

56. srečanje mladih raziskovalcev Slovenije 2022

DALJINSKA REGULACIJA PRETOKA VODE NA HIDROELEKTRARNI

Raziskovalno področje: elektrotehnika, elektronika, robotika

Raziskovalna naloga

Avtor: Aleks Žvikart

Mentor: Robert Gašparič

Šola: Srednja elektro – računalniška šola Maribor

Maribor, april 2022

1. VSEBINA

1. VSEBINA.....	2
Seznam kratic, uporabljenih v raziskovalno nalogi:	6
2. UVOD	8
3. POVZETEK	8
4. CILJI	9
5. ZAHVALA	9
6. TEHNIČNI PODATKI MHE BELA.....	10
6.1 Zajetje	10
Slika 1: Vodno zajetje pred izvedbo(vir: lasten vir)	10
6.2 Cevovod.....	10
6.3 Strojnica	10
Slika 2: Strojnica MHE Bela.....	10
6.4 Generator.....	11
Slika 3: Nazivni podatki sinhronskega generatorja (vir: lasten vir).....	11
6.5 Turbina.....	11
Slika 4: Peltonova turbina (vir: Vodne turbine: fakulteta za strojništvo)	11
7. VSEBINSKI DEL	12
7.1 Venus GX.....	12
Slika 5: Venus GX (vir: Venus GX manual)	12
7.2 Regulator polnjenja (MPPT 100/30).....	13
Graf 1: U/I karakteristika PV panela EXE Solar (MARS 370W)	13
Graf 2: Vhodna in izhodna moč regulatorja MPPT (vir: victron energy).....	13
Graf 3: Tриje koraki polnjenja baterije (vir: victron energy)	14
7.3 Brezžični usmerjevalnik (RUT 955).....	15
Slika 6: Sprednji in zadnji pogled RUT955 (vir: Teltonika Networks)	17
Slika 7: Nastavitev analognega vhoda 4-20mA(vir: Teltonika Networks).....	17

7.4 Predupor (SmartShunt 500/50mV).....	18
Slika 8: Tok in padec napetosti na preduporu (vir: Wiring Unlimited – Rev 06) .	18
7.5 Zaščita baterije (SBP-65A).....	19
Slika 9: Priključitev SBP zaščite v tokokrog (vir: victron energy)	19
7.6 Baterija (AGM)	20
Slika 10: AGM baterija 12V/90Ah (vir: victron energy).....	20
Tabela 1: Napetostno stanje baterije v praznem teku (vir: Schrack Technik)	20
7.7 PV panel	21
Tabela 2: Vršna moč, tok in napetost PV panela.....	21
Tabela 3: Mehanske lastnosti PV panela	21
Slika 11: Dimenzijske podatki PV panela (vir: Schrack Technik)	21
7.8 IP kamera in DC/DC pretvornik.....	22
Slika 12: IP kamera (vir: CP plus).....	22
Slika 13: DC/DC pretvornik (vir: Conrad).....	23
7.9 Hidrostatični merilnik nivoja tekočin	24
Tabela 4: Merilna območja merilnika	24
Slika 14: hidrostatični merilnik nivoja MPS100 (vir: Materm)	24
Slika 15: Mere hidrostatičnega merilnika (vir: Materm).....	24
8. DIMENZIONIRANJE OFF GRID SISTEMA VODNEGA ZAJETJA	25
8.1 Dimenzioniranje baterije in PV modulov.....	25
Tabela 5: Realni izračun otočnega PV sistema na lokaciji zajetja (vir: victron energy)	25
Tabela 6: Ocena proizvodnje (vir: Photovoltaic geographical information systems)	26
Graf 4: Ocena proizvodnje energije za PV sistem MHE Bela (vir: Photovoltaic geographical information systems)	26
Graf 5: Zmogljivost baterije (vir: Photovoltaic geographical information systems)	26

Tabela 7: Porabniki sistema na zajetju (vir: victron energy)	27
Slika 16: Vezava baterij (vir: victron energy)	27
8.2 Dimenzioniranje regulatorja polnjenja (MPPT 100/30)	28
Tabela 8: Določitev MPPT regulatorja (vir: victron energy)	28
Graf 6: Izhodna napetost PV modulov glede na temp. okolice (vir: victron energy)	28
Graf 7: Izhodni tok MPPT regulatorja glede na temp. okolice (vir: victron energy)	29
Slika 17: Vezava PV panelov, 2xserijsko in 2xparalelno (vir: victron energy)	29
8.3 Določanje vrednosti predupora (SmartShunt)	31
Slika 18: Vezava predupora (vir: victron energy)	31
Slika 19: Nastavitev parametrov baterije (vir: victron energy).....	31
8.4 Dimenzioniranje DC vodnikov in MCB odklopnikov.....	32
Tabela 9: Tokovne obremenitve Cu kablov in vodnikov, IEC60364 5-52 (vir: TiSoft).....	32
Tabela 10: Preseki vodnikov in DC MCB odklopniki (vir: lasten vir)	33
8.5 SPD zaščita sistema (naprava za zaščito pred prenapetostjo)	34
Slika 20: Povezava na ozemljilo (vir: lasten vir).....	34
Slika 21: SPD 1 in SPD 2 (vir: Schrack Technik).....	34
9. SESTAVA OFF GRID SISTEMA	35
9.1 Sestava stikalnega bloga (PV-MHE Bela).....	35
Slika 22: Schrack Design (vir: Schrack Technik)	35
Slika 23: Izgled omare - Schrack Design (vir: lasten vir)	36
9.2 Montaža opreme na vodnem zajetju	37
Slika 24: Izgled stikalnega bloka (vir: lasten vir)	37
Slika 25: Nosilna konstrukcija za PV panele (vir: lasten vir)	38
Slika 26: Nameščen hidrostatski merilnik tekočin (vir: lasten vir)	39
Slika 27: Nameščena IP kamera (vir: lasten vir).....	40

Slika 28: Nameščeni GSM anteni in temperaturni senzor (vir: lasten vir)	40
Sliki 29 in 30: Povezava stikalnega bloka na ozemljilo in ozemljitev PV panelov (vir: lasten vir)	41
Slika 31: Zaščita baterije (vir: victron energy).....	41
10. NADZOR OFF GRID SISTEMA.....	42
10.1 VRM portal	42
Slika 32: Dashboard (vir: lasten vir).....	42
10.2 Analiza in meritve otočnega sistema.....	43
Graf 8: Proizvedena el. energija v kWh (vir: lasten vir).....	43
Graf 9: Tok in napetost PV panelov (vir: lasten vir)	43
Graf 10: Moč PV panelov (vir: lasten vir)	44
Graf 11: Napetost in tok polnjenja baterije (vir: lasten vir)	44
Graf 12: Napetost in tok baterije (vir: lasten vir)	45
Graf 13: Moč polnjenja baterije.....	45
Graf 14: Poraba moči vseh naprav (vir: lasten vir)	46
Slika 33: Večpolna shema razdelilne omare PV-MHE Bela (vir: lasten vir)	47
11. STROJNICA MHE BELA IN REGULACIJA PRETOKA	48
Slika 34: Lokacije zajetja, strojnice in mobilne postaje (vir: Geoportal AKOS) ..	48
Slika 35: Razdelilnik z brezžičnim usmerjevalnikom v strojnici (vir: lasten vir) ..	49
Slika 36: Generator, turbina in regulacija igle na turbini (vir: lasten vir)	49
Slika 37: Upravljalna plošča MHE Bela (vir: lasten vir)	50
Slika 38: Meritve nivoja vode na zajetju in oddana moč elektrarne (vir: lasten vir)	50
Slika 39: Merjenje tlaka v cevi (vir: lasten vir)	51
12. ZAKLJUČEK	52
13. DRUŽBENA ODGOVORNOST	52
14. VIRI.....	52

Seznam kratic, uporabljenih v raziskovalno nalogi:

ang. - angleško

MHE - MALA HIDRO ELEKTRARNA

OFF GRID – OTOČNI SISTEM

MPPT – (ang. MAXIMUM POWER POINT TRACKING); Sledenje točki največje moči

SPD – (ang. SURGE PROTECTION DEVICE); Prenapetostno zaščitna naprava

MCB – (ang. MINIATUR CIRCUIT BREAKER); Inštalacijski odklopnik

VRM – (ang. VICTRON REMOTE MANAGEMENT); Daljinsko upravljalni portal
Victron

STC – (ang. STANDARD TEST CONITIONS); Standardni testni pogoji

PV – (ang. PHOTOVOLTAIK); Fotovoltaika

DC – (ang. DIRECT CURRENT); Enosmerni tok

AGM – (ang. ABSORBENT GLASS MAT); Vpojna steklena volna

GSM – (ang. GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATIONS); Globalni
sistem za mobilne komunikacije

GPRS – (ang. GENERAL PACKET RADIO SERVICE); Mobilna podatkovna paketna
storitev

LTE – (ang. LONG TERM EVOLUTION); Standard mobilnih telekomunikacij

GNSS – (ang. GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM); Globalni navigacijski
satelitski sistem

WiFi – (ang. WIRELESS TECHNOLOGY); Brezžične tehnologije

RF – (ang. RADIO FREQUENCY); Radio frekvenčna

TCP – (ang. TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL); Protokol transportnega sloja

WAN – (ang. WIDE AREA NETWORK); Prostrano omrežje

LAN – (ang. LOCAL AREA NETWORK); Lokalno omrežje

UDP – (ang. USER DATAGRAM PROTOCOL); Ne povezovalni protokol

IP – (ang. INTERNET PROTOCOL); Internetni protokol

IPv4 – (ang. INTERNET PROTOCOL VERSION 4); Internetni protokol verzije 4

IPv6 – (ang. INTERNET PROTOCOL VERSION 6); Internetni protokol verzije 6

DNS – (ang. DOMEIN NAME SYSTEM); Sistem domenskih imen

http – (ang. HYPERTEXT TRANFER PROTOCOL); Dostopni protokol spletnih strani

2. UVOD

V nalogi sem obdelal praktični problem na mali hidroelektrarni Bela. Elektrarna ima vodno zajetje 2 kilometra oddaljeno od strojnice. Ko so elektrarno zgradili so poleg cevovoda položili tudi kabelsko povezavo med strojnico in vodnim zajetjem. Kabelska povezava je služila merjenju nivoja vode na zajetju. Glede na nivo vode se je izvajala regulacija loput Peltonove turbine. Z leti obratovanja se je zaradi dolžine in pojava prenapetosti v kablu ta povezava prekinila. Turbina je ostala brez avtomatske regulacije. S tem se je izkoristek proizvodnje električne energije bistveno poslabšal. Naloga je torej bila vzpostaviti povezavo (komunikacijo) med vodnim zajetjem in strojnico elektrarne. Na zajetju je potrebno meriti nivo vode in ta podatek pošiljati do 2 kilometra oddaljene strojnice. Ker vodno zajetje nima dovoda električne energije (nenaseljeno področje), je bilo potrebno dimenzionirati OTOČNI sistem izvora električne energije (OFF GRID napajanje). Na ta način je spet omogočena regulacija turbine, ki pa je bila že izvedena in ni predmet naloge.

3. POVZETEK

V raziskovalni nalogi sem predstavil MHE Bela in opisal posamezne komponente otočnega sistema. Določil in dimenzioniral sem vse potrebne naprave (MPPT, baterije, predpor, SPD zaščito ter zaščito baterij). Dimenzioniral sem tudi vodnike in zaščitne elemente (MCB odklopnice). Sestavil sem razdelilnik PV-MHE Bela z vsemi pravilno izbranimi napravami. Pred sestavo sem razdelilnik tudi skonstruiral s pomočjo programske opreme Schrack Design. Na zajetju smo otočni sistem zmontirali. Na koncu sem s pomočjo VRM portala izvedel meritve ozziroma analizo PV sistema za določen dan.

4. CILJI

Cilj naloge je zagotoviti neodvisen vir napajanja na zajetju MHE Bela, merjenje nivoja vode in prenos tega podatka do strojnice MHE Bela.

5. ZAHVALA

Zahvaljujem se šoli, ki je omogočila raziskovalno dejavnost, staršem za podporo in mentorju za vso pomoč. Hvala tudi lastniku podjetja Enerhid za možno rešitev ter izvedbo projekta.

6. TEHNIČNI PODATKI MHE BELA

6.1 Zajetje

Je ločeno bočno na levem bregu vodotoka Bela. Zajema rešetko, akumulacijo prodnega zadrževalnika, iztok za čiščenje peskolova in vtok cevovoda v podaljšku krilnega zidu.



Slika 1: Vodno zajetje pred izvedbo(vir: lasten vir)

6.2 Cevovod

Z višinsko razliko 188 metrov, v dolžini 2100 metrov in premera cevi $\varnothing = 500\text{mm}$. Cevi so doktilne, kar pomeni, da so od zunaj narejene iz kvalitetne železne litine, od znotraj pa so zaščitene s cementno malto. Gladka površina daje cevem zelo dobre hidravlične lastnosti (faktor hrapavosti $k= 0,1\text{mm}$ po Colebrook-u)

6.3 Strojnica

Z vgrajenim agregatom, energetskim transformatorjem 0,4/20kV; 630kVA in visokonapetostnim stikališčem 20kV.



Slika 2: Strojnica MHE Bela

6.4 Generator

Sinhronski 0,4kV; S= 700kVA.



Slika 3: Nazivni podatki sinhronskega generatorja (vir: lasten vir)

6.5 Turbina

Pelton turbina z vodoravno gredjo 560kW, primerna za manjše pretoke in velike padce. Turbina je priklopljena na dovodni cevovod, ki se konča s šobo, ki usmerja vodni curek okroglega preseka v simetralni ravnini gonilnika k lopatam. Moč turbine uravnavamo s pomočjo pomikanja igle v šobi.



Slika 4: Peltonova turbina (vir: Vodne turbine: fakulteta za strojništvo)

7. VSEBINSKI DEL

7.1 Venus GX

Venus GX je središče sistema, saj so vse druge komponente kot so: predupor (SmartShunt), regulator polnjenja in temperaturno tipalo priključene nanj. Nadzor sistema lahko izvajamo kjer koli, z uporabo interneta in VRM portala. Portal lahko spremljamo preko VictronConnect App, ki ga lahko namestimo na računalnik in pametni telefon. Ko je GX povezan z internetom, se lahko uporablja v kombinaciji z VRM (Victron remote management), kar omogoča:

- Oddaljen dostop, do stanja v sistemu in beleženje vseh statistik (proizvedena energija, stanje baterije itd.).
- Daljinsko krmiljenje naprav in spremljanje stanja digitalnih vhodov.

Napravo napajamo z enosmerno napetostjo 8 do 70V. Torej omogoča uporabo 12V, 24V ali 48V baterijske banke. Z drugimi komponentami je Venus GX povezan z VE. Direct vmesnikom. Nanj sta priključena: MPPT regulator in predupor (shunt). Vsebuje tudi dva relejska izhoda, ki sta potencialno prosta. Izhod R1 je uporabljen kot digitalni vhod na usmerjevalniku (RUT 955).



Slika 5: Venus GX (vir: *Venus GX manual*)

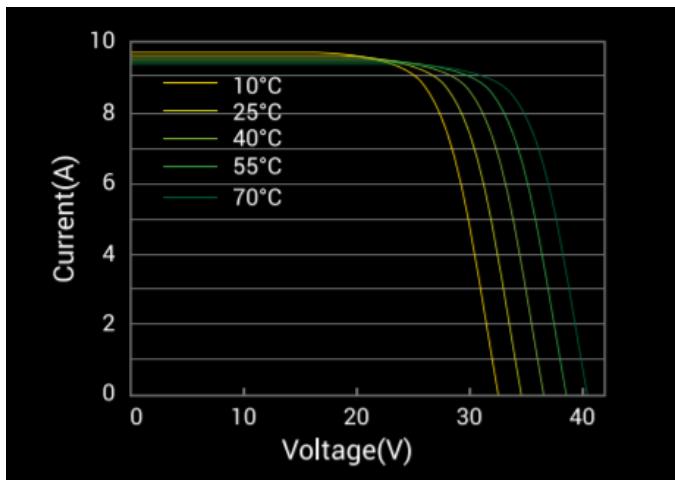
7.2 Regulator polnjenja (MPPT 100/30)

Regulator polnjenja je naprava, ki zbira energijo iz PV panelov in jo shrani v baterijo.

S stalnim spremeljanjem napetosti in izhodnega toka PV panelov, MPPT zagotavlja, da se vsa 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 PV panela največjo moč.

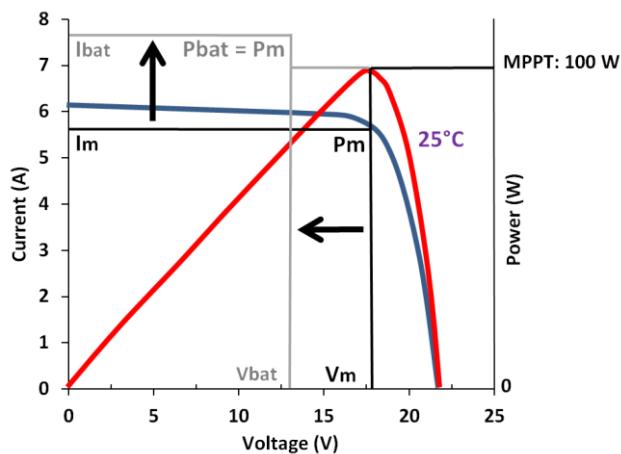
Graf 1: U/I karakteristika PV panela EXE Solar (MARS 370W)



Napetost V_{mpp} (V) pri maksimalni moči panela in STC pogojih (standard test conditions) je 34,4V. Tok I_{mpp} (A) pa je v tem primeru 10,76A.

Regulator polnjenja je tudi pretvornik DC/DC saj pretvori višjo napetost na nižjo izhodno napetost in obratno. Vsebuje mikroprocesor, ki sledi maksimalni moči.

Graf 2: Vhodna in izhodna moč regulatorja MPPT (vir: victron energy)



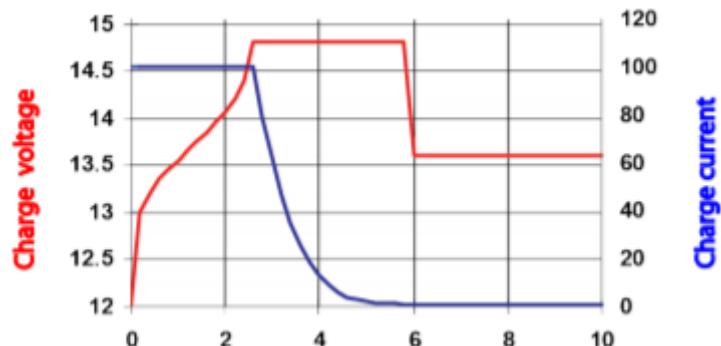
MPPT regulator ima tri led diode, ki prikazujejo stanje polnjenja baterije. Poznamo tri stanja to so Bulk, Absorption in Float.

Bulk: polnjenje z največjim tokom, kjer napetost raste.

Absorption: polnjenje z največjo napetostjo, kjer tok pada.

Float: ohranjanje nazivne napetosti baterije.

Graf 3: Tриje koraki polnjenja baterije (vir: victron energy)



7.3 Brezžični usmerjevalnik (RUT 955)

RUT955 je kompaktnih mobilnih usmerjevalnikov z visoko hitrostno brezžično povezavo in ethernet povezavo. Ta usmerjevalnik je namenjen za lokacije, kjer ni dostopa do internetne kabelske povezave. Usmerjevalnik še vedno podpira internetno širokopasovno kabelsko povezavo, preprosto ga priključimo na vrata WAN.

MOBILNO OMREŽJE:

- **Mobilni modul 4G (LTE)** – Cat. 4 do 150Mbps, 3G do 42 Mbps, 2G do 236,8 kbps
- **SIM preklapljanje** – 2 kartici SIM, samodejni preklop: omejitev prenosa podatkov, omejitev SMS sporočil, gostovanje, prekinitev podatkovne povezave, zaščita pred mirovanjem SIM
- **RF tehnologija** – GSM, GPRS, LTE, GNSS, WiFi

OMREŽNE FUNKCIJE:

- **Usmerjanje** – statično, dinamično usmerjanje
- **Omrežni protokoli** – TCP, UDP, IPv4, IPv6, DNS, http
- **Požarni zid** – omogoča odpiranje vrat/portov, pravila za promet, pravila po meri

VHODI / IZHODI:

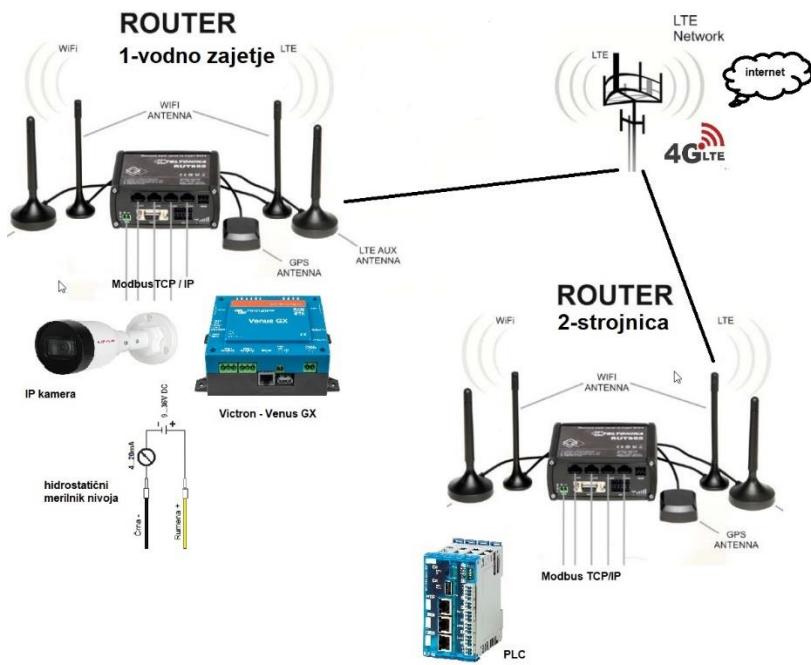
- **Vhod** – 1x digitalni vhod (0-3V), 1x digitalno galvansko izoliran vhod (0-30V), 1x analogni vhod (0-24V, 4-20mA), 1x digitalni neizolirani vhod (na 4-polnem napajальнем priključku)
- **Izhod** – 1x digitalni izhod (30V, 250mA), 1x relejski izhod (40V, 4A), 1x digitalni izhod (30V, 300mA na 4-polnem napajальнем priključku)
- **Dogodki** – SMS, E-mail

NAPAJANJE

- **Prikluček** – 4-polna DC vtičnica
- **Območje vhodne napetosti** – 9 do 30 VDC, zaščita pred obratno polariteto, prenapetostna zaščita >31 VDC
- **Poraba energije** – Max. 7W

FIZIČNI VMESNIKI

- **Mrežni priključki** – 4 x RJ45, 10/10 Mbps
- **Vhodno – izhodni priključki** – 2x vhod in 2x izhod na 10-polni industrijski vtičnici, 1x digitalni vhod in 1x digitalni izhod na 4-polnem napajalnem konektorju
- **LED diode** – 1x tribarvna LED dioda za stanje povezave, 5x LED diode za moč povezave, 4x LED diode za stanje LAN, 1x LED dioda za napajanje
- **SIM** – 2x SIM reža; 1,8V / 3V, odstranljivo držalo SIM kartice
- **Antene** – 2x SMA za LTE, 2x RP-SMA za WiFi, 1x SMA za GNSS
- **USB**
- **RS232**
- **RS485**
- **Tipka za ponovni zagon**



Slika 6: Povezave na RUT955 (vir: Teltonika Networks)

INPUT/OUTPUT STATUS

TYPE	ASSOCIATED PINS	STATE	INVERSION
Input	1	Low level	<input checked="" type="checkbox"/> off <input type="checkbox"/> on
Isolated Output	3,4,8	<input type="checkbox"/> off <input checked="" type="checkbox"/> on	-
Isolated Input	2,7	Low level	<input type="checkbox"/> off <input checked="" type="checkbox"/> on
Relay	5,10	Open	-
Analog Current Loop	6,9	7.00 mA (18.5%)	-

INPUT/OUTPUT PINOUT



- | | |
|--|---|
| 1 Digital input (only for passive sensors) | 2 Digital galvanically isolated input (0-4 VDC: low logic level / 9-30 VDC: high logic level) |
| 3 Galvanically isolated open collector output (External 0-30 VDC, 0.25A) | 4 OC output (External VCC 0-30 VDC) |
| 5 Relay output (COM) (External 0-24 VDC or 0-40 VAC, 4A) | 6 GND (digital & analog input) |
| 7 GND (digital isolated input) | 8 GND (OC output) |
| 9 Analog input (0-24 VDC, 20 mA) | 10 Relay output (NO) |

INPUT / OUTPUT

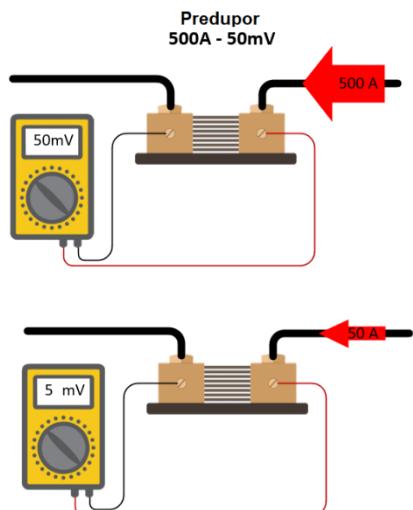
Slika 7: Nastavitev analognega vhoda 4-20mA(vir: Teltonika Networks)

7.4 Predupor (SmartShunt 500/50mV)

Predupor (shunt) je uporovni element, ki se uporablja za merjenje toka. Če je tok majhen je padec napetosti manjši, če pa je tok velik je padec napetosti večji.

Predupor ima nazivno vrednost toka in napetosti, v mojem primeru 500A/50mV. To pomeni, da če teče skozi tok 500A, bo padec napetosti 50mV. Nazivna vrednost predupora mora biti dimenzionirana glede na maksimalni enosmerni tok porabnika.

Tako sem izbral najmanjšo vrednost predupora, saj je tok bremena 0,55A.



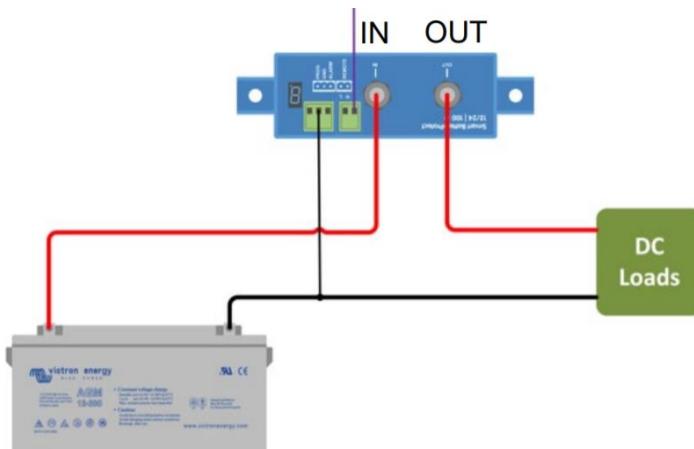
Slika 8: Tok in padec napetosti na preduporu (vir: Wiring Unlimited – Rev 06)

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

7.5 Zaščita baterije (SBP-65A)

SBP zaščita odklopi baterijo od porabnikov preden se le ta popolnoma izprazni. S tem podaljšamo življensko dobo baterij. V tem primeru je nastavljena tako, da odklopi baterijo od porabnikov pri spodnji meji napetosti (22,5V).

Zaščita je polprevodniški element z zelo malo porabo (1,5mA). Kar pomeni, da pri preklopih ni iskrenja.



Slika 9: Priključitev SBP zaščite v tokokrog (vir: victron energy)

7.6 Baterija (AGM)

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 AGM in GEL baterije. Razlikujejo se v tem, da je pri AGM baterijah elektrolit v masi iz steklenih vlaken. Pri GEL baterijah pa v gelu.

Prednost dajemo GEL baterijam, saj imajo daljšo življenjsko dobo in višje število ciklusov polnjenja in praznjenja. Sicer pa so v praktičnem primeru uporabljene AGM baterije, ki so cenovno najbolj sprejemljive.



Slika 10: AGM baterija 12V/90Ah (vir: victron energy)

Tabela 1: Napetostno stanje baterije v praznem teku (vir: Schrack Technik)

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

7.7 PV panel

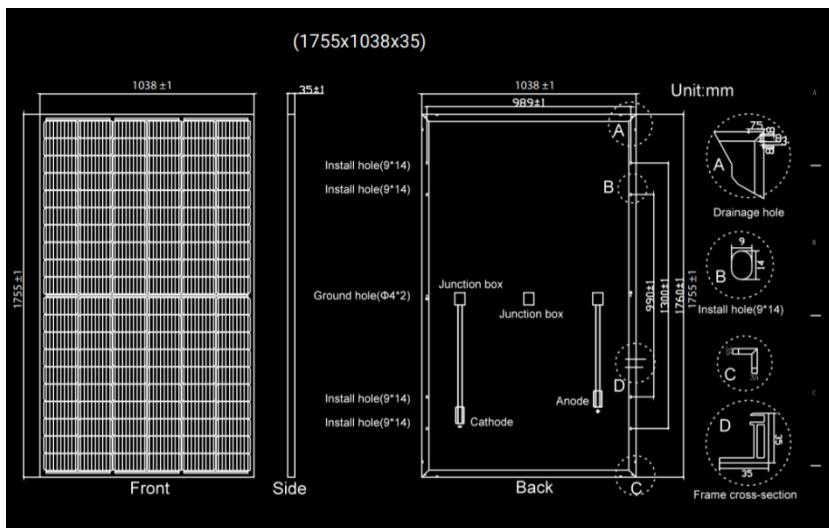
V nalogi so uporabljeni štirje monokristalni 120 celični EXE solar (MARS 370W) paneli.

Tabela 2: Vršna moč, tok in napetost PV panela

Tip modula	MARS A-HCM370/120
Vršna moč (Pmax)	370 W
Tok vršne moči (Impp)	10,76 A
Napetost vršne moči (Vmpp)	34,40 V

Tabela 3: Mehanske lastnosti PV panela

Mehanske lastnosti	
Teža	19,5 kg
Dimezije	1755*1038*35 mm
Mehanska zaščita priključka	IP67
Število celic	120 (6*20)
Okvir	Črn eloksiran aluminij
Steklo	3,2 mm antirefleksno steklo



Slika 11: Dimenzijs PV panela (vir: Schrack Technik)

7.8 IP kamera in DC/DC pretvornik

IP kamera omogoča nadzor sistema. Ima naslednje lastnosti:

- Senzor slike: 1/3« 4MP CMOS s progresivnim skeniranjem
- Resolucija: 2688 x 1520
- Širok dinamičen razpon
- Objektiv: 3,6mm
- Maksimalna zaslona: F2.0
- Ethernet: RJ-45 (10/100Base-T)
- Napajanje: 12 VDC (uporabljen DC/DC pretvornik, ki pretvori 24V v 12V)
- Poraba energije: <5W
- Mehanska zaščita: IP67



Slika 12: IP kamera (vir: CP plus)

DC/DC pretvornik:

Pretvornik DC v DC je elektronsko vezje ali elektromehanska naprava, ki pretvarja vir enosmernega toka iz ene napetostne ravni v drugo, v tem primeru iz 24V v 12V za napajanje IP kamere.

Tehnični podatki:

- Vhodna napetost: 6-28V
- Nastavljiva izhodna napetost: 3-15V
- Izhodni tok: 1,5A
- Maksimalna izguba: približno 3W



Slika 13: DC/DC pretvornik (vir: Conrad)

7.9 Hidrostatični merilnik nivoja tekočin

Kompakten in robusten hidrostatični merilnik nivoja MPS100 se uporablja za zvezno merjenje nivoja tekočin v bazenih, jezerih, cisternah, rekah... Ohišje z majhnim premerom 22 mm omogoča merjenje nivoja tekočin tudi v vrtinah. Kakovostna izdelava - komplet varjeno hermetično zaprto ohišje iz visoko kakovostnega CrNi jekla 316L omogoča merjenje nivoja tekočin v težjih industrijskih pogojih, kot tudi v morski vodi ter zagotavlja dolgo življenjsko dobo. Merilna membrana je narejena iz CrNi jekla 316L in je zelo občutljiva.

Tabela 4: Merilna območja merilnika

Merilna območja:												
Merilna območja (bar)	0,1	0,16	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,0	2,5	4,0	6,0	7,0
Dopustna preobremenitev (bar)	1	1,6	1,6	4	5	5	10	10	17,5	35	35	35
Tlak uničenja celice (bar)	1,5	3	3	7,5	7,5	7,5	15	15	25	40	40	42

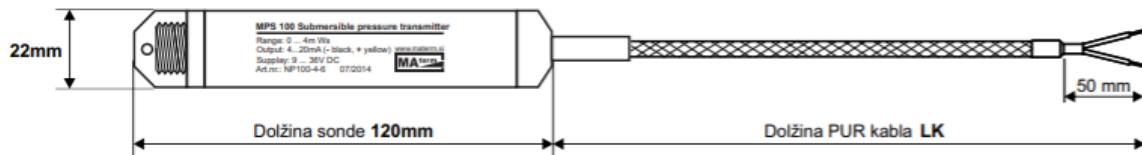
V mojem primeru merilno območje 0,16bar (0-1,6m).

Tehnični podatki:

- Napajalna napetost: 10-36VDC z zaščito pred napačno priključitvijo polaritete
- Izhodni signal: tokovni 4-20mA
- Natančnost: $\pm 0,25\%$
- Vpliv temperature okolice: $0,1\% / 10^\circ C$
- Hitrost meritev: 5meritev/sekundo
- Zaščita: IP68



Slika 14: hidrostatični merilnik nivoja MPS100 (vir: Materm)



Slika 15: Mere hidrostatičnega merilnika (vir: Materm)

8. DIMENZIONIRANJE OFF GRID SISTEMA VODNEGA ZAJETJA

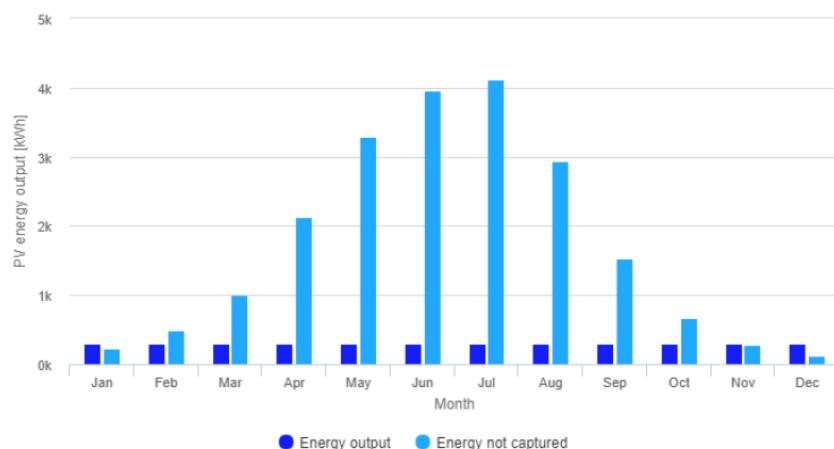
8.1 Dimenzioniranje baterije in PV modulov

Tabela 5: Realni izračun otočnega PV sistema na lokaciji zajetja (vir: victron energy)

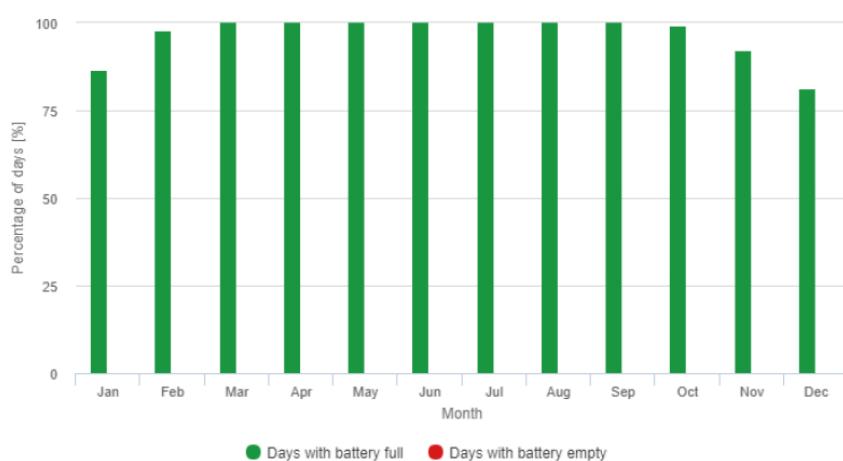
Tabela 6: Ocena proizvodnje (vir: Photovoltaic geographical information systems)

VHODNI PODATKI:	
Zemljepisna širina:	46.285
Zemljepisna dolžina:	13.432
Baza podatkov:	PVGIS-SARAH
Moč PV:	1480Wp
Energija baterije:	4800Wh
Mejna vrednost:	50%
Poraba na dan:	300Wh
Kot montaže panela:	40°
Azimut:	180°

Graf 4: Ocena proizvodnje energije za PV sistem MHE Bela (vir: Photovoltaic geographical information systems)



Graf 5: Zmogljivost baterije (vir: Photovoltaic geographical information systems)



Otočni sistem na zajetju MHE Bela, je bilo potrebno dimenzionirati za najslabše pogoje osončenja (mesec december in januar), saj naj bi bili takrat proizvedena energija in poraba približno usklajeni. Najlepše se to vidi na grafu št. 4(Ocena proizvodnje energije za PV sistem MHE Bela). V vseh ostalih mesecih pa bo proizvodnja el. energije bistveno večja kot pa poraba (Energy not captured). Iz grafa št. 5 (Zmogljivost baterije za PV sistem MHE Bela) vidimo, da bo baterija samo v mesecu decembru in januarju na 88% kapacitete. Baterija bo tako po izračunu na 100% kapacitete 352 dni v letu. Podatki so izračunani v sistemu za izračun otočnega sistema (Photovoltaic geographical information systems)

Tabela 7: Porabniki sistema na zajetju (vir: victron energy)

S pomočjo programa za dimenzioniranje PV sistema sem izračunal, da je potrebna moč PV panelov v tem času 1480W (4 x 370W). Izbran je 24V sistem napajanja. Za šest dnevno avtonomijo vseh porabnikov, je potrebna baterijska banka kapacitete 194Ah.



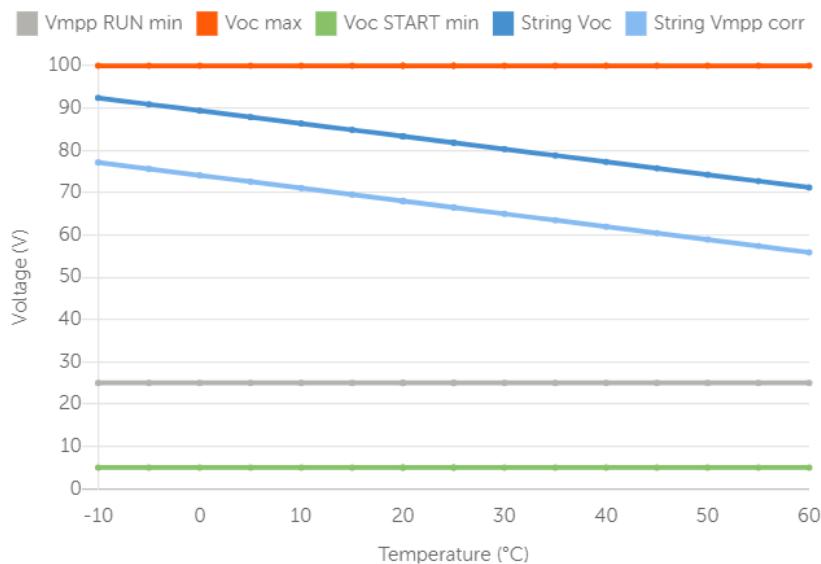
Slika 16: Vezava baterij (vir: victron energy)

8.2 Dimenzioniranje regulatorja polnjenja (MPPT 100/30)

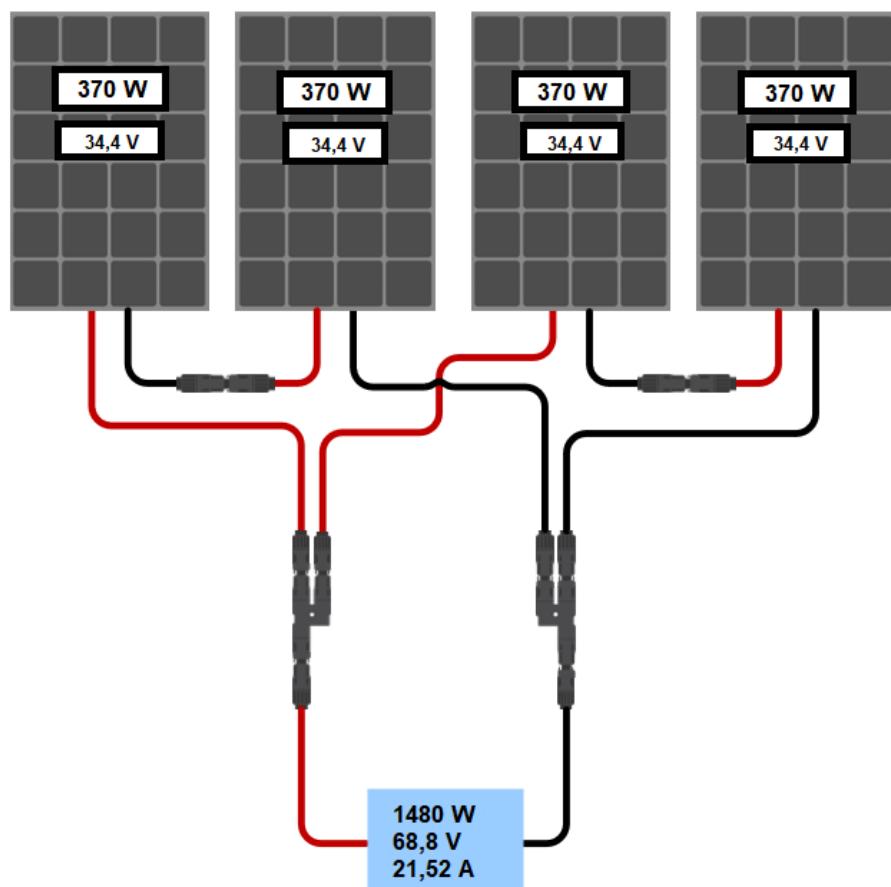
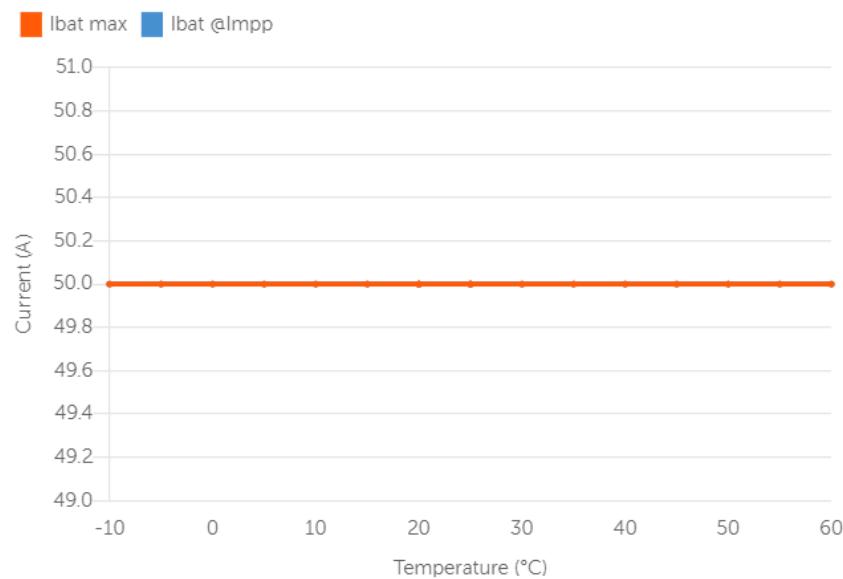
Tabela 8: Določitev MPPT regulatorja (vir: victron energy)

Module:	EXE Solar A-HCM370/20		
In series:	2	<input type="button" value="▲"/>	Parallel: 2 <input type="button" value="▲"/>
Total PV power @STC:	1480 Wp		
Attention: More than 30% oversized PV generator			
Module temperature:	Min. -10 °C <input type="button" value="▲"/>	Max. 60 °C <input type="button" value="▲"/>	
Controller:	BlueSolar MPPT 100/30		
System voltage:	24 <input type="button" value="▼"/> Volt		
Cable length, Module to MPPT *	12 m <input type="button" value="▲"/>	Cross-section: 4,0 mm ² <input type="button" value="▲"/>	
* One way length			
Max. input voltage	100 V		
Max. PV voltage @ min. temperature	92,4 V		
Min. input voltage @ MPP	25,0 V		
Min. PV voltage @ max. temperature	55,9 V		
Max. output current	30 A		
Max. current @ MPP min. temp.	30,0 A		
* Power limiting @ low temp.			
Max. current @ MPP max. temp.	30,0 A		
** Power limiting @ high temp.			
Solar module configuration	Accepted		

Graf 6: Izvodna napetost PV modulov glede na temp. okolice (vir: victron energy)



Graf 7: Izhodni tok MPPT regulatorja glede na temp. okolice (vir: victron energy)

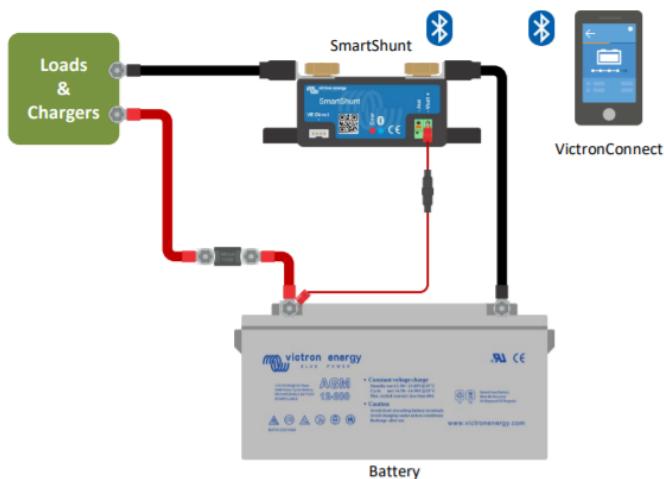


Slika 17: Vezava PV panelov, 2xserijsko in 2xparalelno (vir: victron energy)

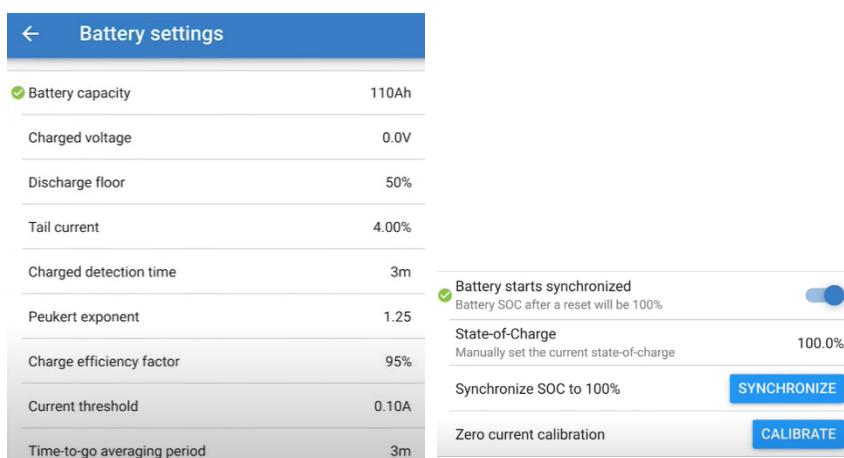
S pomočjo programa »Blue Solar charge controller MPPT« sem določil velikost regulatorja polnjenja. Izbrana je vezava PV panelov 2x serijsko in 2x paralelno (Slika 17). Izračun se izvaja s podatki iz tabele št. 2 (Vršna moč, tok in napetost PV panela). Ko definiramo napetost sistema, dolžino in presek kabla, nam program določi regulator polnjenja MPPT. V tem primeru sem tako izbral MPPT 100/30. Za ta MPPT je maksimalna moč PV panelov 880W kar pomeni, da ob maksimalni proizvodnji ne bo izkoriščena celotna moč, ki je na razpolago (1480W). Ko bo proizvodnja največja, bo energije tako ali tako preveč.

8.3 Določanje vrednosti predupora (SmartShunt)

Za merjenje toka in napetosti baterije, je vgrajen predupor (SmartShunt) 500/50mV. Priklučen je na minus pol baterije. Ko je moč PV panelov 0W, teče skozi »shunt« maksimalen tok -0,55A pri skupni moči porabnikov 13,18W. Pri maksimalni moči PV panelov pa bo tok skozi »shunt« do 30A (kolikor omogoča MPPT 100/30). Na njem nastavimo vse parametre baterije (Ah: 200Ah, nivo izpraznjenja: 50%, napetost izpraznjenja: 23,4V)



Slika 18: Vezava predupora (vir: victron energy)



Slika 19: Nastavitev parametrov baterije (vir: victron energy)

8.4 Dimenzioniranje DC vodnikov in MCB odklopnikov

Določitev PV DC odklopnika (1F1) in preseka vodnikov s pogojem o zaščiti niza:

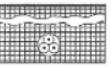
1. $(1,25 \times Isc \leq Iv \leq 2,4 \times Isc)$

$$\text{Izračun: } 1,25 \times 23,04A = 28,8A \leq 32A \leq 2,4 \times 23,04A = 55,3A$$

Za varovanje PV panelov je tako izbran DC MCB odklopnik C32/2.

Iz tabele št. 9 (Tokovne obremenitve Cu kablov in vodnikov) odčitamo presek vodnika, ki je v tem primeru 4mm^2 Cu (za način polaganja B1, DC napajanje)

Tabela 9: Tokovne obremenitve Cu kablov in vodnikov, IEC60364 5-52 (vir: TiSoft)

Conductor nominal cross-sectional area [mm ²]	Current-carrying capacities in [A] for methods of installation in Table B.52.1						
	A1	A2	B1	B2	C	D1	D2
	 Room	 Room	 B1	 B2	 C	 D1	 D2
1	2	3	4	5	6	7	8
Copper conductor							
1,5	14,5	14	17,5	16,5	19,5	22	22
2,5	19,5	18,5	24	23	27	29	28
4	26	25	32	30	36	37	38
6	34	32	41	38	46	46	48
10	46	43	57	52	63	60	64
16	61	57	76	69	85	78	83

2. $Ud < 3\%$ (pogoj padec napetosti)

$$Ud = \frac{2 \times l \times Isc \times \rho}{A} = \frac{2 \times 12m \times 23,04A \times 0,0173}{4 \text{ mm}^2} = 2,39V$$

$$Ud (\%) = \frac{Ud}{U_{mpp}} \times 100 = \frac{2,39V}{68,8V} \times 100 = 3,4\%$$

Padec napetosti je ravno na meji dovoljenega.

Tabela 10: Preseki vodnikov in DC MCB odklopniki (vir: lasten vir)

Določanje preseka vodnikov in DC MCB odklopnikov za porabnike						
Porabnik:	Poraba (W)	Tok (A)	Presek (mm ²)	Dovoljen tok (A)	MCB odklopnik (A)	Oznaka MCB
RUT 955	7	0,29	2,5	24	C4/1	1F6
IP kamera	3	0,13	2,5	24	C4/1	1F7
Venus GX	2,64	0,11	2,5	24	C4/1	1F5
SmartShunt	0,024	0,001	2,5	24	C3/1	1F4
MPPT (out)		30	16,0	76	C40/1	1F3
DC BUS (+SBP)	13,18	0,55	6,0	41	C4/1	1F2

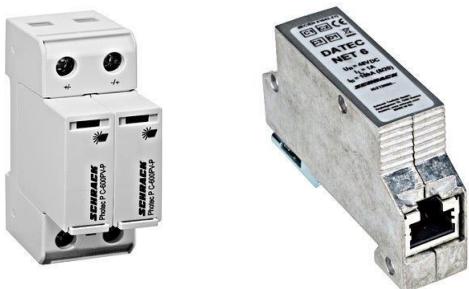
8.5 SPD zaščita sistema (naprava za zaščito pred prenapetostjo)

Vsi tokokrogi, ki potekajo izven stikalnega bloka (PV-MHE Bela), so zaščiteni s prenapetostno zaščito. Za pravilno delovanje SPD zaščite, je potrebna povezava z ozemljilom (FeZn 25x4mm, valjanec). Ozemljilo sem povezal s P/F žico 10mm² z BUS-PE zbiralko v stikalnem bloku.

- SPD 1 (PHOTEC P C-600PV-P) zaščita za PV module
- SPD 2 (Datec NET 6) zaščita za IP kamero



Slika 20: Povezava na ozemljilo (vir: lasten vir)



Slika 21: SPD 1 in SPD 2 (vir: Schrack Technik)

9. SESTAVA OFF GRID SISTEMA

9.1 Sestava stikalnega bloga (PV-MHE Bela)

Preden sem se lotil sestave stikalnega bloka, sem skonstruiral stikalni blok s pomočjo programske opreme Schrack Design 5.0. Uporabil sem poliestrsko omaro dimenzij 1000 x 750 x 312 mm, zaščite IP 55, RAL7035.

Omara je sestavljena iz štirih delov od zgoraj navzdol:

- Aktivne komponente (MPPT, Venus GX, RUT 955, SmartShunt)
- SPD, tokovna zaščita, BUS zbiralki + in –
- Vrstne sponke in BUS – PE zbiralka
- Akumulatorski del

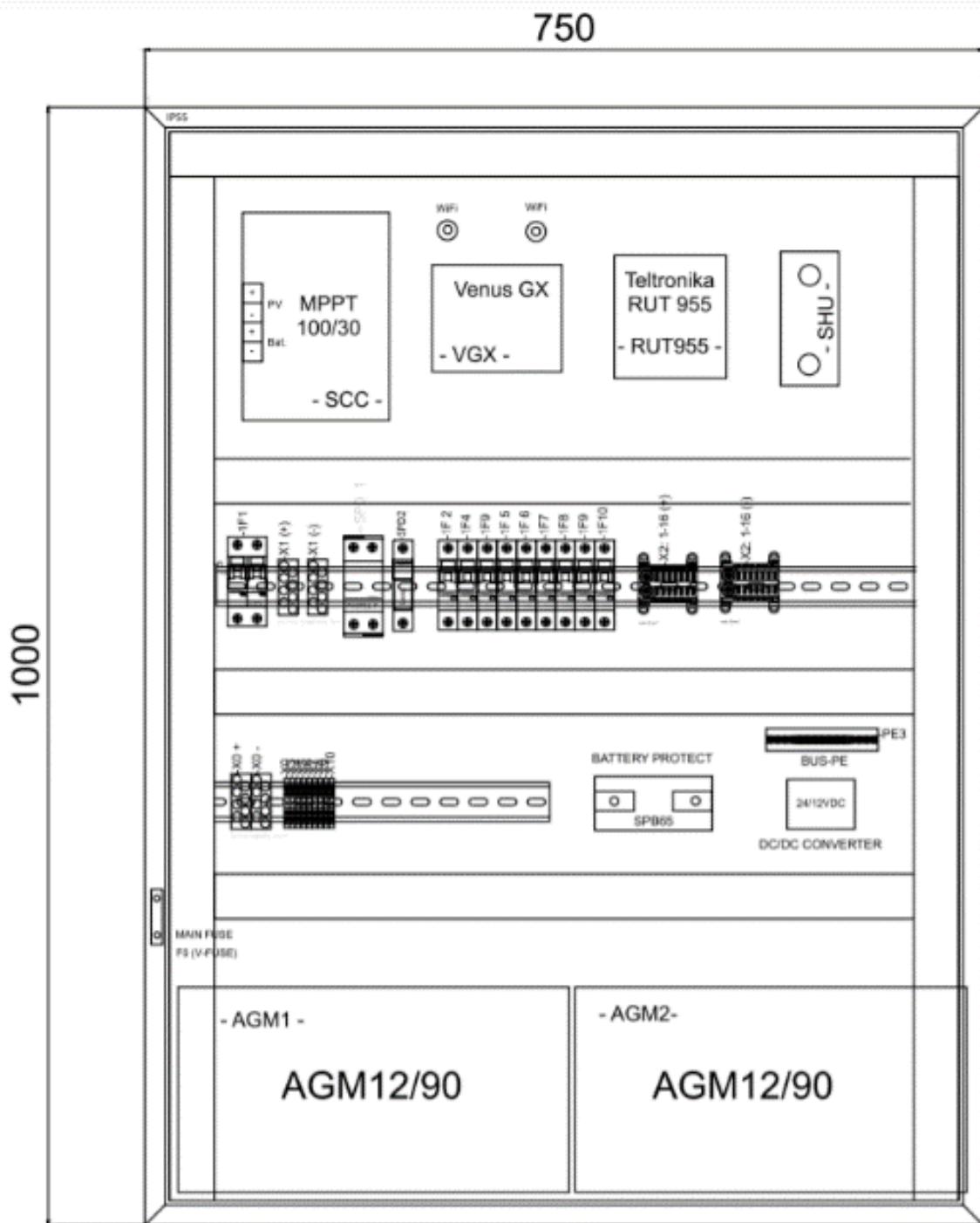
Vezava je izvedena skladno s večpolno shemo, ki je ravno tako narisana s pomočjo programske opreme Schrack Design.



Slika 22: Schrack Design (vir: Schrack Technik)

Vse aktivne komponente in zaščitni elementi so ustrezno označeni (npr. VGX, SHU, 1F1, 1F2 ...). Tudi vsi priključni vodniki na posamezne komponente so označeni. Označitev komponent in vodnikov omogoča enostavno vzdrževanje.

Vsi odvodi in dovodi kablov in vodnikov, potekajo na dnu omare, preko ustreznih uvodnic. Omara je opremljena s predalom za načrt in pol cilindrično ključavnico.



Slika 23: Izgled omare - Schrack Design (vir: lasten vir)

9.2 Montaža opreme na vodnem zajetju

Montaža je potekala dva dneva. Ker je vodno zajetje locirano na nedostopnem mestu, je bilo potrebno vso opremo in orodje znositi po hribu navzdol približno 250m. Že sam transport je zahteval veliko energije in časa. Ko je bila oprema in orodje na lokacije se je montaža lahko začela.

- **Montaža stikalnega bloka.** Stikalni blok je nameščen na obstoječo leseno konstrukcijo s streho.



Slika 24: Izgled stikalnega bloka (vir: lasten vir)

- **Montaža nosilne konstrukcije** za štiri PV panele velikosti 1760 x 1040 mm. Konstrukcijo smo pritrdili na bočni zid vodnega zajetja in na kamnito škarpo. Na železno konstrukcijo smo pri vijačili štiri prečne aluminijaste nosilce, kamor smo nato pritrdili PV panele. Konstrukcija ima 40° naklon, da lahko pozimi sneg lažje zdrsne iz panelov.



Slika 25: Nosilna konstrukcija za PV panele (vir: lasten vir)

- **Povezava PV panelov na vrstne sponke v stikalnem bloku.**
Uporabili smo solarni kabel 4mm² (RADO x 125) v dolžini 12m. Kabli so položeni in zaščiteni z UV odporno zaščitno cevjo (M25), robustne izvedbe in primerne za PV inštalacije. Na strani PV modulov sta kabla zaključena z MC4 konektorjem, na strani stikalnega bloka pa pritrjena na sponke za dvižne vode.

- **Montaža hidrostatičnega merilnika tekočin.** Merilnik MPS 100 smo skozi cev spustili na dno izstopnega kanala za rešetko. Sonda je bila opremljena z 3m kablom PUR in notranjim jeklenim opletom. Kabel smo zaščitili še z UV odporno cevjo in priključili na sponke X0: (10, 11) stikalnega bloka. Merilno območje merilnika je 0-0,16Bar, izhod pa je tokovni od 4-20mA.



Slika 26: Nameščen hidrostatični merilnik tekočin (vir: lasten vir)

- **Montaža IP kamere.** Za možnost daljinskega nadzora nad stanjem vodnega zajetja je montirana tudi IP kamera. Nameščena je na leseno konstrukcijo pod streho in usmerjena na vstopno rešetko. Ima kabelsko povezavo za napajanje (12V DC) in FTP kabel za prenos signala. Oba kabla sta zaščitena z UV cevjo in priključena na sponke (napajanje : sponke X0: 1,2; FTP kabel na vhod SPD 2).



Slika 27: Nameščena IP kamera (vir: lasten vir)

- **Montaža GSM anten in temperaturnega senzorja.** Montirani so na zadnji strani omare na lesenem prečnem nosilcu. Povezani so s priloženimi kabli, ki so zaščiteni z UV cevjo in speljani skozi uvodnice na RUT 955 (GSM anteni) in na vhod Venus GX-a (temperaturni senzor). Temperaturni senzor meri temperaturo okolice, ki jo lahko spremljamo preko portala VRM. GSM anteni povezani na RUT 955 pa služita za internetno povezavo z operaterjem (A1)



Slika 28: Nameščeni GSM anteni in temperaturni senzor (vir: lasten vir)

- **Ozemljitve:** stikalni blok je s P/F žico 10mm² povezan na ozemljilo. Tudi PV konstrukcija je povezana na BUS - PE zbiralko z žico P/F 10mm². To omogoča pravilno delovanje SPD zaščite in varnost obratovanja.



Slike 29 in 30: Povezava stikalnega bloka na ozemljilo in ozemljitev PV panelov (vir: lasten vir)

- **Montaža AGM baterij.** Na dnu omare so povezane štiri AGM baterije skupne kapacitete 200Ah (24V DC). Med seboj so povezane z vodnikom preseka 16mm². Baterije pred izpraznjenjem ščiti Battery protect (nastavljen na napetost 22.5V).

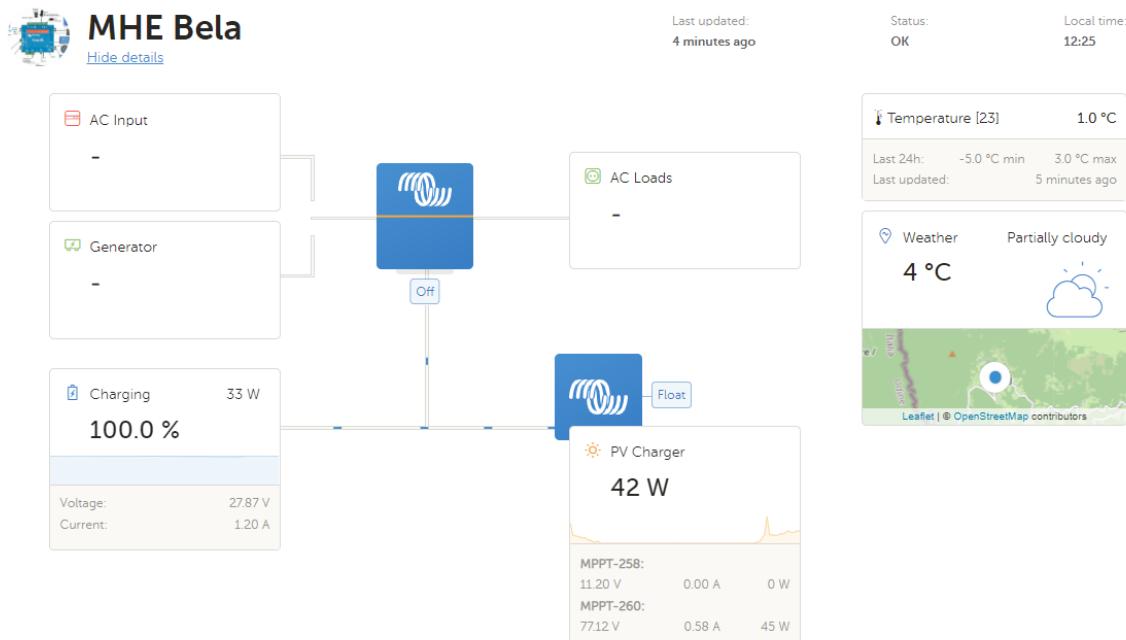


Slika 31: Zaščita baterije (vir: victron energy)

10. NADZOR OFF GRID SISTEMA

10.1 VRM portal

VRM portal nam omogoča spremljane oziroma nadzor nad otočnim sistemom s pomočjo naprave Venus GX. Spremljamo lahko proizvodnjo energije, stanje baterij (SmartShunt) in PV generatorja (MPPT), temperaturo okolja (temp. senzor) ter lokacijo sistema (vodno zajetje).

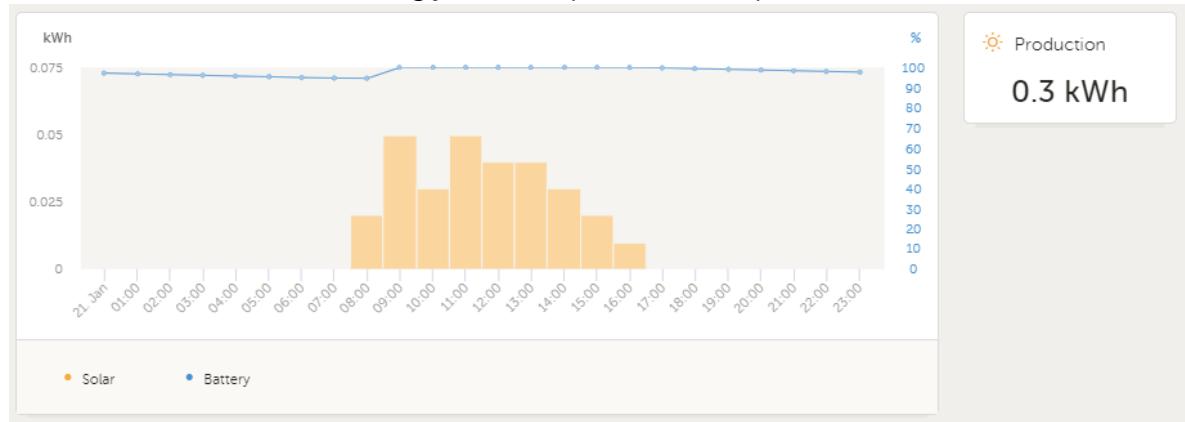


Slika 32: Dashboard (vir: lasten vir)

10.2 Analiza in meritve otočnega sistema

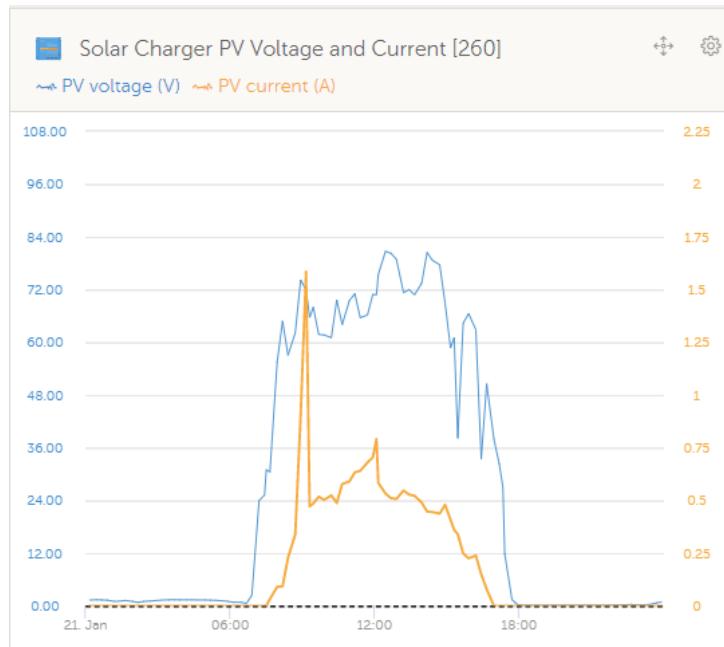
Meritve bom prikazal za dan 21.1.2022 (sončen dan, temp. okolja od -5°C do 1°C). V tem času leta (december in januar) so dnevi najkrajši in zato je energije sonca najmanj.

Graf 8: Proizvedena el. energija v kWh (vir: lasten vir)

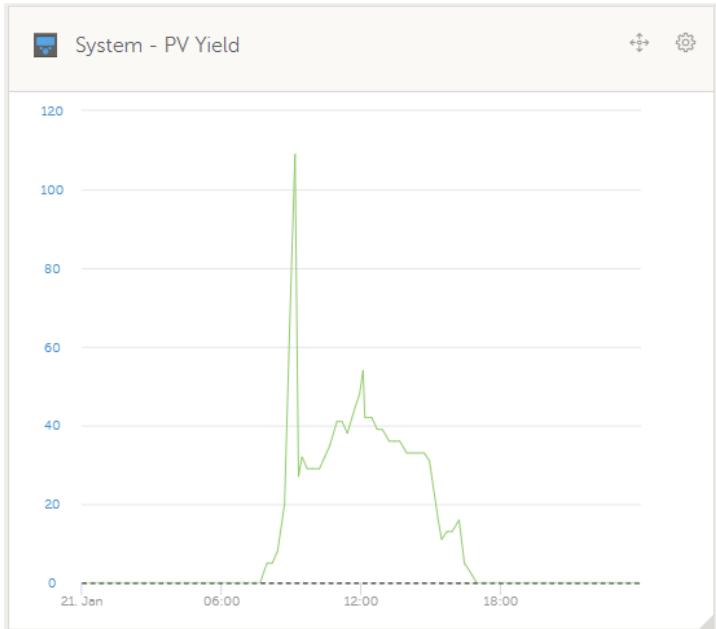


Spodnja grafa prikazuje potek napetosti in toka PV panelov in njun produkt, ki predstavlja moč v izbranem časovnem obdobju.

Graf 9: Tok in napetost PV panelov (vir: lasten vir)

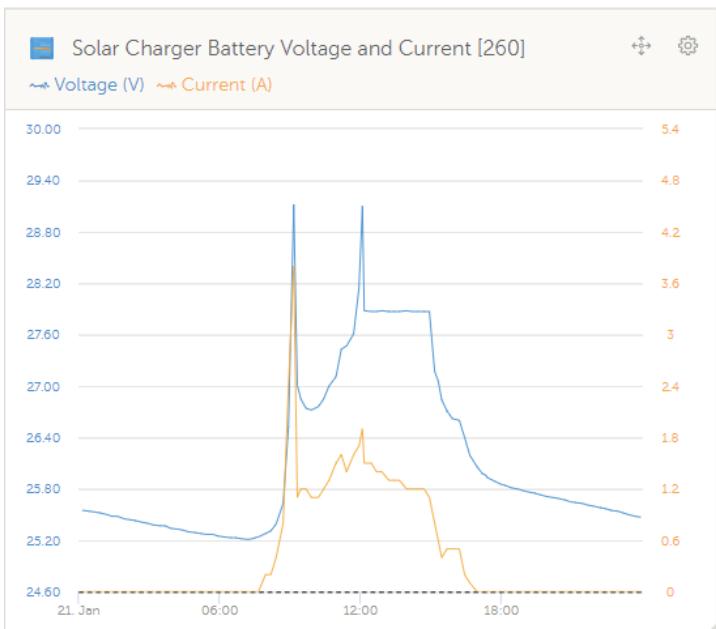


Graf 10: Moč PV panelov (vir: lasten vir)



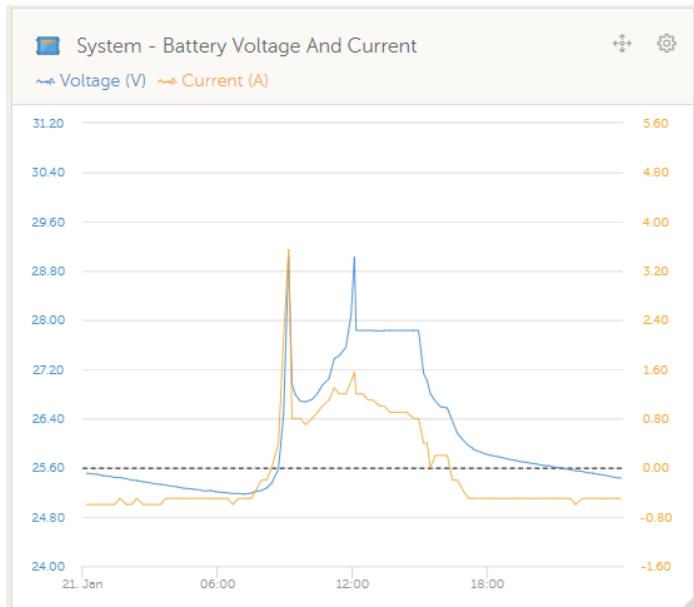
Graf prikazuje potek napetosti in toka iz regulatorja polnjenja na baterijo.

Graf 11: Napetost in tok polnjenja baterije (vir: lasten vir)

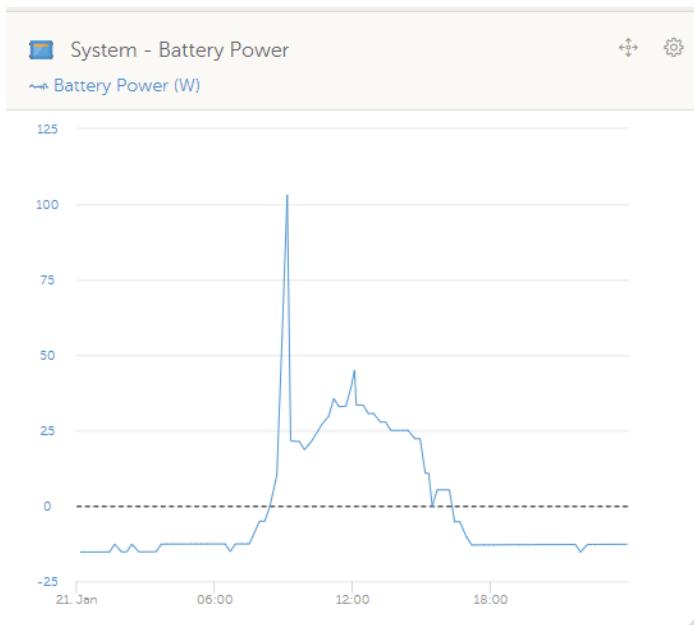


Spodnja grafa prikazujeta potek napetosti in toka baterije ter moč.

Graf 12: Napetost in tok baterije (vir: lasten vir)

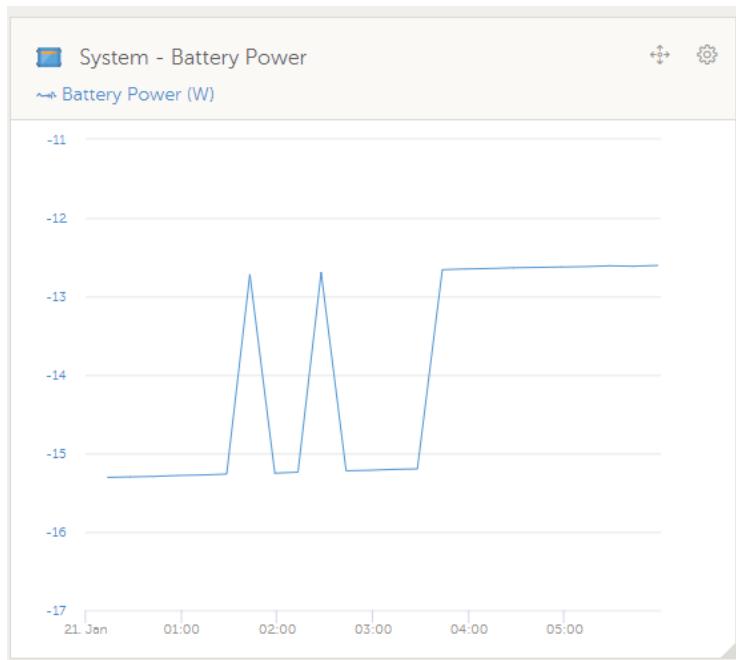


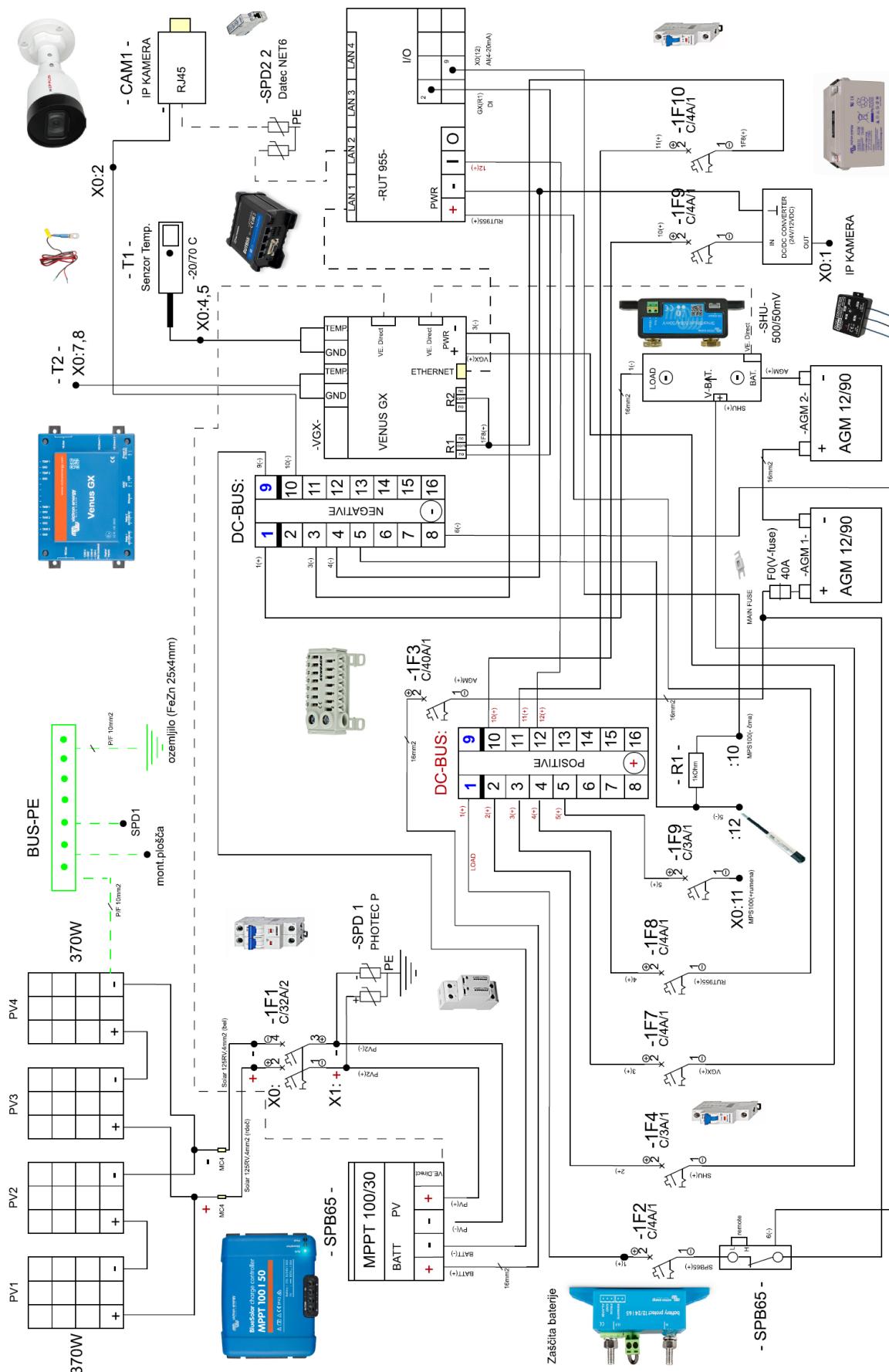
Graf 13: Moč polnjenja baterije



Razlika moči iz grafa št.11 in grafa št. 12 je poraba vseh naprav otočnega sistema. V naslednjem grafu vidimo potek porabe moči vseh naprav v nočnem času (00.00-6.00), ko energija teče samo iz baterij (predznak -)

Graf 14: Poraba moči vseh naprav (vir: lasten vir)



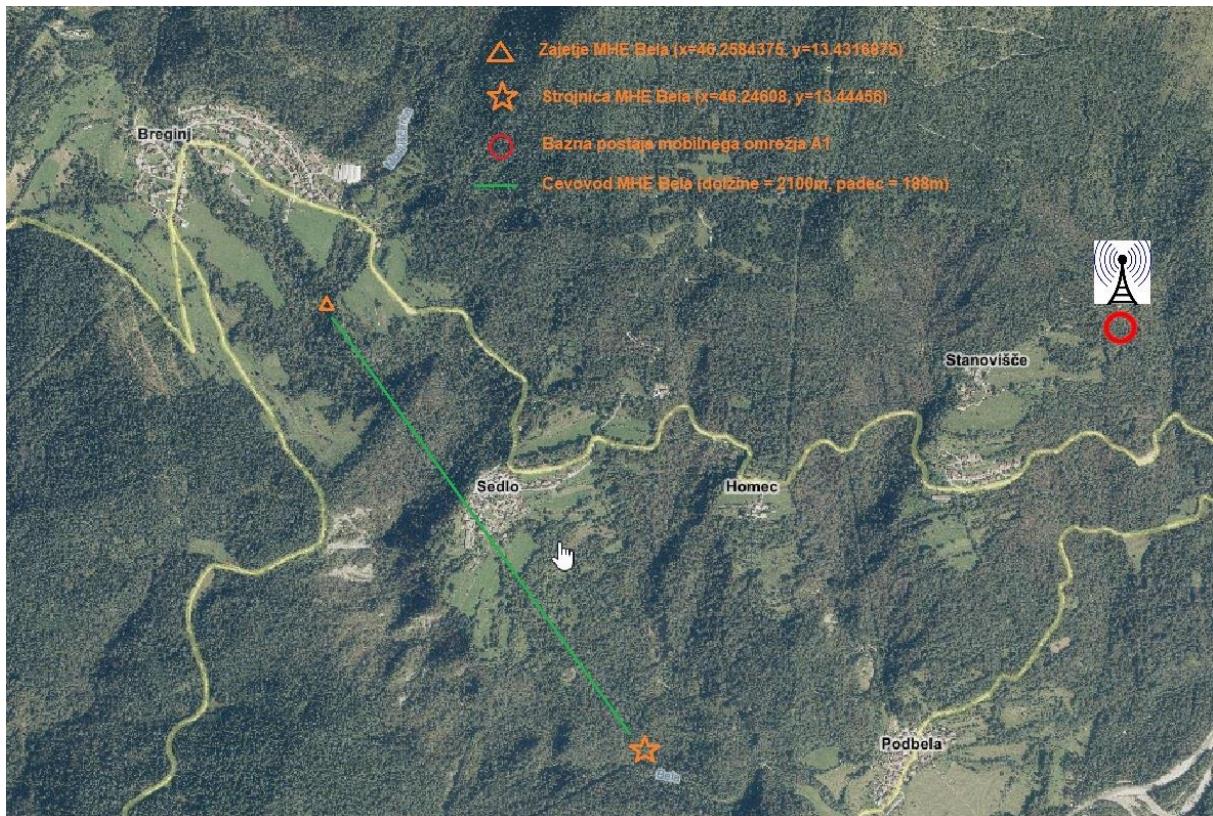


Slika 33: Večpolna shema razdelilne omare PV-MHE Bela (vir: lasten vir)

11. STROJNICA MHE BELA IN REGULACIJA PRETOKA

Na spodnji sliki vidimo lokacije:

- Vodnega zajetja
- Strojnice MHE Bela
- Baze mobilne postaje A1

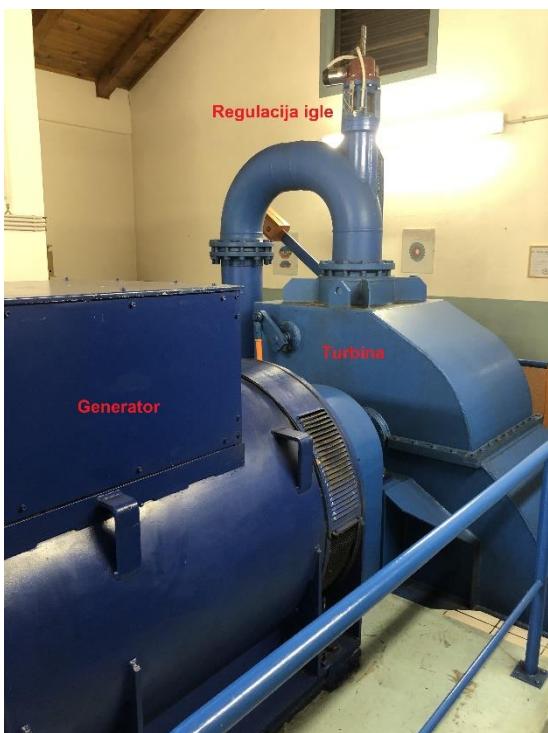


Slika 34: Lokacije zajetja, strojnice in mobilne postaje (vir: Geoportal AKOS)

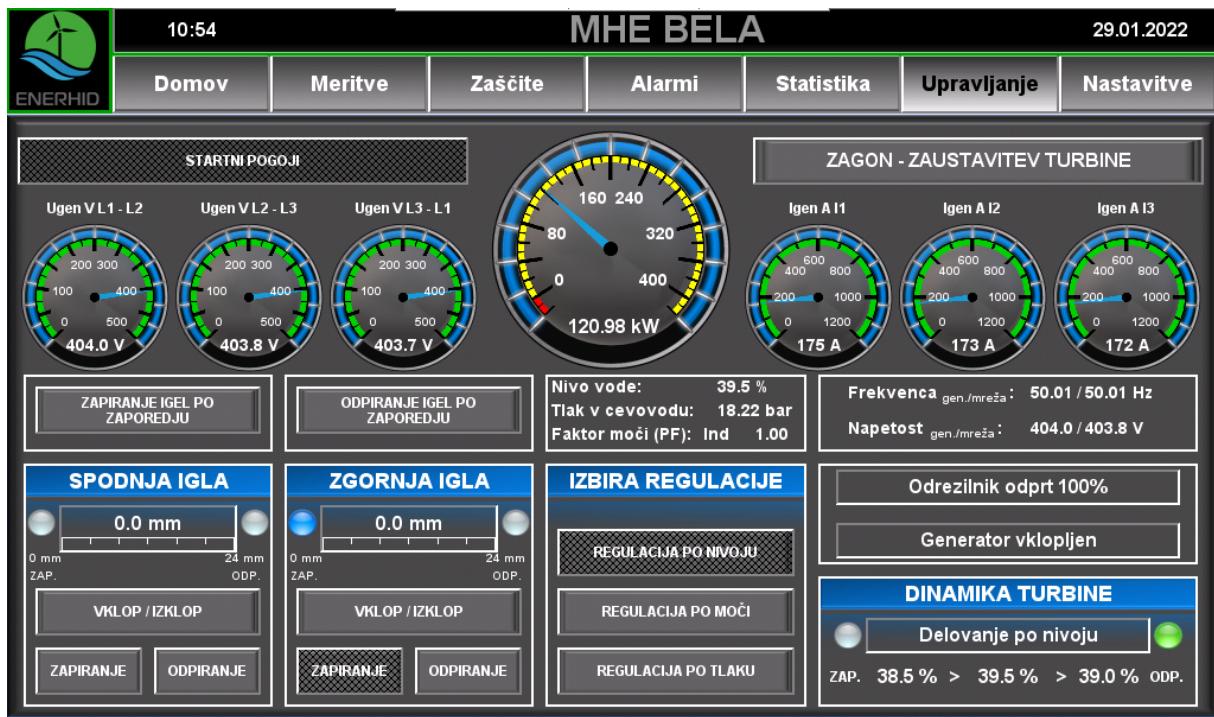
Podatki o višini vode na zajetju se preko 4G omrežja (RUT 955) prenašajo do strojnici. V strojnici je še ena enaka naprava RUT 955, ki te podatke sprejema in jih nato pošlje do obstoječega krmilnika (ModBus/TCP-IP). Preko krmilnika se vrši regulacija odprtja igle (pretok vode) Peltonove turbine.



Slika 35: Razdelilnik z brezžičnim usmerjevalnikom v strojnici (vir: lasten vir)

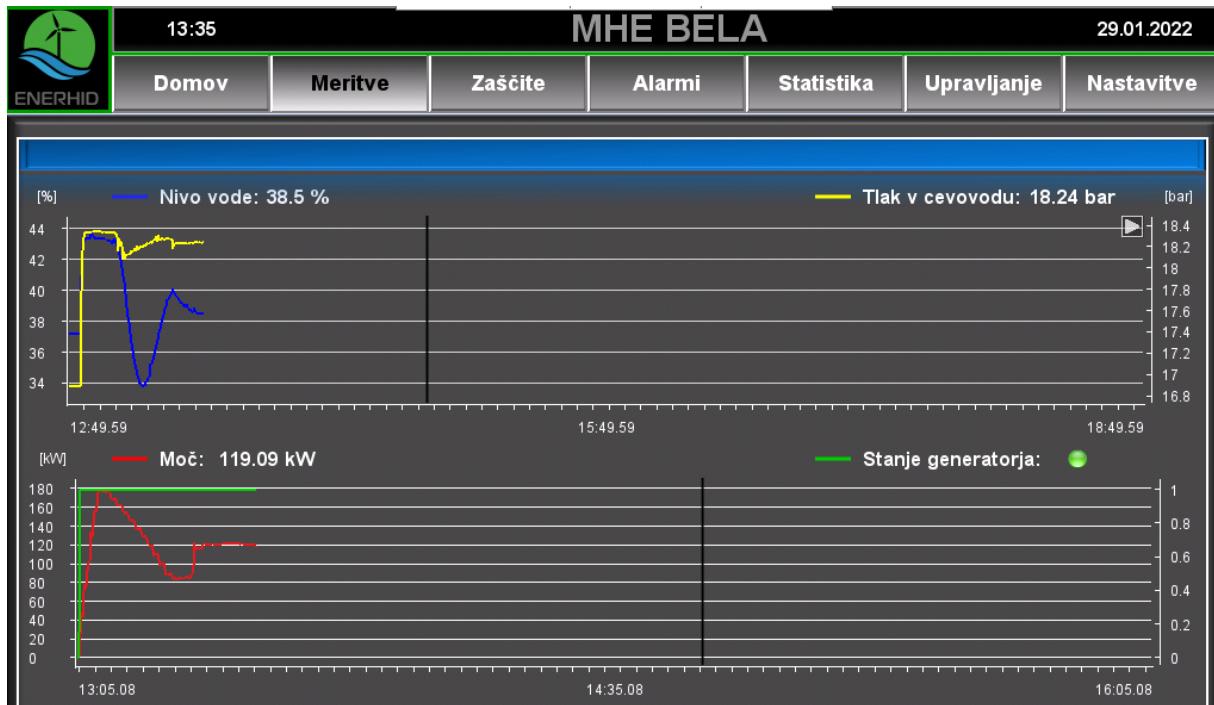


Slika 36: Generator, turbina in regulacija igle na turbini (vir: lasten vir)



Slika 37: Upravljalna plošča MHE Bela (vir: lasten vir)

Na sliki št. 37 je upravljalna plošča, katera omogoča upravljanje z elektrarno (zagon in zaustavitev, zapiranje in odpiranje igle in izbira načina regulacije).



Slika 38: Meritve nivoja vode na zajetju in oddana moč elektrarne (vir: lasten vir)

Elektrarna omogoča tri načine regulacije:

- Regulacija po moči
- Regulacija po tlaku
- Regulacija po nivoju

Z nalogo sem omogočil regulacijo po nivoju vode na zajetju, ki omogoča največji izkoristek potenciala vodne energije.

Na sliki št. 38 lahko vidimo zagon elektrarne in meritve nivoja vode ter moči. Ob zagonu se je moč elektrarne povečevala, s tem pa je nivo vode na zajetju padal. V skladu s PID regulatorjem se nivo vode in moč elektrarne uravnata. Tako regulacija po nivoju vode omogoča dober izkoristek. Če pa pride do izpada LTE omrežja elektrarna preide na regulacijo po tlaku slika št. 39.



Slika 39: Merjenje tlaka v cevi (vir: lasten vir)

12. ZAKLJUČEK

Znanje, ki sem ga pridobil z lansko raziskovalno nalogo, sem letos uporabil v praktičnem primeru. Izdelana rešitev projekta, omogoča natančno regulacijo pretoka vode na Peltonovi turbini. S tem se poveča izkoristek vodne energije in moč elektrarne.

13. DRUŽBENA ODGOVORNOST

Z teoretično in praktično izvedbo naloge na terenu smo povečali proizvodnjo el. energije iz obnovljivega vira (voda). Za izvedbo naloge sem uporabil še en obnovljiv vir energije (sonce). S pomočjo enega obnovljivega vira (sonca) smo omogočili boljši izkoristek drugega (vode).

Predvidevamo da se bo letna proizvodnja el. energije na MHE Bela tako povečala za 20%.

14. VIRI

Priročniki Victron energy in Teltonika (pdf) :

- Wiring Unlimited – Rev 06
- Venus GX Manual
- MPPT 100/30 Manual
- Smart Shunt 500/50mV Manual
- Battery protect 24/65 Manual
- Teltonika RUT 955 Start Guide v2.2

Elektronski vir:

- <https://www.victronenergy.si/>
- <https://www.schrack.si/schrack-digital/schrack-design>
- <https://www.schrack.si/>

Priročnik Schrack Technik:

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

