

IZDELAVA ELEKTRIČNEGA KOLESA ZA ŠTUDENTSKO TEKMOVANJE 2012

Primož SUKIČ

POVZETEK

Ekipo treh študentov se je odločila, da se v letu 2012 udeleži tekmovanja v izdelavi električnega kolesa. Članek opisuje celoten proces od zamisli, pregleda trga, nabave komponent, izdelave kolesa, testiranja in na koncu še samo tekmovanje. Pri sami izdelavi električnega kolesa je ekipa naletela na precej težav, katere je dokaj uspešno reševala. Ekipa si je zastavila, dati prednost navoru, kar se je izkazalo za dobro odločitev. Vgradila je 1000 W brezkrtačni motor in baterijski paket, ki je bil sposoben shraniti 720 Wh, na kolo starejšega datuma (Pony 20"). Ekipa je tekmovanje zaključila na odličnem 2. mestu.

ABSTRACT

The team of three students decided to participate in the student competition in making of an electric bicycle in year 2012. This paper describes the whole process of making an electric bicycle, from the idea, market review, buying components, bicycle building, testing and at the end competition. The team had a lot of problems with some components, with setup and testing. It was decided to give priority to the developed torque of the whole system, which was proven as a good decision. An older bicycle Pony 20" was equipped with 1000W Brushless DC motor and LiPo battery package which can store 720 Wh of energy. The team finished the competition at the second place.

1. UVOD

Leta 2012 smo se ekipa treh študentov (Primož Sukič, Aleš Kolbl in Uroš Srpčič) prijavili na meddržavno študentsko tekmovanje v izdelavi električnih koles (Slika 1).

Pravila organizatorja so bila preprosta: izdelati električno kolo za 500,00 EUR brez DDV, s katerim bi lahko tekmovali v vseh tekmovalnih kategorijah.

Tekmovalne kategorije so bile tri:

- premagovanje razdalje - dvourni vožnja po hipodromu. Zmagovalec je tisti, ki prevozi najdaljšo razdaljo brez uporabe pedal;

- premagovanje strmine - vožnja v klanec s 18 % naklonom. Zmagovalec je tisti, ki prevozi klanec brez uporabe pedal. V primeru, da pride več ekip do vrha klanca, se upošteva čas;
- spretnostna vožnja - vožnja na poligonu. Zmaga ekipa, ki v najkrajšem času prevozi poligon, pri čemer je dovoljena uporaba električnega pogona in pedal .



Slika 1: Naša tekmovalna ekipa : Uroš Srpčič, Primož Sukič in Aleš Kolbl

2. NAČRTOVANJE IZDELAVE ELEKTRIČNEGA KOLESA

Glede na tekmovalne kategorije smo se odločili, da izdelamo električno kolo s precej zmogljivim motorjem, saj sta bili pri dveh tekmovalnih kategorijah pomembni navor (vožnja v hrib) in hitro pospeševanje (spretnostna vožnja). Tudi pri kategoriji premagovanja razdalje je bilo potrebno vzdrževati precejšno hitrost, kar zahteva dovolj moči.

2.1 Zahteve glede moči in navora.

Minimalne zahteve glede moči in navora nam določa druga tekmovalna kategorija. To je 200 m dolg klanec z 18 % naklonom. Naše zahteve so bile, da bi moralo biti električno kolo sposobno v tak klanec peljati maso 70 kg (voznik, kolo, motor, baterije,...) s hitrostjo vsaj 25 km/h. Zato smo izračunali minimalno potrebno moč P , navor M in število vrtljajev motorja na minuto n .

$$\begin{aligned}
 m &= 70 \text{ [kg]} && \text{Masa voznika s kolesom} \\
 g &= 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] && \text{Gravitacijski pospešek} \\
 \Phi &= 18 \text{ [%]} && \text{Naklon klanca} \\
 r &= 0,25 \text{ [m]} && \text{Polmer kolesa} \\
 v &= 25 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right] && \text{Hitrost vožnje}
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Pretvorba hitrosti iz km/h v m/s.

$$v = \frac{25 \text{ [km/h]}}{3,6} \approx 7 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \tag{2.2}$$

Izračun naklonskega kota klanca φ iz naklona klanca Φ :

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\Phi}{100}\right) = \arctan\left(\frac{18}{100}\right) = 0,178 \text{ [rad]} \tag{2.3}$$

Sedaj lahko izračunamo minimalno silo F , ki jo mora premagovati kolo z vožnjo v takšen klanec:

$$F = m \cdot g \cdot \sin(\varphi) = 70 \cdot 9,81 \cdot \sin(0,178) = 121,7 \text{ [N]} \tag{2.4}$$

Razdalja l , ki jo prevozi kolo z enim obratom, če je polmer kolesa $r = 0,25 \text{ [m]}$:

$$l = 2\pi r = 2\pi \cdot 0,25 = 1,57 \text{ [m]} \tag{2.5}$$

Minimalno število obratov n , ki jih mora motor zagotoviti, da se doseže želena hitrost vožnje $v = 7 \text{ [m/s]}$:

$$n = \frac{v}{l} 60 = \frac{7}{1,57} 60 = 267 \text{ [min}^{-1}\text{]} \tag{2.6}$$

Potreben navor M na osi motorja, da dosežemo želeno silo F na polmeru kolesa $r = 0,25 \text{ [m]}$:

$$M = F \cdot r = 121,7 \cdot 0,25 = 30,4 \text{ [Nm]} \tag{2.7}$$

Minimalna moč motorja P za zagotavljanje potrebnih parametrov:

$$P = M \cdot \omega = M \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = 30,4 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 267}{60} = 852 \text{ [W]} \quad (2.8)$$

Podan izračun nam je pokazal, da potrebujemo motor z močjo, ki je večja od 852 W. To pomeni, da moramo vzeti motor, ki je v prvem višjem razredu, kar je 1000 W.

2.2 Zahteve glede kapacitete baterije

Kapaciteto baterije nam je določala prva tekmovalna kategorija v premagovanju razdalje. Zato smo se lotili izračuna, koliko energije moramo shraniti v baterijske pakete, da bomo lahko vozili dve uri s povprečno hitrostjo $v = 30 \text{ km/h}$.

Glavna sila pri tej hitrosti, ki jo je potrebno premagovati je zračni upor. Poleg tega je potrebno še upoštevati kotalno trenje, izkoristek motorja in krmilnika.

$$\begin{aligned} \rho &= 1,2 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] && \text{Gostota zraka} \\ c_u &= 0,8 && \text{Koeficient zračnega upora} \\ S &= 0,4 \left[\text{m}^2 \right] && \text{Presek kolesarja in kolesa} \\ F_k &= 8 \text{ [N]} && \text{Sila upora zaradi kotalenga trenja} \\ v &= 30 \left[\frac{\text{km}}{\text{h}} \right] \approx 8,3 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] && \text{Hitrost vožnje} \\ t &= 2 \text{ [h]} = 7200 \text{ [s]} && \text{Čas vožnje} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Izračun zračnega upora:

$$F_u = \frac{1}{2} \rho \cdot c_u \cdot S \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 0,4 \cdot 8,3^2 = 13,3 \text{ [N]} \quad (2.10)$$

Silo kotalnega trenja zaradi nepoznavanja karakteristik podlage nismo računali, vendar smo le predpostavili, da je $F_k = 8 \text{ N}$ [5].

Tako je skupna sila, ki jo je potrebno premagovati, seštevek sile zračnega upora F_u in sile kotalnega trenja F_k :

$$F = F_u + F_k = 13,3 + 8 = 21,3 \text{ [N]} \quad (2.11)$$

Sedaj, ko poznamo kakšno silo moramo premagovati, lahko izračunamo koliko dela A moramo v premagovanje te sile vložiti v dveh urah. Zato si moramo najprej izračunati prevoženo pot s v dveh urah:

$$s = v \cdot t = 8,3 \cdot 7200 = 60000 \text{ [m]} = 60 \text{ [km]} \quad (2.12)$$

$$A = F \cdot s = 21,3 \cdot 60000 = 1,28 \cdot 10^6 \text{ [Ws]} \quad (2.13)$$

Pretvorba iz vatnih sekund Ws v vatne ure Wh :

$$A = \frac{1,28 \cdot 10^6 \text{ [Ws]}}{3600} = 355 \text{ [Wh]} \quad (2.14)$$

Izračun pokaže, da bi bilo potrebno za premagovanje zračnega upora in kotalnega trenja za dve uri imeti shranjenih v baterijah $W = 355 \text{ [Wh]}$ 355 Wh energije. Vendar je temu potrebno prišteti še izkoristek motorja in pretvornika. Za ti dve komponenti smo predpostavili, da skupaj dosegata izkoristek $\eta = 75 \text{ [%]}$. Tako smo izračunali skupno potrebno energijo, ki jo je potrebno imeti shranjeno v bateriji W_B , da pokrijemo še izgubo zaradi izkoristka motorja in pretvornika:

$$W_B = \frac{W}{\eta} = \frac{355}{0,75} = 474 \text{ [Wh]} \quad (2.15)$$

Izračun nam je pokazal, da bi potrebovali baterijo, ki bi bila sposobna shraniti vsaj 474 Wh energije. A ker se nam je zdelo smotrno dati še nekaj rezerve, bi morala baterija imeti čez 500 Wh shranjene energije.

Po premisleku, pregledu trga in času, ki smo še ga imeli na razpolago je postalo jasno, da odpade lastna izdelava motorja in pretvornika. Pri lastni izdelavi pretvornika bi nas posamezne komponente stale več, kot že narejen in delujoč pretvornika. Končna odločitev je bila, da smo pretvornika in motor kupili, baterijski paket pa smo izdelali sami.

3. SESTAVNI DELI

3.1 Motor

Izračun je pokazal, da potrebujemo motor moči $P = 1000 \text{ W}$, ki je sposoben razviti navor vsaj $M = 30 \text{ Nm}$ pri vrtljajih $n = 270 \text{ min}^{-1}$. Ker potrebujemo večjo končno hitrost mora motor razviti večjo hitrost. Torej smo morali vzeti motor z nekaj rezerve.

Izbrali smo brezkrtačni enosmerni motor 48 V 1000 W proizvajalca Golden motor [1], ki je vgrajen v kolo (hub motor) Slika 2. Motor razvije navor 31 Nm ter 460 min^{-1} .



Slika 2: Električni motor

Tabela 1: Tehnični podatki motorja

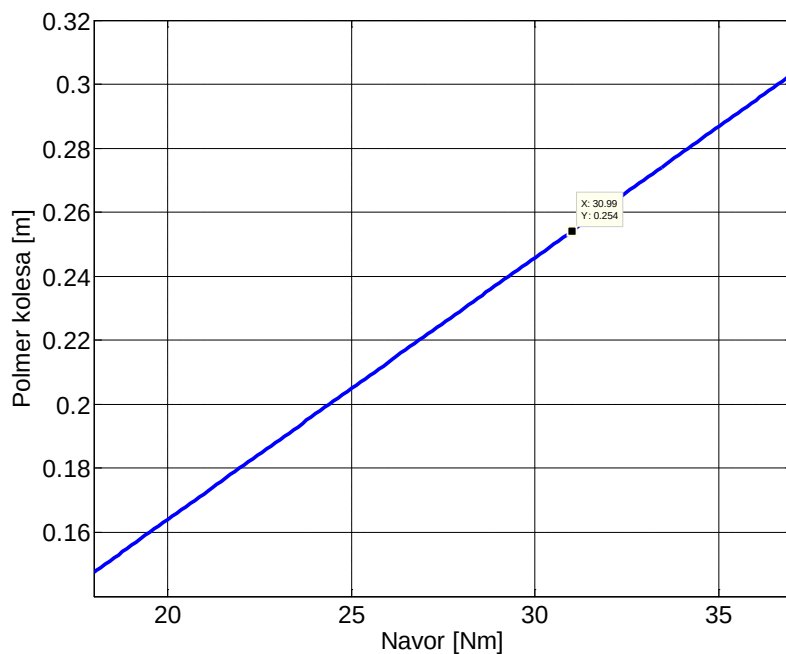
Tip	BLDC HUB MOTOR
Verzija	Zadnji
Napetost [V]	48
Moč [W]	1000
Navor [Nm]	31
Masa [kg]	5,5

3.2 Kolo

Izračun je pokazal, da mora kolo razvijati ob stiku s podlago razvijati silo vsaj $F = 122 \text{ N}$, da bi lahko premagali klanec z 18 % naklonom.

S pomočjo enačbe (3.1) smo narisali graf iz katerega se lahko odčita kakšen polmer kolesa potrebujemo za motor, ki razvije navor $M = 31 \text{ Nm}$, da bo sila kolesa na stiku s podlago $F = 122 \text{ N}$.

$$M = F \cdot r \quad (3.1)$$



Slika 3: Relacija med navorom in polmerom kolesa za doseganje sile ob stiku s podlago 122N

Slika 3 kaže, da smo pri navoru $M = 31 \text{ Nm}$ odčitali polmer kolesa. Tako mora biti polmer kolesa $r \leq 0.25 \text{ m}$, da bo zagotovljena dovolj velika sila ob stiku s podlago.

Zaradi tega je bilo izbrano kolo starejše izdelave Pony 20" (Slika 4). Za naše potrebe je bilo idealno.



Slika 4: Kolo Pony 20"

3.3 Baterijski paket

Po pregledu trga baterij in akumulatorjev smo se odločili, da vzamemo litij ionske baterije zaradi majhne mase in volumna v primerjavi s svinčenimi akumulatorji za isto shranjeno energijo.

Baterijski paket je ekipa izdelala sama. Za enako ceno smo dobili precej boljše specifikacije baterij v primerjavi s ponudbo že narejenih baterijskih paketov za električna kolesa. Potrebovali smo baterijski paket, ki je sposoben shraniti več kot 500 Wh električne energije ter povprečno priključno napetost 48 V.

Odločili smo se za modelarske litij ionske baterije proizvajalca Turnigy [2] (Slika 5).



Slika 5: Turingy Baterijski paket 5 Ah 6S 25C

Za osnovo smo izbrali celico napetosti 3,7 V kapacitete 5 Ah in s konstantnim praznjenjem pri 25 C. Cena je bila ključna za odločitev, da se sestavi baterijski paket iz že sestavljenih manjših paketov, kot prikazuje Slika 5. Ta paket vsebuje 6 celic, vezanih zaporedno in je sposoben shraniti 111 Wh električne energije. Iz takšnih paketov smo sestavili tekmovalni baterijski paket. Najprej smo vezali iz teh paketov 14 celic zaporedno, da smo dobili priključno napetost 48 V. Ena takšna vezava baterij bi naj bila sposobna shraniti približno 250 Wh električne energije, dva paketa pa 500 Wh. Ker smo želeli še nekaj rezerve v kapaciteti našega baterijskega paketa, smo vezali vzporedno tri takšne pakete. V takšni sestavi ima baterijski paket 15 Ah, 48V in lahko shrani do 750 Wh električne energije (Slika 6). Poln baterijski paket ima napetost na priključnih sponkah 59.9 V, pri izpraznjeni bateriji pa 42V.



Slika 6: Baterijski paket 48 V, 15 Ah, 15C

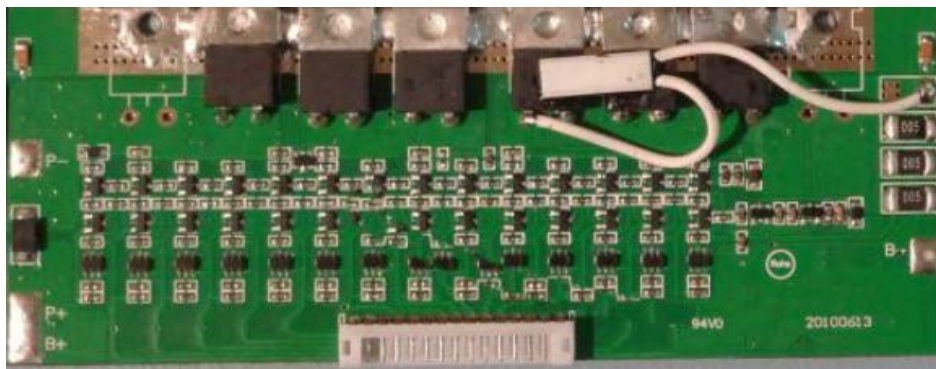
Tabela 2: Tehnični podatki baterije

Kapaciteta	15 Ah
Konfiguracija	14S (48V)
Max tok praznjenja	300 A
Masa	5.7 kg
Max tok polnjenja	10 A
Dolžina	15 cm
Višina	15 cm
Širina	13 cm

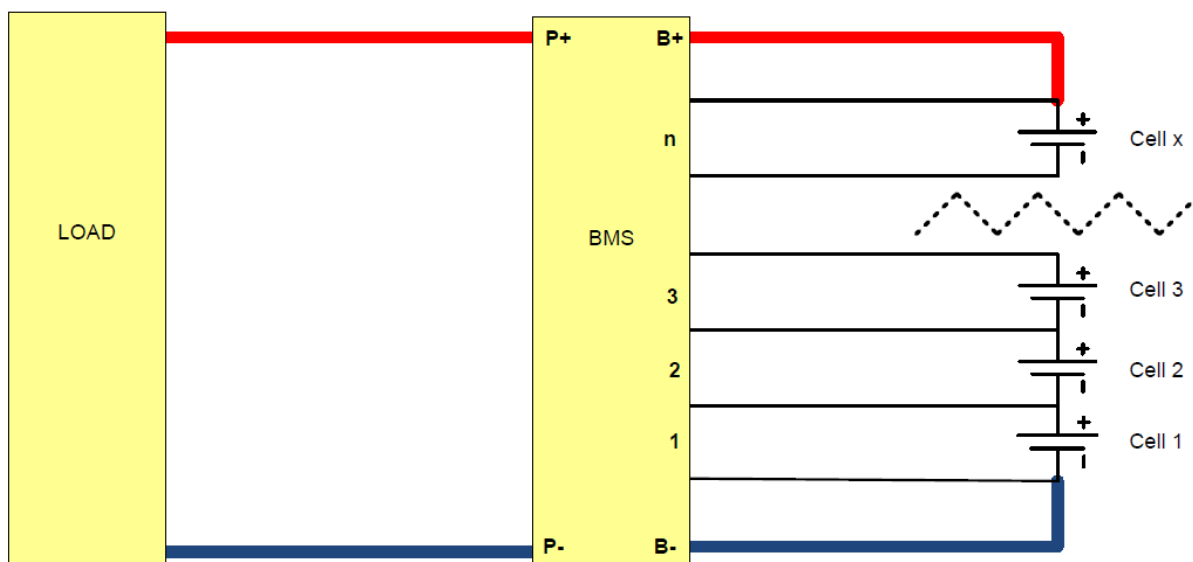
3.4 Sistem za upravljanje z baterijo (BMS)

Izbrali smo BMS (battery management system) slovenskega proizvajalca eCat (Slika 7) [3]. Izdelan je za vodenje 14 litij ionskih celic (Slika 8). BMS skrbi, da so celice znotraj mej, ki določajo varno uporabo litij ionskih celic. Zgornja meja pri kateri se izklopi napajanje

je $V_{max} = 4.28 \text{ V}$, spodnja meja pa je $V_{min} = 3 \text{ V}$. BMS med drugim tudi omogoča, da se pri polnjenju celice balansirajo. Maksimalni tok balansiranja je 300 mA . Maksimalni tok skozi BMS pa je 45 A .



Slika 7: BMS proizvajalca eCat



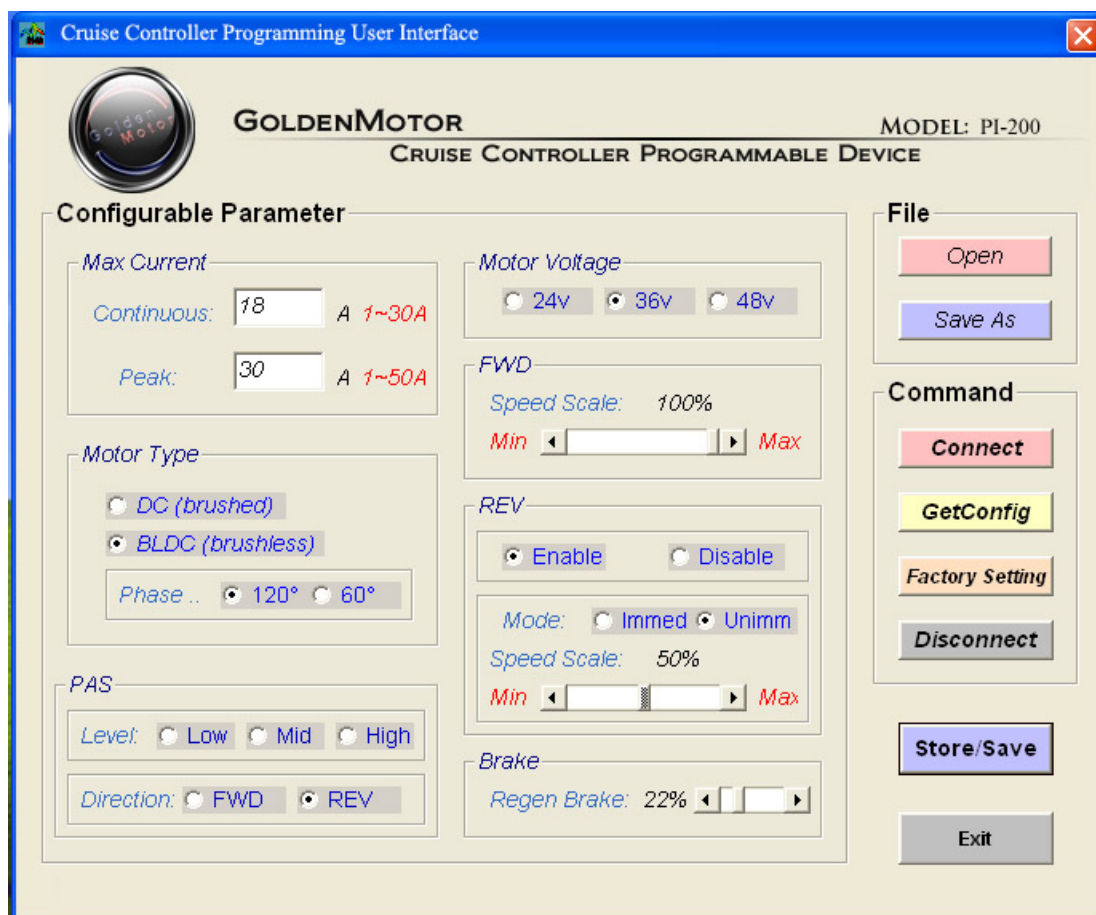
Slika 8: Vezava BMS-a

3.5 Krmilnik s pretvornikom

Izmed več proizvajalcev je bil izbran krmilnik s pretvornikom istega proizvajalca kot motor sam, t.j. Golden Motor (Slika 9) [1], saj je prilagojen za motor, ki smo ga vgradili v kolo. Krmilnik s pretvornikom je sposoben delovanja pri različnih napetostnih nivojih med 18 V in 60 V . Maksimalni tok je $I_{max} = 30 \text{ A}$. Krmilnik s pretvornikom omogoča vožnjo v popolnoma električnem načinu ali v pedelec načinu in zmore tudi regenerativno zavirati. Zelo koristna možnost krmilnika je priklop na računalnik, ki omogoča nastavitve različnih parametrov (Slika 10).



Slika 9: Krmilnik s pretvornikom BAC podjetja Golden Motor

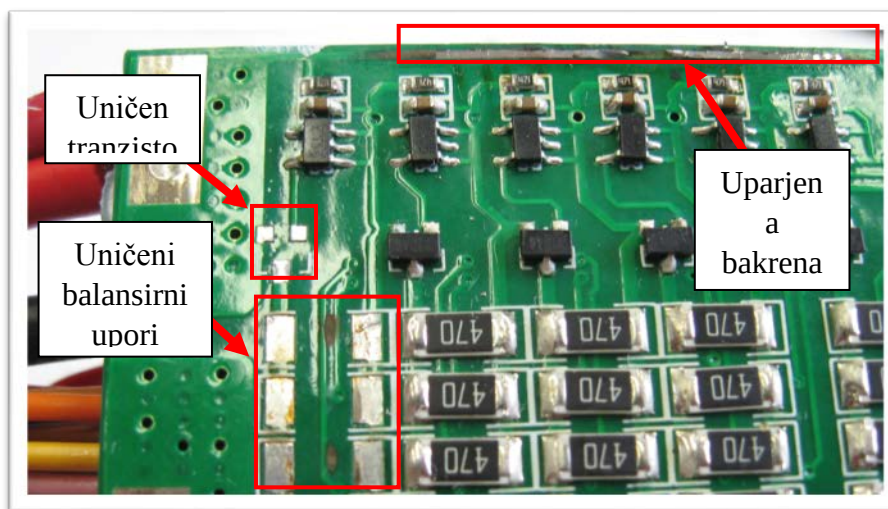


Slika 10: Uporabniški vmesnik za nastavljanje parametrov krmilnika

4. TESTIRANJE KOLESA

Nekaj dni pred začetkom tekmovanja je ekipa pričela s testiranjem izdelanega električnega kolesa. Najprej z vožnjo v neposredni okolici fakultete, nato pa po klancu naklona 18 %. Dobljeni rezultati so bili zelo vzpodbudni, saj se je z izdelanim električnim kolesom, lahko 100 kg težka oseba brez težav pripeljala na sam vrh 200 m dolgega klanca z naklonom 18 %.

Naslednje testiranje smo izvedli na hipodromu, kjer smo testirati baterijski paket in želeli določiti optimalno hitrost v disciplini na premagovanje razdalje. Testni voznik se je podal na vožnjo, a že po nekaj krogih, smo ugotovili slabosti našega sistema. Krmilnik je omogočal tudi vzvratno vožnjo, vendar ni imel zaščite, ki bi onemogočila vzvratno vožnjo, ko hitrost kolesa ni enaka nič. Po nekaj krogih vožnje, ko je testnemu vozniku postalo malo dolgčas in neudobno, je le-ta pri prestavljanju pomotoma dotaknil gumba za vzvratno vožnjo. Rezultat tega je bila uničena elektronika (Slika 11).



Slika 11: Uničen BMS

Potrebno je vedeti, da smo imeli baterijo popolnoma napolnjeno, kar pomeni, da je bila napetost na sponkah približno 59 V. Krmilnik deluje do napetosti 60 V, vgrajene pa je imel 63 V elektrolitske kondenzatorje. BMS izklopi baterijski paket pri 59.92 V.

V trenutku, ko je testni voznik pri hitrosti okoli 20 km/h pomotoma dotaknil gumba za vzvratno vožnjo, je prešel motor v generatorsko področje. Energija se je začela pretakati nazaj v baterije, kar je povzročilo povečanje napetosti na baterijah. V trenutku, ko je prva izmed litij ionskih celic dosegla zgornjo mejo 4.28 V, je BMS izklopil baterijo in prekinil tokokrog skozi močnostni del. Tok se je posledično zaključil skozi signalno linijo na BMS-u, ki tako velikega toka ni prenesla in se je uparila. Napetost je narasla do te mere, da je prebilo tudi tranzistor za balansiranje. Prav tako so se uničili balansirni upori saj je skozi njih je stekel prevelik tok. Po teh okvarah je bil baterijski paket popolnoma odklopljen od krmilnika in motorja, zato je motor postal neobremenjen, kar je povzročilo, da se je napetost nenadoma zvišala. Posledica

tega je bilo tudi uničenje krmilnika in sicer kondenzatorjev, ki so bili grajeni za maksimalno napetost 63 V ter uparitev bakrene linije. Nadaljnjo škodo je prekinila 30 A varovalka.

V izdelanem sistemu smo ugotovili in proučili dve napaki. Prva je ta, da je krmilnik omogočal vključitev vzratne vožnje med vožnjo naprej, druga napaka pa je v BMS-u, ki je imel direktno povezano signalno linijo z močnostnim delom brez predupora, ki bi omejil tok v primeru napake.

Vso nastalo škodo nam je uspelo še pravi čas odpraviti. Popravili smo elektroniko krmilnika in BMS-a, a nam je na koncu zmanjkalo časa za nadaljnja testiranja. Tako smo tekmovali brez poznavanja glavnih omejitev našega kolesa - kako celotni pogonski sklop, sestavljen iz motorja, krmilnik s pretvornikom in baterijskega paketa, prenaša neprestano dvournno delovanje.

5. TEKMOVANJE [4]

5.1 Prva tekmovalna kategorija

Prva tekmovalna kategorija ja bila premagovanje razdalje. V tej kategoriji je bilo potrebno prevoziti čim daljšo razdaljo v dveh urah. Pri tem zmaga ekipa, ki prevozi največjo razdaljo na hipodromu zgolj z električnim pogonom.

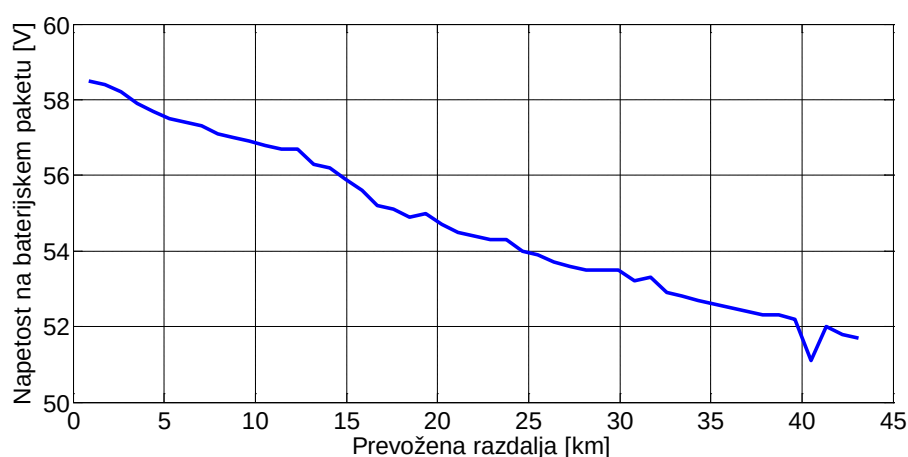
Naša strategija je bila, da začnemo počasi 15 km/h ter se sproti prilagajamo, glede na ostale ekipe ter zvišujemo ali znižujemo hitrost. Na kolesu smo imeli nameščen voltmeter (Slika 12), da smo v vsakem krogu odčitali napetost na baterijskem paketu (Slika 13) in sproti računali, koliko energije je še v bateriji.



Slika 12: Nameščen multimeter na kolesu za odčitavanje napetosti

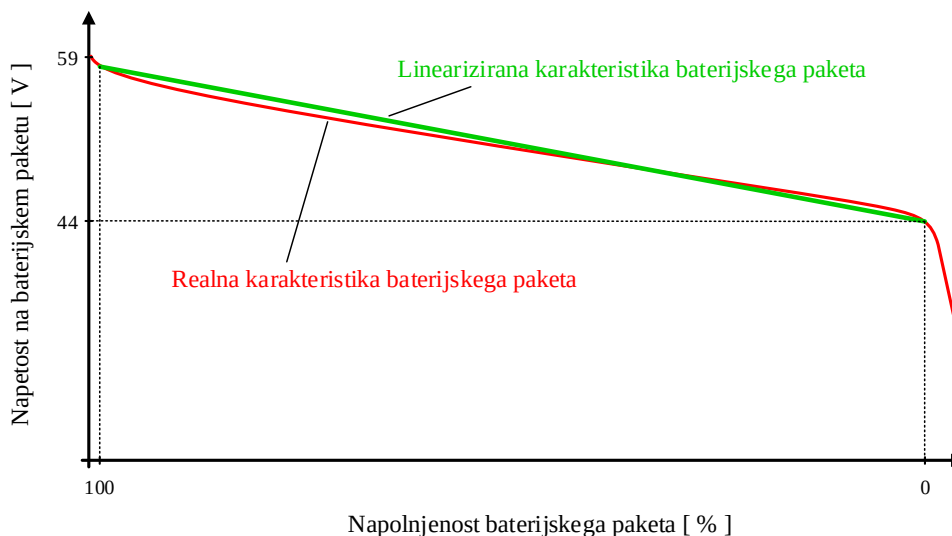


Slika 13: Voznik je vsak krog odčital napetost



Slika 14: Napetost na baterijskem paketu v odvisnosti od prevožene razdalje

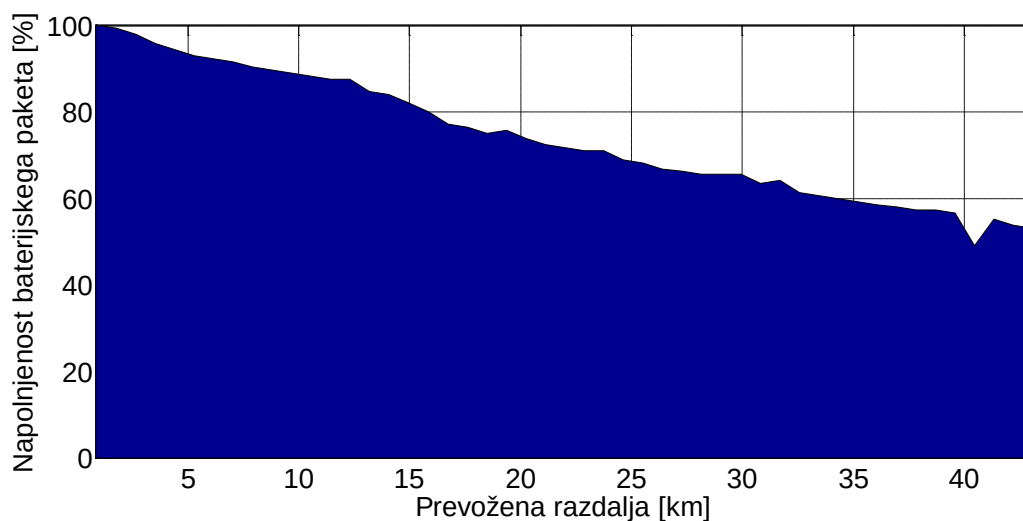
Slika 14 kaže napetost baterijskega paketa v odvisnosti od prevožene razdalje. Iz teh vrednosti smo določali koliko energije je še ostalo v baterijskem paketu. Napolnjenost baterijskega paketa smo računali linearno, pri tem pa nismo upoštevali popolne karakteristike baterije. Karakteristiko praznjenja baterije smo linearizirali kot kaže slika 15, kar nam je dalo zgolj približne vrednosti. Za zgornjo mejo smo vzeli napetost polne baterije po prvem prevoženem krogu $U_{\text{polne_baterije}} = 58,5 \text{ V}$. Spodnjo mejo, napetost prazne baterije $U_{\text{prazne_baterije}} = 44 \text{ V}$ smo izbrali v kolenu realne karakteristike baterijskega paketa.



Slika 15: Realna in linearizirana karakteristika baterijskega paketa

Vrednost trenutne napolnjenosti baterije smo dobili tako, da smo vzeli napetost polne baterije in od nje odšteli napetost prazne baterije. Ta razlika nam je predstavljala razpon napolnjenosti. Pr tem smo predpostavili, da je to 100 %. Napolnjenost baterije. Od odčitane vrednosti napetosti smo odšteli napetost prazne baterije, ta dva rezultata med seboj delili in dobili trenutno napolnjenost baterije kot prikazuje enačba 5.1.

$$\text{Napolnjenost_baterijskega_paketa} = \frac{U_{\text{na_bateriji}} - U_{\text{prazne_baterije}}}{U_{\text{polne_baterije}} - U_{\text{prazne_baterije}}} \cdot 100 \text{ [\%]} \quad (5.1)$$



Slika 16: Napolnjenost baterijskega paketa v relaciji s prevoženo razdaljo

Slika 16 prikazuje napolnjenost baterijskega paketa v odvisnosti od prevožene razdalje. V bateriji je bilo shranjenih okoli 720 Wh energije, kar pomeni, da smo teoretično za 53 km porabili malo manj kot 400 Wh.

Začetna povprečna hitrost je bila 15 km/h. Po nekaj krogih, ko smo iz statistike izračunali naklon praznjenja baterije, smo se odločili, da lahko brez skrbi povišamo hitrost vožnje. Postopoma smo višali hitrost vožnje, ki je polovico časa tekmovanja znašala povprečno 25 km/h, medtem ko je proti koncu tekmovanja povprečna hitrost znašala okoli 35 km/h. Vzdrževanje takšne hitrosti je motor preveč obremenilo, zato se je pregrel. Izklopila ga je termična zaščita. Tako smo tekmovanje zaključili 15 minut pred koncem tekmovalne kategorije. Prednost v prevoženi razdalji, ki smo jo nabrali pred okvaro nam je zadostovala za zmago v tej tekmovalni kategoriji.

5.2 Druga tekmovalna kategorija

Druga tekmovalna kategorija je bila premagovanje 200 m dolgega klanca z 18 % naklonom. Na klanec je uspela razen naše ekipe priti le še ena od šestih ekip. Da smo se povzpeli na vrh 200 m dolgega klanca smo potrebovali 22,4 s. Tako je znašala povprečna hitrost v klanec 32 km/h. V tej tekmovalni kategoriji smo zasedli drugo mesto. Zmagovalna ekipa je prevozila klanec v 17,5 s.



Slika 17: Prometni znak s tablo, ki označuje 18% klanec



Slika 18: Naš voznik v vožnji v klanec

V tej kategoriji nam je najbolj prišel prav 1 kW močan motor z velikim navorom, kolo z majhnimi kolesi in lahek voznik z maso približno 55 kg. Končni rezultati v tej kategoriji so bili proporcionalni močem motorjev, ki so jih posamezne ekipe vgradile v kolo. Zmagala je ekipa, ki je imela vgrajen 12 kW brezkrtačni letalski motor.

5.3 Tretja tekmovalna kategorija

Tretja tekmovalna kategorija je bila spretnostna vožnja. Potrebno je bilo v čim krajšem času prevoziti poligon (Slika 19). Nastavljeni so bili stožci in ostale ovire. Za vsak dotik se je dodelila kazenska sekunda.



Slika 19: vožnja po poligonu

V tej kategoriji smo prav tako potrebovali velik navor za hitro pospeševanje. Tudi tu so do izraza prišla električna kolesa z velikim navorom. Koristilo nam je tudi hitro zaviranje. Zato smo krmilnik priključili na računalnik (Slika 20) in nastavili največji možen navor pri pospeševanju. Vključili smo tudi regenerativno zaviranje in nastavili, da naj zavira z največjo možno močjo. Tako smo zavirali z motorjem in s klasičnimi zavorami, kar je bistveno skrajšalo zavorno pot.



Slika 20: Nastavitve parametrov krmilna preko računalnika

Ta tekmovalna disciplina je edina, kjer je veliko poleg samega kolesa, vplivala izkušnost in spretnost voznika. To je dokazal voznik (Slika 21), ki med svojo vožnjo sploh ni uporabljal električnega pogona a je dosegel izvrsten rezultat. Zato je smotno v bodoče pozornost posvetiti tudi tej kategoriji in treningu vožnje na poligonu.



Slika 21: Vešč tekmovalec je dosegel izvrsten rezultat

6. SKLEP

Tekmovanje in izdelava električnega kolesa je vsem članom ekipe predstavljalo zelo dobro izkušnjo, saj smo pri reševanju na videz preproste naloge naleteli na ogromno težav, ki smo jih s pomočjo znanja, ustvarjalnosti in improvizacije uspešno premagali. Ugotovili smo, da je pri izvajanju dejanskih projektov treba načrtovati nekaj rezervnega časa. Nepričakovane težave in tehnične okvare namreč zahtevajo določen čas, da se jih lahko uspešno reši in odpravi. Izkušnje s tekmovanjem kažejo, da smo poleg znanja potrebovali tudi nekaj sreče, da smo lahko uspešno predelali kolo in zaključili tekmovanje. Pri sami izdelavi smo se bili zaradi okvar primorani podrobno seznaniti z delovanjem in lastnostmi posameznih sestavnih delih, ki smo jih uporabili pri izdelavi električnega kolesa. To znanje in izkušnja nam bo gotovo kasneje v življenju koristila. Tekmovanje smo zaključili z 2. mestom. Dosegli smo 360,92 točke, za prvouvrščeno ekipo smo zaostali za 0,07 točke. Ta dosežek nam je vsem v ponos.

7. VIRI

- [1] Golden Motor, Marec 2013, <http://www.goldenmotor.com/>
- [2] Hobbyking, Marec 2013, http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/_9180_Turnigy_5000mAh_6S_25C_LiPo_Pack.html
- [3] eCat, Marec 2013, <http://www.ecat.si/bms-zascitna-elektronika-za-celice/>
- [4] Tekmovanje v izdelavi e-kolesa, Marec 2013, <http://e-bikes.uni-mb.si/2012/Rezultati.asp>
- [5] Rolling resistance, Marec 2013, http://en.wikipedia.org/wiki/Rolling_resistance

NASLOV AVTORJA

Primož Sukič, dipl. inž. el. (UN)

Univerza v Mariboru, Fakulteta, za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

Tel: + 386 2 220 71 75

Fax: + 386 2 252 54 81 ali + 386 2 220 72 72

Elektronska pošta: primoz.sukic@uni-mb.si