilca, ki sva ga zmodelirala v programu Fusion 360. Nosilec pa sva pritrdila na okvir preko navojev za nosilec za plastenke.

Poleg električnega motorja sva kupila še krmilnik FSESC 75100 ALU, ki je prilagojen električnemu motorju in ponuja regulacijo toka, moči, temperaturne omejitve in omogoča spremljanje ter beleženje podatkov.

### 4.3 Mreža celotne baterije

Električni motor Flipsky 7070 110KV 4200W je narejen za napetost do 18S, kar pomeni 18 zaporedno vezanih sklopov baterij. V enem sklopu je 9 posameznih litijevih baterij, ki so vezane vzporedno. Najcenejše baterije so bile baterije z oznako 18650. Te poganjajo največji konstantni tok 7,8 A. Za potrebno moč, ki znaša 4000 W pri napetosti 65 V, potrebujemo tok vsaj 62 A. Vrednost toka smo izračunali po enačbi 4.3.



**Slika 4.4:** Nosilec za motor viden v okvirju v modrem (Avtor: Lan Koglot)



**Slika 4.5:** Krmilnik FSESC 75100 ALU [12]

$$P_e = UI \rightarrow I = \frac{P_e}{U} = \frac{4000 \text{ W}}{65 \text{ V}} = 62 \text{ A} \quad (4.3)$$

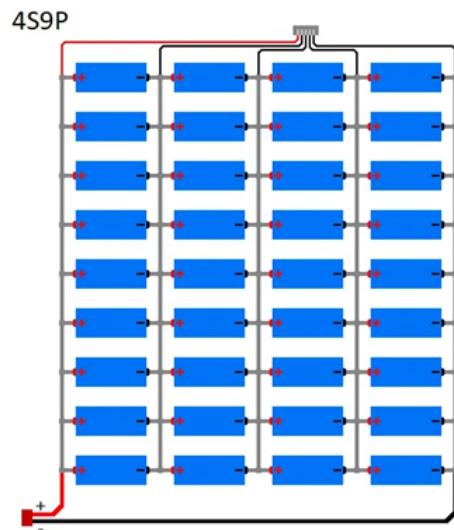
Ker vsaka vzporedno vezana baterija v sklopu poganja 7,8 A, jih za tok 62 A v sklopu potrebujemo 8. Zaradi varnosti sva se odločila dodati še eno baterijo, kar zmanjša maksimalen tok na 6.9 A. Se pravi je skupno število vzporedno vezanih baterij v sklopu 9.

Če povzamemo, je mreža celotne baterije sestavljena iz 18x9, to je 162 posameznih baterij. To pomeni, da je baterija 18S9P (S: (serijsko) zaporedno vezani sklopi baterij, P: sklop (parallelno) vzporedno vezanih bateriji).

#### 4.3.1 Nakup baterij

Kupila sva 162 posameznih baterij oznake INR18650-26E, proizvajalca DMEGC. Za te baterije sva se odločila zaradi ugodne cene, saj gre za baterije, ki so imele tovarniško napako (reclaimed battery). Te baterije so bile izvlečene iz baterijskih sklopov z napakami pri varjenju in niso bile izpraznjene ali napolnjene. Ker so bile izrezane iz večjih sklopov so imele na sebi ostanke varjenja, ki jih je bilo potrebno ročno odstraniti.

Zaradi tovarniške napake je bilo potrebno preveriti kapaciteto vsake baterije. Če napetost v posamezni bateriji pada pod 3 V se lahko ta trajno poškoduje.



Slika 4.6: Primer vezave 4S9P [13]



Slika 4.7: Baterije DMEGC INR18650-26E [14]



Slika 4.8: Vidni ostanki varjenja na polu baterije [15]

Zaradi različnih kapacitet baterij je bilo potrebno izmeriti kapaciteto vsake posebej. Če pri zaporedni vezavi kapacitete baterij niso med seboj enake, je baterija z višjo kapaciteto neizkorisčena.

#### 4.3.2 Merjenje kapacitete baterij

Vsako baterijo je bilo potrebno najprej napolniti na 100%. Za ta postopek sva uporabila XTAR VC8 polnilec. Nato sva jih počasi izpraznila in istočasno merila porabljeno kapaciteto v enoti mAh. Povprečna kapaciteta posamezne baterije je bila 2600 mAh, kar ustreza tovarniškim podatkom.



Slika 4.9: Merjenje kapacitet (Avtor: Lan Koglot)

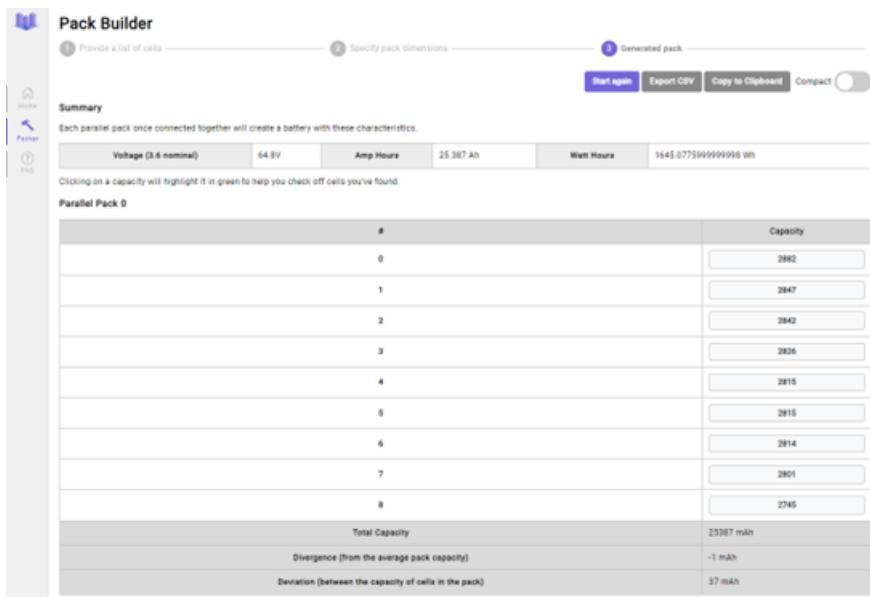
Izmerjeno kapaciteto vsake baterije sva zapisala nanjo in v excel tabelo. Te podatke sva vnesla v spletno orodje repackr [16], s katerim sva dobila priporočene vzporedne vezave baterij s čim manjšo razliko v skupni kapaciteti posameznih sklopov, kar kaže tabela v prilogi.

#### 4.3.3 Sestava celotne baterije

Zmodelirala sva nosilec za baterije, ki sva ga natisnila s 3D tiskalnikom. Nosilec fizično ločuje vsak sklop, da ne pride do stika med baterijami. Obliko nosilca sva zmodelirala tako, da se je prilegal okvirju kolesa. Potrebno ga je bilo natisniti v štirih delih, ki sva jih kasneje združila s sekundnim lepilom, saj je bila površina 3D tiskalnika premajhna. V nosilec sva nato vstavila posamezne baterije, tako da so sestavljalne sklope po 9 vzporedno vezanih baterij. Nato sva vseh 18 sklopov zaporedno povezala med sabo.

Nato sva pole baterij prekrila z izolacijskim trakom Kapton, ker je odporen na visoke temperature. S tem sva preprečila možnost kratkega stika med sosednjimi sklopi.

Nazadnje sva povezala na vsakega od 18 sklopov baterij sistem za upravljanje baterije (BMS - battery management system). Vloga BMS je prekiniti polnjene v primeru, da napetost v katerem koli sklopu baterij preseže 4.2 V. V primeru, da v katerem koli sklopu pade napetost pod 3 V se praznjenje prekine.



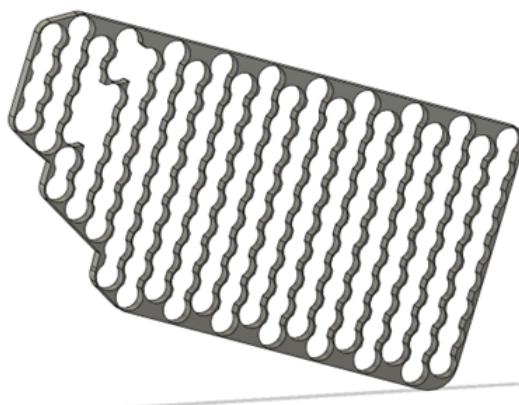
Slika 4.10: Spletno orodje repackr [16]



Slika 4.11: Vse baterije z izmerjenimi kapacitetami (Avtor: Lan Koglot)



Slika 4.12: Sklop 9 vzporedno vezanih baterij (Avtor: Lan Koglot)



Slika 4.13: Nosilec baterij (Avtor: Lan Koglot)



Slika 4.14: Sestavljanje sklopov v nosilcu (Avtor: Lan Koglot)



Slika 4.15: Zaporedno povezovanje sklopov (Avtor: Lan Koglot)

Bateriji je bilo potrebno dodati še glavni kabel za napajanje s konektorjem XT90S. Pri zagonu električnega motorja lahko iz baterije steče zelo velik tok, ki lahko povzroči iskro. To sva rešila tako, da sva baterijo in električni motor povezala z glavnim kablom in konektorjem XT90S, ki z ustreznim uporom preprečuje iskrenje. Poleg konektorja za napajanje celotnega kolesa sva dodala priključek za polnjenje.

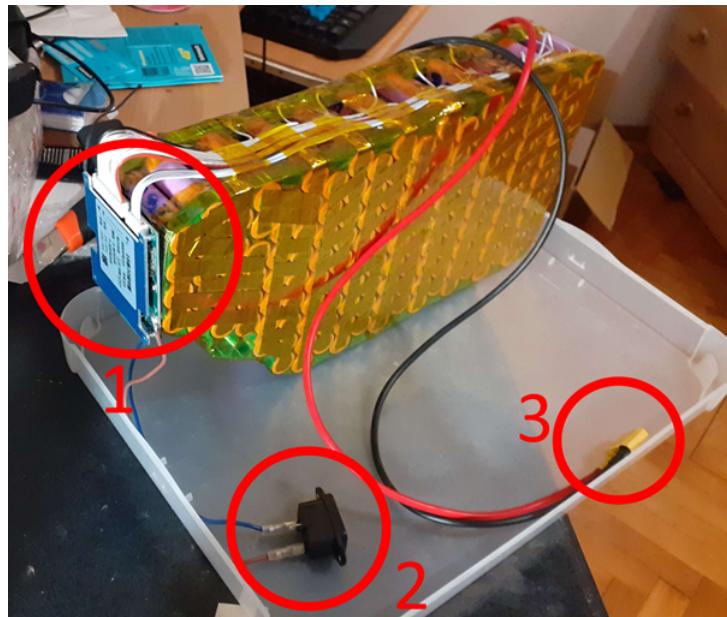
## 4.4 Pogonski sklop

### 4.4.1 Izbira jermen

Zaradi boljše zmožnosti prenašanja velikih sil sva izbrala jermen HTD-5M (HTD - High Torque Drive - visoko navorni pogon) dolžine 1500 mm. Prednosti tega jermenova je parabolični profil zoba, ki omogoča povečano kontaktno površino med zobato jermenico in jermenom. Oblika jermenova je zasnovana tako, da zdrži večjo silo, s čimer se poveča moč.

### 4.4.2 Izračun prestavnega razmerja

Izbran električni motor ima specifikacijo 110 KV. Oznaka KV predstavlja število obratov električnega motorja na minuto na volt. Naš električni motor je imel pri napetosti 65 V frekvenco 7150 obratov na minuto, kar sva izračunala z enačbo 4.4.



Slika 4.16: 1. BMS, 2. Priključek za polnjenje, 3. Napajalni konektor XT90S (Avtor: Lan Koglot)



Slika 4.17: Zobati jermen HTD-5M dolžine 1500mm [17]

$$f_m = 110 \frac{1}{\text{min} \cdot V} \cdot 65 \text{ V} = 7150/\text{min} \quad (4.4)$$

Zadnje kolo s premerom 29 col (polmer 37 cm) se mora pri hitrosti 60 km/h vrteti s frekvenco 464 obratov na minuto:

$$f_k = \frac{v}{2\pi r} = \frac{17 \text{ m/s}}{2\pi \cdot 0,37 \text{ m}} = 7,3/\text{s} = 464/\text{min} \quad (4.5)$$

Prestavno razmerje, označeno s črko i, je količnik frekvence električnega motorja in frekvence vrtenja zadnjega kolesa [18] [19]:

$$i = \frac{f_m}{f_k} = \frac{7150}{464} = 15 \quad (4.6)$$

Za pogonsko zobato jermenico sva izbrala najmanjšo možno (profila HTD5M), ki je imela 12 zob. Frekvenca pogonske zobate jermenice je enaka frekvenci motorja, saj gre za direktni prenos.

Prestavno razmerje i je tudi količnik med številom zob zobate jermenice na kolesu in številom zob pogonske zobate jermenice:

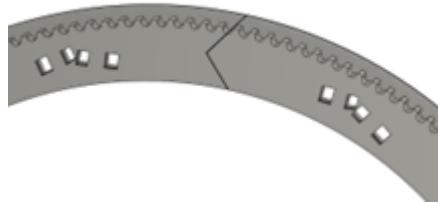
$$i = \frac{\text{št.zob}_k}{\text{št.zob}_m} \rightarrow \text{št.zob}_k = \text{št.zob}_m \cdot i = 12 \cdot 15 = 180 \quad (4.7)$$

Izračunala sva, da je potrebno število zob zobate jermenice na kolesu 180. Zobata jermenica s takim številom zob bi bila prevelika, zato sva se odločila za manjšo, ki je imela 170 zob. Predvidevala sva, da ta sprememba ne bo imela prevelikega vpliva na delovanje kolesa.

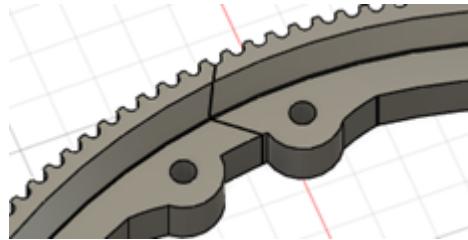
#### 4.4.3 Modeliranje zobate jermenice na kolesu

Zobato jermenico sva naredila po navodilih, ki sva jih našla na spletu [20]. Naredila sva jo v treh delih, saj je bila prevelika za 3D tiskanje v enem delu. Lažje sestavljanje in lepljenje delov zobate jermenice sva dosegla z uporabo "V" zarez, glej sliko 4.18 ali 4.19. Z njihovo pomočjo sva zmanjšala silo na lepilo. Ko jermen povleče jermenico naprej, se ta usede točno v sredino "V" zareze drugega dela. S tem sva si zagotovila boljšo trdnost zobate jermenice.

Zaradi neupoštevanja tolerance med zobato jermenico in jermenom ni prišlo do popolnega prileganja, kar sva rešila s povečanjem tolerance na 0.5mm.



**Slika 4.18:** V zareze pri prvi jermenici namenjeni pritrditvi z vezicami (Avtor: Lan Koglot)



**Slika 4.19:** V zareze pri drugi generaciji namenjeni pritrditvi na pesto (Avtor: Lan Koglot)

#### 4.4.4 Pritrjevanje zobate jermenice

Zobato jermenico sva prvotno pritrdila na zadnje kolo z vezicami. Te so bile pritrjene na špice kolesa. Zaradi velikih sil na zobato jermenico je prišlo do velikih napetosti med vezicami in špicami. To je povzročilo veliko trenja na stičiščih špic, ki so se zaradi tega obrabile.



**Slika 4.20:** Z vezicami pritrjena zadnja jermenica (Avtor: Lan Koglot)

Problematiko sva rešila tako, da sva zobato jermenico pritrdila med pesto in zavorni disk. Zaradi tega problema sva najprej izvedla več meritov. Izmerila sva:

- največjo možno velikost notranjega diska, tako da se ne dotika zavornega sistema,
- globino in dolžino med zavornim sistemom in špicami, ki je pomembna za debelino distančnika,
- razdaljo med zavornim sistemom in zobato jermenico (na podlagi tega sva prilagodila debelino zobate jermenice).

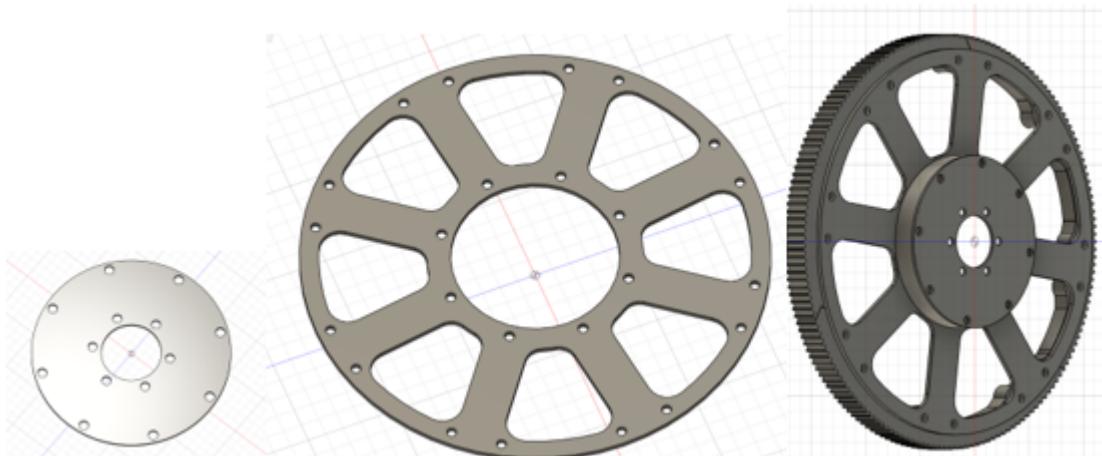
Na novo sva natisnila 3D model zobate jermenice, kjer sva pri modeliranju upoštevala zgornje meritve.



Slika 4.21: Vidna obraba špic na stičiščih (Avtor: Lan Koglot)



Slika 4.22: Zadnja jermenica in disk zavora (Avtor: Lan Koglot)



Slika 4.23: Aluminijasti diskji za pritrditev jermenice na zadnji pesto (Avtor: Lan Koglot)

## 4.5 Modeliranje napenjalnika

Modeliranje napenjalnika sva izvajala v več korakih:

1. Prvotna ideja je bila, da bo napenjalnik sestavljen iz 3D natisnjenega nosilca in ležaja, na katerega bo sedel jermen. Ta napenjalnik se je izkazal za neučinkovitega, saj je jermen padal z ležaja.



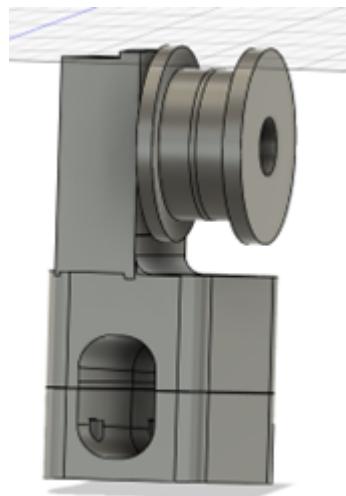
**Slika 4.24:** Prva različica napenjalnika (Avtor: Lan Koglot)

2. Prvotno idejo sva nadgradila tako, da sva dodala vodilo na ustreznji strani. Tudi ta se je izkazala za neučinkovito, saj je prišlo do trenja med jermenom in podpornim plastičnim nosilcem, kar je povzročilo visoke temperature in ga stopilo.



**Slika 4.25:** Druga različica napenjalnika z vodilom (Avtor: Lan Koglot)

3. Trenje na nosilcu sva želeta preprečiti tako, da bi bil jermen direktno nameščen na plastično vodilo, ki bi obdajalo ležaj. Vseeno je prišlo do trenja, ki je povzročilo, da se je eno izmed vodil stopilo. Sklepava, da je do trenja med ležaji prišlo zaradi velike sile, ki jo je povzročil jermen. To trenje je povzročilo, da se ležaji niso vrteli z enako hitrostjo kot jermen.
4. Ker plastična snov ne prenese visokih temperatur, sva se odločila za nakup aluminijastega škripca z ležajem, ki ima robove in vodila. Zaradi velike sile jermenega na škripec je prišlo do deformacije na mestu, kjer je bil škripec pritrjen na nosilec.
5. Da bi preprečila deformacijo na mestu kjer je bil škripec pritrjen na nosilec, sva os, ki je držala škripec pritrdila na nosilec iz obeh strani. Nosilec je bil slabo pritrjen

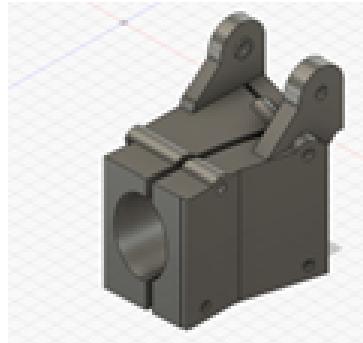


Slika 4.26: Napenjalnik s plastičnim vodilom (Avtor: Lan Koglot)



Slika 4.27: Aluminijasti škripec z robovi (Avtor: Lan Koglot)

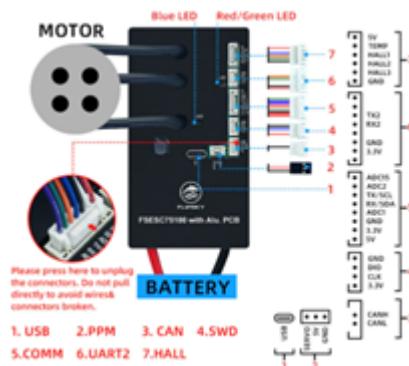
na ogrodje kolesa, zato je bilo potrebno spremeniti objemke. Po mnogih poskusih preoblikovanja objemke sva zmodelirala napenjalnik, ki je ustrezal vsem zahtevam.



Slika 4.28: Končna različica napenjalnika (Avtor: Lan Koglot)

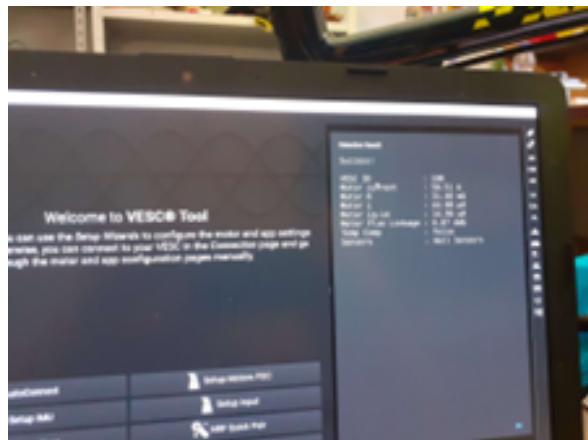
## 4.6 Montaža elementov

Pare tuljav v električnem motorju in krmilnik sva povezala s tremi faznimi kabli. Povezala sva krmilnik s HALL senzorjem, ki je integriran v električnem motorju in omogoča sledenje rotaciji motorja.

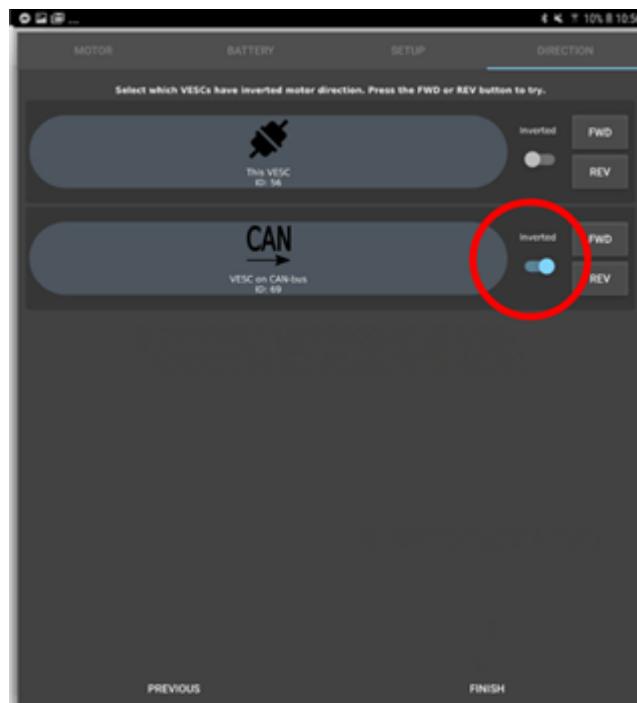


Slika 4.29: Vezalna shema krmilnika na motor in ročico za regulacijo hitrosti (Avtor: Lan Koglot)

Z računalniškim programom VESC Tool 4.30 sva preverila delovanje električnega motorja. Krmilnik in električni motor sva najprej kalibrirala in ob tem opazila, da se električni motor vrti v napačno smer, zato sva spremenila smer rotacije. S krmilnikom lahko kontroliramo moč in hitrost električnega motorja. V zadnjem koraku sva povezala krmilnik z ročico za reguliranje hitrosti na krmilu kolesa in potrdila pravilno delovanje.



Slika 4.30: VESC Tool: Rezultati samokalibracije (Avtor: Lan Koglot)



Slika 4.31: Obračanje smeri vrtenja motorja v orodju VESC Tool (Vir: spleť [21])



Slika 4.32: 1.Baterija, 2. Motor, 3.Krmilnik (Avtor: Lan Koglot)



Slika 4.33: Kolo s krmilnikom na strani okvirja (Avtor: Lan Koglot)



**Slika 4.34:** Končano kolo (Avtor: Lan Koglot)

## POGLAVJE 5

# MERITVE

---

V tem delu raziskovalne naloge bova podrobno predstavila in analizirala pridobljene meritve ter jih nato primerjala z najinimi teoretičnimi napovedmi in predpostavkami. Najin prvi korak je bil izvesti meritve, ki so nama omogočile razumevanje vpliva moči na hitrost električnega kolesa. S tem sva želeta ugotoviti, kako se spreminja hitrost kolesa ob različnih stopnjah moči, ki jo motor zagotavlja. Nato sva se osredotočila na vpliv mase na hitrost kolesa, pri čemer sva preučila, kako dodatna teža vpliva na spremembo hitrosti.

Poleg tega sva opravila meritve dejanskega dosega kolesa, da bi preverila, ali se najini teoretični izračuni ujemajo z realnimi. S tem sva želeta pridobiti celosten vpogled v zmožljivost in učinkovitost najinega doma izdelanega električnega kolesa ter oceniti njegovo praktično uporabnost v vsakodnevnih razmerah.

Meritve sva poizkušala opraviti v brezvetrju. Ker pa po vsej vrjetnosti popolnega brezvetrja ni bilo, je možno, da je prišlo do manjših napak pri meritvah.



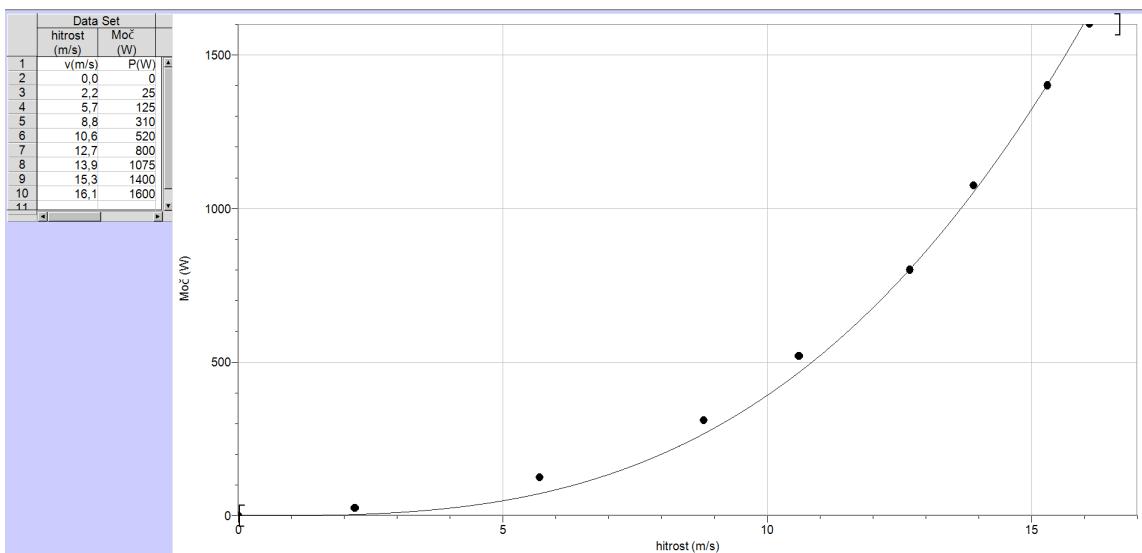
**Slika 5.1:** Opravljanje meritev hitrosti na poligonu GAS Vrtejba (Avtor: Ahac Mozetič)

## 5.1 Merjenje končne hitrosti kolesa v odvisnosti od razpoložljive moči pri večjem prestavnem razmerju

Ko s kolesom dosežemo končno hitrost, je gibanje enakomerno. Moč, ki jo rabimo pri gibanju, je potrebna za predvsem za premagovanje sile zračnega upora (kotalno trenje zanemarimo). Zato lahko zapišemo formulo:

$$P = F_u \cdot v = \frac{c_u S \rho v^2}{2} \cdot v = \frac{c_u S \rho v^3}{2} \quad (5.1)$$

Konstante, ki nastopajo v enačbi so:  $c_u$  koeficient upora,  $S$  prečni prerez kolesarja s kolesom in  $\rho$  gostota zraka. Iz formule je razvidno, da je moč sorazmerna s tretjo potenco končne hitrosti. To meritev sva izvedla tako, da sva merila končno hitrost kolesa pri ustrezni moči. Na sliki 5.2 so prikazani podatki meritev. V programu Vernier sva izbirala različne enačbe krivulje, ki bi se najbolj prilegala točkam. Izkazalo se je, da se točkam najbolj prilega funkcija  $P = 0,39 \text{ kg/m} \cdot v^3$ .



Slika 5.2: Odvisnost moči in hitrosti pri večjem prestavnem razmerju (Avtor: Ahac Mozetič)

Sorazmernostni koeficient med močjo in tretjo potenco hitrosti je konstanten in iz enačbe krivulje lahko preberemo, da je po velikosti enak  $0,39 \text{ kg/m}$ . Če obe enačbi primerjamo, lahko zapišemo, da je sorazmernostni koeficient:

$$\frac{c_u S \rho}{2} = 0,39 \text{ kg/m} \quad (5.2)$$

Iz enačbe 5.2 lahko izračunamo koeficient upora našega kolesa skupaj s kolesarjem. Če upoštevamo, da je  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ , dobimo, da je uporovni presek kolesarja s kolesom  $c_u S = 0,65$ . Če upoštevamo, da je prečni presek kolesarja s kolesom  $S$  približno  $0,7 \text{ m}^2$ , dobimo, da je koeficient upora  $0,93$ . V literaturi se navaja podatek, da je za kolesarja na cestnem kolesu ta vrednost okoli 1.

Napoved, da je moč potrebna za poganjanje kolesa, sorazmerna s tretjo potenco končne hitrosti drži, le pri dveh začetnih točkah je odstopanje večje od 20%. Predvidevava, da je to zaradi manjše učinkovitosti elektičnih motorjev pri nižjih obratih [22].

## 5.2 Merjenje končne hitrosti kolesa v odvisnosti od razpoložljive moči pri manjšem prestavnem razmerju

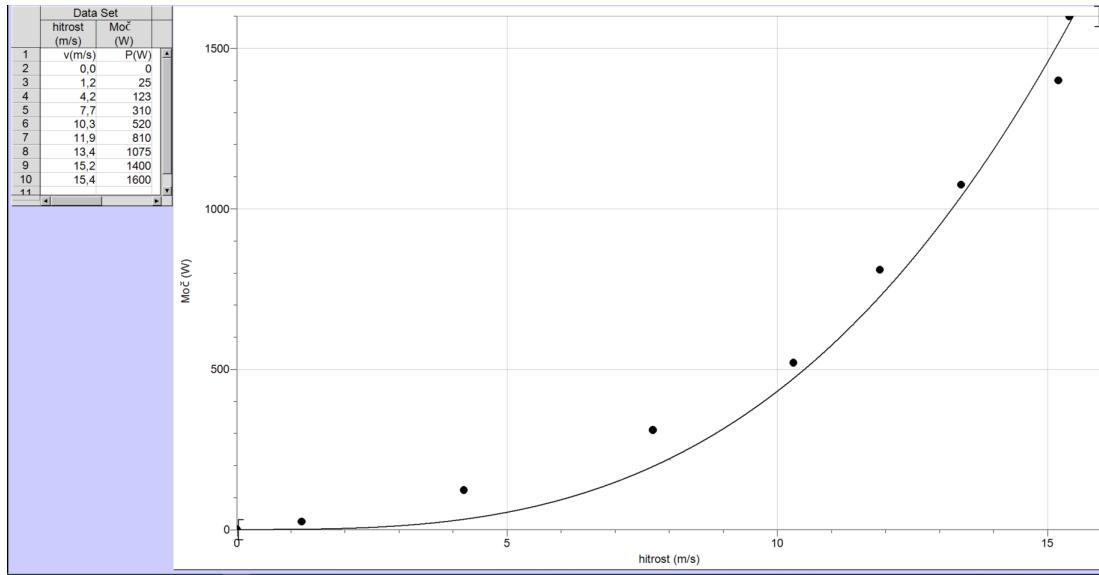
Meritve sva izvedla na enak način kot v prejšnjem primeru, ko sva izvajala meritve z večjim prestavnim razmerjem. Slika 5.4 kaže dobljene podatke, kjer je moč približno enaka kot pri meritvah z večjim prestavnim razmerjem, dosežena končna hitrost pa je bila pri prvi meritvi okoli 50% manjša, pri zadnji pa okoli 5% manjša. Tudi več točk odstopa od aproksimacijske krivulje  $P = kv^3$ . Sorazmernostni koeficient med močjo in tretjo potenco hitrosti  $k_2$  je v tem primeru 0,43 kg/m. Iz tega lahko tudi sklepamo, da se je pri tej meritvi manj električne moči pretvorilo v mehansko moč, kot pa pri meritvi z večjim prestavnim razmerjem. Predvidevava, da je do tega ponovno prišlo zaradi manjše učinkovitosti elektičnih motorjev pri nižjih obratih [22].



Slika 5.3: Opravljanje meritov pri manjšem prestavnem razmerju (Avtor: Ahac Mozetič)

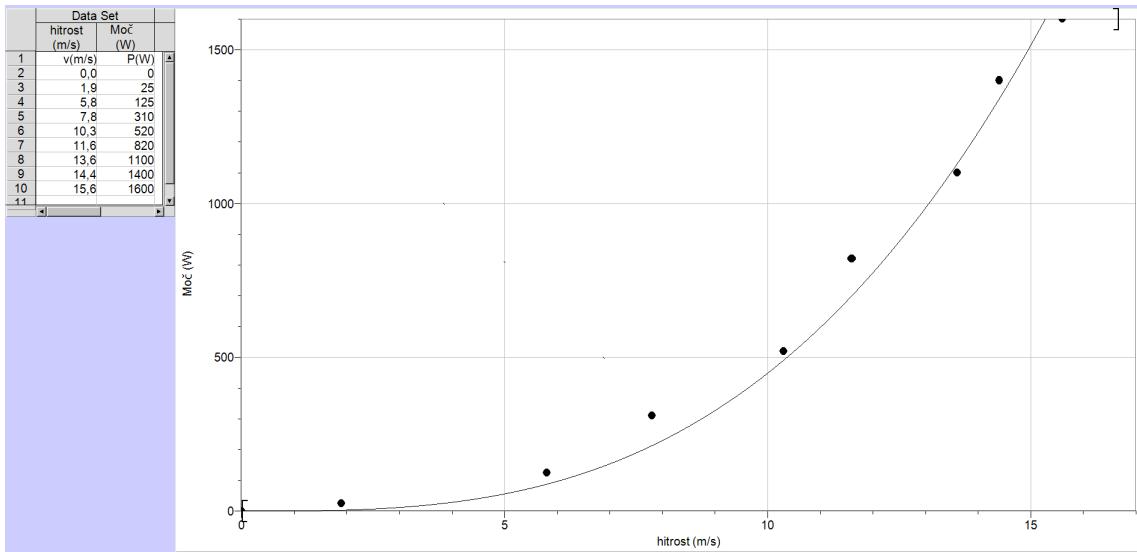
## 5.3 Merjenje končne hitrosti kolesa v odvisnosti od razpoložljive moči pri dodatni masi na kolesu

Meritve sva izvedla na enak način kot pri prejšnjem primeru kjer sva merila moč elektrometerja pri manjšem prestavnem razmerju in končno hitrost telesa. Edina spremembra



Slika 5.4: Odvisnost moči in hitrosti pri manjšem prestavnem razmerju (Avtor: Ahac Mozetič)

je bila masa, ki sva jo povečala za 25 kg (+20% skupne teže voznika in kolesa). Slika 5.5 kaže podobno krivuljo kot sva jo dobila v prejšnjem primeru, le da se je sorazmerno-stni koeficient v enačbi povečal iz 0,43 kg/m na 0,45 kg/m kar pomeni, da je večja masa povzročila rahlo večji koeficient upora, končna hitrost pa se pri ustrezni moči ni veliko spremenila.



Slika 5.5: Odvisnost moči in hitrosti pri manjšem prestavnem razmerju in s povečano maso (Avtor: Ahac Mozetič)

## 5.4 Merjenje dometa

Meritve sva izvedla tako, da sva z enim polnjenjem poskusila prevoziti najdaljšo možno pot. Prevožena pot je na koncu znašala 55,1 km, ostalo pa nama je še približno 15%

energije v bateriji. Če bi poti prišteli še 15% procentov, bi celoten domet znašala 63,4 km.

Če ne upoštevava premora, ki je bil potreben zaradi pregrevanja motorja, je povprečna hitrost med potjo znašala 37 km/h. To hitrost sva odčitala iz grafa kot kaže slika 5.6, porabljeno električno delo, pot in čas pa iz zabeleženih podatkov v aplikaciji VESC Tool. Z aplikacijo VESC Tool sva izmerila:

- porabljeno električno delo  $A_e$ , ki je bilo 1100 Wh, ki je prikazano na sliki 5.7,
- prepotovano pot 55,1 km in
- čas 1,5h.

Iz podatka za pot in čas sva izračunala povprečno hitrost 10,3 m/s oziroma 37 km/h. Iz podatka za električno delo in čas pa povprečno moč  $P_{pov}$ :

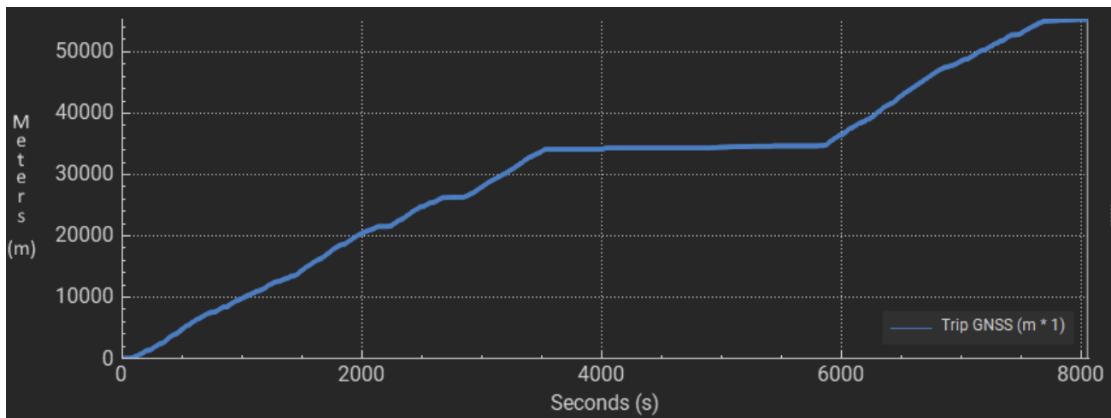
$$P_{pov} = \frac{A_e}{t} = \frac{1100Wh}{1,5h} = 733W \quad (5.3)$$

Z enačbo  $P = 0,43kg/m \cdot v^3$ , ki je opisovala aproksimacijsko krivuljo na sliki 5.4, sva izračunala idealno hitrost pri povprečni moči 733 W:

$$v = \sqrt[3]{\frac{733 \text{ Wm}}{0,43 \text{ kg}}} = 11,9 \text{ m/s} = 43 \text{ km/h} \quad (5.4)$$

Izračun poti pri idealni hitrosti 43 km/h v času 1,5 h nam da vrednost poti 64,5 km. Če to vrednost primerjamo z našo prevoženo potjo 55,1 km/h vidimo, da je za 9,5 km krajsa, kar predstavlja okoli 15% izgube.

Do velikih odstopanj med izmerjenim in teoretičnim dometom, je prišlo zaradi pregrevanja motorja in s tem povezanih izgub. Glavni vzrok za pregrevanje motorja je bilo neenakomerno gibanje s pojekmi in pospeški.



Slika 5.6: Pot v odvisnosti od časa (Avtor: Lan Koglot)

The screenshot shows a software interface for monitoring a VESC (Variable Electronic Speed Controller). At the top, there are four tabs: 'Browse', 'Data', 'Stats', and 'IMU'. The 'Data' tab is currently selected. Below the tabs is a table with two columns: 'Name' and 'Value'. The table contains the following data:

	Name	Value
16	Battery Level	15.4 %
17	Temp MOSFET	33.1 °C
18	Temp Motor	69.0 °C
19	Ah Used	17.119 Ah
20	Ah Charged	0.000 Ah
21	Wh Used	1101.590 Wh
22	Wh Charged	0.001 Wh
23	id	0.00 A
24	iq	0.00 A

Slika 5.7: Podatki v programu VESC Tool (Avtor: Lan Koglot)

## POGLAVJE 6

# STROŠKOVNI IZRAČUN

---

V tabeli 6.1 so posamezni elementi, ki jih je bilo potrebno kupiti za izdelavo električnega kolesa. Ob tem izračunu nisva upoštevala najinega časa, ki sva ga vložila v izdelavo. Celoten strošek kupljenih elementov je znašal 1220€.

V primerjavi z ostalimi elečektričnimi gorskimi kolesi je naše še vedno bolj ekonomično. Ta stanejo od 1300€ dalje in imajo baterije energije le od 400 Wh do 750 Wh. Najino kolo pa kar 1500 Wh. Poleg tega imajo električna kolesa na trgu motorje z močjo od 250 W do 1000 W. Najin motor pa je zmožen doseči 4200 W.

Element:	Cena:	
Flipsky 7070 motor	€ 112,52	
Krmilnik FSESC 75100	€ 101,86	
jermenica 1520mm	€ 11,79	
15t HTD pulley / jermenica za motor	€ 4,06	
BMS	€ 17,38	
nikljev trak za spajkanje	€ 8,76	
XT90	€ 4,97	
bearings / ležaji	€ 5,21	
nuts / matice	€ 2,75	
throttle / ročica za reguliranje hitrosti	€ 4,46	
screws / vijaki M3 in M5	€ 4,76	
kabel	€ 8,62	
12T HTD pulley / manjša jermenica za motor	€ 3,52	
charger / 75,6V polnilec	€ 40,50	
capton tape / Kapton leplilni trak	€ 4,65	
key switch / stikalo na ključ	€ 2,22	
m3 heat insert / m3 navojni vložki	€ 2,69	
dc dc converter / DC DC pretvornik	€ 8,82	
30w LED	€ 8,85	
UPS 5V / Brezprekinitveni napajalnik	€ 1,27	
80V - 12V 3A pretvornik	€ 8,28	
heatsink / hladilnik	€ 6,50	
buck boost napajalnik	€ 5,14	
piezoelektrični senzor	€ 1,83	
sim800I GSM modem	€ 3,38	
esp32 mikrokontroler	€ 3,69	
1500mm in 1495 mm HTD jermen	€ 22,56	
Bluetooth VESC modem	€ 20,24	
GPS modem	€ 2,94	
idler 20t / Aluminijasti škripec z robovi	€ 4,05	
XT90S	€ 2,11	
bearings / ležaji	€ 1,44	
20t idler / Aluminijasti škripec z robovi	€ 2,14	
Polnilec VC8 Xtar	€ 36,95	
162 * baterij	€ 233,98	
Kolo MuddyFox	350€	
Aluminijasta diska	€ 35,00	
menjava špic	€ 45,00	
plastika za 3d tiskanje (PETG 3kg)	€ 75,00	
Skupaj	€ 1.219,89	

Tabela 6.1: Stroškovni izračun (Avtor: Lan Koglot)

## POGLAVJE 7

# UGOTOVITVE

---

Hipoteza 1: Moč elektromotorja bo sorazmerna s tretjo potenco končne hitrosti. Odstopanje ne bo preseglo 20%. Hipotezo lahko potrdita.

Ugotovila sva, da je moč, ki je potrebna za poganjanje kolesa sorazmerna s tretjo potenco končne hitrosti. Do odstopanj večjih od 20% je prišlo le pri začetnih dveh meritvah, zaradi manjše učinkovitosti električnih motorjev pri nižjih obratih.

Hipoteza 2: Celotno električno kolo bo stalo manj, kot podobno električno kolo na trgu. Hipotezo lahko potrdita.

Hipotezo sva potrdila, saj je bila izdelava električnega kolesa cenejša kot nakup takšnega kolesa na trgu. Vsi stroški skupaj so znašali 1220€. Čas uporabljen za izdelavo v tem primeru ni upoštevan. (Če bi končnim stroškom prišteli še čas, bi končna cena znašala veliko več kot cena takega kolesa na trgu.)

Hipoteza 3: Kolo bo zmožno preseči hitrost 60 km/h. Poleg tega ga bova lahko omejila na dovoljeno hitrost 25 km/h. Hipotezo lahko potrdita.

Na tehničnem pregledu je kolo doseglo hitrost 68 km/h. V programu VESC Tool pa sva ga lahko omejila na dovoljeno hitrost 25 km/h.

Hipoteza 4: Pri večjem prestavnem razmerju 14,2 (170/12) bo končna hitrost pri omejeni moči manjša, pri manjšem prestavnem razmerju 11,3 (170/15) bo končna hitrost pri omejeni moči večja. Hipotezo ovržemo.

Prvotno sva sklepala, da bo končna hitrost pri manjšem prestavnem razmerju večja. To sva sklepala na podlagi lastnih izkušenj pri kolesarstvu, kjer z višjimi prestavami (višja prestava pomeni manjše prestavno razmerje) dosežemo višje hitrosti. Pri omejeni moči sva ugotovila, da je končna hitrost pri višjem prestavnem razmerju večja, kot pri manjšem. Pri manjšem prestavnem razmerju pa je končna hitrost manjša. To je posledica manjše učinkovitosti električnih motorjev pri nižjih obratih.

Hipoteza 5: Masa ne bo vplivala na končno hitrost kolesa. Hipotezo lahko potrdita.

Z merjenjem hitrosti kolesa ob dodatni masi na kolesu sva ugotovila, da ima masa na končno hitrost skoraj zanemarljiv vpliv. Sorazmernostni koeficient je v primeru brez dodatne mase znašal 0,43. Z dodatno maso pa je znašal 0,45. V najnem primeru, se pravi pri moči 1500 W, razlika v hitrosti znaša le 1,6% ( $15,17 \text{ m/s} - 14,93 \text{ m/s} = 0,24 \text{ m/s}$ , kar je enako 1,6% razliki).

Hipoteza 6: Izmerjen domet bo približno 60km. Odstopanje ne bo večje od 10%.

Hipotezo lahko potrdita, saj odstopanje ni večje od 10%. Prevožena razdalja je sicer

znašala 55,1 km, vendar je bateriji ostalo približno 15% energije. Če bi poti prišteli še 15% procentov, bi celoten domet znašala 63,4 km.

## POGLAVJE 8

# ZAKLJUČEK

---

Skozi raziskovalna nalogo sva spoznala pomembne vidike izdelave in delovanja doma izdelanega električnega kolesa. Za izdelavo je bilo potrebno veliko strokovnega znanja, ne le na področju elektrotehnike ampak predvsem na področju strojništva. Skozi analizo sestavnih delov, meritve hitrosti kolesa v odvisnosti od razpoložljive moči ter vpliva dodatne mase na kolesu, sva pridobila podrobni pogled v delovanje in zmogljivosti takega kolesa.

Ugotovila sva, da je moč, potrebna za gibanje kolesa, tesno povezana s tretjo potenco končne hitrosti. Kljub temu pa je prišlo do odstopanj zaradi samih lastnosti elektromotorjev. Vpliv dodatne mase na kolesu sva opazila pri povečanju sorazmernostnega koeficiente, kar zmanjša končno hitrost pri enaki moči, vendar je ta sprememba lahko zanemarljiva.

Stroškovni izračun je pokazal, da je izdelava doma izdelanega električnega kolesa cenevno ugodnejša v primerjavi s kolesi na trgu. Čeprav je bilo potrebno v izdelavo vložiti veliko dela in časa, je bilo to vredno truda.

Zaključiva z mislijo, da je izdelava takega kolesa zelo zanimiv izziv za kogarkoli, ki mu je to področje všeč. Pri izdelavi produkta pa sva nadgradila najino znanje na področju elektrotehnike in strojništva, ki nama bo najverjetneje koristilo v prihodnosti.



# Literatura

---

- [1] Eurotrade. [https://www.cs-eurotrade.com/wp-content/uploads/2020/07/EP8\\_groupset\\_image-w-BT-E8016-A-blue-1024x1024.jpg](https://www.cs-eurotrade.com/wp-content/uploads/2020/07/EP8_groupset_image-w-BT-E8016-A-blue-1024x1024.jpg), (3. 2. 2024).
- [2] Sunrise-tech. [https://www.sunrise-tech.com.tw/uploads/editor/files/image\(14\).png](https://www.sunrise-tech.com.tw/uploads/editor/files/image(14).png), (13. 2. 2024).
- [3] Flipsky. <https://flipsky.net/products/flipsky-sensored-outrunner-brushless-dc-motor-battle-hardened-7070-110kv-4200w/>, (23. 11. 2023).
- [4] Howtomechatronics. <https://howtomechatronics.com/wp-content/uploads/2019/02/How-Brushless-Motor-and-ESC-Work.jpg>, (13. 1. 2024).
- [5] Reidcycles. [https://www.reidcycles.com.au/cdn/shop/files/SideOnTransparent\\_650036da-7c49-458f-b1b4-4f9a4443e68f.png?v=1693957073](https://www.reidcycles.com.au/cdn/shop/files/SideOnTransparent_650036da-7c49-458f-b1b4-4f9a4443e68f.png?v=1693957073), (23. 2. 2024).
- [6] Ebay. [https://www.ebay.com/itm/271919829962?\\_ul=BY](https://www.ebay.com/itm/271919829962?_ul=BY), (9. 2. 2024).
- [7] Shopify. [https://cdn.shopify.com/s/files/1/0609/4838/1934/files/inside\\_18650\\_ebike\\_battery.jpg?v=1677319674](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0609/4838/1934/files/inside_18650_ebike_battery.jpg?v=1677319674), (9. 2. 2024).
- [8] Shimano. [https://dassets.shimano.com/content/dam/global/cg1SHICCycling/final/products/cg2SHICComponent/cg3SHICCycleComputer/cg4SHICCycleComputerDi2STEPS/SC-E5000\\_C6\\_1.jpg](https://dassets.shimano.com/content/dam/global/cg1SHICCycling/final/products/cg2SHICComponent/cg3SHICCycleComputer/cg4SHICCycleComputerDi2STEPS/SC-E5000_C6_1.jpg), (9. 2. 2024).
- [9] Bing. <https://th.bing.com/th?q=Musdyfox%20Colossus%20400%2C%2022%20Frame%2029%20Wheels&w=400&h=400&c=7&pid=1.7&adlt=moderate&t=1>, (3. 2. 2024).
- [10] Ebay. <https://i.ebayimg.com/images/g/tmMAAOswxt5josRZ/s-l1600.jpg>, (3. 2. 2024).
- [11] Amazon. <https://m.media-amazon.com/images/I/413PAqcba1L.jpg>, (24. 1. 2024).
- [12] Alicdn. <https://ae01.alicdn.com/kf/S377608e00b6648c5b002827d114150f1x/Flipsky-75100-With-Aluminum-PCB-Based-on-VESC-For-Electric-Skateboard-Scooter-Ebike-Speed-Controller.jpg>, (24. 1. 2024).
- [13] Reddit. <https://preview.reddit.it/4wek51jqtjn51.png>?auto=webp&s=85edda772a170408bf19a15c34f90c3ebd17a934, (3. 2. 2024).
- [14] Google. [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fjapanese.alibaba.com%2Fproduct-detail%2FOriginal-DMEGC-INR18650-26E-18650-15A-1600400563384.html&psig=A0vVaw0gq\\_HBXvQZjFqhsciFqGFo&ust=1710403573452000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=OCBMQjRxqFwoTCJCMnNb18IQDFQAAAAAdAAAAABAE](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fjapanese.alibaba.com%2Fproduct-detail%2FOriginal-DMEGC-INR18650-26E-18650-15A-1600400563384.html&psig=A0vVaw0gq_HBXvQZjFqhsciFqGFo&ust=1710403573452000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=OCBMQjRxqFwoTCJCMnNb18IQDFQAAAAAdAAAAABAE), (3. 2. 2024).
- [15] Google. <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.smartelektr.si%2Fizdelek%2Fli-ion-celica-samsung-inr18650-35e%2F&psig=A0vVaw1GXONBIVa01XV9z1WiRrFN&ust=1710403833645000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=OCBMQjRxqFwoTC0jvqnk8IQDFQAAAAAdAAAAABAt>, (3. 2. 2024).

- [16] Repackr. <https://www.repackr.com/>, (6. 7. 2023).
- [17] Tyma. <https://www.tyma.eu/img/eshop/zr-htd.jpg?v=0852e8fb>, (2. 2. 2024).
- [18] J. STROPNIK. *Dinamika. Ljubljana. TZS.* 1998.
- [19] J. STROPNIK. *Zbirka formul, veličin in preglednic iz mehanike. Ljubljana. Državni izpitni center.* 2015.
- [20] Capelight. <https://capelight.wordpress.com/2018/06/16/full-guide-to-creating-a-htd-timing-pulley-in-cad-fusion-360/>, (2. 2. 2024).
- [21] Vesc. [https://vesc-project.com/sites/default/files/VESC\\_Tool\\_2019\\_desktop\\_manual/Motor\\_Wizard\\_07.jpg](https://vesc-project.com/sites/default/files/VESC_Tool_2019_desktop_manual/Motor_Wizard_07.jpg), (3. 2. 2024).
- [22] Z. ŽALAR. *Elektrotehnika: učbenik za srednje poklicno, poklicno-tehniško, srednje strokovno in gimnazijsko izobraževanje. Ljubljana. Bookstore.si.* 2022.

## DODATEK A

### Tabela kapacitet

število sklopa:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
kapaciteta 1.baterije (mAh)	2900	2883	2873	2869	2857	2880	2873	2858	2872
kapaciteta 2.baterije (mAh)	2854	2883	2872	2840	2853	2857	2872	2848	2864
kapaciteta 3.baterije (mAh)	2852	2831	2839	2839	2844	2847	2864	2834	2839
kapaciteta 4.baterije (mAh)	2841	2820	2832	2823	2826	2847	2842	2834	2822
kapaciteta 5.baterije (mAh)	2834	2813	2813	2822	2824	2820	2819	2833	2811
kapaciteta 6.baterije (mAh)	2804	2813	2800	2817	2819	2819	2810	2822	2808
kapaciteta 7.baterije (mAh)	2780	2810	2799	2808	2799	2795	2780	2792	2802
kapaciteta 8.baterije (mAh)	2763	2781	2781	2798	2785	2777	2771	2784	2792
kapaciteta 9.baterije (mAh)	2760	2753	2778	2771	2780	2745	2757	2783	2777
število sklopa:	10	11	12	13	14	15	16	17	18
kapaciteta 1.baterije (mAh)	2893	2848	2852	2859	2882	2879	2885	2886	2909
kapaciteta 2.baterije (mAh)	2855	2847	2843	2841	2860	2857	2868	2859	2874
kapaciteta 3.baterije (mAh)	2854	2844	2833	2831	2854	2848	2863	2848	2866
kapaciteta 4.baterije (mAh)	2823	2842	2829	2830	2826	2832	2858	2827	2863
kapaciteta 5.baterije (mAh)	2819	2824	2829	2829	2814	2822	2857	2822	2855
kapaciteta 6.baterije (mAh)	2793	2820	2817	2817	2803	2815	2786	2805	2792
kapaciteta 7.baterije (mAh)	2788	2815	2808	2806	2801	2782	2758	2804	2783
kapaciteta 8.baterije (mAh)	2787	2777	2805	2793	2789	2779	2757	2775	2726
kapaciteta 9.baterije (mAh)	2775	2770	2771	2782	2758	2773	2756	2761	2720