SƐR5
Srednja elektro-računalniška šola Maribor

Aleks Žvikart

POLNILNICA E-KOLES

Aplikativni inovacijski predlogi in projekti

Inovacijski predlog

Maribor, April 2023

POLNILNICA E-KOLES

Aplikativni inovacijski predlogi in projekti
Inovacijski predlog

Avtor:	Aleks Žvikart
Mentor:	Gregor Nikolić, mag. inž. el.
Šola:	Srednja elektro-računalniška šola Maribor
	Smetanova ulica 6
	2000 Maribor

ZAHVALA

Zahvaljujem se šoli, ki mi je omogočila raziskovalno dejavnost, staršem in punci za podporo ter mentorju za vso pomoč.

POLNILNICA E-KOLES

Ključne besede: e-kolesa, e-polnilnica, polnilnica e-koles, električno omrežje, inovacijski predlog.

Povzetek

Danes je v uporabi vse več e-koles, ki jih uporabniki v večini polnijo doma. Naša ideja je, da bi bilo polnjenje omogočeno tudi izven domačega okolja, torej v mestih, hribih in kolesarskih poteh. V inovacijskem predlogu polnilnice je omogočeno enosmerno in izmenično polnjenje hkrati. Ob tem pa bo polnilnica delovala neodvisno od električnega omrežja, kar v večini rešitev na trgi trenutno ni mogoče. Polnilnico e-koles bo mogoče nadzorovati tudi na daljavo.

V nalogi predstavljamo različne vrste e-polnilnic, baterije e-koles in polnilne kable, pri katerih univerzalnega standarda ni. Predstavimo vse sestavne dele, inovacijskega predloga polnilnice e-koles in dimenzioniran sistem. Določili in dimenzionirali smo vse potrebne dele predloga (MPPT, baterije, predupor in zaščito baterij). Opisali smo delovanje obeh načinov polnjenja (enosmerno in izmenično polnjenje) in primerjali našo polnilnico z drugimi.

E-BIKE CHARGING STATION

Keywords: e-bikes, e-charging station, e-bike charging station, electric grid, innovation proposal.

Abstract

Today, there is an increasing use of e-bikes that are mostly charged at home. Our idea is to enable charging outside the home environment, such as in cities, hills, and bike paths. In the innovation proposal for the charging station, both one-way and alternating current charging will be possible simultaneously. The charging station will operate independently of the electric grid, which is currently not possible in most solutions on the market. The e-bike charging station can also be remotely monitored.

In this paper, we present different types of e-charging stations, e-bike batteries, and charging cables, which do not have a universal standard. We describe all the components of the innovation proposal for the e-bike charging station and the dimensioning system. We have determined and dimensioned all the necessary parts of the proposal (MPPT, batteries, pre-resistor, and battery protection). We have described the operation of both charging modes (one-way and alternating current charging) and compared our charging station with others on the market.

KAZALO VSEBINE

KAZALO SLIK ..... **VIII**

KAZALO TABEL ..... **IX**

KAZALO GRAFOV ..... **IX**

1 UVOD **1**

2 PREGLED STANJA TEHNIKE **2**

2.1 E-polnilnice 2

2.1.1 POLNILNICE Z OMARICO ZA BATERIJE IN POLNILNE KABLE 2

2.1.2 STOJALA ZA KOLESA Z VTIČNICO 2

2.1.3 POLNILNA MESTA Z ENO ALI VEČ VTIČNICAMI (230 VAC) 3

2.1.4 POLNILNICE TIPA BIKE ENERGY 4

2.1.5 POLNILNE POSTAJE, KI JIH NAPAJAJO SONČNE CELICE 4

2.2 E-kolesa 6

2.2.1 BATERIJE E-KOLES 6

2.2.2 PROIZVAJALCI E-KOLES IN POLNILNI KABLI 7

3 ZASNOVA IN IZVEDBA **9**

3.1 FOTOVOLTAIČNI PANEL 10

3.2 REGULATOR POLNJENJA MPPT 100/30 11

3.2.1 BATERIJA 12

3.2.2 13

3.3 PREDUPOR (Smart Shunt 500/50 mV) 14

3.4 ZAŠČITA BATERIJE (SBP – 100 A) 15

3.5 Sistem CERBO GX za spremljanje parametrov 15

3.6 RAZSMERNIK 16

3.7 PRETVORNIK DC/DC 18

3.8 MERJENJE TOKA 19

3.9 DELILNIK NAPETOSTI 21

3.10 PROGRAMIRLJIVI LOGIČNI KRMILNIK - PLK 22

3.11 Dimenzioniranje 24

3.11.1 DIMENZIONIRANJE BATERIJE 24

3.11.2 DIMENZIONIRANJE REGULATORJA POLNJENJA MPPT (100/30) 27
3.11.3 DOLOČANJE VREDNOSTI PREDUPORA 29

4 MERITVE IN REZULTATI 30

4.1 OPIS DELOVANJA PV SISTEMA IN POLNJENJA Z IZMENIČNO NAPETOSTJO 31
4.2 OPIS DELOVANJA ENOSMERNEGA HITREGA POLNJENJA 33

5 DISKUSIJA 38

5.1 Primerjava naše rešitve z drugimi 38
5.2 Možnosti izboljšav 39
5.3 Ekonomija 40

6 DRUŽBENA ODGOVORNOST 41

7 ZAKLJUČEK 42

VIRI IN LITERATURA 43

KAZALO SLIK

Slika 1: Polnilnica z omarico (vir: Maitim ebike) 2
Slika 2: Polnilnica z stojalom (vir: Clorofilla, Bike Repair & Charge) 3
Slika 3: Enostavno polnilno mesto (vir: ESL e-mobility) 3
Slika 4: Polnilnica tipa Bike Energy (vir: BIKE ENERGY)..... 4
Slika 5: Polnilne postaje s PV paneli (vir: Delft University of Technology) 5
Slika 6: Blokovna zasnova koncepta..... 9
Slika 7: Uporabljen fotovoltaični panel Trinasolar 380 W, mono (vir: Schrack Technik) 11
Slika 8: Regulator polnjenja (vir: Victron Energy)..... 12
Slika 9: LiFePO4 baterija (vir: Victron Energy)..... 13
Slika 10: AGM baterija (vir: Victron Energy)..... 14
Slika 11: Tok in padec napetosti na preduporu (vir: Wiring Unlimited – Rev 06) 14
Slika 12: Priključitev SBP zaščite v tokokrog (vir: Victron Energy)..... 15
Slika 13: Cerbo GX (vir: Victron Energy)..... 16
Slika 14: Razsmernik (vir: Victron Energy)..... 17
Slika 15: Linearni pretvornik (vir: x-engineer)..... 18
Slika 16: pretvornik DC/DC (vir: Victron Energy)..... 19
Slika 17: Senzor 0-10 A (vir: Pololu) 20
Slika 18: Izračun napetostnega delilnika (vir: voltage divider calculator)..... 22
Slika 19: EASY719-DC-RC (vir: EATON)..... 23
Slika 20: Izbira MPPT regulatorja (vir: Victron Energy) 27
Slika 21: Izbira MPPT regulatorja (vir: Victron Energy) 28
Slika 22: Vezava predupora (vir: Victron Energy)..... 29
Slika 23: Blokovna shema polnilnice e-koles (vir: avtor naloge)..... 30
Slika 24: Enostavna blokovna shema e-polnilnice (vir: avtor naloge)..... 32
Slika 26: Sestavljen električni del polnilnice 32
Slika 25: Priključitev napetostnega analognega vhoda na krmilnik (vir: avtor naloge) 36
Slika 26: Idejni izgled polnilnice e-koles (vir: avtor naloge) 39

KAZALO TABEL

Tabela 1: Primerjava polnilnic 5
Tabela 2: Proizvajalci baterij in polnilni kabli [4] 7
Tabela 3: Karakteristika modula, STC – Standard Testing Condition (standardni testni pogoji) (vir: Schrack Technik) 10
Tabela 4: Mehanske lastnosti modula (vir: Schrack Technik) 10
Tabela 5: Napetostno stanje baterije v praznem teku (vir: Schrack Technik)... 13
Tabela 6: Nazivni podatki razsmernika (vir: Victron Energy) 17
Tabela 7: Nazivni podatki pretvornika DC/DC (Victron Energy) 19
Tabela 8: Nazivni podatki senzorja (vir: Pololu) 20
Tabela 9: Nazivni podatki krmilnika (vir: EATON) 23
Tabela 10: Porabniki sistema (vir: Victron Energy) 24
Tabela 11: Izračun potrebne energije in kapacitete baterij za PV sistem (vir: računala Victron Energy, izračun avtor naloge)..... 25
Tabela 12: Ocena proizvodnje (vir: Photovoltaic geographical information systems)..... 26
Tabela 13: Napolnjenost baterij v odstotkih (vir: ESG) 33
Tabela 14: Napetostno območje izbranih baterij in izbira polnilca (vir: avtor naloge) 34
Tabela 15: Popis materiala uporabljenega materiala z nabavnimi cenami..... 40

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Polnilni tok in napetost MPPT regulatorja (vir: Victron Energy) 12
Graf 2: sinusna PWM (vir: Schrack Technik)..... 17
Graf 3: Izhodna napetost v odvisnosti od merilnega toka (vir: Allegro microsystems) 20
Graf 4: Proizvedena energija sistema po mesecih (vir: Photovoltaic geographical information) 26
Graf 5: Stanje polne baterije po mesecih (vir: Photovoltaic geographical information systems) 27

Graf 6: Napetost in tok izbranih PV panelov v odvisnosti od temperature (vir: Victron Energy) 28
Graf 7: Izhodna napetost delilnika glede na vhodno napetost (vir: avtor naloge) 35
Graf 8: Izhodna napetost senzorja glede na vhodni tok (vir: avtor naloge) 36

SEZNAM KRATIC

PV – Photovoltaics

MPPT – Maximum power point tracking

BP – Battery Brotect

AGM – Absorbent Glass Mat

AC – Alternating Current

DC – Direct Current

VRLA – Valve Regulated Lead Acid

PLK – Programirljiv Logični Krmilnik

VRM – Victron Remote Monitoring

PWM – Pulse Width Modulation

STC – Standard Testing Condition

PERC – Passivated Emitter and Rear Contact

BMS – Battery Management System

USB – Universal Serial Bus

XLR – External Line Return

1 UVOD

Električna kolesa so priročno sredstvo za prevoz v mestu in rekreacijo v naravi. Imajo številne prednosti, kot so lažja dostopnost do željene lokacije, so brez emisij, zmanjšajo promet v mestih in posledično zmanjšajo zastoje. V zadnjih letih se število uporabnikov električnih koles zelo povečuje. Z električnim kolesom lahko vozimo do 25 km/h. Poleg tega imajo e-kolesa zelo nizko porabo električne energije (v območju 5-15 Wh/km) odvisno od pogona in zmogljivost. Ta je veliko nižja od porabe električne energije električnega avtomobila (150–200 Wh/km).

S polnilnico za e-kolesa in električnim napajanjem s sončno energijo, lahko e-kolesa spremenimo v trajnostno prevozno sredstvo. Ker se veliko uporabnikov e-koles rekreira v naravi, kjer nimamo dostopa do izvora električne energije, je bila naša ideja, da z inovacijskim predlogom tudi na teh mestih zagotovimo možnost polnjenja koles.

2 PREGLED STANJA TEHNIKE

2.1 E-polnilnice

V nadaljevanju naloge predstavljamo pregled stanja tehnike na področju e-polnilnic za električna kolesa. Osredotočili smo se na električne polnilnice koles, kaj posamezne izvedbe omogočajo in kakšno je trenutno stanje tehnike na tržišču.

2.1.1 POLNILNICE Z OMARICO ZA BATERIJE IN POLNILNE KABLE

Na trgu obstajajo polnilne omarice, kamor hranimo baterijo kolesa [1]. Omarica nudi prostor za vstavitev baterije in električnega polnilca. Polnjenje poteka preko vtičnice z nazivno napetostjo 230 V, pri čemer potrebujemo lasten električni polnilec. Lahko vsebuje tudi priključke USB za polnjenje. V njej lahko uporabnik napolni in shrani tudi mobilni telefon, prenosno baterijo ali drugo manjšo napravo, ki ima priključek USB. Primer takšne polnilnice je predstavljen na sliki 1.

Slika 1: Polnilnica z omarico (vir: Maitim ebike)

2.1.2 STOJALA ZA KOLESA Z VTIČNICO

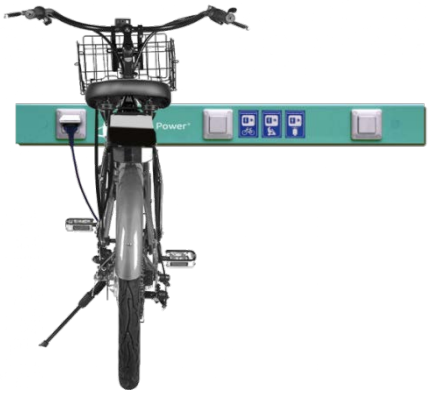
Stojala za kolesa, ki so priključena na električno omrežje. Podobna so klasičnim stojalom za kolesa, ki so opremljena z orodjem za servis kolesa in vtičnico 230 V

za polnjenje e-koles. Je stojalo, ki omogoča različna popravila, kot polnilnica električnih koles, pa je zgolj iz vidika dodane električne vtičnice. Primer takšnega stojala je predstavljen na sliki 2.

Slika 2: Polnilnica z stojalom (vir: Clorofilla, Bike Repair & Charge)

2.1.3 POLNILNA MESTA Z ENO ALI VEČ VTIČNICAMI (230 VAC)

So preprosta polnilna mesta, ki omogočajo polnjenje več e-koles hkrati. Podobno parapetnemu kanalu, na katerem se nahajajo vtičnice za priklop lastnega polnilca. Primer takšnega polnilnega mesta je prestavljen na sliki 3.



Slika 3: Enostavno polnilno mesto (vir: ESL e-mobility)

2.1.4 POLNILNICE TIPA BIKE ENERGY

So polnilne postaje, ki jih je razvilo podjetje Bike Energy. Omogočajo polnjenje z odprtim standardom, kar pomeni, da lahko polnimo skoraj vse znamke e-koles. Pri polnjenju ne potrebujemo lastnega polnilca, ker polnimo kolo z enosmernim tokom in primernim polnilnim kablom. Povezano je na omrežno napetost električnega omrežja in zagotavlja enosmerno električno polnjenje. Primer polnilne postaje podjetja Bike Energy je prikazano na sliki 4.

Slika 4: Polnilnica tipa Bike Energy (vir: BIKE ENERGY)

2.1.5 POLNILNE POSTAJE, KI JIH NAPAJAJO SONČNE CELICE

Med vsemi polnilnimi postajami obstajajo tudi takšne, ki izkoriščajo energijo sonca. So polnilne postaje, ki se napajajo preko fotovoltaičnih panelov in baterijske banke. Lahko delujejo samostojno ali so povezane na električno omrežje. Zagotavljajo izmenično napajalno napetost 230 VAC. Primer takšne polnilnice je prikazan na sliki 5.

Slika 5: Polnilne postaje s PV paneli (vir: Delft University of Technology)

V nadaljevanju smo primerjali obravnavane e-polnilnice po parametrih, ki jih je mogoče medsebojno primerjati ter so predstavljeni v tabeli 1. Prav tako, pa smo dodali v primerjavo naš inovacijski predlog, ki se v svojem inovativnem delu, razlikuje od obstoječih rešitev.

Tabela 1: Primerjava polnilnic

POLNILNICE:	El. omrežje	Otočne	AC polnjenje	DC polnjenje	AC in DC	USB vtičnica	Orodje za servis
Polnilnice z omarico za baterijo in polnilne kable	✓		✓			✓	
Stojala za kolesa z vtičnico	✓		✓				✓
Polnilna mesta z eno ali več vtičnicami	✓		✓				
Polnilnica tipa BIKE ENERGY	✓		✓	✓	✓		
Polnilne postaje, ki jih napajajo sončne celice		✓	✓				
Naša polnilnica e-koles – inovacijski predlog		✓	✓	✓	✓		

2.2 E-kolesa

Zaradi lažjega načrtovanja moramo spoznati tudi električna kolesa. Električno kolo je v resnici navadno kolo z dodatkom električnega motorja, baterije in krmilnika [2]. Motor se napaja iz polnilne baterije, nameščene na kolesu. Moč, ki jo zagotavlja motor, je regulirana glede na to, kako močno vrtimo pedala in stopnjo podpore, ki smo jo izbrali.

Zakoni o električnih kolesih glede na omejitve moči in hitrosti se po svetu razlikujejo. Na splošno je motor omejen na izhodno moč 250 W in mora prenehati delovati, ko hitrost doseže 25 km/h. Poznamo več tipov e-koles, kot so: gorski, cestni, mestni, zložljivi ipd. V nadaljevanju predstavljamo posamezne dele električnih koles, ki so bistvenega pomena za načrtovanje inovacijskega predloga.

2.2.1 BATERIJE E-KOLES

a) Svinčene baterije (AGM)

To je najstarejša različica, ki se vsako leto manj uporablja [3]. Razlogov za to je veliko, glavni razlog pa je nizka zmogljivost in teža. AGM baterije so precej težke, baterija pa zelo obteži konstrukcijo kolesa. Poleg tega se polnijo počasi (8-10 ur). Imajo kratko življenjsko dobo, le 150-200 ciklov.

b) Li-ion baterije

Najbolj priljubljena in optimalnejša vrsta baterije za e-kolo danes. Baterija Li-ion ima dobro kombinacijo skupne teže in zmogljivosti. Zmogljivost baterij Li-ion je najvišja od vseh obstoječih vrst in to je njihova glavna prednost. Baterije Li-ion nimajo spominskega učinka, omogočajo tudi delno praznjenje.

Slabosti so občutljivost na temperaturne razmere in nezmožnost hitrega polnjenja. Baterija Li-ion je tudi občutljiva na pregrevanje in zahteva nadzor nad načinom praznjenja. Število ciklov je približno 400, kar je dvakrat več kot pri svinčeni bateriji. Baterije Li-ion za električna kolesa morajo biti posebej zasnovane zaradi sistema za upravljanje baterije v paketu (BMS). BMS je pomemben tudi za uravnoteženje napolnjenosti baterije med posameznimi celicami v njej, da se ohrani življenjska doba baterije.

c) Nikelj-metal-hibriden baterije (NiMH)

Ohranjajo večjo energijsko gostoto in vsebujejo manj aktivnih materialov, zaradi česar so varnejše od litij-ionskih baterij. Polnijo se zelo počasi. Poskus hitrega polnjenja teh baterij lahko povzroči poškodbe in okvare. Niso uporabne za ekstremne temperaturne razmere. Baterije na osnovi litija še vedno ostajajo najboljša izbira za e-kolesa.

2.2.2 PROIZVAJALCI E-KOLES IN POLNILNI KABLI

Pred načrtovanjem inovacijskega predloga smo se seznanili z trenutnimi tipi polnilnih kablov in priključkov. V nadaljevanju so zbrani in predstavljeni v tabeli 2.

Tabela 2: Proizvajalci baterij in polnilni kabli [4]

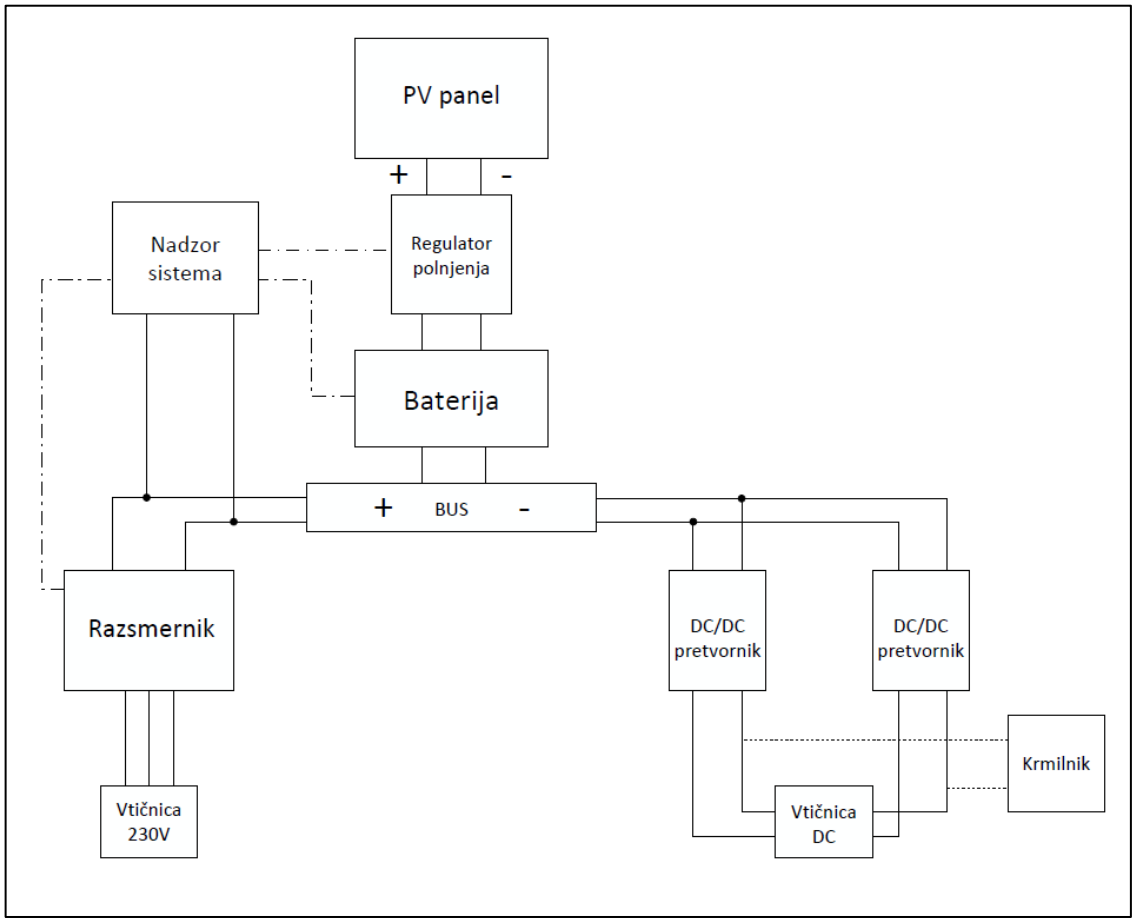
PROIZVAJALEC	NAPETOST BATERIJE	TIP konektorja	KONEKTOR
Bafang	48 V	DC jack	
Rocky Mountain	48 V	ST3	
Specialized SL	48 V	Specialized SL	
Bosch	36 V	Bosch	
Giant-1	36 V	XLR	
Shimano	36 V	Shimano	

Yamaha-1	36 V	Yamaha	

Glede na proizvajalca baterij e-koles lahko iz predstavljene tabele ugotovimo, da ima skoraj vsak proizvajalec svoj tip priključka na e-kolesu. Na področju e-koles še ni standarda, ki bi določal enoten tip priključka, kot je to na primer pri električnih avtomobilih. Iz tabele lahko ugotovimo, da se baterije med seboj razlikujejo tudi po nazivni napetosti. Najpogostejše nazivne napetosti baterij so 36 V, 48 V in 52 V. Smiselno temu smo se odločili, da bo naša polnilnica omogočala avtomatsko polnjenje 36 V in 48 V baterij.

3 ZASNOVA IN IZVEDBA

Po spoznanih dejstvih, smo pripravili zasnovo koncepta inovacijskega predloga, ki je konceptualno predstavljen na blokovni shemi slika 6 in upošteva zadane cilje predstavljene v tabeli 1.



Slika 6: Blokovna zasnova koncepta

Za sistem, ki deluje brez povezave z električnim omrežjem, uporablja pa fotovoltaični panel. Prednost takšnega otočnega sistema je, da ga je mogoče postaviti kjerkoli. Za polnjene baterij iz fotovoltaičnega panela smo uporabili regulator polnjenja. Z razsmernikom pretvarjamo enosmerno napetost v izmenično. Preko vtičnice 230 V lahko uporabniki polnijo e-kolesa (pri čemer potrebujemo adapter za polnjenje).

Za avtomatsko enosmerno polnjenje smo uporabili dva pretvornika DC/DC za izbrani napetosti polnjenja 42 V in 54,6 V. S krmilnikom vklapljamo ustrezen pretvornik DC/DC glede na napetost baterije e-koles. Sistem lahko tako

nadzorujemo in spremljamo stanje napolnjenosti baterij, porabo energije ter pridobljeno energije iz fotovoltaičnih panelov.

3.1 FOTOVOLTAIČNI PANEL

Ločimo različne vrste sončnih celic:

a) Monokristalne sončne celice

Sestavljene so iz monokristalnega silicija [5]. Zlahka jih prepoznamo po temnem videzu in zaobljenih robovih. Visoka čistost silicija zagotavlja, da ima ta vrsta sončnih celic eno najvišjih stopenj učinkovitosti (izkoristka).
Imajo visoko moč, zavzamejo malo prostora in imajo daljšo življenjsko dobo. Seveda to tudi pomeni, da so dražje.

b) Polikristalne sončne celice

Prepoznamo jih po modri barvi. Izdelane so s taljenjem surovega silicija, kar je hitrejši in cenejši postopek od tistega, ki se uporablja za monokristalne celice. To pomeni nižjo ceno, tudi manjšo učinkovitost (okoli 15 %) in krajšo življenjsko dobo.

Ti dve vrsti lahko najdemo tudi v izvedbi »Half Cut« in PERC (Passivated Emitter and Rear Contact). V nalogi bomo uporabili dva monokristalna modula Trinasolar Honey 380W. Tehnične lastnosti fotovoltaičnega panela so predstavljene v tabeli 3 in 4, vizualni prikaz modula pa na sliki 7.

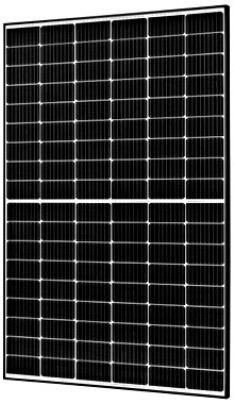
Tabela 3: Karakteristika modula, STC – Standard Testing Condition (standardni testni pogoji) (vir: Schrack Technik)

Tip modula	**HONEY TSM-DE08M**
Vršna moč (Pmax)	380 W
Tok vršne moči (Impp)	10,96 A
Napetost vršne moči (Vmpp)	34,7 V
Izkoristek modula	20,7 %

Tabela 4: Mehanske lastnosti modula (vir: Schrack Technik)

Mehanske lastnosti	
Teža	20 kg
Dimezije	1763*1040*35 mm
Mehanska zaščita priključka	IP68

Število celic	120 Half Cut
Okvir	aluminij
Steklo	3,2 mm antirefleksno steklo



Slika 7: Uporabljen fotovoltaični panel Trinasolar 380 W, mono (vir: Schrack Technik)

3.2 REGULATOR POLNJENJA MPPT 100/30

Regulator polnjenja je naprava, ki zbira energijo iz panelov PV in jo shrani v baterijo [6]. S stalnim spremljanjem napetosti in izhodnega toka PV panelov, MPPT (sledenje točki največje moči – Maximum Power Point Tracker) zagotavlja, da se največja možna razpoložljiva energija zbere in shrani. Prednost tega je najbolj vidna, ko je nebo delno oblačno, pri čemer se intenzivnost svetlobe nenehno spreminja.

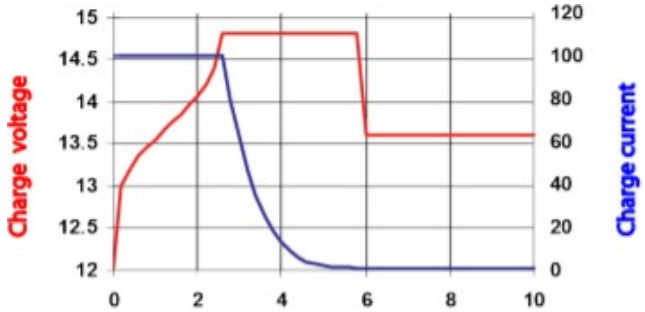
Regulator svojo vhodno napetost prilagodi tako, da dobimo iz panela PV največjo moč. Regulator polnjenja je tudi pretvornik DC/DC saj pretvori višjo enosmerno napetost na nižjo izhodno enosmerno napetost. Vsebuje mikroprocesor, ki sledi maksimalni moči.

Regulator MPPT ima tri diode LED, ki prikazujejo stanje polnjenja baterije. Poznamo tri stanja to so Bulk, Absorption in Float.

1. Bulk: polnjenje z največjim tokom, kjer napetost raste.
2. Absorption: polnjenje z največjo napetostjo, kjer tok pada.
3. Float: ohranjanje nazivne napetosti baterije.

Primer takšnega regulatorja je predstavljen na sliki 8, primer prikaza polnilnega toka in napetosti takšnega sistema pa na grafu 1.

Slika 8: Regulator polnjenja (vir: Victron Energy)



Graf 1: Polnilni tok in napetost MPPT regulatorja (vir: Victron Energy)

3.2.1 BATERIJA

Najbolj pogosto uporabljene baterije za otočne sisteme so naslednje:

a) LiFePO4 baterije

Kot katodni material uporabljajo litij-železov fosfat. Energijska gostota je nekoliko nižja od litij-ionskih baterij [6]. Njihova gostota energije je med 90-165 Wh/kg. Te baterije lahko popolnoma izpraznimo brez skrbi, da bi jo poškodovali. Zaradi svojih številnih prednosti in boljše zmogljivosti imajo baterije LiFePO4 široko uporabo v električnih vozilih, rekreacijskih vozilih, sončnih zbiralnih baterijah.

Tehtajo manj kot litij-ionske baterije enake kapacitete, razlika je v povprečju približno 50 %. Ko temperatura pade pod ledišče, se zmogljivost večine baterij zmanjša, mnoge pa popolnoma prenehajo delovati.

Baterije LiFePO4 so negorljive, zato v večini primerov ni možnosti, da bi se ta baterija vnela ali eksplodirala. Te baterije se ne pregrevajo, ne glede na to, kako jih polnite. Poleg tega ni toplotnega uhajanja. Imajo dolgo življenjsko dobo, kar pomeni redko menjavo baterij (3000 ciklov). Primer enega sklopa takšne baterije je prikazan na sliki 9.

Slika 9: LiFePO4 baterija (vir: Victron Energy)

b) Baterije AGM in GEL

Danes najpogosteje uporabljamo dve vrsti baterij. **VRLA** (Valve Regulated Lead Acid) svinčene baterije, ki so hermetično zaprte. Plin uhaja iz baterije samo v primeru prekomernega polnjenja ali okvare skozi varnostni ventil. Te baterije delimo na baterije AGM in GEL. Razlikujejo se v tem, da je pri baterijah AGM elektrolit v masi iz steklenih vlaken. Pri baterijah GEL pa v gelu.

Prednost dajemo baterijam GEL, saj imajo daljšo življenjsko dobo in višje število ciklusov polnjenja in praznjenja.

Sicer pa bomo v inovacijskem predlogu primeru uporabili baterije AGM, ki so cenovno najbolj dostopne. Prednost teh baterij pa je tudi vzdržljivost na nizke temperature. Polnilne karakteristike takšne baterije so prikazane v tabeli 5, videz baterije pa na sliki 10.

Tabela 5: Napetostno stanje baterije v praznem teku (vir: Schrack Technik)

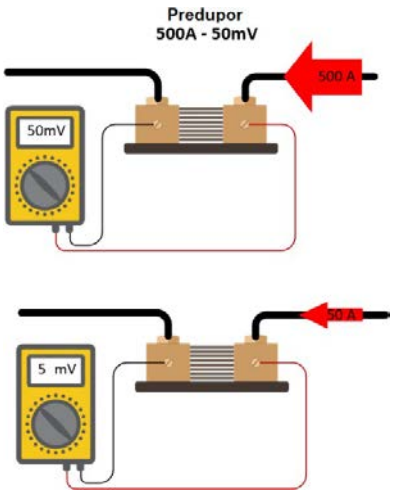
Nazivna napetost baterije	**24 V**
100% napolnjena	25,6-26
50% napolnjena	24,6
Izpraznjena	23,4
Napetost polnjenja	28,4-28,8

3.2.2

Slika 10: AGM baterija (vir: Victron Energy)

3.3 PREDUPOR (Smart Shunt 500/50 mV)

Predupor (Shunt) je uporovni element, ki se uporablja za merjenje toka [7]. Če je tok majhen je padec napetosti manjši, če pa je tok velik je padec napetosti večji. V inovacijskem predlogu ga uporabljamo za merjenje toka. Predupor ima nazivno vrednost toka in napetosti, v našem primeru 500 A/50 mV. To pomeni, da če teče skozenj tok 500 A, bo padec napetosti na njem 50 mV. Nazivna vrednost predupora mora biti dimenzionirana glede na maksimalni enosmerni tok porabnika. Primer vezave in meritve napetosti sta prikazana na sliki 11.



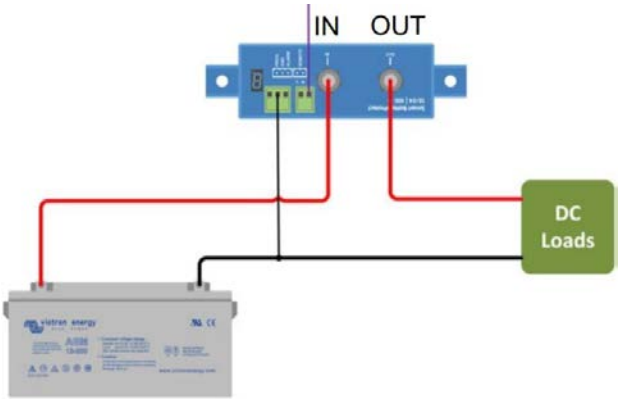
Slika 11: Tok in padec napetosti na preduporu (vir: Wiring Unlimited – Rev 06)

Predupor je priklopljen na negativni pol kabla, saj je taka priključitev varnejša. Predupor (Smart Shunt) se lahko preko bluetooth-a poveže z VictronConnect aplikacijo. Ta omogoča spremljanje vseh parametrov baterije in spreminjanje nastavitev, kot so stanje napolnjenosti baterije, napetost, tok in moč baterije.

3.4 ZAŠČITA BATERIJE (SBP – 100 A)

Zaščita SBP (Smart Battery Protection), sistem za pametni nadzor baterije odklopi baterijo od porabnikov preden se le ta popolnoma izprazni [8]. S tem podaljšamo življenjsko dobo baterij. V našem primeru bo nastavljena tako, da odklopi baterijo od porabnikov pri spodnji mejni vrednosti napetosti 23,4 V.

Zaščita je polprevodniški element z zelo majhno porabo 1,5 mA. Kar pomeni, tudi da pri preklopih kontaktov ni iskrenja in s tem obloka. Primer priključitve takšnega zaščitnega sistema, je predstavljen na naslednji vezalni shemi.



Slika 12: Priključitev SBP zaščite v tokokrog (vir: Victron Energy)

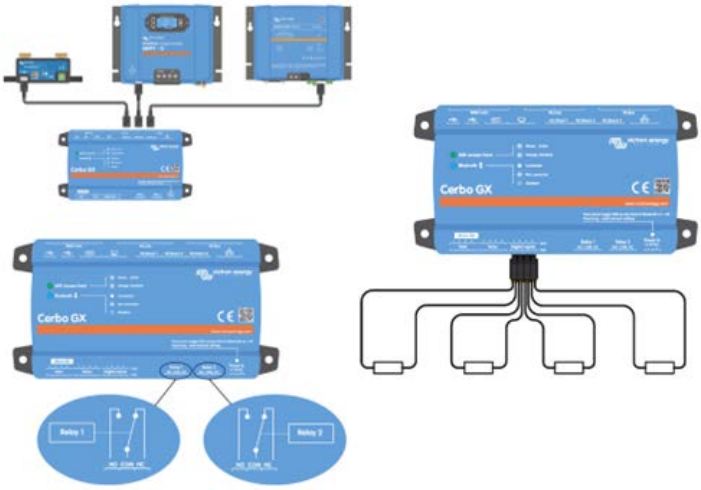
3.5 Sistem CERBO GX za spremljanje parametrov

Naprava Cerbo GX povezuje vse vitalne dele našega načrtovanega inovacijskega predloga [9]. Na napravo so priključeni: razsmernik, regulator polnjenja MPPT in predupor SHUNT, ki izmeri stanje baterije. Cerbo GX zagotavlja, da vsi delujejo usklajeno. Spremljanje sistema je mogoče izvajati s Cerbo GX zaslonom na lokaciji ali od kjerkoli na svetu prek internetne povezave in portala VRM.

Cerbo GX omogoča tudi posodobitve programske opreme na daljavo in spreminjanje nastavitev (na primer vklop in izklop razsmernika,...)

Na napravi bomo uporabili tri izhode VE Direct za komunikacijo z ostalimi napravami (poseben protokol proizvajalca). Prav tako pa analogni vhod za merjenje temperature, digitalne vhode z 10 kΩ pull-up upori na 3.3 V in relejske

izhode. Osnovna priključitev in izgled sistema CERBO GX je predstavljen na sliki 13.

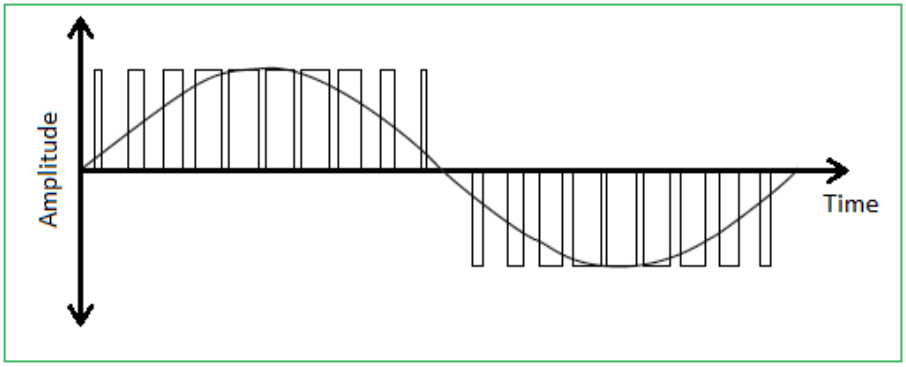


Slika 13: Cerbo GX (vir: Victron Energy)

3.6 RAZSMERNIK

Razsmernik pretvarja enosmerno napetost v izmenično. Stikalni tranzistorji, ki delujejo kot stikala, vzpostavljajo povezavo s pomočjo izmenjujočo se polaritete med enosmerno in izmenično stranjo razsmernika. Izhodne sponke se izmenično priključujejo na pozitivni oziroma negativni pol enosmerne napetosti. Tako nastane pravokotna izmenična napetost.

Da lahko bremena napajamo s sinusno napetostjo, uporabljamo razsmernike s pulzno širinsko modulacijo, ki posnemajo sinusno obliko (sinusna PWM). To krmiljenje pogosto kontroliramo digitalno z mikrokrmilnikom. V tem primeru se nepretrgoma spreminja razmerje med časom vklopa in časom izklopa signala. Večja kot je frekvenca pulzno širinske modulacije, manjša je valovitost izhodne napetosti. Frekvenca takta je pogosto nad frekvenco 20 kHz, kar je nad človekovim slušnim področjem. Primer signala PWM je predstavljen na naslednjem grafu 2 in razmernika na sliki 14, kjer so razvidni tudi priključki.



Graf 2: sinusna PWM (vir: Schrack Technik)

Slika 14: Razsmernik (vir: Victron Energy)

Lastnosti prej predstavljenega razmernika so predstavljene v spodnji tabeli 6, kjer vidimo mejne vrednosti vhodnih napetosti in tudi izkoristek, ki je kar 96 %.

Tabela 6: Nazivni podatki razsmernika (vir: Victron Energy)

RAZSMERNIK PHOENIX	**24/1200**
Moč pri 25 °C	1200 VA
Izhodna napetost	230V (±3 %)
Meje vhodne napetosti	18,4 - 34,0 V
DC izklop	18,6 V
Izkoristek	94%
Temperatura obratovanja	"-40°C do 60°C
Vtičnica 230V	SCHUKO
Zaščita	IP20
Teža	7,7kg

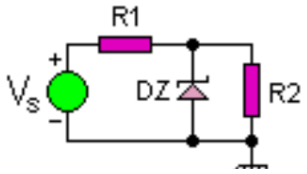
Zaščita	Kratkostična, preobremenitev, baterijska napetost previsoka ali prenizka
Min. kapaciteta baterije	60Ah
DC varovalka	100A
Presek kabla do baterije	10/16 mm^2
ECO delovanje	2,5 s min. 15 W

3.7 PRETVORNIK DC/DC

Poznamo linearne in stikalne pretvornike DC/DC.

a) Linearni:

Linearni pretvorniki zmanjšajo vhodno napetost z napetostnim delilnikom ali tranzistorjem, vezanim kot spremenljiv upor [10]. Ti lahko delujejo le za znižanje napetosti. Zmanjšanje izhodne napetosti se pretvori v izgube v obliki toplote. Linearni pretvorniki se običajno uporabljajo v avdio in video elektroniki, komunikacijski opremi, medicinskih in merilnih napravah. Primer preprostega linearnega usmernika, lahko predstavimo v obliki stabilizatorja napetosti z Zener diodo kot je prikazano na sliki 15.



Slika 15: Linearni pretvornik (vir: x-engineer)

b) Stikalni:

Pri stikalnih napetostnih pretvornikih, krmilimo izhodno napetost z visokofrekvenčnim preklapljanjem regulacijskega elementa, pri tem pa nastanejo le majhne izgube. Njihov izkoristek je veliko večji v primerjavi z linearnimi pretvorniki in lahko doseže nekje 85-90 % izkoristek. Glede na zunanjo vezavo, jih lahko uporabljamo kor pretvornike »navzgor« (Boost) ali pretvornike »navzdol« (Buck).

V našem primeru smo izbrali stikalni pretvornik »navzgor« (Boost). Prikaz izbranega stikalnega pretvornika je na naslednji fotografiji sliki 16, njegove lastnosti pa v tabeli 7.

Slika 16: pretvornik DC/DC (vir: Victron Energy)

Kot je razvidno iz podatkov tabele 7, je izbran takšen pretvornik, ki zagotavlja ustrezno izhodno napetost glede na izbrano napetost baterij.

Tabela 7: Nazivni podatki pretvornika DC/DC (Victron Energy)

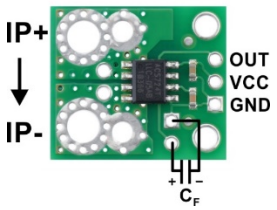
DC/DC PRETVORNIK	Orion TR 24/48-8,5
Vhodna napetost	20-35 V
Izhodna napetost	40-60 V
Tok	8,5 A
Moč	400 W
Izkoristek	89 %
Temperatura obratovanja	" -20°C do 55°C
Zaščita	Preobremenitve, prenapetosti, zaščita polaritete, pregrevanja
Izvedba	Galvansko izoliran

3.8 MERJENJE TOKA

Za merjenje polnilnega toka polnjenja smo uporabili linearni tokovni senzor ACS724LLCTR-10AU, ki deluje na podlagi Hallovega efekta [11]. Skozi senzor teče električni tok, ki povzroča magnetno polje, katerega izmerimo in lahko ugotovimo, kakšna je vrednost toka. Lastnosti senzorja so predstavljene v tabeli 8, vizualno pa je senzor, ki je pritrjen na tiskano vezje predstavljen na sliki 17.

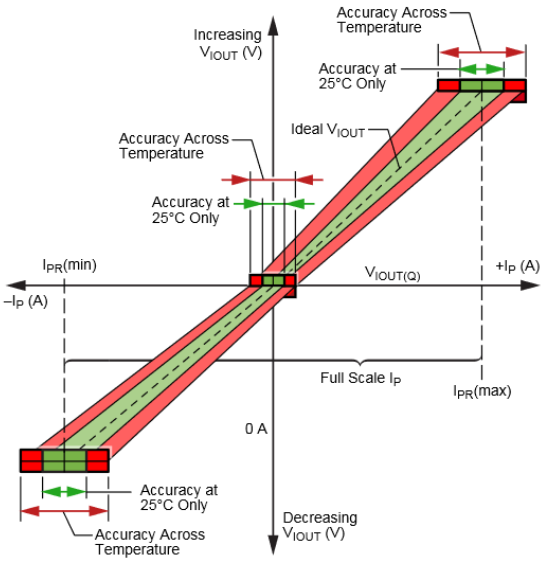
Tabela 8: Nazivni podatki senzorja (vir: Pololu)

TOKOVNI SENZOR	ACS724LLCTR-10AU
Napajalna napetost	5 V
Merilni tok	0-10 A
Občutljivost	400 mV/A
Temperatura obratovanja	" -40 do 150 °C
Natančnost	±1,5%
Obratovanje v prostem teku	I_{input} = 0 A, U_{output} = 0,5V



Slika 17: Senzor 0-10 A (vir: Pololu)

Območje izhodne napetosti, je predstavljeno v nadaljevanju v grafikonu 3, kakor tudi točnost glede na temperaturo.



Graf 3: Izhodna napetost v odvisnosti od merilnega toka (vir: Allegro microsystems)

3.9 DELILNIK NAPETOSTI

Električne in elektronske naprave pogosto potrebujejo nastavljivo napetost, od začetne vrednosti napetosti 0 V do določene končne vrednosti. Napetostni delilnik naredimo z zaporedno vezavo uporov ali z nastavljivimi upori (potenciometri). Delilnik napetosti je torej sestavljen iz dveh zaporedno vezanih uporov R_1 in R_2. Med vhodnima priključkoma je napetost U na uporu R_2 pa delna oziroma izhodna napetost U_2.

V našem primeru bomo predvideli maksimalno vhodno napetost do 70 V. Pri tej napetosti pa naj bo izhodna napetost 10 V. Delilnik uporabljamo za prilagajanje napetosti analognih vhodov na krmilnik PLK. S pomočjo enačbe 3.1.11.1 izračunamo, da je potrebna upornost R_1 = 12 kΩ in upornost R_2 = 2 kΩ

$$\frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \qquad (3.1.11.1)$$

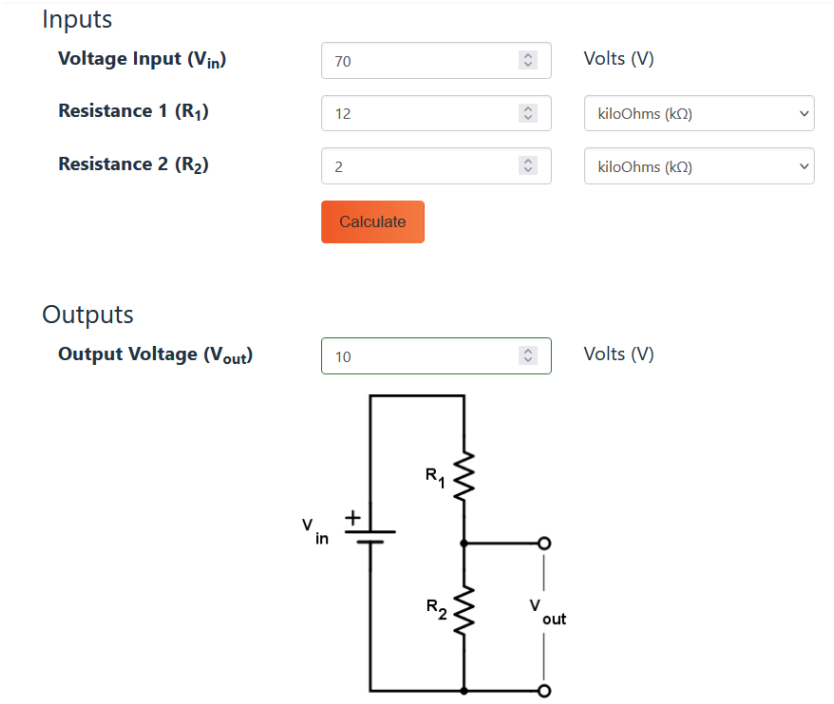
Pri čemer je:

U_2 - Izhodna napetost.

U - Vhodna napetost.

R_1 in R_2 - Upornost upora.

Primer izračuna in vezave delilnika napetosti je prikazan na sliki 18.



Slika 18: Izračun napetostnega delilnika (vir: voltage divider calculator)

Napetostni delilnik bomo uporabili za merjenje napetostni na bateriji e-kolesa. Izhodna napetost delilnika bo od 0-10 V, kar bomo potrebovali kot vhodno analogno vrednost za izbran programirljivi logični krmilnik PLK. Namreč vhodna napetost analognega vhoda krmilnika se lahko giblje med 0 in 10 V.

3.10 PROGRAMIRLJIVI LOGIČNI KRMILNIK - PLK

PLK zajema signale krmilnega procesa prek tako imenovanih vnosnih sklopov in jih glede na krmilni program ustrezno obdela. PLK na proces vpliva prek izhodnih gradnikov, pri čemer lahko izvaja tako krmiljenje kot regulacijo. Krmilni program zasnujemo na računalniku z ustrezno programsko opremo in ga prenesemo v pomnilnik PLK.

PLK sestavljajo:

- Sklop za napajanje
- Centralna procesna enota
- Vhodno/izhodni sklopi

V našem primeru smo izbrali krmilnik EATON EASY719-DC-RC. Osnovne lastnosti krmilnika PLK so predstavljene v tabeli 9. Obstajajo že tudi novejše izvedbe, vendar zaradi izjemno dolgih dobavnih rokov (še vedno posledica epidemije), smo uporabili krmilnik, ki je bil dostopen.

Tabela 9: Nazivni podatki krmilnika (vir: EATON)

KRMILNIK	EASY719-DC-RC
Nazivna napetost	24 V
Digitalni vhodi	12 (I1-I12)
Relejski izhodi	6 (Q1-Q6)
Temperatura obratovanja	-25 do 55 °C
Vhodna napetost (I1-I12)	signal 0 ≤ 5 VDC, signal 1 ≥ 15 VDC
Digitalni vhodi, kot analogni	4 (I7 ,I8, I11, I12)
Območje analognih vhodov	0-10 V
Resolucija	0,01 V analog 10Bit (0-1023)
Poraba	2 W
Stopnja zaščite	IP20

Slika 19: EASY719-DC-RC (vir: EATON)

Za polnilno postajo smo uporabili analogna vhoda. S prvim analognim vhodom merimo napetost baterije na e-kolesu (prazni tek). Drugi vhod pa uporabljamo za merjenje polnilnega toka baterije. Z relejskimi izhodi krmilimo vklop in izklop ustreznega električnega napajalnika (42 ali 54,6 V).

3.11 Dimenzioniranje

Za potrebe izbire ustreznih elementov, smo izvedli potrebne izračune in dimenzionirali glede na zadane parametre.

3.11.1 DIMENZIONIRANJE BATERIJE

Pri sestavi polnilnice za e-kolesa smo se omejili na dva fotovoltaična panela skupne moči 760 W zaradi velikosti. Izbran je 24 V sistem električnega napajanja. Kot lahko razberemo iz tabele 10 je skupna poraba električne energije v 24 urah 1334,56 Wh oziroma 1,33 kWh kar vključuje lastno porabo sistema kakor tudi polnjenje dveh električnih koles. Pri tej dnevni porabi bomo lahko napolnili dva e-kolesa (0-100 %), če upoštevamo, da za eno kolo potrebujemo 0,5 kWh. Ker običajno uporabniki nimajo ob pričetku polnjenja popolnoma praznih baterij, bo število napolnjenih e-koles lahko tudi večje, saj se baterije zgolj dopolnjujejo in s tem koristijo manj energije. Za dvodnevno avtonomijo je potrebna baterijska banka kapacitete 278 Ah. Tabela 11 prikazuje izračun otočnega fotovoltaičnega (PV) sistema.

Tabela 10: Porabniki sistema (vir: Victron Energy)

Skupna obremenitev sistema v 24h :					
Poraba (W)	h/dan	naprava	faktor	Energija (Wh)	Wh
0,48	12	MPPT	1	5,760	Wh
2,640	24	CERBO GX	1	63,36	Wh
1,5	24	INVERTER	1	36	Wh
0,024	24	SHUNT	1	0,576	Wh
0,036	24	SBP	1	0,864	Wh
500	1	E-BIKE 1	1	500	Wh
500	1	E-BIKE 2	1	500	Wh
2	24	EASY	1	48	Wh
30	3	DC/DC	1	90	Wh
30	3	DC/DC	1	90	Wh
0	0		1	0	Wh
0	0		1	0	Wh
0	0		1	0	Wh
0	0		1	0	Wh
0	0		1	0	Wh
0	0		1	0	Wh
0	0		1	0	Wh
0	0		1	0	Wh
0	0		1	0	Wh
0	0		1	0	Wh
0	0		1	0	Wh
Skupna poraba energije v 24h:				1334,56	Wh

Tabela 11: Izračun potrebne energije in kapacitete baterij za PV sistem (vir: računala Victron Energy, izračun avtor naloge)

Globalni sistemski kalkulator: OPOZORILO : za pravilne rezultate izračuna spremenite vrednosti v modro obarvanih poljih !!!

1. Skupna obremenitev sistema v 24h : Wh : napetost = Ah x (varnostni faktor +/- 50% praznjenja) x dnevi brez proizvodnje = Ah kapaciteta baterije in shranjena sončna energija

	Wh		Volt	Ah		faktor	Ah		št. Dni		
Skupna obremenitev sistema v 24h :	1334,56	:	24	56	x	2,5	139	x	2	278	Ah kapaciteta baterije v : 2 dneh

2. Energija sonca : Inštalirana moč PV panelov Wp x faktor lokacije x faktor 0,9 izgub v sistemu x št. dni = Wh.

	Wp		lokacija	Wh		izgube	Wh		št. Dni	Wh	
Proizvedena sončna energija	760	x	3,2	2432	x	0,9	2189	2	4378	Wh energija sonca na tej lokaciji v : 2 dneh

3. Shranjevanje : Shranjevanje sončne energije v baterijah : Wh / napetost = Ah x izgube = Ah dni

3

	Wh		volt	Ah		izgube	Ah		št. Dni	
Shranjena sončna energija	2189	:	24	91	x	1,9	173	x	2	347 Ah shranjena energija v sistemu v : 2 dneh

4. Zasilno napajanje
Generator / mrežna napetost : Proizvedeni amperi s polnjenjem preko AC vhoda x št. ur AC napajanja x 0,8 (izgube sistema) = Ah x napetost = Wh

	Amp		ure	Ah		izgube	Ah		volt	Wh
generator ali mrežna napetost	0	x	0,0	0	x	0,8	0	x	24	0 Wh proizvedena energija preko AC vhoda / ure

IZRAČUNAN Ocenjen pozitivni ali negativni rezultat v Wh		
OBREMENITEV: celotna obremenitev sistema	2669	Wh
VIR NAPAJANJA: Proizvedena sončna energija	4378	Wh
VIR NAPAJANJA: Generator / mreža	0	Wh
SKUPNI NETO pozitivni / negativni rezultat :	1708	Wh

KONČNI IZRAČUN:

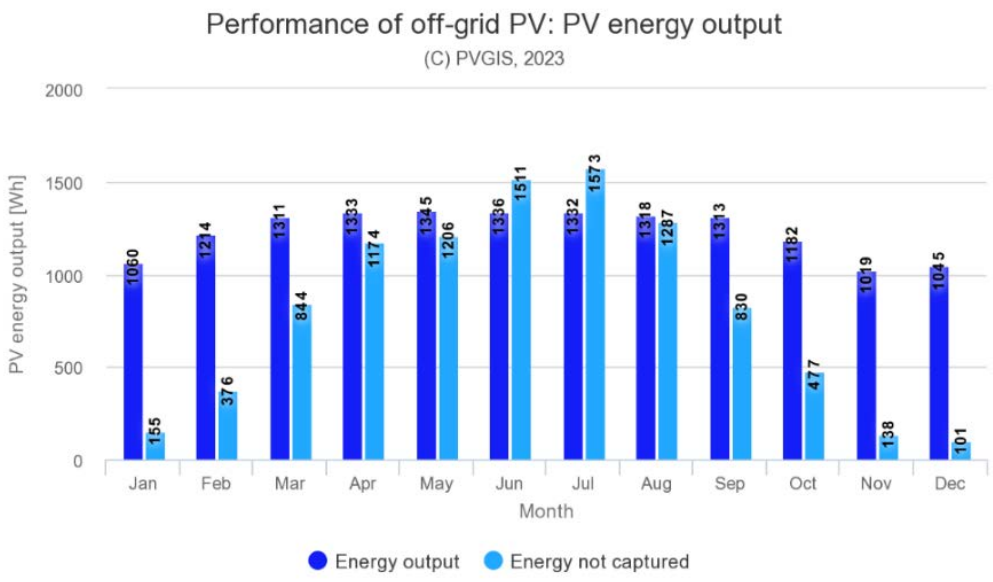
Potrebna kapaciteta baterije za	2	dni :	278	Ah
Moč PV panelov za	2	dni :	760	Wp
Ac zasilno napajanje na dan :			0,0	ure
Napetost baterije v sistemu bo :			24	Volt

Pri dimenzioniranju smo pridobili naslednje podatke glede na izbrano lokacijo postavitve. Podatki lokacije se nahajajo v tabeli 12.

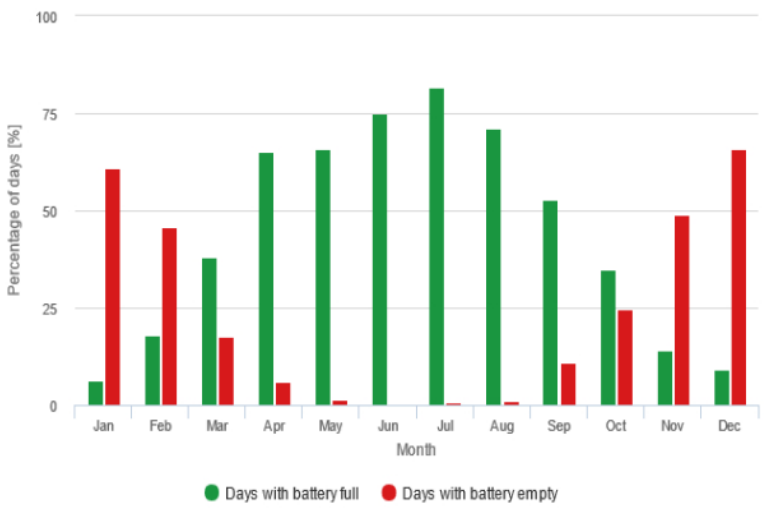
Tabela 12: Ocena proizvodnje (vir: Photovoltaic geographical information systems)

VHODNI PODATKI:	
Zemljepisna širina:	46.598
Zemljepisna dolžina:	15.166
Baza podatkov:	PVGIS-SARAH2
Moč PV:	760 Wp
Energija baterije:	6600 Wh
Mejna vrednost:	50 %
Poraba na dan:	1334 Wh
Kot montaže panela:	35°
Azimut:	0°

Rezultati izračunane proizvedene energije in stanja baterije sta predstavljena na grafu 4 in 5.



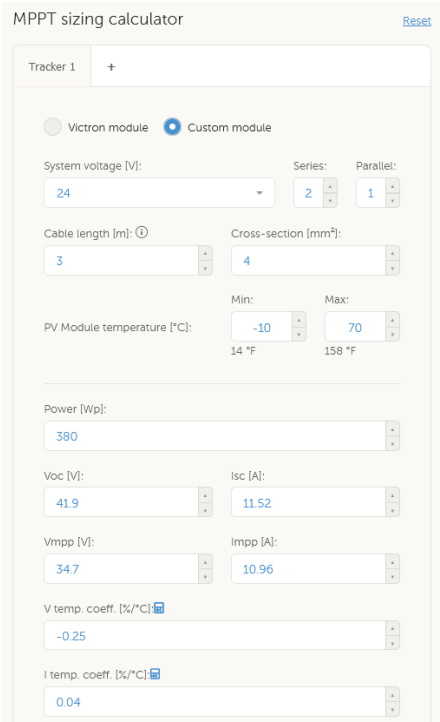
Graf 4: Proizvedena energija sistema po mesecih (vir: Photovoltaic geographical information)



Graf 5: Stanje polne baterije po mesecih (vir: Photovoltaic geographical information systems)

3.11.2 DIMENZIONIRANJE REGULATORJA POLNJENJA MPPT (100/30)

Regulator polnjenja smo dimenzionirali s pomočjo spletnega kalkulatorja podjetja Victron Energy. Podatki so predstavljeni na naslednji sliki 20, s pomočjo katerih smo izbrali ustrezen MPPT.



Slika 20: Izbira MPPT regulatorja (vir: Victron Energy)

BlueSolar MPPT 100/30

Article number: SCC020030200
PV Connector: Terminals
✕ Bluetooth Smart

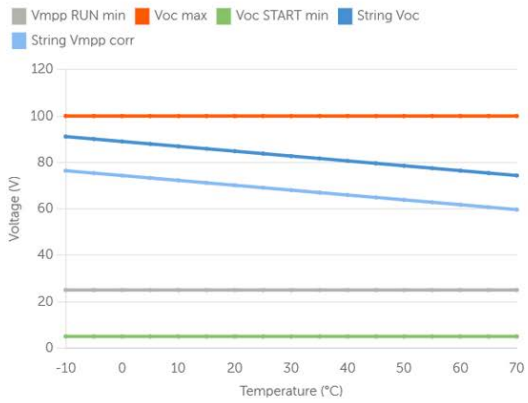
Calculations | Graphs

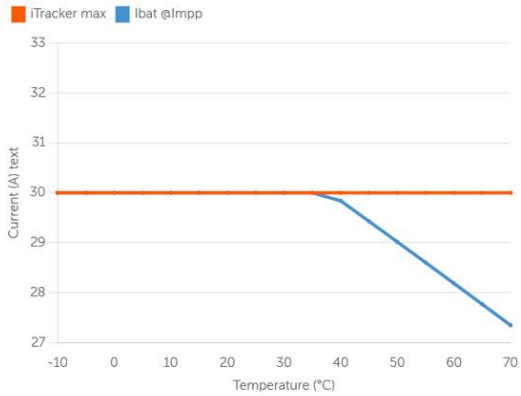
Where to buy

PV input voltage	
MPPT max. input voltage	100 V
PV max. voltage @ min. temperature	91.1 V
PV min. voltage @ max. temperature	59.7 V
MPPT min. input voltage @ mpp	25 V
Output current	
MPPT max. output current	30 A
PV max. current @ MPP min. temp.	30 A
** Power limiting @ low temp.*	
PV max. current @ MPP max. temp.	27.3 A
PV power ratio ⓘ	86% (undersized)

Slika 21: Izbira MPPT regulatorja (vir: Victron Energy)

Graf 6: Napetost in tok izbranih PV panelov v odvisnosti od temperature (vir: Victron Energy)

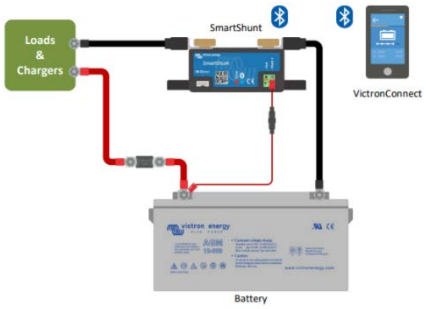




S pomočjo programa »MPPT sizing calculator« smo določili velikost regulatorja polnjenja [12]. Izbrana sta dva PV panela. Izračun se izvaja s podatki iz tabele 12 (vršna moč, tok in napetost PV panela). Ko definiramo napetost sistema, dolžino in presek kabla, nam program določi regulator polnjenja MPPT. V našem primeru smo izbral MPPT 100/30.

3.11.3 DOLOČANJE VREDNOSTI PREDUPORA

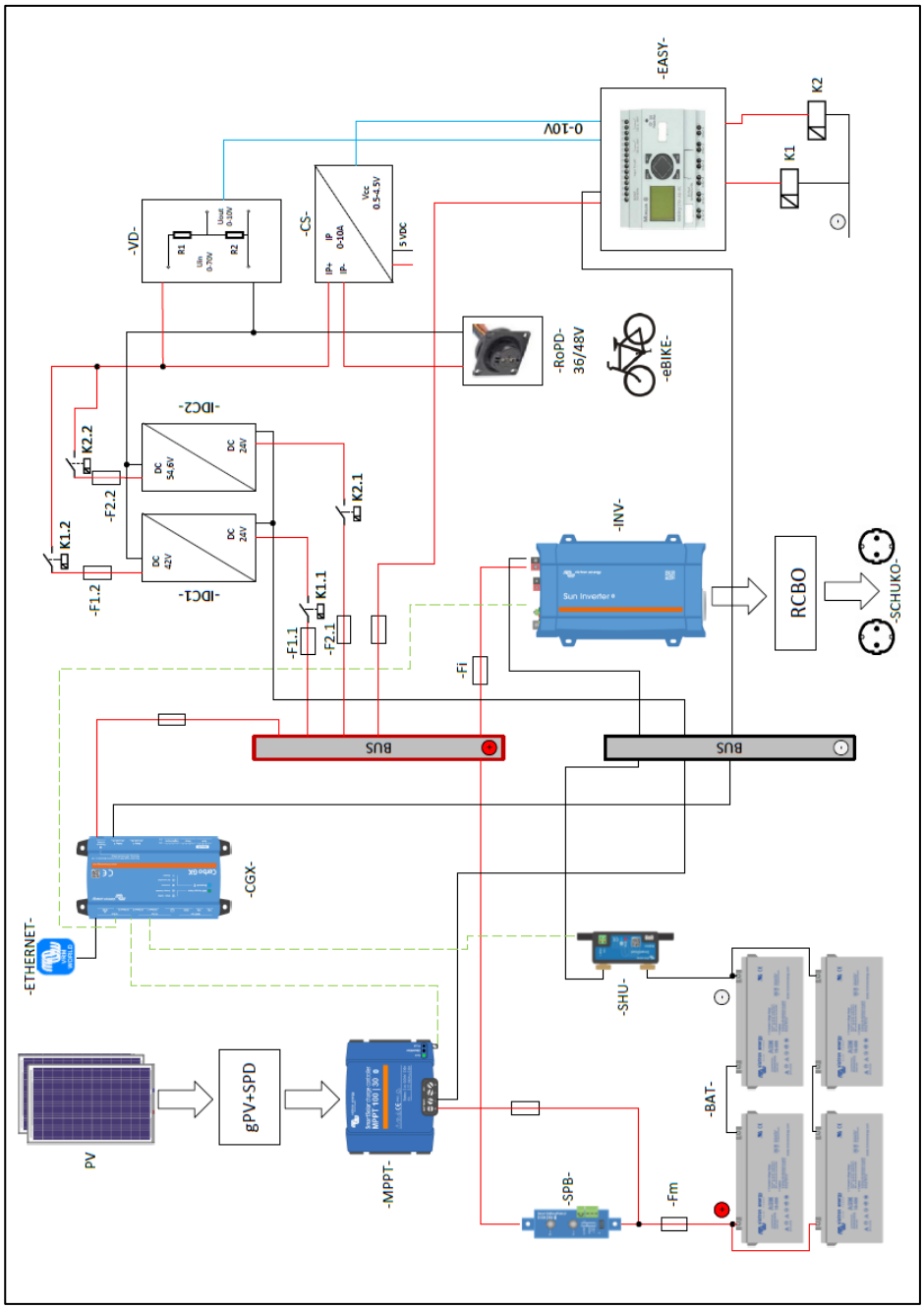
Za merjenje toka in napetosti baterije, je vgrajen predupor (SmartShunt) s parametri 500 A/50mV. Priključen je na negativni pol baterije. Maksimalen praznilni tok iz baterije je 44 A pri skupni moči porabnikov 1066 W. Pri maksimalni moči panelov PV pa bo tok skozi »shunt« do največ 30 A, kolikor omogoča MPPT 100/30. Na njem nastavimo vse parametre baterije, kot so Ah: 275 Ah, nivo izpraznjenja: 50 %, napetost izpraznjenja: 23,4 V.



Slika 22: Vezava predupora (vir: Victron Energy)

4 MERITVE IN REZULTATI

Zaradi lažje predstavitve in pregleda, je na naslednji sliki 23 predstavljena celotna blokovna shema zasnovanega inovacijskega predloga.



Slika 23: Blokovna shema polnilnice e-koles (vir: avtor naloge)

V nadaljevanju predstavljamo delovanje zasnovane delujoče polnilnice in različne meritve.

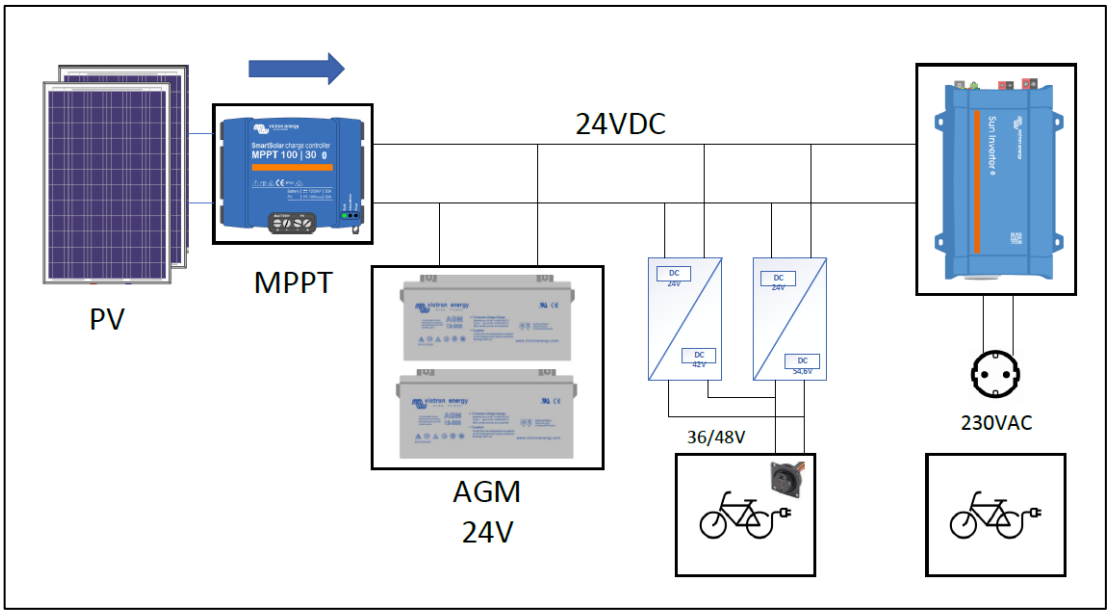
4.1 OPIS DELOVANJA PV SISTEMA IN POLNJENJA Z IZMENIČNO NAPETOSTJO

S pomočjo sistemskega kalkulatorja za fotovoltaične sisteme smo dimenzionirali moč fotovoltaičnih panelov in kapaciteto potrebnih baterij za avtonomijo dveh dni. Polnilna postaja deluje od meseca aprila do oktobra. V tem obdobju je kolesarska sezona. Iz grafa 5 lahko ugotovimo, da bo v tem obdobju na razpolago dovolj električne energije.

Za določanje naklona fotovoltaičnih panelov smo uporabili izkustvene podatke (Delft University of Technology). Če bi hoteli čim večji izkoristek bi morali naklon panela spreminjati glede na višino sonca (pozimi večji kot, poleti manjši). Za izbrano časovno obdobje delovanja polnilnice smo odločili naklon 35°.

Osnovna napetost sistema je 24 VDC, ki podpira izmenjavo moči med vsemi komponentami. Sistem sestavljata dva fotovoltaična panela povezana zaporedno. Polnjenje baterij se izvaja preko regulatorja MPPT (točka največje moči). Ta polni 24 V baterijsko banko zmogljivosti 275 Ah. Zaščita baterij (SBP) ščiti baterijsko banko pred izpraznjenjem in poškodbami. Povezava med enosmernim in izmeničnim omrežjem (230 V, 50 Hz) je realizirana z Victron Energy razsmernikom. Polnilnica omogoča polnjenje preko dveh vtičnic (230 VAC). Za polnjenje z izmeničnim tokom potrebujemo polnilni adapter. Prednost takšnega polnjenja je, da je univerzalno uporaben (za vsa e-kolesa).

Delovanje sistema lahko nadziramo s pomočjo naprave Cerbo GX, ki je povezan na internetno omrežje. Na ta način lahko preko portala VRM (Victron remote monitoring) spremljamo stanje napolnjenosti baterij, porabo energije in pridobljeno energijo iz fotovoltaičnih panelov. Omogoča nam tudi pošiljanje alarmov ob napakah (npr. izpraznjenje baterij) in daljinsko posredovanje. V nadaljevanju je predstavljen še poenostavljen prikaz zasnovanega sistema na sliki 24.



Slika 24: Enostavna blokovna shema e-polnilnice (vir: avtor naloge)

Električni razdelilnik polnilnice je sestavljen iz močnostnih komponent in prikazan na sliki 25 (spodnja polovica razdelilnika) in zaščitnih ter krmilnih komponent (zgornja polovica razdelilnika). Na levi strani ima nameščeni vtičnici za izmenično polnjenje, na desni pa vtičnico za enosmerno polnjenje.

Slika 25: Sestavljen električni del polnilnice

4.2 OPIS DELOVANJA ENOSMERNEGA HITREGA POLNJENJA

Polnilna postaja omogoča tudi polnjenje e-koles z enosmernim tokom. Glede na najpogostejše napetosti baterij e-koles smo izbrali 36 V in 48 V napetost polnjenja. Polnilna napetost baterij z nazivno napetostjo 36 V je 42 V, polnilna napetost baterij z polnilno napetostjo 48 V pa 54,6 V.

Osnovna napetost sistema oziroma baterijske banke je 24 V, zato smo izbrali dva stikalna pretvornika DC/DC »navzgor« Orion (boost, Uout > Uin). Nastavljamo jima lahko izhodno napetost od 40 V do 60 V. To nam omogoča, da izberemo obe napetosti polnjenja baterij e-koles. S prvim pretvornikom IDC1 lahko polnimo 36 V baterije e-koles, z drugim pretvornikom IDC2 pa kolesa z 48 V baterijo.

Z delilnikom napetosti (VD) merimo napetost odprtih sponk baterije e-kolesa. V tem času se polnjenje še ne bo izvajalo. S pomočjo tega izmerimo nivo napetosti baterije e-kolesa. Glede na izmerjeno napetost ugotovimo, katera vrsta baterije je priključena na sistem (36 V ali 48 V). Izhodno napetost delilnika varujemo z zener diodo (10,2 V) in cevno varovalko. S tem zaščitimo vhod krmilnika. Pri odločanju napolnjenosti baterij pa uporabljamo tabelo 13 vrednosti napetosti baterij.

Tabela 13: Napolnjenost baterij v odstotkih (vir: ESG)

Napetost baterije (V)	36 V 10S	48 V 13S
54.6		100.0%
54		97.5%
53		90.0%
52		85.0%
51		77.5%
50		72.5%
49		65.0%
48		60.0%
47		52.5%
46		45.0%
45		40.0%
44		32.5%
43		27.5%
42	100.0%	20.0%

41	92.5%	15.0%
40	85.0%	7.5%
39	75.0%	0.0%
38	67.5%	0.0%
37	60.0%	0.0%
36	50.0%	0.0%
35	42.5%	0.0%
34	35.0%	0.0%
33	25.0%	0.0%
32	17.5%	0.0%
31	10.0%	0.0%
30	0.0%	0.0%

Iz tabele lahko odčitamo, da se napetosti 36 V in 48 V baterije e-koles med seboj prekrivajo v območju 39 – 42 V. Baterija z nazivno napetostjo 36 V je v tem območju napolnjena med 75 – 100 % in baterija z nazivno napetostjo 48 V pa je v tem območju prazna med 0 – 20 %.

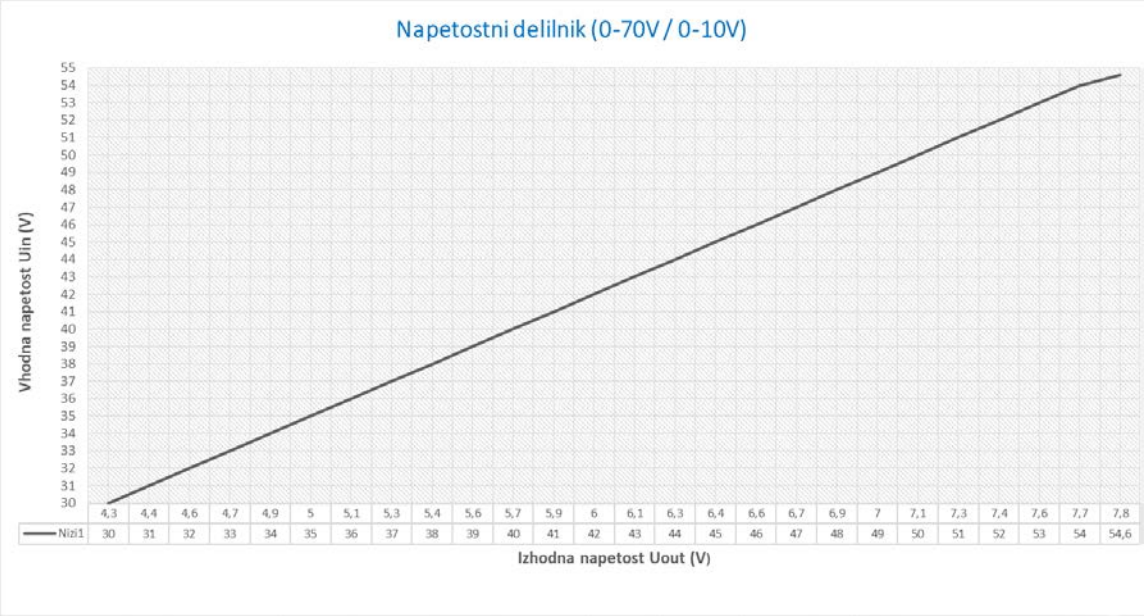
Zaradi prekrivanja napetosti ni dovolj samo merjenje napetosti baterije e-koles, ampak je potrebno meriti tudi tok polnjenja. Na ta način lahko izberemo pravilno napetost polnjenja oziroma pravilen DC/DC pretvornik IDC1 ali IDC2.

Tabela 14: Napetostno območje izbranih baterij in izbira polnilca (vir: avtor naloge)

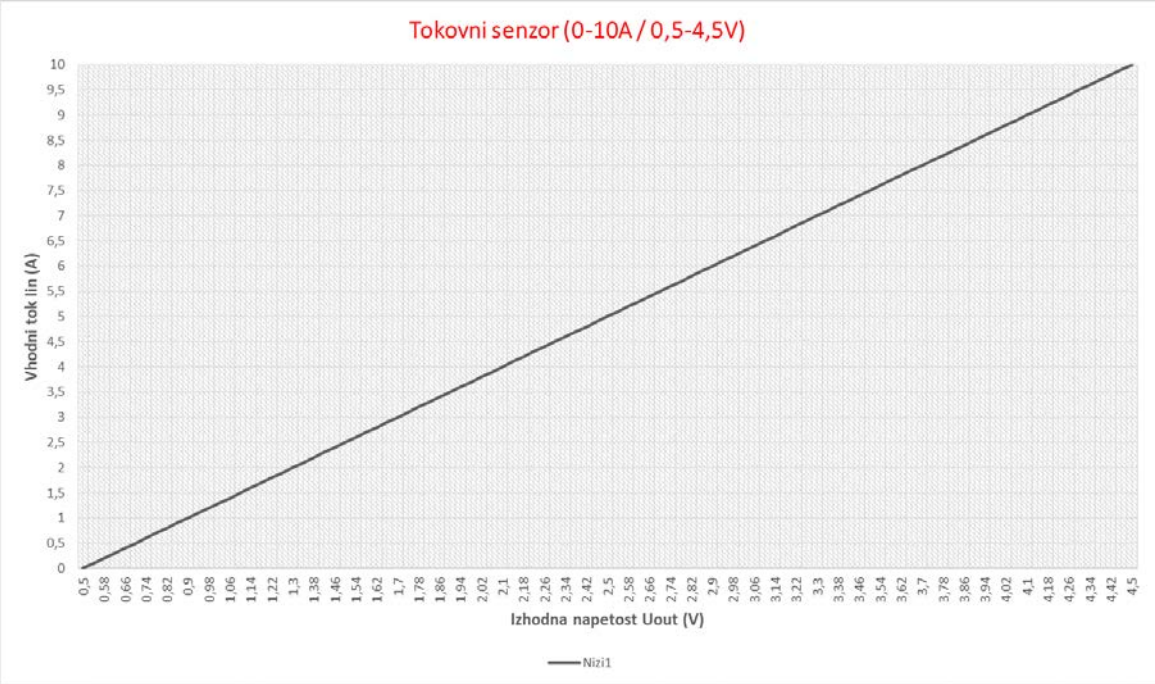
Napetostno območje (V)	36 V baterija	48 V baterija	Polnilni tok (A)
>30,0	☒	☒	
<54,6	☒	☒	
30,0 – 38,0	✓	☒	5
43,0- 54,6	☒	✓	5
39,0-42,0	✓	☒	meritev
39,0-42,0	☒	✓	meritev

- Če je izmerjena napetost nižja od 30 V ali višja od 55 V se polnjenje ne sme izvajati.
- Če je izmerjena napetost v mejah med 30,0 V in 38,0 V ugotovimo, da je priključena baterija z nazivno napetostjo 36 V. Kontaktor K1 bo vključil DC/DC pretvornik IDC1.

- Če je izmerjena napetost v mejah med 43 V in 54,6 V bomo vedeli, da je priključena baterija z nazivno napetostjo 48 V. Kontaktor K2 bo vključil DC/DC pretvornik IDC2.
- Če pa bomo izmerili napetost med 39,0 V in 42,0 V, moramo v programu delovanja (EASY) upoštevati tudi izmerjeno vrednost polnilnega toka. Glede na vrednost toka se vklopi ustrezen DC/DC pretvornik IDC1 ali IDC2.



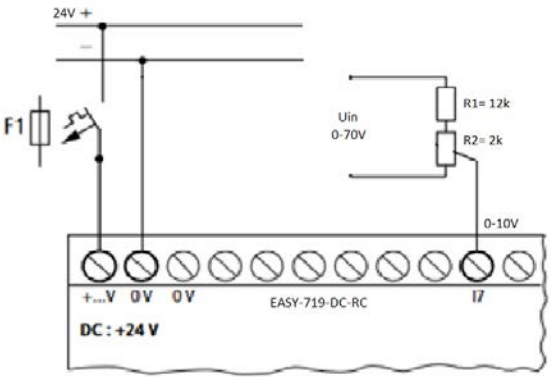
Graf 7: Izhodna napetost delilnika glede na vhodno napetost (vir: avtor naloge)



Graf 8: Izhodna napetost senzorja glede na vhodni tok (vir: avtor naloge)

Program se izvaja s pomočjo krmilnika (EASY719-DC-RC). Kot analogni vhod na krmilnik smo uporabili:

- Izhodno napetost delilnika (0-10 V) , predstavljeno na grafu številka 7.
- Izhodno napetost tokovnega senzorja (0,5 - 4,5 V), predstavljeno na grafu številka 8.



Slika 26: Priključitev napetostnega analognega vhoda na krmilnik (vir: avtor naloge)

Primer priključitve vhodne napetosti preko načrtovanega delilnika napetosti, je predstavljen na sliki 25, kjer je priključena napetost v območju med 0 do 10 V, priključena na vhod I7 krmilnika PLK.

Glede na izmerjene analogne vrednosti bo program vklopil relejski izhod:

- Q1 → K1 → IDC1 (42 V)
- Q2 → K2 → IDC2 (54,6 V)

5 DISKUSIJA

5.1 Primerjava naše rešitve z drugimi

Rešitev električnega polnjenja e-koles je na splošno malo. Tu imamo v mislih predvsem avtomatsko polnjenje z enosmernim tokom, kjer ne potrebujemo lastnega adapterja za polnjenje. Ugotovili smo tudi, da je večina polnilnic priključenih na električno omrežje. Pri tem smo omejeni na lokacijo, kjer lahko postavimo e-polnilnico.

V Sloveniji nismo našli primera polnilnice, ki bi omogočala enosmerno polnjenje in nebi bila priključena na električno omrežje.

Rešitve drugih glede načina polnjenja:

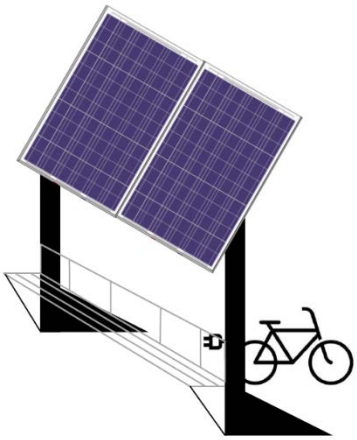
- Samo izmenično polnjenje, sistem priključen na električno omrežje,
- kombinacija enosmernega in izmeničnega polnjenja, sistem priključen na električno omrežje,
- izmenično polnjenje, sistem neodvisen od omrežja.

Podobno rešitev, kot je ta zasnovan inovacijski predlog, smo zasledili na tehniški univerzi na Nizozemskem, uporabljene v praksi pa ne.

Prednosti tega inovacijskega predloga:

- Sistem neodvisen od električnega omrežja. To nam omogoča prilagodljivost pri postavitvi in prihranek pri stroških inštalacije.
- Kombinacija enosmernega in izmeničnega polnjenja. Pri polnjenju z enosmernim tokom ne potrebujemo lastnega adapterja, kar je prednost pred izmeničnim polnjenjem.
- Običajno adapterji za polnjenje baterij e-koles omogočajo polnjenje z manjšim tokom (na primer 2 A). Naša polnilnica pa bo omogočala polnjenje z maksimalnim tokom 5 A. S tem se bo skrajšal čas polnjenja.
- Avtomatsko prepoznavanje napetosti baterije e-kolesa 36 V ali 48 V.
- Možnost nadzora nad otočnim sistemom polnilnice e-koles.
- Omogočeno bo zatočišče pred soncem in dežjem (3,5 m^2 strehe).

Idejna zasnova postavitve polnilnice je prikazana na naslednji fotografiji.



Slika 27: Idejni izgled polnilnice e-koles (vir: avtor naloge)

5.2 Možnosti izboljšav

Možnosti nadgradnje oziroma izboljšav je še veliko. Lahko bi omogočili polnjenje baterij tudi z višjo napetostjo (52 V, 60 V, 72 V). Naša trenutna izvedba inovacijskega predloga zajema dve najpogostejši napetosti baterij e-koles.

Trenutno je zasnovan predlog polnilne postaja odprtega tipa, pomeni da jo lahko uporablja kdorkoli, v prihodnje pa bi jo lahko nadgradili tudi z aplikacijo za pametne mobilne telefone in s tem nadzorovali možnost uporabe. To bi omogočalo polnjenje e-koles šele po registraciji uporabnika.

Trenutne AGM baterije, bi lahko zamenjali s katero drugo vrsto novejših baterij, ki imajo boljše lastnosti, kot je primer baterije LiFePO4. Te baterije lahko popolnoma izpraznimo in imajo hkrati tudi daljšo življenjsko dobo ter so manj občutljive na temperaturne razlike.

Omogočili bi lahko še daljinsko spremljanje polnjenja e-koles in informacijo o zasedenosti polnilne postaje. Polnilno mesto bi lahko opremili tudi z brezžičnim polnilcem za pametne telefone.

5.3 Ekonomija

Za ocenitev stroškov postavitve oziroma izdelave e-polnilnice smo zbrali vse elemente. Po popisu materiala potrebnega za polnilnico e-koles, ki v celoti deluje neodvisno od omrežja in omogočala enosmerno in izmenično polnjenje, ugotavljamo, da bo cena le te samo z električnim delom znašala okvirno 2.800 €, kar je predstavljeno v tabeli 15. Če upoštevamo še ocenjene stroške, da je za postavitev polnilnice potrebno ogrodje in nekaj dodatnih del ocenjujemo, da bi cena znašala približno 5.000 €.

Tabela 15: Popis materiala uporabljenega materiala z nabavnimi cenami

Material	**Količina**	**Prodajna vrednost**
VE.DIRECT KABEL	3 KOS	34,20 €
ZAŠČITA BATERIJE BP-100	1 KOS	37,80 €
UPOR SMART 500A/50mV	1 KOS	87,60 €
AGM AKUMULATOR 12V/165Ah	2 KOS	625,20 €
INVERTER PHOENIX 24/1200	1 KOS	263,40 €
CERBO GX	1 KOS	229,20 €
MPPT 100/30	1 KOS	85,80 €
SENZOR TOKA	1 KOS	14,90 €
DC/DC PRETVORNIK	2 KOS	162,00 €
OMARA POLIESTER	1 KOS	590,00 €
PLK EASY 719 DC-RC	1 KOS	194,00 €
PV PANEL	2 KOS	540,00 €
	SKUPAJ:	2.864,10 €

Stroškov vzdrževanja praktično ni, razen če se katera od komponent pokvari ali pa se zaradi malomarnosti uniči.

6 DRUŽBENA ODGOVORNOST

Polnilnica e-koles spodbuja trajnostno mobilnost, kolesarski turizem, obisk krajev zgodovinskega pomena (spomeniki ipd.), ki se nahajajo tudi na oddaljenih lokacijah. Možne lokacije postavitev bi bile avtobusna postajališča, kolesarske poti, poti v gorah in hribih ter mestni parki. S takšnimi polnilnicami bi povečali možnost polnjenja, brezskrbno vožnjo in s tem omogočili daljšo in pogostejšo potovanje z e-kolesom, saj je običajni zadržek uporabe e-mobilnosti, doseg oziroma domet. Če bi s takšnimi polnilnicami opremili tudi druge točke, pa bi s tem tudi spodbudili večjo uporabo le teh.

7 ZAKLJUČEK

Znanje, ki sem ga pridobil pri prejšnjih raziskovalnih nalogah, sem letos uporabil v praktičnem primeru. Ker je v uporabi veliko število e-koles, rešitev polnjenja izven doma pa malo, je polnilnica e-koles prava ideja. S pomočjo predlaganega inovacijskega predloga, bi lahko opremili marsikatero točko, ki je trenutno še nismo ali je zaradi trenutnih izvedb e-polnilnic ne moremo.

VIRI IN LITERATURA

Priročniki:

- FOTONAPONSKI OTOČNI SUSTAVI (dr. Josip Zdenković, Kolonarika Zagreb, 2019)
- ELEKTROTEHNIŠKI PRIROČNIK (Tehniška založba Slovenije, d.d. ; 2013)

Elektronski viri:

[1] „Finding an e-bike charging station: keep your e-bike fully functional“. https://powunity.com/en/finding-an-ebike-charging-station-keep-your-ebike-fully-functional (pridobljeno 9. februar 2023).

[2] „What is an electric bike and how do they work? Buyer’s guide to ebikes - BikeRadar“. https://www.bikeradar.com/advice/buyers-guides/what-is-an-electric-bike/ (pridobljeno 9. februar 2023).

[3] „Every Type of Battery Found in an eBike or eScooter“. https://www.webbikeworld.com/every-type-of-battery-found-in-an-ebike-or-escooter/ (pridobljeno 9. februar 2023).

[4] „bike-energy charging stations | bike-energy“, 8. avgust 2018. https://bike-energy.com/en/charging-stations/ (pridobljeno 9. februar 2023).

[5] „Solar Panels for Your Home (Complete 2023 Guide) | GreenMatch“. https://www.greenmatch.co.uk/solar-energy/solar-panels#types-of-solar-cells (pridobljeno 9. februar 2023).

[6] „SmartSolar MPPT 100/30 & 100/50“, *Victron Energy*. https://www.victronenergy.com/solar-charge-controllers/smartsolar-100-30-100-50 (pridobljeno 10. februar 2023).

[7] „SmartShunt“, *Victron Energy*. https://www.victronenergy.com/battery-monitors/smart-battery-shunt (pridobljeno 10. februar 2023).

[8] „Smart BatteryProtect“, *Victron Energy*. https://www.victronenergy.com/battery_protect/smart-battery-protect (pridobljeno 10. februar 2023).

[9] „Cerbo GX“, *Victron Energy*. https://www.victronenergy.com/panel-systems-remote-monitoring/cerbo-gx (pridobljeno 10. februar 2023).

[10] „What is a DC-DC converter ? – x-engineer.org“. https://x-engineer.org/dc-dc-converter/ (pridobljeno 9. februar 2023).

[11] „Pololu - ACS724 Current Sensor Carrier 0 to 10A“. https://www.pololu.com/product/4042 (pridobljeno 9. februar 2023).

[12] „MPPT Calculator - Victron Energy“. https://www.victronenergy.com/mppt-calculator (pridobljeno 9. februar 2023).