

PRORAČUN POTROŠNJE ZA SOLARNO NAPAJANI LoRaWAN GATEWAY

Burazin, Paulo

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:438187>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-12**



Repository / Repozitorij:

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



SVEUČILIŠTE U SPLITU

SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Specijalistički diplomski stručni studij Elektrotehnike

PAULO BURAZIN

ZAVRŠNI RAD

**PRORAČUN POTROŠNJE ZA SOLARNO NAPAJANI
LORAWAN GATEWAY**

Split, srpanj 2022.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Specijalistički diplomski stručni studij Elektrotehnike

Predmet: Senzorske mreže

ZAVRŠNI RAD

Kandidat: Paulo Burazin

Naslov rada: Proračun potrošnje za solarno napajani LoRaWAN Gateway

Mentor: Marko Meštrović struč.spec.ing.el.

Split, srpanj 2022

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	4
1. UVOD.....	5
2. LORAWAN PROTOKOL	6
2.1. LoRaWAN modulacije.....	8
2.2. LoRaWAN klase uređaja	10
2.3. Aktivacija i sigurnost LoRaWAN uređaja	11
2.4. IMST iC880A LoRaWAN gateway modul	13
3. RASPBERRY PI MIKRORAČUNALO	16
4. SOLARNI PANELI	19
5. OSTALE KOMPONENTE SUSTAVA	21
5.1. Solar Charge Controler HP2410/2420	21
5.2. Huawei E5573 4G router	24
5.3. Baterija MP1236H.....	26
5.4. MB102 modul napajanja.....	29
6. ANALIZA POTROŠNJE	32
7. ZAKLJUČAK	37
LITERATURA	38
POPIS SLIKA	39
POPIS TABLICA	41

SAŽETAK

Proračun potrošnje za solarno napajani LoRaWAN gateway

Ideja ovog rada je izračunom potrošnje LoRaWAN gatewaya, Raspberry Pi računala, i prijenosnog Hotspot uređaja izabrati optimalni solarni panel koji će napajati sustav. Objasnit će se LoRaWAN tehnologija, solarni paneli i Raspberry Pi, te prikazati analiza potrošnje sustava.

Ključne riječi:

LoRaWAN gateway, Solarni panel, Raspberry Pi, Obnovljivi izvori energije, Senzorske mreže

SUMMARY

Consumption Calculation for solar powered LoraWan gateway

The goal of this work is to calculate the power consumption of LoraWan gateway, RaspberryPi and Hotspot device and choose the optimal solar panel for it further operations. After calculation the system will be realised using LoraWan gateway, Solar cell and Raspberry PI. All elements that has been used to realize system will be explained. Also the calculation of power consumption will be presented.

Key words:

LoRaWAN gateway, Solar cell, Raspberry Pi, Renewable energy sources, Sensor network

1. UVOD

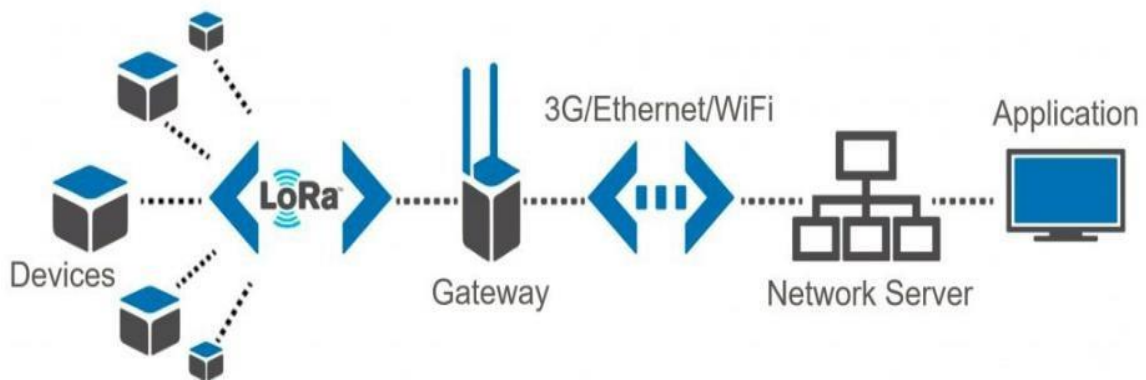
Jednostavni i jeftini prijenos informacija u realnom vremenu predstavlja veliki izazov u suvremenom svijetu. Ogromna količina informacija bez kojih ne možemo zamisliti niti jedan moderni sustav uglavnom se prenosi korištenjem interneta. Međutim što ako nemate mogućnost spajanja na Internet a informacije koje se trebaju slati se nalaze na nepristupačnim terenima gdje nije jednostavno svakodnevno kročiti? LoRaWAN je relativno nova tehnologija koja nudi siguran prijenos podataka korištenjem ISM područja frekvencija uz minimalnu potrošnju.

LoRaWAN gateway može godinama raditi na baterijskom napajanju ali svaka baterija opet ima određeni rok trajanja. Ugradnjom solarnih panela za napajanje LoRaWAN gatewaya dobije se dugoročno i pouzdano rješenje za prijenos podataka uz minimalnu potrebu za održavanjem. Solarna energija je jedan od najpopularnijih obnovljivih izvora energije zbog cijene, jednostavnosti izvedbe, pouzdanosti i široke mogućnosti uporabe. Rad je podijeljen na 6 poglavlja u kojima se opisuje LoRaWAN mrežna infrastruktura, solarni paneli, Raspberry Pi računalo, opis ostalih komponenti potrebnih za instalaciju sustava, proračun za samo napajanje te realizacija sustava gdje će se prikazati način spajanja i sama izvedba sustava.

2. LORAWAN PROTOKOL

LoRaWAN (engl. *Long Range Wide Area Network*) je mrežni protokol velikog dometa i male potrošnje za bežično povezivanje senzorskih čvorova i plasman njihovih informacija na Internet koristeći LoRaWAN gateway. Spada u skupinu LPWAN mreža (engl. *Low Power Wide Area Network*).

LoRaWAN gateway je uređaj koji prevodi RF signale na IP protokol i obrnuto. S jedne strane je spojen na senzorski čvor s kojim komunicira LoRaWAN tehnologijom s druge strane je spojen na Internet koristeći TCP/IP protokol. LoRaWAN koristi dvosmjernu (eng. *duplex*) komunikaciju što znači da senzorski čvorovi mogu primati i slati podatke ali ne u isto vrijeme. Senzorski čvorovi uglavnom se sastoje od senzora, mikrokontrolera i LoRaWAN primopredajnika. Mreža je bazirana na zvjezdastoj topologiji u kojoj je gateway spojen u sredinu (Slika 2.1.) dok je dalje gateway povezan na Internet odnosno mrežni server koji zatim prikupljene podatke prosljeđuje u aplikaciju koja služi za vizualizaciju.

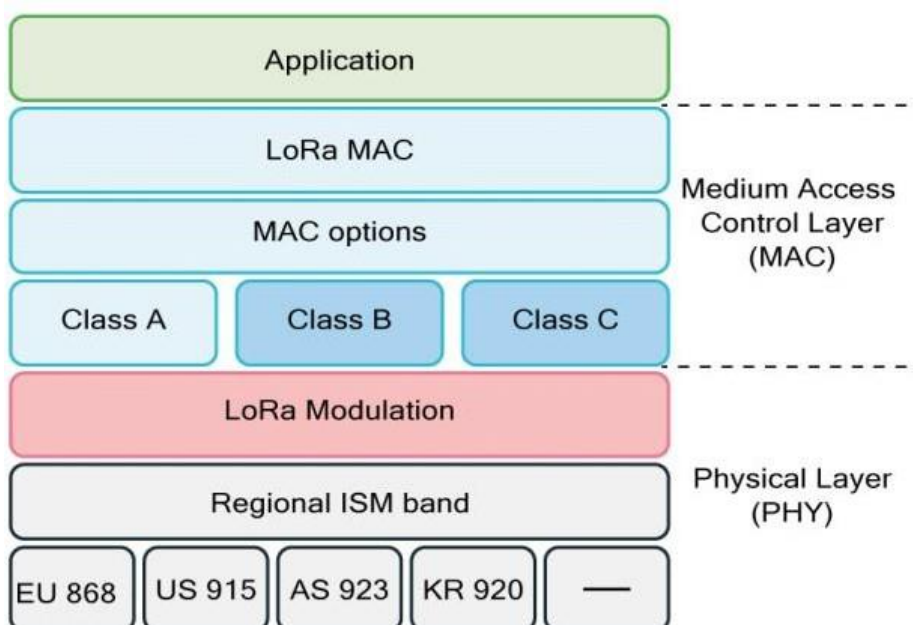


Slika 2. 1. Topologija LoraWan mreže [1]

Protokol radi na ISM (Industrial, Scientific, Medicial) području frekvencija koje za područje Europe iznosi 868 MHz i 433 MHz. Potrebno je imati najmanje tri kanala širine 125kHz. Moguće je slati male količine informacija na velike udaljenosti. U većini slučajeva senzori šalju svoje pakete u određenim vremenskim intervalima. Za primjer može se uzeti temperatura. Za praćenje temperature dovoljno je da se očitavanja vrše svakih desetak minuta.

Nakon izmjere temperature i slanja LoRaWAN mrežom senzorski čvor prebacuje se u 'sleep mode'. Takvom izvedbom omogućena je velika ušteda energije potrebne za napajanje senzorskih čvorova.

Prednost LoRaWAN protokola je i ta što je zamišljen kao 'open source' te nije potrebno plaćati nikakve licence za korištenje dok je cijena hardvera potrebnog za realizaciju mala s obzirom na mogućnosti koje pruža. Brzine prijenosa podataka u LoRaWAN mreži su uglavnom od 0.3 kbit/s do 50 kbit/s što je u skladu s činjenicom da se prenose male količine podataka odnosno da uređaji koji se koriste za prijenos imaju malu potrošnju energije. Domet LoRaWAN uređaja je do nekih 5km u urbanim područjima dok je u ruralnim oko 30km u zavisnosti o položaju samih uređaja. Jedna od prednosti također je velika osjetljivost prijemnika ali i mogućnost geolokacije samih uređaja. Što se tiče sigurnosti svi podaci na mreži su enkriptirani s kraja na kraj (engl. End-to-end) korištenjem AES 128-bitne enkripcije. Jedan od nedostataka ovog protokola je ta što nema mogućnost prijenosa podataka u realnom vremenu, također nije moguće slanje multimedije, slika i slično.



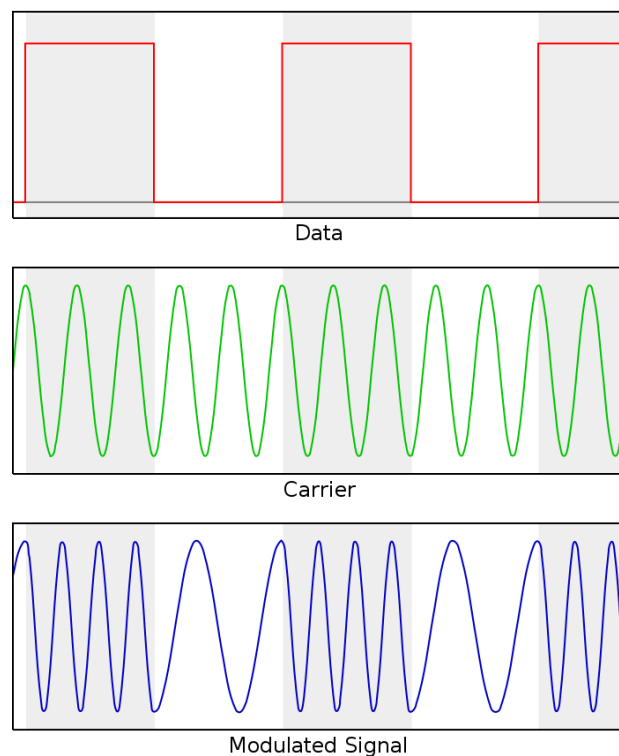
Slika 2. 2 LoRaWAN arhitektura[1]

LoRaWAN je definiran tako da radi na fizičkom, MAC (engl. Media Acces Control) i aplikacijskom sloju (Slika 2.2.).

Na fizičkom sloju koji koriste se radio valovi ISM područja. Signali se mogu modulirati FSK modulacijom ili LoRa. Razlika između LoRa i LoRaWAN je u tome što LoRaWAN predstavlja kompletnu komunikacijsku tehnologiju dok LoRa predstavlja način modulacije.

2.1. LoRaWAN modulacije

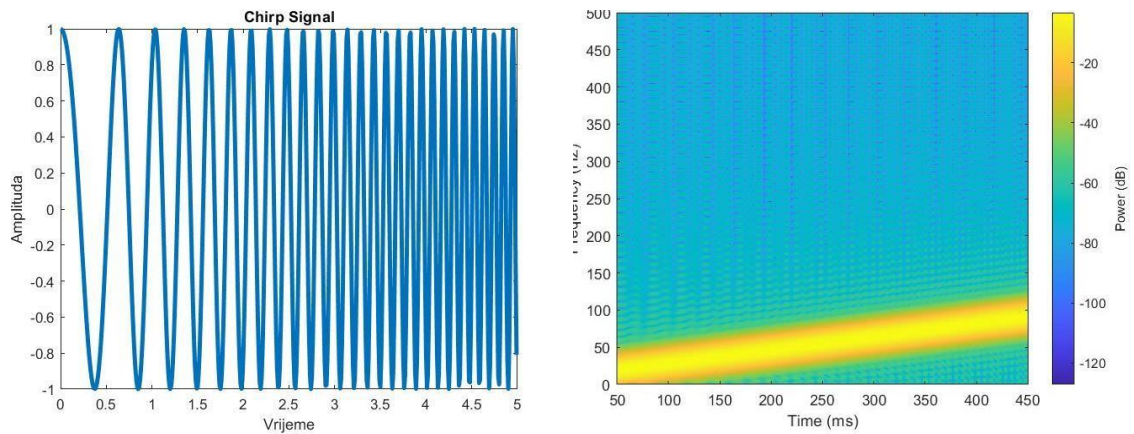
FSK modulacija je frekvencijska modulacija u kojoj je digitalna informacija prenesena diskretnom promjenom frekvencije. Digitalni podatak je modulacijom signala nosioca utiskan u modulirani signal koji se prenosi. Na slici 2.1.1. Vidimo da je pozitivni impuls digitalnog signala (logička jedinica) prikazan kao modulirani signal koji ima veću frekvenciju od signala nositelja u odnosu na logičku nulu koja je modulirana tako da ima manju frekvenciju od signala nositelja. Ova modulacija se rjeđe koristi kod LoRaWAN mreže.



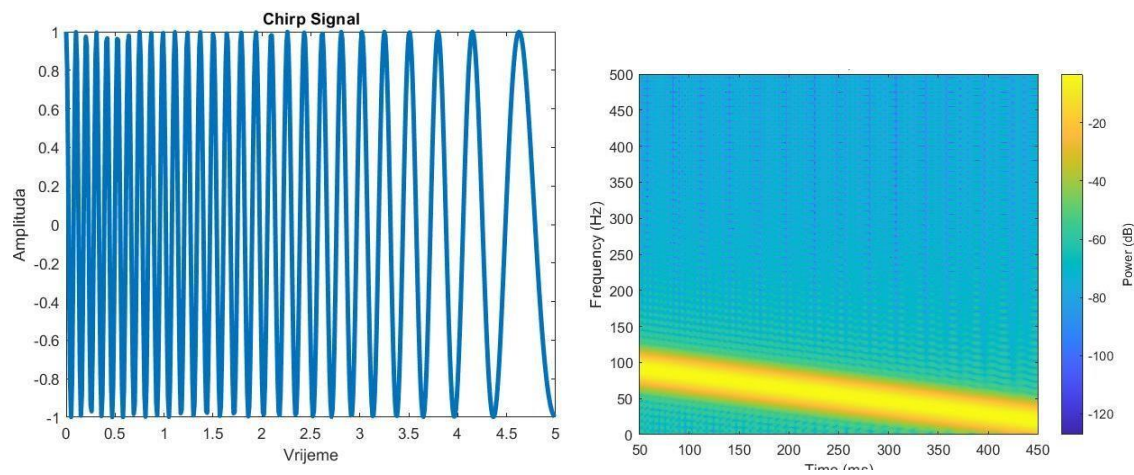
Slika 2.1. 1. FSK modulacija [2]

Modulacija koja se najčešće koristi kod LoRaWAN mreže je LoRa modulacija.

LoRa modulacija se bazira raširenom spektru (engl. *Spread Spectrum*) odnosno na *Chirp Spread Spectrum* modulaciji koji koristi široki pojas linearno moduliranih *chirp* impulsa za dekodiranje informacije. Frekvencija signala se eksponencijalno povećava ili smanjuje pa stoga se razlikuju *up-chirp* (Slika 2.1.2) i *down-chirp* (Slika 2.1.3.) signali.



Slika 2.1. 2. *Up-Chirp* Signal



Slika 2.1. 3. *Down-chirp* signal

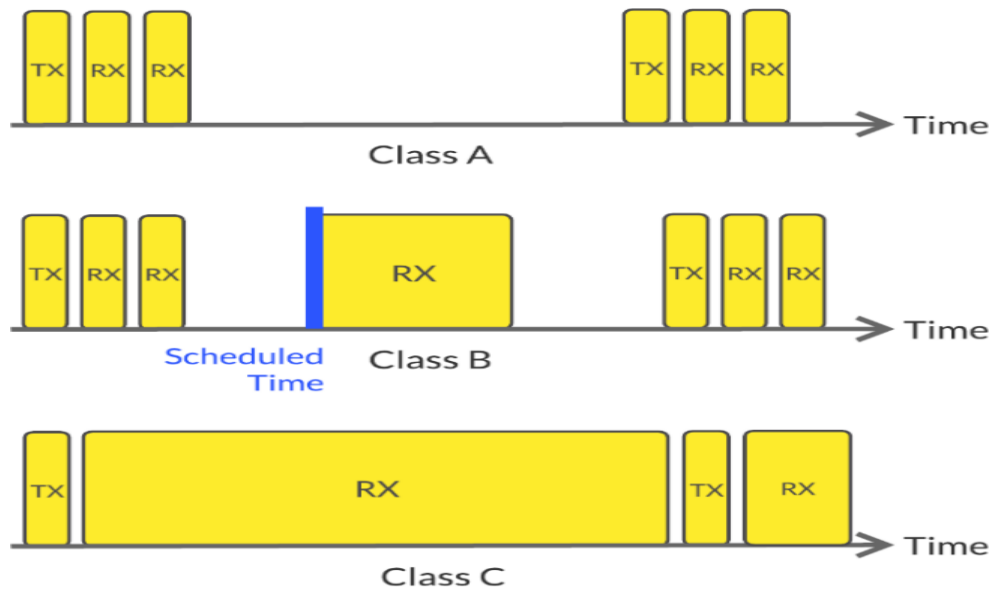
Takvi signali nam imaju prednost nad FSK modulacijom time što imamo mogućnost odabira faktora širenja (engl. *Spreading rate*). Kod LoRaWAN mreže koristi se Spreading rate od 7 do 12. Kod velikih udaljenosti koristimo veći Spreading rate što nam omogućava stabilnost sustava kod prijenosa na velikim udaljenostima i imamo veću osjetljivost prijemnika na signal. To također rezultira i smanjenom brzinom to jest povećanjem *On Air Time* odnosno vremena koji signal provodi u zraku. Kod manjih udaljenosti koristi se manji Spreading Rate što rezultira smanjenom osjetljivošću prijemnika ali i većom brzinom prijenosa to jest kraćim On Air time odnosno vremena koji signal provodi u zraku. Prilikom programiranja uređaja moguće je uključiti ADR (engl. *Adaptive Data Rate*) tako da uređaj sam odabire koji *Spreading rate* će se koristiti u ovisnosti o udaljenosti drugog uređaja s kojim komunicira.

2.2. LoRaWAN klase uređaja

Uređaji u LoRaWAN mreži podijeljeni su u tri klase: A,B,C. U klasi A nalaze se uređaji koji veliku većinu svog vremena provode u 'sleep' modu. Klasa B su uređaji koji mogu slati podatke i onda određeni dio vremena mogu osluškiavati, dok uređaji klase C stalno ostaju u prijemnom modu. Kod uređaja klase A senzor nakon slanja informacije nakon sekundu ili dvije ima prozor u kojem osluškuje mrežu odnosno ukoliko gateway ima neku instrukciju za njega, nakon toga odlazi u 'sleep' način rada.

Kod uređaja klase B prijemni prozor se može produžiti odnosno periodički otvarati tako da može svako nekoliko vremena osluškiavati mrežu. Uređaji klase C u slučaju kada ne odašilju nalaze se u prijemnom modu, odnosno ne idu u 'sleep' režim rada, već su stalno aktivni.

Slika 2.2.1. prikazuje vrijeme u kojem uređaji osluškuju odnosno odašilju u mreži s obzirom na klasu u kojoj se nalaze. Uređaji klase A se koriste kod prikupljanja senzorskih informacija iz sustava pametnih gradova npr. Temperatura, vlažnost, tlak zraka i slično. Uređaji klase B se koriste kod upravljanja nekim sustavima u kojima je nakon očitavanja senzora potrebno eventualno pokrenuti nekakav aktuator u ovisnosti o izmjerenoj vrijednosti senzora. Uređaji klase C koriste se za recimo upravljanje rasvjetom i slično odnosno senzorski čvor je stalno u stanju osluškiavanja osim ako ne odašilje nekakav podatak.



Slika 2.2. 1. Klase LoRaWAN uređaja [3]

2.3. Aktivacija i sigurnost LoRaWAN uređaja

LoraWan uređaje moguće je aktivirati na dva načina: *Over The Air Activivation* (OTAA) ili *Activation by Personalization* (ABP). Za aktivaciju se koriste različiti identifikatori:

- DevEUI - 64-bitni identifikator uređaja koji je jedinstven
- DevAddr - 32-bitna adresa uređaja koja nije jedinstvena
- AppEUI - 64-bitni identifikator aplikacije koji je jedinstven
- GatewayEUI - 64bitni identifikator gatewaya koji je jedisntven
- NwkSKey - koristi se za interakciju između čvora i mreže a služi i za provjeru valjanosti poruka
- AppSKey - služi za enkripciju i dekripciju informacija koje se šalju
- AppKey - koristi se za generiranja dvaju ključeva sesije kod OTAA aktivacije
- DevNonce i AppNonce - slučajni brojevi generirani od uređaja ili aplikacije a služe za rukovanje (engl. *handshake*)

Kod ABP uređaj je programiran s DevAddr, AppSKey i NwkSKey kao i mrežni server koji tako prepoznaje uređaj s kojim komunicira.

Kod OTAA aktivacije potrebno je više koraka za uspostavu komunikacije:

1. Uređaj *join-request* s unaprijed programiranim DevEUI, AppEUI i AppKey kao i slučajnim DevNonce. AppKey se ne šalje kao čisti tekst nego je kriptiran.
2. Svaki Gateway koji može primiti paket prosljeđuje zahtjev na mrežu kojoj pripada.
3. Mrežni server prima zahtjev i konzultira se s vlasnikom koristeći AppEUI da potvrdi zahtjev. Ako je zahtjev potvrđen mrežni server odgovara s *join-accept*.
4. Join-accept odgovor sadržava NetID, DevAddr i AppNonce kao i nekoliko mrežnih postavki kao što su DLSettings, Rx Delay.
5. Samo Gateway s najjačim signalom prema uređaju prosljeđuje odgovor nazad prema uređaju
6. Uređaj pohranjuje NetID, DevAddr i mrežne postavke i koristi AppNonce za generiranje ključeva NwkSKey i AppSKey.

LoRaWAN sigurnosni mehanizam osim što se podaci šalju kriptirani ima ugrađen i *Frame counter* za sprječavanje napada ponavljanjem,

2.4. IMST iC880A LoRaWAN gateway modul

Za realizaciju sustava koristit će se LoRaWAN gateway iC880A prikazan na slici 2.4.1.



Slika 2.4. 1. iC880A SPI [6]

IMST iC880A nam pruža pouzdanu mogućnost komuniciranja s krajnjim čvorovima u LoRaWAN mreži. Ima mogućnost primanja do 8 LoRaWAN paketa istovremeno, poslanih različitim kanalima i s različitim vrijednostima faktora širenja. Gateway se napaja s naponom od 5V istosmjerno (DC) koji će biti doveden s solarnog panela.

Potrošnja samog modula kod prijema signala iznosi od 288 mA do 428 mA ovisno o broju krajnjih čvorova koji šalju podatke, dok potrošnja za vrijeme odašiljanja iznosi od 260 mA do 300 mA. Tablica 2.1. prikazuje osnovne karakteristike gateway-a.

Tablica 2. 1.Prikaz parametara gateway-a IMST iC800a

Parametar	Uvjeti rada	Min vrijednost	Uobičajena vrijednost	Maksimalna vrijednost	Mjerna jedinica
Napon napajanja (VDD)		4.5	5.0	5.5	V
Potrošnja struje prijemnika	Srenja aktivnosti	-	288	-	mA
	Visoka aktivnost	-	428	-	
Frekvencijsko područje		863		870	MHz
Modulacijske tehnike	FSK/LoRa	-	-	-	-
TX varijacija frekvencije u ovisnosti o temperaturi	-5°C do +50°C	-	+/- 3	-	kHz
TX varijacija snage u ovisnosti o temperaturi	Max. Snaga - 5°C do +55°	-	+/- 2.4	-	dB
	Max. Snaga -40°C do +85°C	-	+/- 4.9	-	
TX varijacija snage o Frekvenciji	Max. Snaga	-	+/- 2	-	dB
TX varijacija snage (Inicijalna)	Max. Snaga	-	+/- 1.5	-	dB
TX potrošnja struje		260		300	mA

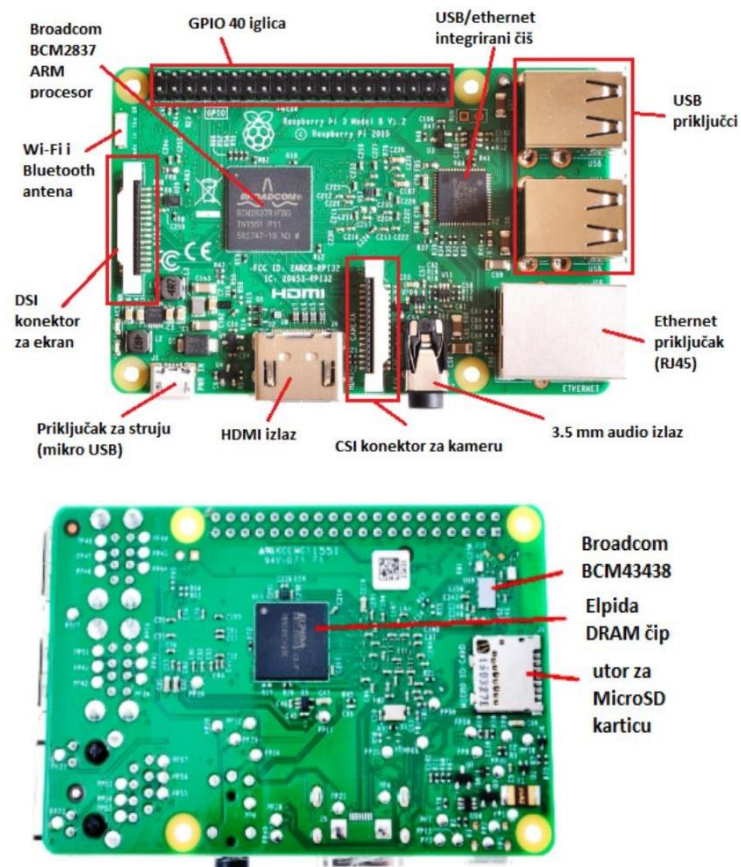
Gateway podržava također i FSK i LoRa modulaciju i radi na frekvencijama od 863 MHz do 860 MHz. Osjetljivost gatewaya iznosi do -137dBm ovisno o faktoru širenja i frekvencijom pojasu. Ovisnost osjetljivosti o faktoru širenja i frekvencijskom pojasu prikazana je u tablici 2.2.

Tablica 2. 2. Ovisnost osjetljivosti o faktoru širenja i širini pojasa

Širina pojasa/[kHz]	Faktor širenja	Osjetljivost /[dBm]
125	12	-137
125	7	-126
250	12	-136
250	7	-123
500	12	-134
500	7	-120

3. RASPBERRY PI MIKORARAČUNALO

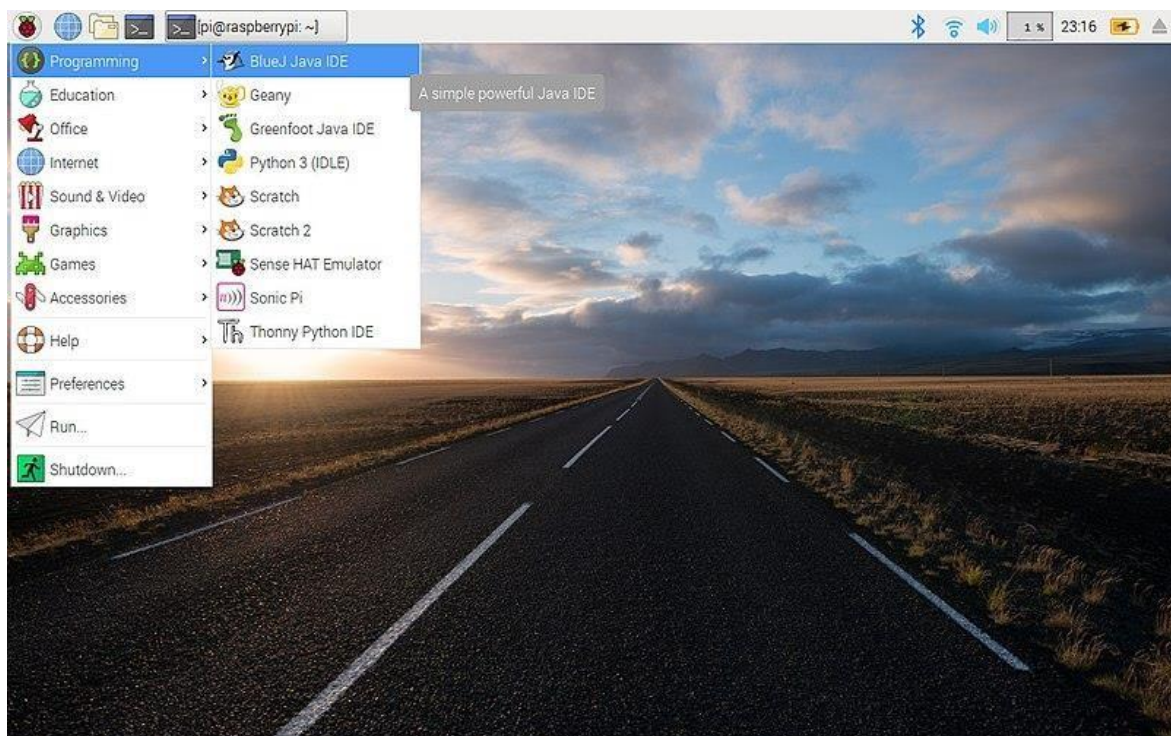
Raspberry Pi je mikroručunalo razvijeno u Ujedinjenom Kraljevstvu, kao malo računalo za pomoć studentima i učenicima u području računarstva. Svojim malim dimenzijama i velikom paletom mogućnosti kroz godine je postalo jedno od najpopularniji mikroručunala u svijetu. Cijelo računalo je dimenzija kreditne kartice a ima sve mogućnosti kao i osobno računalo uz smanjen kapacitet memorije. Uz malu potrošnju energije idealan je za upravljanjem sustava u robotici gdje se najčešće i koristi. Raspberry Pi 3 model B (Slika 3.1.) u ovom radu koristit će se za komunikaciju s LoRaWan gateway-em koji će prikupljene podatke plasirati na Internet aplikaciju. Također mikroručunalo će dobivati napajanje iz solarnih panela.



Slika 3. 1. Raspberry Pi 3 Model B [4]

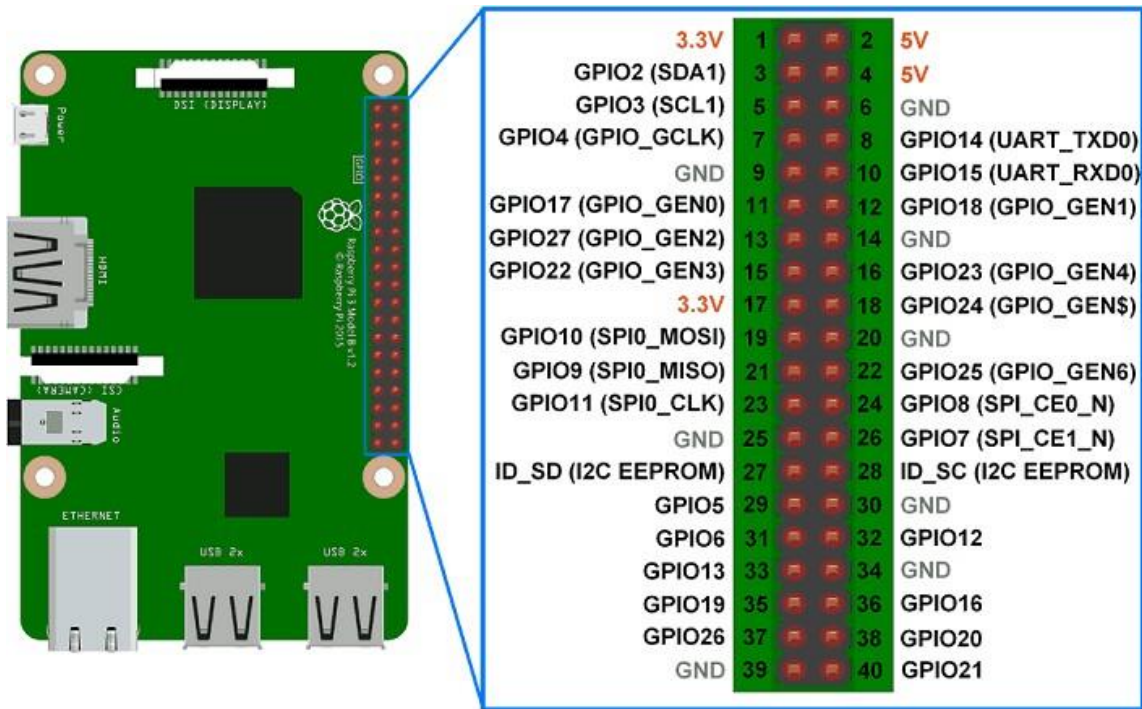
Prema Slici 3.1. vidimo da se sklopovlje sastoji od USB priključaka, Ethernet priključka, Wi-Fi Bluetooth antene, DSI utora, priključka za napajanje (Micro USB), HDMI izlaza, utora za SD karticu itd. Raspberry Pi 3 Model B koristi Broadcom BCM2837 ARM 4-jezgveni procesor s brzinom od 1.2 GHz. Radna memorija RAM ovisno o modelu iznosi 512 MB ili 1 GB. Snaga mikroračunala iznosi 1-6,7 W odnosno potrošnja struje je od 700 mA do 1.34 A.

Raspberry Pi za svoj operativni sustav koristi najčešće Raspbian odnosno posebno dizajnirani operacijski sustav baziran na Debian-u. Razlog tome je što procesor koji Raspberry Pi koristi nema mogućnost porektnja Windows-a i nekih drugih OS, ali i taj što je mikroračunalo zamišljeno kao *OpenSource* sustav odnosno da se izvorni kod može mijenjati i prilagođavati korisniku u cilju ostvarivanja ideja i projekata. Za programiranje Raspberry Pi najčešće se koristi Python programski jezik koji je i najviše podržan od strane mikroračunala. Izgled Raspbian OS prikazan je na slici 3.2.



Slika 3. 2. Raspbian OS [5]

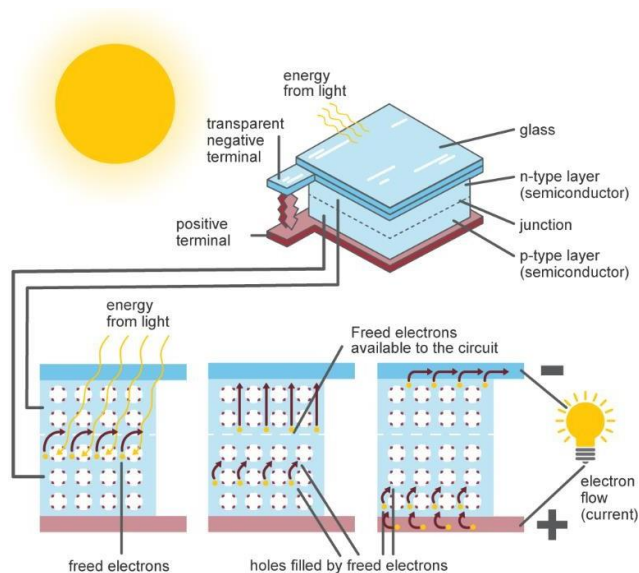
Za komunikaciju s vanjskim uređajima, sensorima i aktuatorima koristi 40 pinova GPIO koji uz pinove za upravljanje imaju ugrađene i pinove za napajanje. GND pinovi su 6,9,14,20,25,30,34,39. Pinovi za napajanje uređaja koji rade na 3.3 V su 1 i 17 dok su pinovi 2 i 4 za napajanje uređaja koji rade na 5 V .



Slika 3. 3. GPIO pinovi

4. SOLARNI PANELI

Obnovljivi izvori energije predstavljaju budućnost u izvorima energije suvremenog svijeta. Razvojem tehnologije i smanjenjem cijena za implementaciju uz razne poticaje za korištenje nastoji se smanjiti ovisnost o fosilnim gorivima. Jedan od najpopularnijih obnovljivih izvora energije su solarni paneli koji koriste energiju sunca za stvaranje razlike potencijala i skladištenje energije u baterije. Sunčeva svjetlost sastoji se od fotona koji su nosioci sunčeve energije. Solarne ćelije sastoje se od poluvodičkih elemenata uglavnom od silicija. Kada fotoni padnu na solarnu ćeliju dio njih se reflektira, dio njih prođe kroz ćeliju a dio njih se absorbira. Samo oni fotoni koji se absorbiraju u solarni panel mogu proizvesti električnu struju. Poluvodiči se sastoje od pozitivnog i negativnog sloja i barijere. Fotoni koji padaju na ćeliju su negativno nabijeni. Kada ćelija absorbira dovoljno negativno nabijenih fotona stvara se razlika potencijala između P i N sloja koja rezultira probijanjem barijere i prelaskom elektrona s P sloja na N sloj što rezultira stvaranjem električne struje (Slika 4.1.). Jedna fotonaponska ćelija može proizvesti do 1 W snage, pa spajanjem više ćelija u jednu cjelinu dobije se Solarni panel u ovisnosti o potrebama potrošača koji će se koristiti za iskorištenje uskladištene energije.



Slika 4. 1. Princip rada solarne ćelije [7]

Efikasnost Solarnih panela u prošlosti je iznosio oko 10% dok je danas neka srednja vrijednost efikasnosti oko 20%. Solarni paneli koji se postavljaju u svemir na satelite mogu doseći efikasnost i do 50%. Čelije proizvode istosmjernu struju koja se može skladištiti u baterije za napajanje manjih DC sustava. Povezivanjem više ćelija u panele i više panela u Solarne sustave dobije se velika količina energije koja se može DC-AC pretvaračima pretvoriti u izmjeničnu struju i tako distribuirati u kuće, zgrade i slično. Solarni paneli će proizvoditi toliko više energije koliko su više izložene sunčevom svjetlošću. Moderni solarni paneli često su opremljeni *Solar Tracker*-om koji zakreće panel direktno prema suncu u ovisnosti o dobu dana. Takvi sustavi su u pravilu jako skupi pa je bitno znati koje ciljeve za energijom želite zadovoljiti pa prema njima dimenzionirati veličinu Solarnih panela.




5. OSTALE KOMPONENTE SUSTAVA

5.1. Solar Charge Controller HP2410/2420

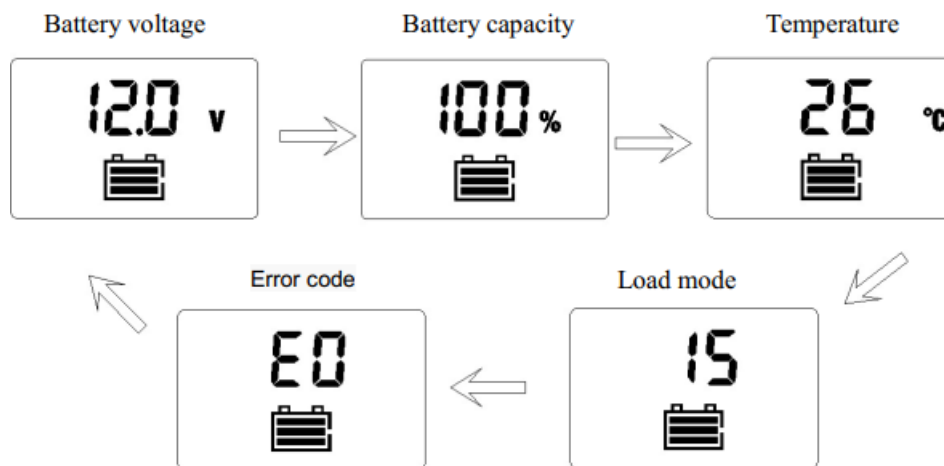
Kontroler za solarni panel je uređaj na koji se spaja solarni panel, baterija i potrošači. Ima ugrađen PWM algoritam za punjenje baterije. Aplikacija ima mogućnost punjenja baterije periodički ili kad kapacitet baterije padne ispod određene vrijednosti.

Uređaj također štiti bateriju od prepunjavanja kao i od potpunog pražnjenja produžujući joj tako životni vijek. Također ima zaštitu od nastanka kratkog spoja. Također direktno na uređaj spojeni su i potrošači. U ovisnosti o radu kontrolera potrošači izvor energije dobivaju ili od solarnog panela ili s baterije u ovisnosti o vremenskim uvjetima.

Najveći mogući napon koji se može dovesti s solarnog panela iznosi 55 V. Postoje dvije izvedbe HP1410 koji radi s strujom do 10A i HP1420 koji radi sa strujom od 20A. Kontroler se sastoji i od LCD zaslona koji prikazuje podatke vezane za sam sustav. Tako LCD može prikazivati temperaturu, napon baterije kao i upozorenja, status baterije ili potrošača. (Slika 5.1.1., Slika 5.1.2.). Tablica 5.1. Prikazuje osnovne karakteristike Solarnog modula.

State Indicators		
LCD Icon	Indicated Object	State
	Daytime or charging	Steady on
	Night recognition	Steady off
	Load short circuit or overload	Quick flashing
	Load switched on	Steady on
	Load switched off	Steady off
	Normal battery	All on
	Over discharge	Only the outline flashes
	Overvoltage	3 dashes flashing

Slika 5.1. 1. Prikaz stanja uređaja na LED zaslonu [9]



Slika 5.1. 2. Prikaz trenutnih stanja na LED zaslonu

Tablica 5. 1. Prikaz osnovnih karakteristika Solarnog modula

Model	HP2410	HP2420	HP2420-S
Nominalna struja	10 A	20 A	20 A
Funkcija prikaza struje	Ne	Ne	Da
Napajanje sistema	Automatsko prepoznavanje 12 V / 24 V		
Max ulazna vrijednost sa Solara	<55 V		
Max. Vrijednost na bateriji	<35 V		
Zaštita od prenapona	17.0 V ; x2/24 V;		
Napon punjenja	14..6 V; x2/24 V;		
Napon oporavka nakon pražnjenja	12.6; x2/24 V		
Interval punjenja	30 dana		
Vrijeme punjenja	1H		

Pet načina rada Solarnog kontrolera:

1. Kontrola svjetla (0): Kada sunčeva svjetlost nestane i razine osvjetljenja padne na početnu razinu kontroler inicijalizira jednu minutu odgode da potvrdi promjenu i zatim se napajanje prebacuje s baterije. Kada sunce ponovno izlazi i razina svjetlosti se poveća, kontroler ponovno inicijalizira jednu minutu odgode da potvrdi promjenu i zatim napajanje prebacuje s baterije na kontroler.
2. Kontrola svjetlosti + kontrola vremena (1-14): Početni proces je isti kao i kod načina rada sa kontrolom svjetla. Nakon određenog vremenskog perioda (Podesivo od 1 do 14 sati) rada na solarnom panelu, napajanje potrošača se automatski prebacuje na baterijsko napajanje
3. Manualni način rada (15): U ovom načinu rada korisnik može prebacivati izvor napajanja za potrošače s baterije ili solara proizvoljno. bez obzira je li noćni ili dnevni period.
4. Način otklanjanja pogrešaka (16): U slučaju napona od 6 V s prisutnim sunčevim svjetlom napajanje se dobiva iz solarnog panela, dok u slučaju napona od 5 V bez prisutnosti sunčevog svjetla potrošači se napajaju iz baterije. Ovaj način rada koristi se za brzu provjeru točnosti sustava prilikom instalacije i za detekciju pogrešaka.
5. Normalni način rada (17): Napajanje potrošača isključivo iz solarnog panela.

Načini rada prema kodovima na zaslonu uređaja prikazani su u tablici 5.2.

Tablica 5. 2. Prikaz načina rada na zaslonu

LED Display	Način rada
00	Kontrola svjetlosti
01-14	Kontrola svjetlosti + vremenska kontrola
15	Manualni način rada
16	Način rada za otkrivanje pogrešaka
17	Normalni način rada

5.2. Huawei E5573 4G router

Prijenosni Hotspot koji se koristio za izradu sustava je Huawei E5573 4G (Slika 5.2.1). On služi za povezivanje Raspberry Pi mikroračunala na Internet gdje će se prikazivati prikupljeni podaci sa udaljenih senzorskih čvorova. Modul podržava 4G s brzinama preuzimanja do 150Mbit/s i brzinom *'upload-a'* do 50Mbit/s. Uređaj podržava frekvencijska područja od 800, 900, 1800, 2100 i 2600 MHz. Također, ima mogućnost spajanja eksterne antene za poboljšanje pouzdanosti i jačine signala. U uređaj je također ugrađena zamjenjiva baterija od 1500mAh koja može napajati uređaj ukupno 6 sati, te ima mogućnost pružanja bežičnog spajanja za pametne telefone tablete i prijenosna računala. Može raditi na frekvencijama od 2.4GHz ili na 5GHz.



Slika 5.2. 1. Huawei E5573 4G router

Osim interne antene i baterije ima također slot za microSD karticu kapaciteta memorije do 32GB, pa tako korisnici mogu dijeliti informacije s uparenim uređajima.

Osim utora za microSD karticu, tu je i utor za SIM karticu preko koje je omogućen pristup davatelju usluga. Pokraj utora za SIM karticu, na naljepnici se nalaze svi bitni podaci vezani za uređaj kao što su model, IP adresa, WiFi pristupne lozinke i naziv prijenosnog hotspota, IMEI itd. što je prikazano na slici 5.2.2.. Cijena uređaja na tržištu kreće se oko 140 USD.



Slika 5.2. 2. SIM utor s prikazom osnovnih informacija o uređaju

5.3. Baterija MP1236H

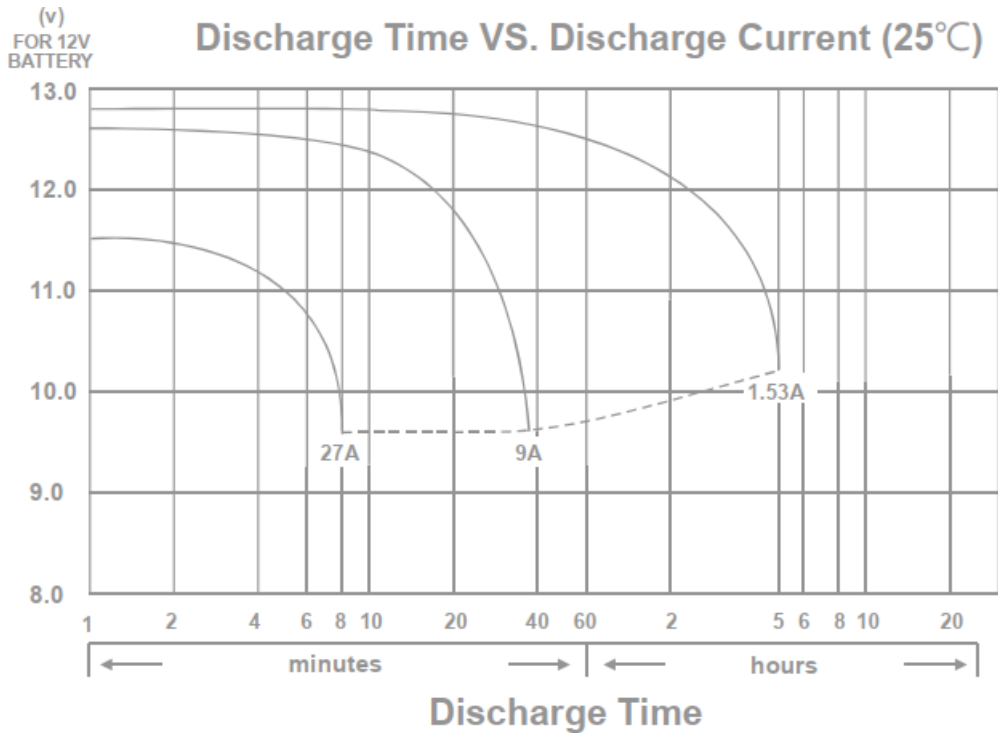
Za potrebe pohrane energije, koristimo punjivu suhu olovnu bateriju 12V nominalnog kapaciteta 9Ah tvorničke oznake MP1236H (Slika 5.3.1).



Slika 5.3. 1. Baterija MP1236H

Na slici 5.3.2 prikazan je graf ovisnosti vremena pražnjenja u odnosu na konstantnu struju pražnjenja, u konkretnom slučaju pri 25°C. Tako je vidljivo da ukoliko bateriju praznimo konstantnom strujom od 27A, tada će baterija biti ispražnjena za svega 8 minuta, dok u situaciji da bateriju praznimo konstantnom strujom od 1.53A, tada će biti potrebno oko 5 sati da je potpuno ispraznimo. Obzirom da je navedena baterija kapaciteta 9Ah, tada je lako pretpostaviti da će pri struji pražnjenja od 1A biti moguće napajati uređaj otprilike 9 sati, prije nego baterija bude u potpunosti ispražnjena.

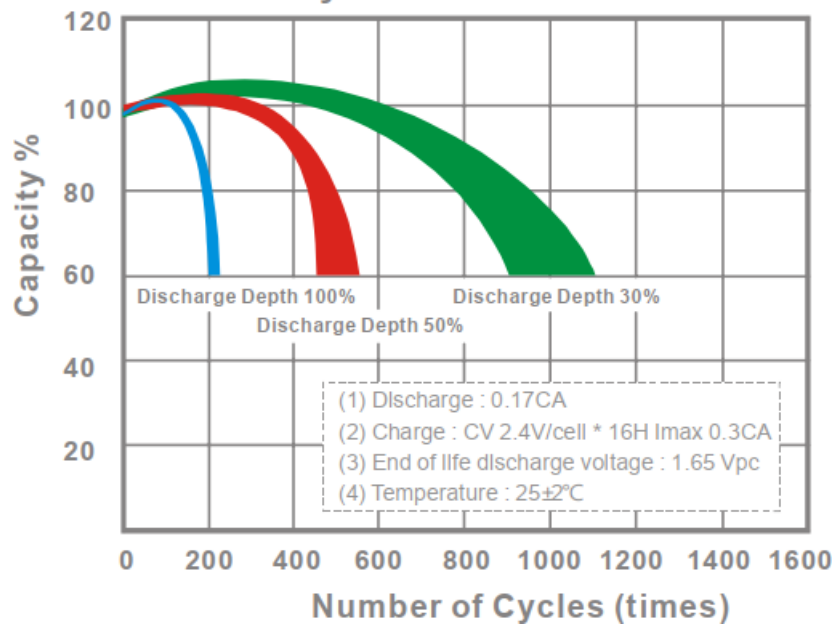
Važno je napomenuti da duboko pražnjenje baterije uvelike utječe na njen životni vijek, pa u slučajevima kada imamo uređaje koja koje troše više energije, nužno je odabrati bateriju većeg kapaciteta, ili paralelno vezati više baterija, pri čemu je nužno voditi računa da vrstai kapacitet baterije budu identični, kako bi se izbjegli potencijali problemi prilikom punjenja baterija, a direktno su vezani uz prepunjavanje baterija, što može rezultirati čak i požarom.



Slika 5.3. 2. Vrijeme pražnjenja u ovisnosti o struji pražnjenja [10]

Vijek trajanja baterije ovisi o više faktora, kao što je prosječna struja pražnjenja, maksimalna struja pražnjenja, temperatura okoline, no također je bitno izbjeći duboka pražnjenja baterije, jer tada njen životni vijek, kao i nominalni kapacitet drastično opadaju.

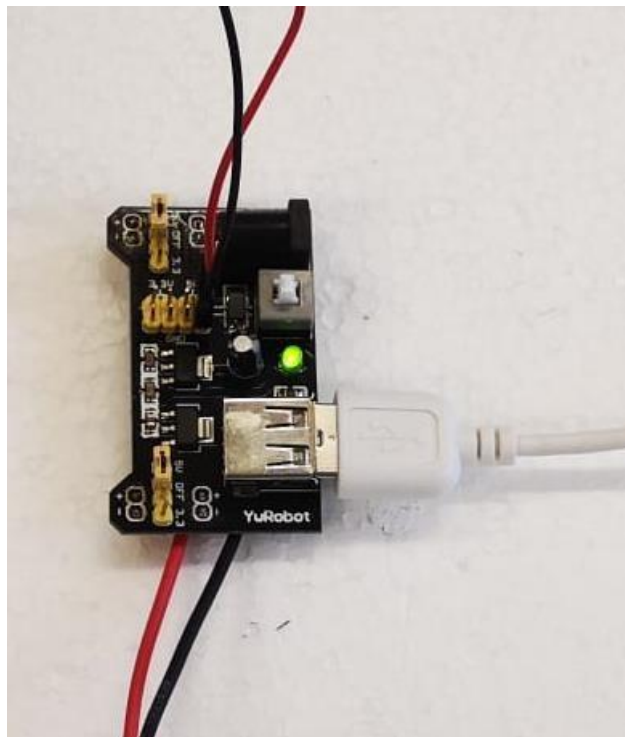
Na slici 5.3.3. prikazan je graf ovisnosti razine ispražnjenosti baterije u odnosu na nominalni kapacitet i približni broj ciklusa punjenja baterije. Primjerice, ukoliko bateriju uvijek praznimo do kraja, njen životni vijek će biti kraći i do pet puta, u odnosu na situaciju ukoliko je praznimo do 70% nominalnog kapaciteta, odnosno 30% ispražnjenosti. Kod pražnjenja baterije do kraja, ona će 60% nominalnog kapaciteta dostići već nakon 200 ciklusa punjenja, dok će u optimalnim uvjetima sa pražnjenjem 25-30%, njen životni vijek biti bitno dulji, čak i do 1100 ciklusa punjenja.



Slika 5.3. 3. Broj ciklusa punjenja u ovisnosti o razini pražnjenja baterije [10]

5.4. MB102 modul napajanja

Obzirom da Raspberry Pi, IMST iC880A LoRaWAN gateway modul i Huawei 4G mobilni hotspot rade na nazivnom naponu +5V DC, dok je baterija nazivnog napona 12V, nužno je prilagoditi naponske razine, kako bi bili u mogućnosti napajati navedene komponente. Postoji više načina kojima možemo napon od 12V DC spustiti na 5V DC, od korištenja linearnih regulatora kao što je primjerice LM7805 ili AMS1117 do korištenja DC-DC konvertera. U ovom radu, zbog dostupnosti navedenog modula, iskorišten je namjenski modul MB102 (Slika 5.4.1.) koji pruža mogućnost napajanja 5V DC i 3.3V DC, a uglavnom se koristi za napajanje prototipova na breadboard pločicama. Cijena ovog modula na globalnom tržištu je oko 5 USD.

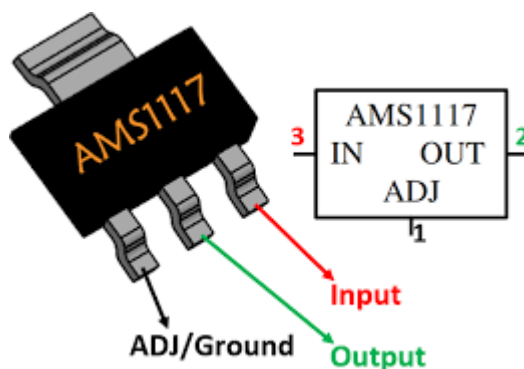


Slika 5.4. 1. Prikaz modula MB102

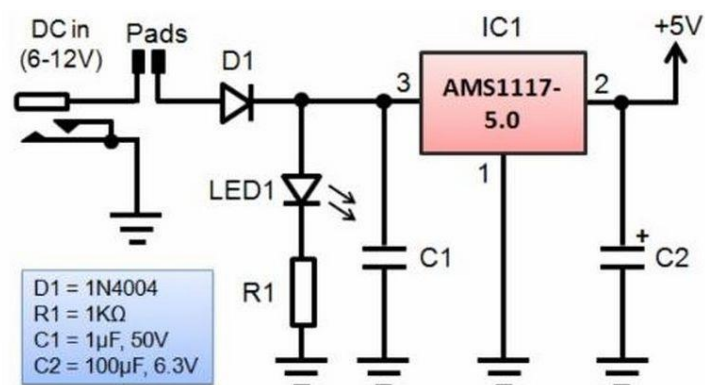
Osnovne karakteristike modula:

- Ulazni napon: 6.5 V DC– 12 V DC
- Izlazni napon: 3.3 V DC ili 5 V DC
- Max izlazna struja: 700 mA
- Modul ima ugrađen prekidač za uključivanje i isključivanje izlaznog napona
- Ima ugrađeni USB port
- LED lampica za prikaz stanja (Uključen / Isključen)

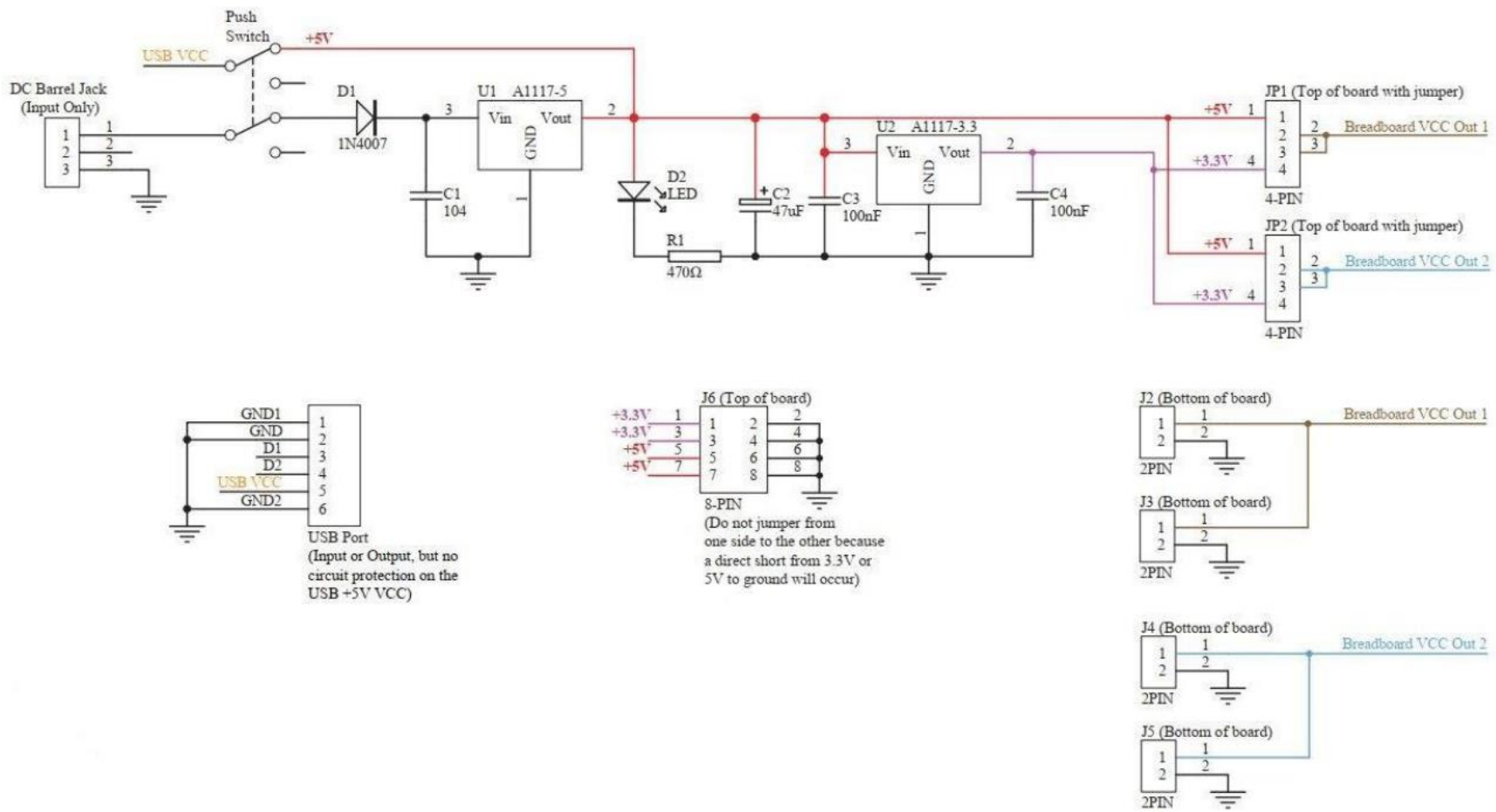
Osnovu modula čini linearni naponski regulator pod oznakom AMS1117 (Slika 5.4.2), pri čemu su na samom modulu montirana ukupno 2 komada, po jedan za napon 5V DC i 3.3V DC. Slika 5.4.3. prikazuje tipični sklop s AMS1117 dok slika 5.3.4. prikazuje shemu cijelog modula MB102.



Slika 5.4. 2. AMS1117 [11]



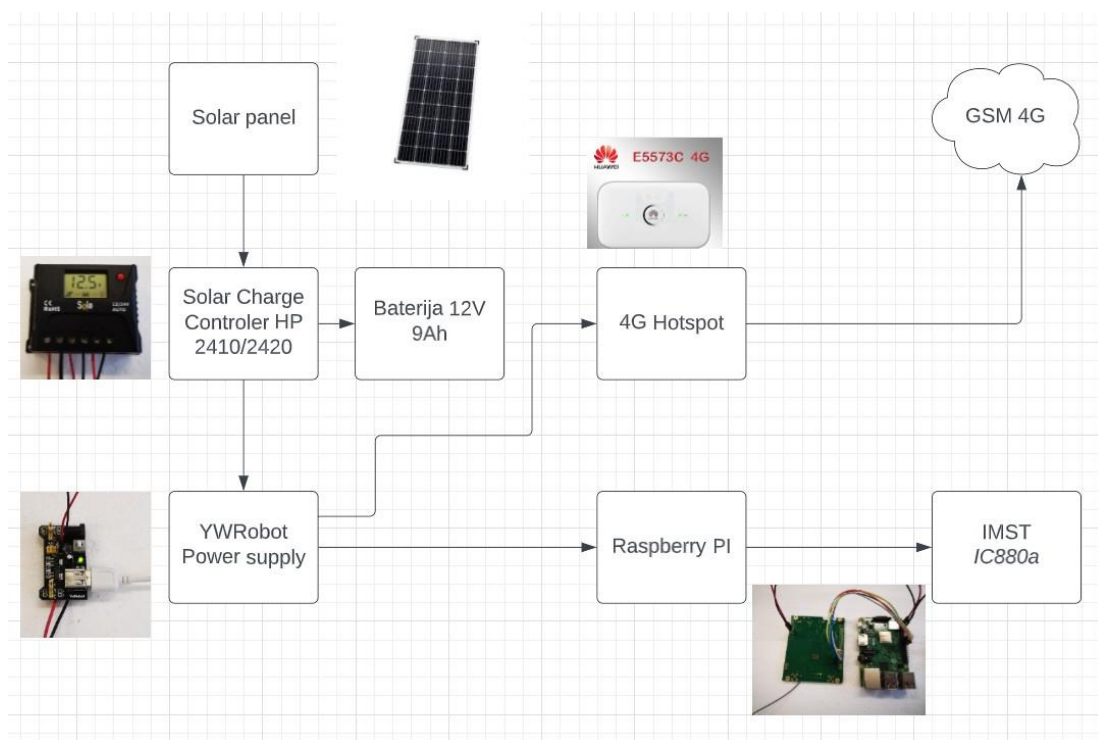
Slika 5.4 3. Tipični sklop sa AMS1117 [12]



Slika 5.3. 4. Shematski prikaz cijelog modula MB102

6. ANALIZA POTROŠNJE

Shema cijelog sustava nalazi se na slici 6.1. Uz LoRaWAN gateway, Raspberry Pi, Solarni panel potrebno je koristiti i bežični Huawei 4G hotspot modul preko kojeg će se Raspberry Pi spajati na Internet, MB102 modul napajanja s 12 na 3.3V i 5V, te kontroler za solarni panel i bateriju.



Slika 6. 1. Shema spajanja sustava

Sustav je spojen prema shemi sa slike 5.1. Ampermetar je spojen na Solarni kontroler prema potrošačima. Pri naponu od 12 V DC u samom početku tekla je struja od 160mA. Nakon nekoliko sekundi struja je pala sa 160 mA na 130mA. Pri uključivanju sustav je trošio više struje zbog podizanja Raspberry Pi sustava a nakon toga se ustalila na 130 mA. Struja koja je izmjerena ide kroz sve potrošače: Raspberry Pi, LoRaWAN gateway i prijenosni Huawei hotspot. (Slika 6.2.)

Prijenosni hotspot također ima svoju bateriju, međutim kako je stalno spojen na MB102 modul napajanja preko USB konektora razmatrat će se kao potrošač koji ne koristi bateriju s obzirom da ima stalni dovod stabilnog napona preko MB102 modul napajanja.

Mjerena struja je rezultat potrošnje kada je LoRaWAN gateway ne prima i ne šalje nikakve podatke na senzorski čvor i kada Raspberry Pi ne obavlja nikakvi zahtjevniji posao. Ako sustav konfiguriramo tako da senzorski čvor ima 'duty cycle' 5% što je dovoljno za očitavanje fizikalnih vrijednosti koje se ne mijenjaju naglo u vremenu (Tlak, Temperatura, Vlažnost i sl.). Tada će senzorski čvorovi očitavati vrijednost svakih 19 minuta, odnosno 19 minuta će biti u 'sleep modu' a 1 minutu će prikupiti podatak i poslati na gateway i tako ciklički ponavlja mjerenja. Prilikom primanja informacije i prikazivanja iste na Aplikaciju preko Raspberry Pi računala potrošnja sustava iznosi 520 mA.

Nakon obavljenog posla struja se ponovna vraća na vrijednost od 130 mA. Prosječna potrošnja u sat vremena prema formuli (6.1.) iznosi $I_{sr} = 150 \text{ mA}$.

$$I_{sr} = 0.95 \times 130 \text{ mA} + 0.05 \times 520 \text{ mA} \quad (6.1)$$



Slika 6. 2. Mjerenje struje i napona na sustavu

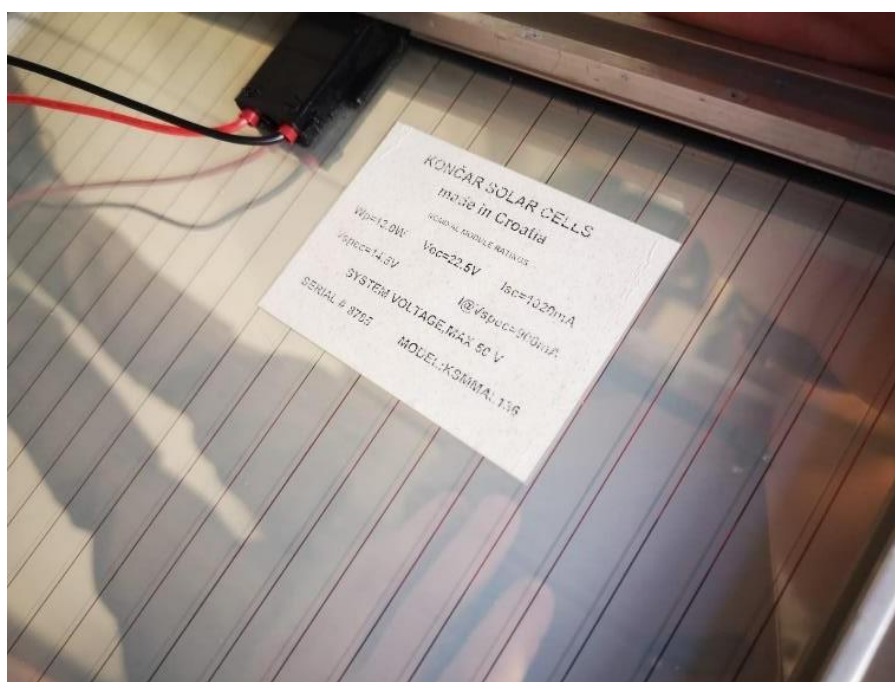
Baterija koja se koristila u sustavu ima kapacitet od 9 Ah što je uz konstantnu struju od 150 mA dostatno za 60 sati rada odnosno da dva i pol dana nema nikakve sunčeve svjetlosti na solarnom panelu sustav će i dalje normalno funkcionirati. (Formula 6.2.)

$$9 \text{ Ah} \div I_{sr} = 60 \text{ h} \quad (6.2.)$$

Gdje je :

I_{sr} = Prosječna potrošnja struje sustava

Solarni panel koji se koristio na izradu sustava (Slika 6.3) deklariran je da ima vrijednost $W_p=13 \text{ W}$. W_p ('Watt peak') je maksimalna vrijednost snage koju Solarni panel može primiti u laboratorijskim uvjetima. Ta vrijednost je gotovo uvijek manja od stvarne vrijednosti koju Solarni panel može proizvesti. Za analizu sustava koristit će se vrijednost od 10 W.



Slika 6. 3. Solarni panel Končar KSMMAL 1.36

Ako uzmemo u obzir da je baterija potpuno prazna Solarni panel treba približno 11 sunčanih sati da je napuni do vrijednosti 100%. Formula (6.3), (6.4).

$$I_{pp} = W_p \div V_p = 0.83A \quad (6.3.)$$

Gdje je:

W_p - snaga Solarnog panela (10 W)

V_p -nominalni napon napajanja (12 V)

I_{pp} = struja punjenja prazne baterije bez spojenih potrošača

$$9 \text{ Ah} \div I_{pp} = 10,8 \text{ h (10 sati i 48 min)} \quad (6.4)$$

To je svakako scenarij koji se nastoji izbjeći. Solarni kontroler ima važnu ulogu u raspodjeli energije na panel i potrošače. Tijekom sunčanog dana potrošači se napajaju iz energije koja dolazi sa solarnog panela.

Tijekom noći napajanje potrošača se preusmjerava na bateriju. Ujutro kad je sunce ponovno na obzoru Solarni kontroler prvo napaja potrošače a višak energije preusmjerava na punjenje baterije.

Ako se uzme u obzir zimsko računanje vremena dan od izlaska do zalaska sunca traje 12 sati. Za noćnih 12 sati kapacitet baterije pri potrošnji od 150 mA se smanji s 9 Ah na 7.2 Ah prema formuli 6.5.

$$9 \text{ Ah} - (I_{sr} \times 12 \text{ h}) = 7.2 \text{ Ah} \quad (6.5)$$

Gdje je :

I_{sr} = Prosječna potrošnja struje sustava (150 mA)

Kako za napajanje potrošača Solarni panel troši 1.8 W ostatak snage od 8.2 W preusmjeravana punjenje baterije i za to mu je potrebno vrijeme od 2 sata i 38 minuta prema formulama (6.6.) ,(6.7.), (6.8.), (6.9.).

$$I_{sr} \times V_p = 1.8 \text{ W} \quad (6.6)$$

Gdje je:

I_{sr} = prosječna potrošnja struje u sustavu (150 mA)

V_p = Napon napajanja s Solarnog kontrolera/baterije (12 V)

$$10 \text{ W} - 1.8 \text{ W} = 8.2 \text{ W} \quad (6.7)$$

Tada struja punjenja baterije I_p prema formuli 6.8. iznosi :

$$I_p = 8.2 \text{ W} \div 12 \text{ V} = 0.68 \text{ A} \quad (6.8)$$

a vrijeme punjenja :

$$(9 \text{ Ah} - 7.2 \text{ Ah}) \div I_p = 2.64 \text{ h (odnosno 2 h i 38 min)} \quad (6.9)$$

Prilikom ljetnog računanja vremena potrošači manje vremena koriste bateriju pa samim time je i kraće vrijeme nadopunjavanja baterije ujutro do 100% kapaciteta.

Grad Split godišnje u prosjeku ima 2700 sunčanih sati odnosno u prosjeku 7 i pol sati dnevno. Prema ovom podatku potrošači tijekom dana se napajaju iz baterije 16,5 sati i tako prema formuli (6.10.), (6.11.) smanje kapacitet baterije sa 9 Ah na 6.53 Ah.

$$I_{sr} \times 16,5 \text{ h} = 2,47 \text{ Ah} \quad (6.10.)$$

$$9 \text{ Ah} - 2,47 \text{ Ah} = 6.53 \text{ Ah} \quad (6.11.)$$

Vrijeme potrebno da Solarni panel ponovno nadopuni bateriju da maksimalnog kapaciteta tada iznosi 3 sata i 37 minuta što svakako upada u prosječno vrijeme od 7 i pol sati dnevno. (Formula (6.12))

$$2.47 \text{ Ah} \div I_p = 3.63 \text{ h (odnosno 3 sata i 37 minuta)} \quad (6.12)$$

7. ZAKLJUČAK

Solarno napajani uređaji svakako predstavljaju budućnost u svijetu zbog jeftinog pristupa energiji. Korištenjem LoRaWAN protokola koji je sve popularniji u svijetu senzorskih mreža kreiran je sustav za prikupljanje podataka s različitih senzorskih čvorova. Mogućnosti i kombinacije s čvorovima su beskonačne, uz senzore moguće je koristiti i aktuatore i tako imati mogućnost upravljanja uz minimalnu potrošnju energije. Zbog povećane potrošnje uređaja koji su potrebni za prikaz podataka na internetu (Raspberry Pi, WiFi hotspot, LoRaWAN gateway, itd.) potrebna je veća količina energije nego ona koja se koristi na senzorskim čvorovima. Spajanjem Solarnog panela na Bateriju i potrošače preko Solarnog kontrolera omogućeno je da se sustav instalira na povišeno mjesto u ruralnom području i samim time je omogućen puno veći domet od onoga koji bi bio ostvaren da se gateway nalazi u nekoj kući ili zgradi u gradu. Rad bi se svakako mogao poboljšati programiranjem Raspberry Pi kontrolera tako da kad kapacitet baterije padne ispod 25% se obavijesti korisnik kako bi mogao pravodobno reagirati bez da se gube prikupljeni podaci zbog nedostatka napajanja. Također pošto je LoRaWAN relativno nova tehnologija vjerojatno u budućnosti će se moći i minimalizirati sklop ukoliko na tržište izađu uređaji koji mogu obavljati više stvari odjednom npr. Gateway i Mikrokontroler integrirani na jednoj pločici i sl..

LITERATURA

- [1] <https://www.oss.moodle.unist.hr> pristupljeno 10.5.2022
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Frequency-shift_keying pristupljeno 10.5.2022
- [3] Low-Power Wide-Area Networks: Design Goals, Architecture, Suitability to Use Cases and Research Challenges Ben Buurman, Joarder Kamruzzaman, (Senior Member, IEEE), Gour Karmakar, (Member, IEEE), and Syed Islam (Fellow, IEEE) School of Engineering and Information Technology, Federation University Australia, Churchill, VIC 3840 AU
- [4] Živković, N. (2017). Raspberry Pi (Završni rad). Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:126:616288> pristupljeno 31.5.2022
- [5] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raspbian_2019.04_application_menu.jpg pristupljeno 31.5.2022
- [6] WiMOD iC880a datasheet
- [7] <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php> pristupljeno 2.6.2022
- [8] <https://www.electronicwings.com/raspberry-pi/raspberry-pi-gpio-access> pristupljeno 2.6.2022
- [9] <https://cdn.ensolar.com/Product/pdf/ChargeController/5b3b14fb5d2ac.pdf> pristupljeno 21.6.2022
- [10] RECHARGEABLE SEALED LEAD ACID BATTERY MP1236H Datasheet
- [11] <https://microcontrollerslab.com/mb102-breadboard-power-supply-module-pinout-and-how-to-use-it/> pristupljeno 4.7.2022
- [12] <https://www.daraz.pk/products/3pcs-ams1117-50v-5v-fixed-voltage-regulator-smd-sot-223-linear-voltage-regulator-i117142822.html> pristupljeno 4.7.2022
- [13] <https://microcontrollerslab.com/mb102-breadboard-power-supply-module-pinout-and-how-to-use-it/> pristupljeno 4.7.2022

POPIS SLIKA

Slika 2. 1. Topologija LoraWan mreže [1].....	4
Slika 2. 2 LoraWan arhitektura[1]	5
Slika 2.1. 1. FSK modulacija [2].....	6
Slika 2.1. 2. Up-Chirp Signal	7
Slika 2.1. 3. Down-chirp signal.....	7
Slika 2.2. 1. Klase LoRaWAN uređaja [3].....	9
Slika 2.4. 1. iC880A SPI [6].....	11
Slika 3. 1. Raspberry PI 3 Model B [4].....	14
Slika 3. 2. Raspbian OS [5]	15
Slika 3. 3. GPIO pinovi.....	16
Slika 4. 1. Princip rada solarne ćelije [7].....	17
Slika 5.1. 1. Prikaz stanja uređaja na LED zaslonu [9]	19
Slika 5.1. 2. Prikaz trenutnih stanja na LED zaslonu	20
Slika 5.2. 1. Huawei E5573 4G router	22
Slika 5.2. 2. SIM utor s prikazom osnovnih informacija o uređaju	23
Slika 5.3. 1. Baterija MP1236H	24
Slika 5.3. 2. Vrijeme pražnjenja u ovisnosti o struji pražnjenja [10].....	25
Slika 5.3. 3. Broj ciklusa punjenja u ovisnosti o razini pražnjenja baterije [10].....	26
Slika 5.3. 4. Shematski prikaz cijelog modula [11]	29

Slika 5.4. 1. Prikaz modula MB102.....	27
Slika 5.4. 2. AMS1117 [11].....	28
Slika 6. 1. Shema spajanja sustava.....	30
Slika 6. 2. Mjerenje struje i napona na sustavu	31
Slika 6. 3. Solarni panel Končar KSMMAL 1.36	32

POPIS TABLICA

Tablica 2. 1. Prikaz parametara gateway-a IMST iC800a.....	12
Tablica 2. 2. Ovisnost osjetljivosti o faktoru širenja i širini pojasa.....	13
Tablica 5. 1. Prikaz osnovnih karakteristika Solarnog modula	20
Tablica 5. 2. Prikaz načina rada na zaslonu	21