



Univerza v Mariboru

Fakulteta za energetiko

Darija Avramović

**Mobilna postaja za merjenje jakosti
sončne obsevanosti in atmosferskih
pogojev**

Diplomsko delo

Velenje, september 2023

Mobilna postaja za merjenje jakosti sončne obsevanosti in atmosferskih pogojev

Diplomsko delo

Študentka: Darija Avramović
Študijski program: univerzitetni študijski program 1. stopnje Energetika
Mentor: doc. dr. Dalibor Igrec
Lektor: dr. Klemen Jelinčič Boeta



ZAHVALA

*Iskreno se zahvaljujem svojemu mentorju doc. dr. Daliborju Igrecu
za potrpežljivost in pomoč pri nastajanju diplomskega dela.
Hvala staršem, ki sta mi omogočila študij in mi z vso ljubeznijo stala ob strani.
Posebna zahvala za očeta, ki je ob pisanju diplomske naloge največ trpel.*

MOBILNA POSTAJA ZA MERJENJE JAKOSTI SONČNE OBSEVANOSTI IN ATMOSFERSKIH POGOJEV

Ključne besede: eksperimentalna mobilna postaja, merjenje sončne obsevanosti, sončna celica, ESP 32, Arduino, spletna aplikacija

UDK: 621.38:621.311.243(043.2)

Povzetek

Diplomsko delo obravnava izdelavo in analizo enotne mobilne postaje za merjenje sončne obsevanosti in vremenskih razmer. Glave komponente postaje so mikrokrmilnik, sončne celice ter senzor za merjenje temperature in vlažnosti zraka. Podatke o sončnem obsevanju smo pridobili z alternativno metodo merjenja, ki temelji na dejstvu, da sončna celica proizvaja napetost, ki je sorazmerna sončni obsevanosti, ki vpade nanjo. Za razliko od specializiranih meteoroloških naprav, naša merilna postaja zahteva minimalne investicijske stroške. Rezultat diplomskega dela je funkcionalna in delujoča mobilna postaja, katere delovanje lahko spreminjamo preko posebej izdelane WEB aplikacije. Aplikacija na enostaven način prikazuje merjene veličine v realnem času, v obliki tabel in grafov. Rezultate meritve smo ovrednotili s primerjavo z meritvami uradnih meteoroloških postaj.

MOBILE STATION FOR MEASURING SOLAR IRRADIANCE AND ATMOSPHERIC CONDITIONS

Key words: experimental mobile station, solar irradiance, measurement, solar cell, ESP32, Arduino, web application

UDK: 621.38:621.311.243(043.2)

Abstract

The diploma work deals with the creation and analysis of a unique mobile station for measuring solar radiation and weather conditions. The main components of the station are a microcontroller, solar cells and sensor for measuring temperature and air humidity. Data on solar radiation are obtained by an alternative method of measurement, based on the fact that a solar cell produces a voltage that is proportional to the solar radiation that falls on it. In contrast to specialized meteorological devices, our measurement station requires minimal investment costs. The result of the diploma work is a correct and functional mobile station, whose operation can be monitored through a specially developed WEB application. The application shows the measured values in real time in a simple way, in the form of tables and graphs. The precision of the measurement results was evaluated by comparing them with the measurement of official meteorological station.

IZJAVA O AVTORSTVU



(ime članice UM)

IZJAVA O AVTORSTVU ZAKLJUČNEGA DELA

Ime in priimek študenta/-ke: DARIJA AVRAMOVIČ

Študijski program: ENERGETIKA

Naslov zaključnega dela: MOBILNA POSAJA ZA MERJENJE JAKOSTI SONČNE OBSERVANOSTI
IN ATMOSFERSKIH POGOJEV

Mentor/-ica: DALIBOR IGRČ

Somentor/-ica: _____

Podpisani/-a študent/-ka DARIJA AVRAMOVIČ

- izjavljam, da je zaključno delo rezultat mojega samostojnega dela, ki sem ga izdelal/-a ob pomoči mentorja/-ice oz. somentorja/-ice;
- izjavljam, da sem pridobil/-a vsa potrebna soglasja za uporabo podatkov in avtorskih del v zaključnem delu in jih v zaključnem delu jasno in ustrezno označil/-a;
- na Univerzo v Mariboru neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico ponuditi zaključno delo javnosti na svetovnem spletu preko DKUM; sem seznanjen/-a, da bodo dela, deponirana/objavljena v DKUM, dostopna široki javnosti pod pogoji licence Creative Commons BY-NC-ND, kar vključuje tudi avtomatizirano indeksiranje preko spleta in obdelavo besedil za potrebe tekstovnega in podatkovnega rudarjenja in ekstrakcije znanja iz vsebin; uporabnikom se dovoli reproduciranje brez predelave avtorskega dela, distribuiranje, dajanje v najem in priobčitev javnosti samega izvirnega avtorskega dela, in sicer pod pogojem, da navedejo avtorja in da ne gre za komercialno uporabo;
- dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v zaključnem delu in tej izjavi, skupaj z objavo zaključnega dela.

Uveljavljam permisivnejšo obliko licence Creative Commons: _____
(navedite obliko)

Kraj in datum:
VELENJE, 22. 8. 2023

Podpis študenta/-ke:
Avramovič Daria

IZJAVA O ISTOVETNOSTI TISKANE IN ELEKTRONSKE OBLIKE ZAKLJUČNEGA DELA



Fakulteta za energetiko
(ime članice UM)

IZJAVA O ISTOVETNOSTI TISKANE IN ELEKTRONSKE OBLIKE ZAKLJUČNEGA DELA

Ime in priimek študenta/-ke: Darja Avramović

Študijski program: ENERGETIKA

Naslov zaključnega dela: Mobilna postaja za merjenje jakosti sončne obsevanosti in atmosferskih pogojev

Mentor/-ica: Dalibor Igrec

Somentor/-ica: _____

Podpisani/-a študent/-ka Darja Avramović
izjavljam, da je tiskana oblika zaključnega dela istovetna elektronski obliki zaključnega dela, ki sem jo oddal/-a za objavo v DKUM.

Kraj in datum:
Velenje, 21.08.2023

Podpis študenta/-ke:
Darja Avramović

KAZALO VSEBINE

ZAHVALA	III
MOBILNA POSTAJA ZA MERJENJE JAKOSTI SONČNE OBSEVANOSTI IN ATMOSFERSKIH POGOJEV	IV
MOBILE STATION FOR MEASURING SOLAR IRRADIANCE AND ATMOSPHERIC CONDITIONS	V
IZJAVA O AVTORSTVU	VI
IZJAVA O ISTOVETNOSTI TISKANE IN ELEKTRONSKE OBLIKE ZAKLJUČNEGA DELA	VII
KAZALO VSEBINE	VIII
KAZALO SLIK	X
KAZALO GRAFOV	XII
KAZALO TABEL	XIII
UPORABLJENI SIMBOLI	XIV
UPORABLJENE KRATICE	XV
1 UVOD	1
2 MERJENE VELIČINE	3
2.1 TEMPERATURA IN VLAŽNOST	3
2.2 SONČNA ENERGIJA	6
2.2.1 Gostota moči sončnega sevanja	7
2.2.2 Sončna obsevanost	10
3 PREDSTAVITEV STROJNE OPREME IN SENZORSKEGA SISTEMA ZA MERJENJE PARAMETROV	12
3.1 MIKROKRMILNIK	12
3.2 ARDUINO IDE	16
3.3 SENZOR ZA MERJENJE TEMPERATURE IN VLAŽNOSTI ZRAKA	17
3.3.1 LCD zaslon	20

3.4 SENZOR ZA MERJENJE SONČNEGA OBSEVANJA	21
3.4.1 <i>Sončne celice</i>	22
3.4.2 <i>Fotovoltaični efekt</i>	23
4 PROGRAMSKO OZADJE IN PRAKTIČNA REALIZACIJA MOBILNE POSTAJE	25
4.1 IMPLEMENTACIJA SENZORA	26
4.2 IZDELAVA IN POSTAVITEV MAKETE MOBILNE POSTAJE	28
4.3 IZDELAVA WEB APLIKACIJE	32
5 ANALIZA REZULTATOV	37
5.1 WEB APLIKACIJA	37
5.2 REZULTATI MERJENJA V DOLOČENEM ČASOVNEM OBDOBJU	40
6 ZAKLJUČEK	45
VIRI IN LITERATURA	48

KAZALO SLIK

Slika 2.1: Graf odvisnosti absolutne vlažnosti od temperature [3]	5
Slika 2.2: Prikaz elektromagnetnega valovanja celotnega poznane območja valovnih dolžin [7]	7
Slika 2.3: Slikovni prikaz direktnega in difuznega sončnega sevanja [8]	7
Slika 2.4: Primer sodobnega piranometra [9].....	8
Slika 2.5: Prikaz gostote moči sončnega sevanja v atmosferi in na Zemlji [10].....	10
Slika 2.6: Povprečno letno sončno obsevanje v Sloveniji [10].....	11
Slika 3.1: Ploščica ESP32 [12].....	13
Slika 3.2: Prikaz pinov mikrokrmilnika ESP32 [13].....	14
Slika 3.3: Vpogled na programsko okolje Arduino IDE [lastni vir]	16
Slika 3.4: Senzor za merjenje temperature in vlažnosti DHT11 [17]	18
Slika 3.5: Prikaz pinov in dimenzij sensorja DHT11 [18]	19
Slika 3.6: Prikaz uporabljenega LCD zaslona in njegove strukture [19].....	20
Slika 3.7: Shema povezovanja LCD zaslona z mikrokrmilnikom [20]	20
Slika 3.8: Prikaz LCD zaslona v načinu delovanja [lastni vir]	21
Slika 3.9: Uporabljeni sončni modul in celice [lastni vir]	23
Slika 3.10: Slikovni prikaz fotoefekta [21].....	24
Slika 4.1: Blok shema arhitekture celotnega sistema mobilne postaje [lastni vir].....	26
Slika 4.2: Blok shema povezovanja senzorskega Sistema in napajalnega vira z mikrokrmilnikom [lastni vir]	28
Slika 4.3: Pogled na postopek 3D tiskanja pokrova ohišja krmilne elektronike mobilne postaje [lastni vir]	29
Slika 4.4: Prikaz makete merilne postaje [lastni vir].....	30
Slika 4.5: Prikaz uporabljenega fotonapetostnega panela [lastni vir]	30

Slika 4.6: Prikaz uporabljene akumulatorske baterije [22].....	31
Slika 4.7: Uporabljeni regulator napetosti fotonapetostnega panela [23]	32
Slika 4.8: Prikaz postavitve mobilne postaje [lastni vir]	32
Slika 4.9: Prikaz arhitekture strežnika [lastni vir].....	34
Slika 4.10: Arhitektura aplikacije [lastni vir]	35
Slika 4.11: Prikaz arhitekture celotnega sistema mobilne postaje [lastni vir].....	36
Slika 5.1: Prikaz trenutne vrednosti temperature in vlažnosti zraka v web aplikaciji [lastni vir]	38
Slika 5.2: Tabelarni prikaz zadnjih 10 meritev temperature in vlažnosti zraka v web aplikaciji [lastni vir]	38
Slika 5.3: Pregled zadnjih 10 meritev sončne obsevanosti v web aplikaciji [lastni vir] ..	39
Slika 5.4: Grafična vizualizacija meritev sončne obsevanosti v web aplikaciji [lastni vir]	40
Slika 5.5: Primerjava trenutne temperature in vlažnosti zraka v naši web aplikaciji z uradnimi meteorološkimi podatki [lastni vir]	41

KAZALO GRAFOV

Graf 5.1: Graf primerjave referenčnih in pridobljenih rezultatov gostote moči sončnega sevanja iz celice 'VZHOD' [lastni vir]	42
Graf 5.2: Graf primerjave referenčnih in pridobljenih rezultatov	43
Graf 5.3: Graf primerjave referenčnih in pridobljenih	43

KAZALO TABEL

Tabela 3.1: Prikaz tehničnih lastnosti mikrokontroler ESP32 [14].....	15
Tabela 3.2: Prikaz tehničnih lastnosti senzorja DHT11 [16]	19

UPORABLJENI SIMBOLI

T	-	temperatura [°C]
E	-	absolutna vlažnost zraka [%]
φ	-	relativna vlažnost zraka [%]
Gh	-	gostota moči sončnega sevanja [W/m^2]
$G_{b,h}$	-	direktno sevanje Sonca [W/m^2]
$G_{d,h}$	-	difuzno (razpršeno) sevanje Sonca [W/m^2]
H	-	energija sončnega sevanja [Wh/m^2]
U	-	energija vpadnega toka
h	-	plankova konstanta
c	-	hitrost svetlobe
λ	-	valovna dolžina
dT	-	časovni odvod
G	-	gostota moči sončnega sevanja [W/m^2]
P	-	površina [m^2]
I	-	tok [A]
U	-	napetost [V]

UPORABLJENE KRATICE

A	-	analogni pini mikrokrmilnika
AM0	-	Spektralna gostota zunajzemeljskega sevanja
AM1.5	-	Spektralna gostota standardiziranega sevanja na zemeljski površini
API	-	aplikacijski programski vmesnik (<i>Application Programming Interface</i>)
D	-	digitalni pini mikrokrmilnika
DHT11	-	senzor temperature in vlažnosti (<i>temperature and humidity sensor</i>)
ESP32	-	mikrokrmilnik
GPIO	-	vhodno/izhodni pini (<i>General Purpose Input/Output</i>)
GSM	-	globalni sistem za mobilno komunikacijo (<i>Global System for Mobile Communication</i>)
GUI	-	grafični uporabniški vmesnik (<i>Grafic User Interface</i>)
http	-	metoda za prenos informacij na spletu (<i>Hyper Text Transfer protocol</i>)
IDE	-	razvojno okolje (<i>Integrated Development Enviromment</i>)
IoT	-	Internet stvari (<i>Internet of Things</i>)
JSON	-	format podatkov (<i>Java Script Object Notation</i>)
LCD	-	zaslon temeljen na tehnologiji tekočih kristal (<i>liquid crystal display</i>)
PHP	-	skriptni jezik (<i>HyperText Preprocessot</i>)
PIC	-	programabilni inteligentni mikrokrmilniki (<i>Programmable Interrupt Contrrolers</i>)

PV	-	fotonapetostni
Rx	-	prejemnik (<i>reciever</i>)
SQL	-	transformacijsko usmerjen jezik (<i>Structured Quere Language</i>)
Tx	-	oddajnik (<i>transmitter</i>)
Wi-Fi	-	brezžična tehnologija (<i>Wireless Fidelity</i>)
www	-	svetovni splet (<i>Wold Wide Web</i>)
3D	-	tridimenzionalno (<i>Three Dimensional</i>)

1 UVOD

Največji in glavni vir energije na Zemlji je Sonce. Energija, ki jo prejemamo od Sonca, se imenuje sončna energija in sodi med obnovljive vire energije. Kako pomembna je za človeško civilizacijo, nam pove dejstvo, da Zemlja samo v eni uri od Sonca prejme več energije, kot jo človeštvo porabi v enem letu. Brez Sonca bi življenje na Zemlji bilo nepredstavljivo, najprej zato, ker so vsi ostali viri energije, ki jih človek izkorišča, v veliki meri odvisni od Sonca. Pravzaprav, sončno sevanje je odgovorno za nenehno obnavljanje energije vetra, morskih tokov, valov, vodnih tokov in toplotnega gradienta v oceanih. Ob upoštevanju, kako pomembna je sončna energija za nas, ne preseneča, da bo njena moč glavni merjeni parameter mobilne postaje, katere izvedba in delovanje bosta predstavljena v diplomskem delu.

Sončno sevanje vsak dan čutimo na svoji koži, ampak ga je zelo težko natančno izmeriti. Seveda obstaja naprava, ki je konstruirana za merjenje jakosti sončnega sevanja, ampak je zelo draga. Ena izmed cenovno bolj ugodnih izvedb merjenja sončnega sevanja je opisana v nadaljevanju diplomske naloge. Bistvo tega postopka je, da se je kot senzor za merjenje sončnega sevanja uporabljala navadna sončna celica. Centralna naprava sistema za merjenje sončne obsevanosti je mikrokrmilnik, glavni senzor pa navadna sončna celica. Meritev temelji na dejstvu, da je napetost, ki jo proizvaja sončna celica, sorazmerna jakosti sončnega sevanja, ki vpade nanjo. Glede na napetosti, ki jo bodo sončne celice generirale, bomo določili prvo moč, potem pa gostoto moči sončnega sevanja. Na ta način bomo poskusili pridobiti čim bolj zanesljive rezultate in jih v realnem času prikazovati v spletni aplikaciji ter naknadno analizirati.

Glede na to, da je sončno sevanje v tesni zvezi s temperaturo, vlažnost zraka pa s temperaturo, bo mobilna postaja poleg jakosti sončnega sevanja merila tudi temperaturo in vlažnost zraka.

Cilj diplomskega dela je ugotoviti, kako funkcionalna in uporabna je mobilna postaja ter oceniti kako zanesljive podatke o jakosti sončnega obsevanja smo pridobili z alternativno metodo merjenja. Pomembno je poudariti, da bodo meritve, pridobljene z našo mobilno postajo, manj natančne kot meritve, ki jih zagotavljajo specializirane meteorološke naprave. Zato bomo s primerjavo naših izmerjenih vrednosti s podatki meteoroloških postaj ugotovili, kako natančna je naša eksperimentalna mobilna postaja.

2 MERJENE VELIČINE

V prvem in drugem podpoglavju so predstavljene osnove merjenih veličin, ki jih bo mobilna postaja merila.

2.1 TEMPERATURA IN VLAŽNOST

Temperatura (T) je osnovna fizikalna lastnost, ki jo je mogoče izmeriti in je koristna za razumevanje številnih procesov na tem planetu. Pomembna je meteorološka spremenljivka, ki je tesno povezana s sončnim sevanjem. Osnovna enota je stopinja Celzija [$^{\circ}\text{C}$], pogosto pa se temperature izraža tudi v kelvinih [K]. Temperatura je ena izmed glavnih velikosti za opis stanja ozračja, ampak nikoli ni enka in stabilna več ur. Spreminja se čez dan, z vetrom, ponoči in iz ene sezone v drugo. Pri merjenju temperature zraka je treba vedeti, kam naj postavimo temperaturni senzor za natančno in pravilno merjenje vrednosti temperature, ker lahko pride do različnih težav. Če je senzor izpostavljen vetru, bo označil eno vrednost. Če je zaščiten pred vetrom, lahko kaže čisto drugo vrednost. Ko je senzor pod neposrednim delovanjem sonca, bo absorbiral sončno sevanje in kazal malo višjo temperaturo. To vse so dejavniki, ki lahko močno vplivajo na našo meritev. [1]

Čeprav se nam zdi preprosto, je pojem temperature zelo širok in zato obstaja veliko različnih načinov merjenja. V splošnem, naprave za merjenje temperature imenujemo termometri. Digitalni termometri, ki jih najpogosteje najdemo v lekarnah, z občutljivimi senzorji merijo temperaturo zelo natančno in rezultat prikazujejo na zaslonu. Vendar obstaja veliko različnih vrst termometrov, kot so:

- infrardeči termometri za brezkontaktno merjenje temperature na daljavo;

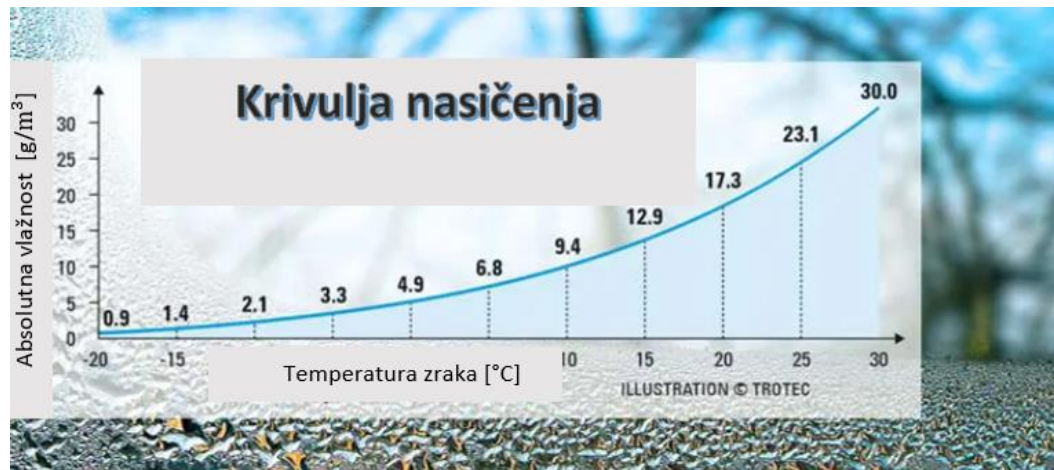
- termometri za merjenje površinske temperature, ki merijo temperature površine telesa s pomočjo sonde;
- termometri, ki merijo temperature v materialu;
- kapljevinski termometri, ki merijo temperature tekočine;
- Galilejev termometer (termoskop), ki meri temperature na podlagi poznavanja gostote telesa in njegovega obnašanja v vodi;
- termopar (termočlen), ki se uporablja v elektroniki kot temperaturna zaznavala.

[2]

Vsak od zgoraj naštetih termometrov vsebuje senzor za merjenje temperature. Temperaturni senzor je njihov glavni sestavni del, ampak lahko deluje tudi kot samostojna enota. V kombinaciji z ustrezno programiranim mikrokontrolerom je nepogrešljiv del številnih mobilnih postaj za merjenje najrazličnejših parametrov.

Poleg temperature je pomemben parameter zraka tudi vlažnost, ki je v tesni zvezi z njo. Količina vlage v zraku ni konstantna, temveč se spreminja čez dan in je odvisna od različnih dejavnikov. Če je pred kratkim deževalo ali pa če se nahajamo na območju, bogatem z rastlinami, senzor bo pokazal višje vrednosti zračne vlage.

Vlažnost zraka lahko izrazimo na več načinov. Absolutna vlažnost zraka (E) predstavlja maso vodne pare v gramih, ki jo vsebuje 1 m^3 zraka. Specifična vlažnost zraka predstavlja maso vodne pare v gramih, ki jo vsebuje v 1 kg^3 . Najpogosteje je vlažnost zraka podana kot relativna veličina. Relativna vlažnost zraka (ϕ) predstavlja razmerje med absolutno vlažnostjo in največjo možno absolutno vlažnostjo pri določeni temperaturi do nasičenja. Prav zato rečemo, da je vlažnost močno odvisna od temperature. Koliko vlage lahko sprejme zrak, je odvisno predvsem od njegove temperature. Na sliki 2.1 lahko vidimo, da večja kot je temperatura zraka, več vlage lahko zadrži. Teoretično to pomeni, da bo pri konstantni vsebnosti vlage v zraku in pri različnih temperaturah relativna vlažnost zraka večja pri nižji temperaturi. [3]



Slika 2.1: Graf odvisnosti absolutne vlažnosti od temperature [3]

Relativno vlažnost zraka izražamo v odstotkih [%]. Zelo suh zrak ima vrednosti relativne vlažnosti zraka pod 55 %, suh med 55 in 74 %, zmerno vlažen med 75 in 90 % in zelo vlažen nad 90 %. [3]

Naprave za merjenje vlažnosti zraka imenujemo higrometri. Obstaja veliko vrst higrometrov, ki merijo vlažnost zraka na različne načine z večjo ali manjšo natančnostjo. Za vse instrumente je značilno, da morajo za merjenje relativne vlažnosti zraka imeti tudi senzor za merjenje temperature. Higrometri, ki se največ uporabljajo v praksi, so:

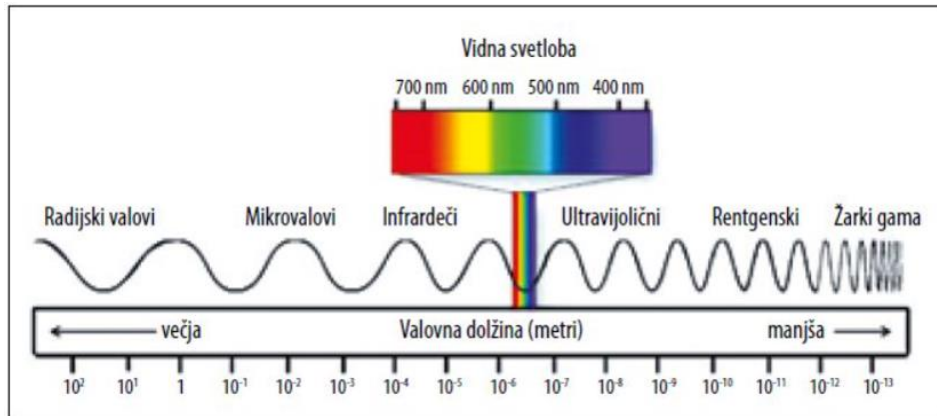
- težnostni higrometri, katerih delovanje temelji na ločitvi vodne pare in suhega zraka;
- higrometri točke rosišča, katerih delovanje temelji na zniževanju površinske temperature ogledala, na katerem se ob določeni temperature pojavi rosa;
- psihometri, katerih delovanje temelji na merjenju temperature suhega termometra in temperature mokrega termometra;
- mehanski higrometri, katerih delovanje temelji na spremembi dolžine nekaterih naravnih ali umetnih materialov s spremembo relativne vlažnosti. [4]

2.2 SONČNA ENERGIJA

Sonce, ki ga ljudje na nebu vidijo kot popolno kroglo, je Zemlji najbližja Zvezda. Kot glavni vir energije na Zemlji je pomemben faktor za ljudi, živali in rastline. Skoraj vsa energija na Zemlji je sončna energija. Sončno sevanje sodi med obnovljive vire energije. To je trajen vir energije, ki ga človeštvo izrablja od samih začetkov, bolj intenzivno pa zadnje desetletje, ko se je začelo zavedanje o omejenosti drugih virov energije in njihovih negativnih vplivov na okolje. [5]

Sonce seva energijo enakomerno v vse smeri vesolja. Ta energija je posledica termonuklearnih reakcij, pri katerih pride do pretvarjanja majhnega deleža mase v energijo. Ta reakcija se imenuje jedrska fuzija oziroma zlivanje lahkih jeder v težja in poteka neprekinjeno v notranjosti Sonca. Bistvo jedrske fuzije je, da se vodik (lahko jedro) spreminja v helij (težje jedro), pri čemer se sprošča veliko energije, ampak samo mali del te energije pride na Zemljo. Na račun te sproščene energije Sonca se njegova masa stalno zmanjšuje. [6]

Sonce seva elektromagnetno valovanje najrazličnejših valovnih dolžin v vesolje. Sevanje Sonca opisujemo s pretokom fotonov kot nedeljivih kvantnih delcev brez mase, a z gibalno količino in točno določeno energijo. Sončno sevanje je torej sestavljeno iz množice fotonov različnih energij. Porazdelitev teh fotonov glede na njihovo energijo (valovno dolžino) imenujemo sončni spekter. Na sliki 2.2 je prikazano elektromagnetno valovanje celotnega poznane območja valovnih dolžin. Človeško oko zaznava le del sončnega spektra. Ta del spektra imenujemo vidni del oziroma vidna svetloba. [6]

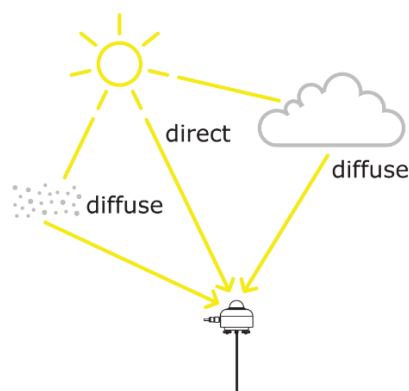


Slika 2.2: Prikaz elektromagnetnega valovanja celotnega poznane območja valovnih dolžin [7]

2.2.1 Gostota moči sončnega sevanja

Globalno sevanje na Zemljo sestavljata dve komponenti: direktno in razpršeno (difuzno) sevanje. Slika 2.3 prikazuje komponenti sončnega sevanja, ki padata na Zemljo. Lahko vidimo, da je direktno sevanje sevanje, ki prihaja direktno od Sonca, razpršeno sevanje pa prihaja posredno (sevanje skozi oblake). Razmerje med njima se spreminja čez dan in je odvisno od vremenskih razmer, letnega časa in položaja točke na Zemlji.

Za pretvorbo sončne energije v električno ali toplotno so pomembni predvsem prispevki direktnega sevanja, v manjši meri pa tudi difuznega in odbitega sevanja. [5]



Slika 2.3: Slikovni prikaz direktnega in difuznega sončnega sevanja [8]

Naprava, ki je prikazana na zgornji sliki se imenuje Piranometer. Piranometer je naprava, ki se uporablja za merjenje jakosti sončnega sevanja, ki pada na ravno površino iz zgornje poloble. S pomočjo Piranometra se lahko naredijo zelo natančne meritve, zato se zelo pogosto uporablja v Meteorologiji. V industriji se običajno uporabljajo za spremljanje delovanja fotovoltaičnih elektrarn ali pa za ugotavljanje primernosti potencialnih lokacij za PV (fotonapetostne) elektrarne. [8]

Slika 2.4 prikazuje primer sodobnega piranometra, ki se lahko najde v prosti prodaji.



Slika 2.4: Primer sodobnega piranometra [9]

Glavni del vsakega piranometra je termopil. To je poseben temperaturni senzor, ki je zaradi boljše absorpcije sončnega sevanja prevlečen s črnim absorberjem. Termopil in črni absorber sta zaščiteni pred vremenskimi vplivi v stekleni kupoli, ki hkrati deluje kot filter. Kupola prepušča sončno sevanje z valovno dolžino od približno 0,3 do 3×10^{-6} m, medtem ko blokira sevanje z valovno dolžino daljšo od 3 μm . Prepustnost kupole bi naj bila 100 %, vendar v praksi doseže okoli 92 %. Pogosto se zaradi izboljšanja delovanja piranometra uporabljata dve kupoli. [8]

Standardni piranometri svoje delovanje temeljijo na termoelektričnem učinku. Termopil proizvaja električni signal, katerega vrednost je sorazmerna z absorbirano jakostjo sončnega sevanja, ki vpade na njega. Natančneje, ko sončni žarki vpadejo na črno površino, nastane temperaturna razlika med črno površino in telesom piranometra. Termopil je sestavljen iz več zaporedno povezanih termoelementov. Vsak termočlen bo ustvaril napetost sorazmerno nastali temperaturni razliki. [8]

Po definiciji gostoto moči sončnega sevanja označujemo z Gh in je enaka:

$$Gh = Gb, h + Gd, h, \quad (2.1)$$

kjer je:

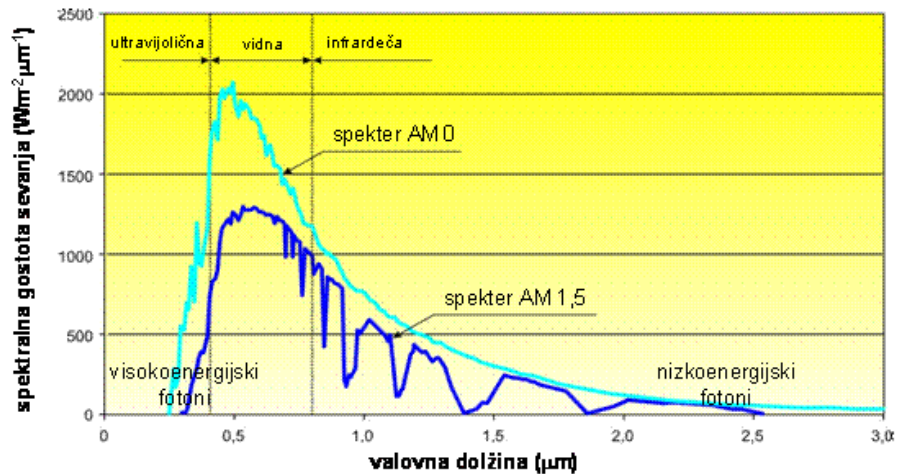
Gh – gostota moči sončnega sevanja (W/m^2),

Gb, h - prispevki direktnega sevanje sonca (W/m^2),

Gd, h - prispevki difuznega razpršenega sončnega sevanja (W/m^2).

Prispevke gostote moči direktnega sevanja (Gb, h) meri klasičen piranometer, prispevke difuznega sevanja (Gd, h) pa piranometer s senčilnimi območji. [5]

Kot je že omenjeno na začetku poglavja, Sonce nenehno oddaja ogromno energije v vesolje in le del te energije prispe na zemeljsko površje. Spektralna gostota zunajzemeljskega sevanja je na spodnji sliki prikazana kot spekter AM0, spektralna gostota standardiziranega sevanja na zemeljski površini pa kot spekter AM1.5. Na sliki 2.5 jasno vidimo razliko med sevanjema. Namreč, zaradi odboja, sipanja in absorpcije v atmosferi, se gostota moči sončnega sevanja, ki vpade na zemeljsko površino, precej zmanjša. [10]



Slika 2.5: Prikaz gostote moči sončnega sevanja v atmosferi in na Zemlji [10]

Iz slike 2.5 je razvidno, da gostota sončnega sevanja na Zemlji doseže največje vrednosti pri valovnih dolžinah vidne svetlobe, natančneje pri valovni dolžini okrog 0,5 μm , kar pripada zeleni barvi vidnega dela spektra elektromagnetnega valovanja. (slika 2.2)

2.2.2 Sončna obsevanost

Gostota moči sončnega sevanja se spreminja čez dan. Odvisna je tudi od vremenskih razmer in letnega časa. Zaradi tega dobimo bolj uporaben podatek o energiji sončnega sevanja, če integrirano moč prek določene časovne periode. To veličino imenujemo obsevanje in jo podajamo v vatnih urah na kvadratni meter [Wh/m^2].

Ta predstavlja energijo sevanja in je definirana kot moč na enoto površine, prejete od Sonca v obliki elektromagnetnega sevanja v območju valovnih dolžin merilnega instrumenta. Sončno obsevanje je obseg, ki nam pove, koliko sončnega sevanja pade na določeno površino v določenem času. [5]

Po definiciji sončno obsevanje (energija Sonca) označujemo z veliko črko H in je enako:

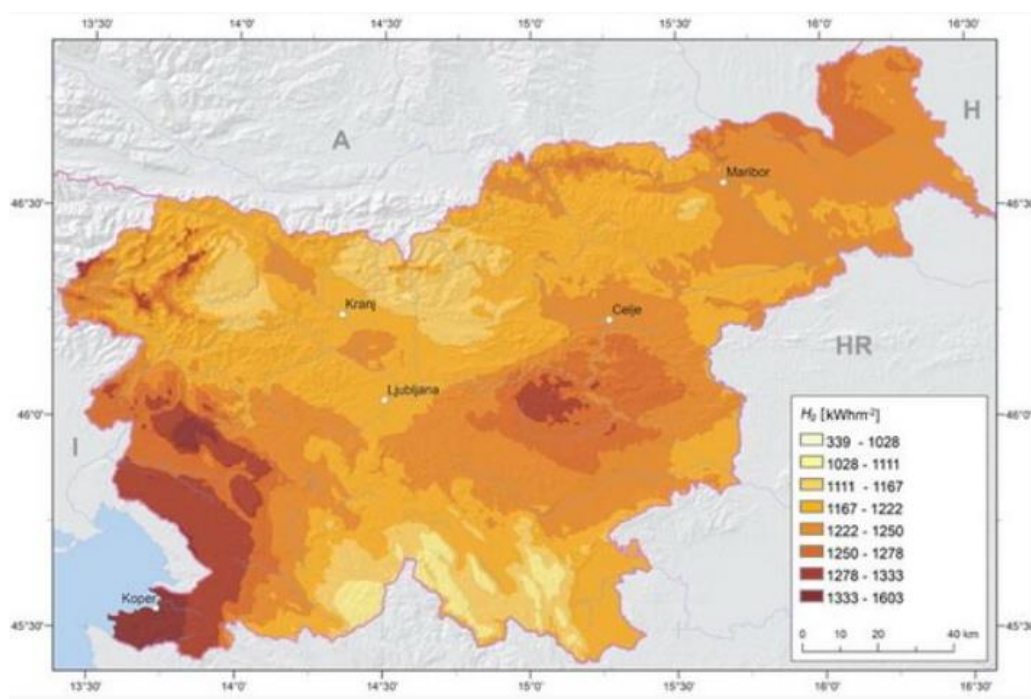
$$H = \int_{0/0}^{24/365} Gh \, dT, \quad (2.2)$$

kjer je:

Gh - gostota moči sončnega sevanja (W/m^2),

dT - časovni odvod. [5]

Sončna obsevanost je na različnih delih sveta različna. Na sliki 2.6 je prikazano povprečno letno obsevanje v Sloveniji. Tudi tu vidimo, da je obsevanost močno odvisna od geografske lege. Na Primorskem sončna obsevanost doseže najvišje vrednosti (od 1333 do 1603 kWh/m^2). V drugih delih Slovenije je obsevanost bistveno manjša. Povprečno sončno obsevanje na kvadratni meter horizontalne površine je v Sloveniji večje od 1000 kWh/m^2 . [10]



Slika 2.6: Povprečno letno sončno obsevanje v Sloveniji [10]

3 PREDSTAVITEV STROJNE OPREME IN SENZORSKEGA SISTEMA ZA MERJENJE PARAMETROV

Pri izvedbi diplomske naloge je bila uporabljena naslednja oprema:

- mikrokontroler ESP32,
- dve sončni celici,
- sončni modul manjše moči,
- sončni panel za napajanje mobilne postaje,
- regulator napetosti napajalnega panela,
- baterija,
- senzor DHT11,
- AC napetostni usmernik,
- LCD zaslon,
- eksperimentalna plošča za povezovanje elementov,
- priključni kabli.

V drugem podpoglavju bodo predstavljene osnove strojne opreme in senzorskega sistema mobilne postaje.

3.1 MIKROKRMILNIK

Na trgu je na voljo veliko različnih mikrokontrolerov. Zaradi številnih uporabnih lastnosti, ki so opisane v tem podpoglavju pri praktični izvedbi diplomskega dela, je bil uporabljen mikrokontroler ESP32, ki je prikazan na sliki 3.1.

ESP32 je trenutno izjemno priljubljeno integrirano vezje (čip), ki ga izdeluje podjetje Espressif Systems. Čip je pritegnil veliko pozornost, saj ponuja izjemne lastnosti, ki ga postavljajo kot vodilnega v razvoju vgrajenih in IoT (*ang. Internet of Things*) sistemov. IoT je nova tehnologija, ki omreži in povezuje naprave. Zahvaljujoč poceni računalniškim čipom, kot je ESP32, in brezžičnem omrežju, lahko vsak objekt postane del IoT-a. Mreženje različnih objektov in dodajanje senzorjev v sistem omogoča komunikacijo med objekti in obdelavo merjenih veličin na daljavo brez človeškega sodelovanja. Prav na tej tehnologiji temeljijo pametni domovi, ki predstavljajo prihodnost človeštva glede varčevanja z energijo in varovanja okolja. [11]

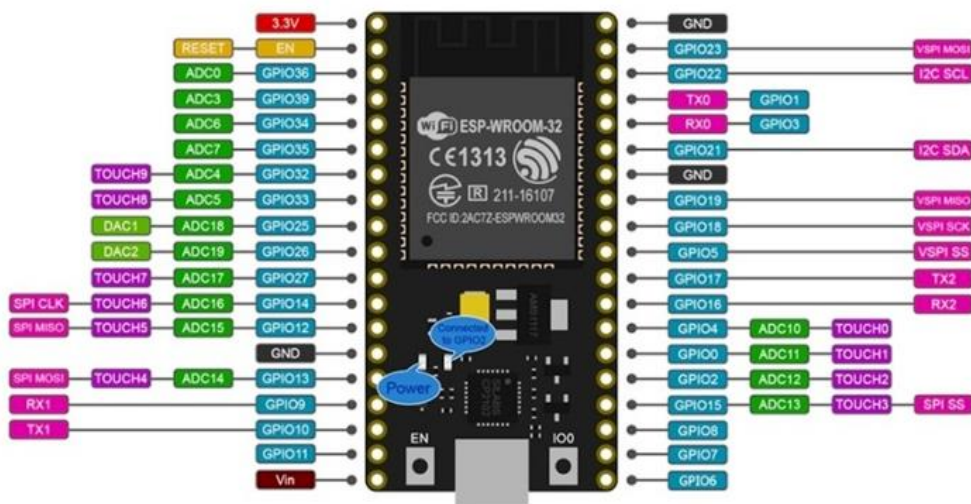


Slika 3.1: Ploščica ESP32 [12]

ESP 32 ima številne prednosti. Zaradi svojih zmogljivosti in prilagodljivosti je množično uporabljen v številnih različnih aplikacijah. Te vključujejo pametne domove, avtomatizacijo, industrijsko avtomatizacijo, zdravstveno opremo, prenosne naprave in več. Zaradi vgrajene Wi-Fi in Bluetooth funkcionalnosti se pogosto uporablja tudi v aplikacijah, ki zahtevajo brezžično komunikacijo. Eden od največjih prednosti ESP32 je njegova cenovna dostopnost. To je naredilo čip zelo priljubljen med hobi elektroni in strokovnjaki, saj omogoča razvoj kompleksnih IoT projektov brez velikih stroškov.

Praktičen je tudi za začetnike v svetu mikrokontrolerjev, saj lahko s pomočjo številnih poceni senzorjev in modulov naredimo veliko različnih eksperimentov. ESP32 se je izkazal kot zelo zmogljiv in prilagodljiv čip. Z vgrajenim dvojnimi jedrom, ki deluje pri frekvenci do 240 MHz in s podporo za Wi-Fi in Bluetooth, lahko čip izpolnjuje zahteve številnih različnih aplikacij. ESP32 ponuja možnost delovanja v načinih z izredno nizko porabo energije, kar je še posebej koristno za naprave, ki delujejo na baterijo. [11]

Čip vsebuje veliko število GPIO (*ang. General Purpose Input Output*) pinov, kar omogoča enostavno povezavo z različnimi napravami. Na sliki 3.2 je prikazan mikrokontroler ESP32 z svemi svojimi pini.



Slika 3.2: Prikaz pinov mikrokontrolerja ESP32 [13]

Dve osnovni vrsti pinov sta digitalni in analogni pini. ESP32 ima več digitalnih GPIO pinov, ki so lahko vhodni ali izhodni. Označujejo se z veliko črko D in številkami od 0 do 39. Analogni pini so vhodni pini in omogočajo pretvorbo analognih vrednosti v digitalne. Označujejo se z veliko črko A in številkami od 0 do 11. Pomembno je omeniti, da je mogoče nekatere pine uporabiti za več funkcij, kot je na primer podpora za različne komunikacijske protokole.

Pri programiranju imamo na voljo dokumentacijo in shemo čipa, ki zagotavlja vse pomembne informacije o vsakem posameznem GPIO pinu. Za povezavo ESP32 s solarnimi celicami in senzorjem smo zaradi narave merjenih veličin uporabljali analogne pine mikrokrmilnika. [14]

V tabeli 3.1 se nahajajo tehnične lastnosti čipa, ki se lahko najdejo v podatkovnem listu izdelka.

Tabela 3.1: Prikaz tehničnih lastnosti mikrokrmilnika ESP32 [14]

Technical specifications of ESP32	
MCU	Xtensa®Dual-Core 32-bit LX6 600 DMIPS
802.11 b/g/n Wi-Fi	Yes,HT40
Bluetooth	Bluetooth 4.2 and below
Typical Frequency	160 MHz
SRAM	512 kBytes
Flash	SPI Fla, up to 16 Mbytes
GPIO	36
Hardware/Software PWM	1 / 16 Channels
SPI/I2C/I2S/UART	4/2/2/2
ADC	12-bit
CAN	1
Ethernet MAC Interface	1
Touch Sensor	Yes
Temperature Sensor	Yes
Working Temperature	-40°C-125°C

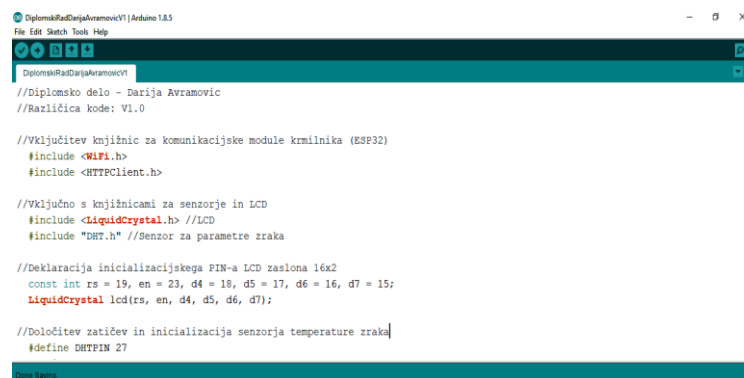
ESP32 podpira različne načine programiranja. Lahko ga programiramo z uporabo ESP-IF, ki predstavlja uradno razvojno okolje podjetja Espressif, ali pa z uporabo priljubljenih platform, kot so Visual Studio Code, Arduino IDE in MicroPython.

3.2 ARDUINO IDE

Arduino prestavlja priljubljeno platformo za izdelavo prototipov, ki je prosto dostopna za razvoj elektronike in vgrajenih sistemov (*ang. Embedded systems*). Arduino in ESP32 predstavljata odlično kombinacijo za razvoj IoT projektov in drugih aplikacij. Ta kombinacija omogoča razvijalcem hitro in učinkovito implementacijo ideje od preprostih do zahtevnejših IoT projektov. Ob tem predstavlja odličen način za učenje o vgrajenih sistemih in samem programiranju.

ESP32 je možno direktno programirati z uporabo Arduino IDE (*ang. Integrated Development Environment*), ki uporabnikom omogoča preprosto pisanje izvorne kode in nalaganje le-te neposredno na ESP32. Programsko okolje ima preprost uporabniški vmesnik, ki je enostaven za uporabo in primeren za začetnike. Na sliki 3.3 lahko vidimo kako izgleda programsko okolje Arduino IDE.

Arduino IDE je preprosto, a močno razvojno okolje, ki omogoča programiranje široke plate mikrokrmilnikov, vključno z ESP32. Okolje uporablja preprost programski jezik, ki temelji na C/C++, kar omogoča hitro in učinkovito programiranje. Arduino IDE je zelo prilagodljivo programsko okolje, ki je dostopno za Windows, Mac in Linux operacijske sisteme. Ima vgrajen serijski zaslon (*ang. Serial Monitor*), ki prikazuje izhodne podatke in je zelo uporaben za spremljanje podatkov med izvajanjem programa ter odpravljanje morebitnih napak. [15]



```
DiplomskiRadDarijaAvramovicV1 | Arduino 1.8.5
File Edit Sketch Tools Help
DiplomskiRadDarijaAvramovicV1
//Diplomsko delo - Darija Avramovic
//Različica kode: V1.0

//Vključitev knjižnic za komunikacijske module krmilnika (ESP32)
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>

//Vključno s knjižnicami za senzorje in LCD
#include <LiquidCrystal.h> //LCD
#include "DHT.h" //Senzor za parametre zraka

//Deklaracija inicializacijskega PIN-a LCD zaslona 16x2
const int rs = 19, en = 23, d4 = 18, d5 = 17, d6 = 16, d7 = 15;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);

//Določitev zatičev in inicializacija sensorja temperature zraka
#define DHTPIN 27

Done Editing
```

Slika 3.3: Vpogled na programsko okolje Arduino IDE [lastni vir]

Arduino IDE vsebuje široko knjižnico dodatkov, ki omogoča enostavno integracijo s številnimi različnimi senzorji in aktuatorji. Z ESP32 je mogoče uporabljati široko paleto knjižnic. To pomeni, da lahko uporabimo veliko že obstoječih kod, ki so že napisane za Arduino platformo. Te knjižnice vključujejo delo z različnimi vrstami senzorjev, motorjev, zaslonov in drugimi komponentami. Program omogoča tudi dodajanje novih knjižnic, ki jih je mogoče najti na internetu. Pri programiranju čipa ESP32 v praktični izvedbi diplomske naloge so uporabljene standardne knjižnice za povezovanje LCD zaslona, senzorja za merjenje temperature in vlažnosti zraka ter za Wi-Fi komunikacijski modul mikrokontrolerja. [15]

Z ESP32 in Arduino IDE je možno razviti številne napredne aplikacije, vključno s tistimi, ki uporabljajo Wi-Fi in Bluetooth za komunikacijo. ESP32 ponuja močan dvojedrni procesor in napredne možnosti za varčevanje z energijo, kar omogoča razvoj zahtevnejših aplikacij kot pri številnih drugih Arduino združljivih platformah. Tako ESP32 kot Arduino so cenovno zelo dostopni, prav to pa omogoča razvoj projektov z nizkimi začetnimi stroški. Ob tem Arduino IDE omogoča brezplačno programiranje in nalaganje kode na ESP32. [15]

3.3 SENZOR ZA MERJENJE TEMPERATURE IN VLAŽNOSTI ZRAKA

Za namen merjenja temperature in vlažnosti smo uporabljali senzor DHT11, ki je prikazan na sliki 3.4. Ta senzor sodi v skupino nekomercialnih senzorjev in se običajno uporablja v eksperimentalne namene, čeprav zagotavlja visoko zanesljivost in dolgoročno stabilnost. Sestavljen je iz kapacitivnega tipala zračne vlage, termistorja za merjenje temperature in elektronike za komunikacijo z mikrokontrolerjem. Glavne lastnosti tega senzorja so hitra odzivnost, vzdržljivost in odpornost na motnje. [16]

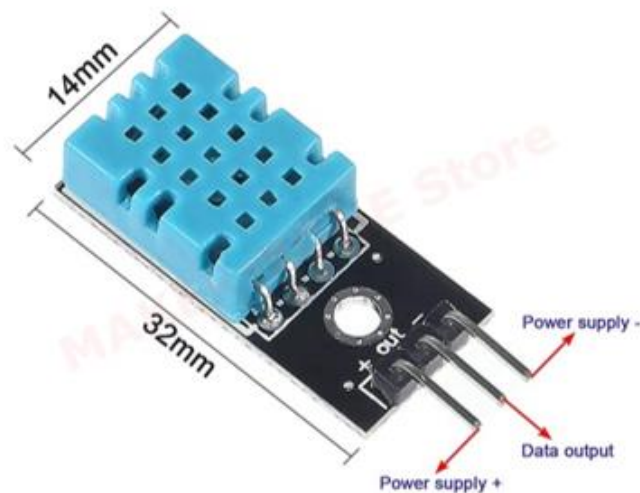


Slika 3.4: Senzor za merjenje temperature in vlažnosti DHT11 [17]

DHT11 je trenutno najcenejši senzor na trgu, ki zagotavlja kalibrirane digitalne ali analogne izhode za temperaturo in relativno vlažnost. Dobra lastnost tega sensorja je, da obdelavo izhodnega signala lahko prilagaja vhodnemu signalu. To pomeni, da zlahka generira analogni izhodni signal kot tudi digitalni signal. V našem primeru senzor generira analogni izhodni signal, kar pomeni, da neposredno poda vrednosti merjenih veličin, ki so itak analogne.

DHT11 ima zelo enostavno strukturo, zato povezovanje z mikrokontrolerjem ni zahtevno. Senzor ima tri izhodne pine, od katerih se dva (označena z + in -) uporabljata za njegovo napajanje. Tretji izhodni pin (označen z OUT) služi za neposredno povezavo z mikrokontrolerjem in merjenje želenih parametrov. [16]

Slika 3.5 prikazuje pine in mere sensorja DHT11, ki je na voljo v prosti prodaji po zelo ugodni ceni.



Slika 3.5: Prikaz pinov in dimenzij senzorja DHT11 [18]

V tabeli 3.2 so prikazane osnovne tehnične karakteristike uporabljenega senzorja.

Tabela 3.2: Prikaz tehničnih lastnosti senzorja DHT11 [16]

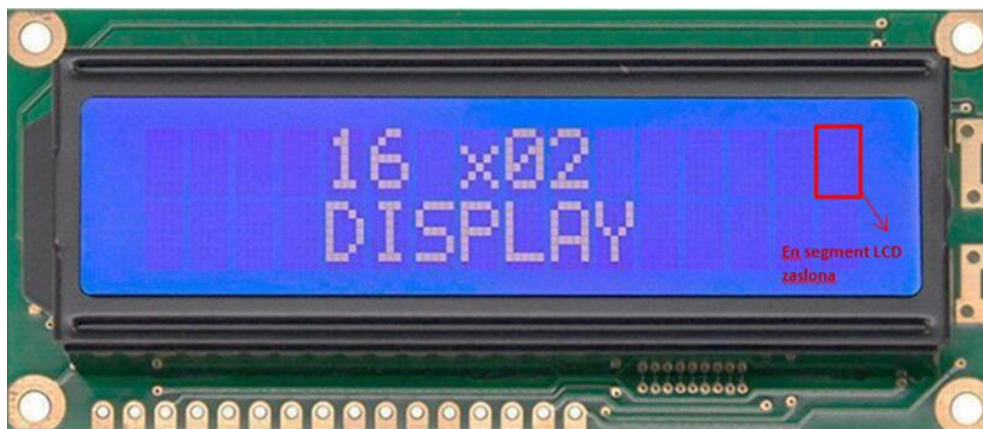
Postavka	Merilno območje	Vlažnost - natančnost	Temperatura - natančnost
DHT11	20-90% RH 0-50 °C	± 5%RH	± 2 °C

Poleg DHT11 se za merjenje temperature pogosto uporablja tudi senzor DHT22. V osnovi sta si ta dva senzorja zelo podobna. DHT22 omogoča natančnejše merjenje temperature in vlažnosti zraka in je posledično dražji. Njegova natančnost merjenja temperature pri 25 °C je 0,5, kar je štirikrat natančneje od senzorja DHT11. DHT22 ima veliko večje temperaturno merilno območje. Lahko izvaja natančne meritve med -400 in 125 °C, kar predstavlja vojaško temperaturno območje.

Ker je cilj diplomske naloge doseči čim bolj verodostojne rezultate s čim manj vloženi sredstvi, smo se odločili za senzor DHT11. Glede na njegovo cenovno dostopnost in dovolj zanesljive merilne podatke, ki jih zagotavlja, je ta senzor povsem primeren za naše potrebe.

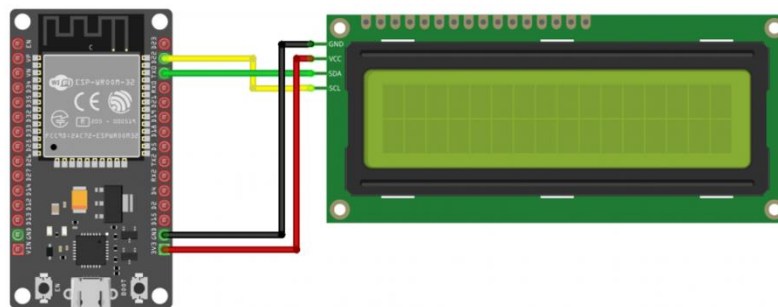
3.3.1 LCD zaslon

LCD zaslon (*ang. liquid cryst display*) je komponenta, ki omogoča vizualno predstavitev merjenih veličin. Prilagodljiv je vsakemu mikrokrmilniku, kar kaže na njegovo široko uporabnost. Izdelujejo se v različnih dimenzijah glede namen uporabe. V diplomski nalogi je uporabljen LCD zaslon 16x2, ki vsebuje 16 stolpcev in 2 vrstici tako imenovanih segmentov (slika 3.6).



Slika 3.6: Prikaz uporabljenega LCD zaslona in njegove strukture [19]

Povezovanje LCD zaslona z mikrokrmilnikom je več kot preprosto. Zaslon ima štiri pine (GND, VCC, SDA in SCL), ki jih je treba po vrstnem redu povezati z ustreznimi pini mikrokrmilnika (GND, 3V3, TX0 in D22). Slika 3.7 prikazuje praktično povezavo LCD zaslona z mikrokrmilnikom ESP32.



Slika 3.7: Shema povezovanja LCD zaslona z mikrokrmilnikom [20]

Glavni namen LCD zaslona je prikaz izmerjenih vrednosti temperature in vlažnosti zraka neposredno na maketi oziroma na mestu, kjer se meritev izvaja. Glede na to, da ima uporabnik vse izmerjene podatke na voljo znotraj web aplikacije, LCD zaslon ni nujen, je pa vsekakor popestritev videza ohišja. Na sliki 3.8 je prikazan uporabljeni LCD zaslon v fazi merjenja oziroma prikazovanja merjenih podatkov.



Slika 3.8: Prikaz LCD zaslona v načinu delovanja [lastni vir]

3.4 SENZOR ZA MERJENJE SONČNEGA OBSEVANJA

Na trgu je na voljo veliko senzorjev za merjenje najrazličnejših vremenskih razmer, senzorjev za merjenje jakosti sončnega obsevanja pa ni enostavno dobiti. Širok razpon sončne valovne dolžine je eden izmed glavnih razlogov, ki otežujejo merjenje sončne obsevanosti (slika2.2).

Kot je že bilo omenjeno v prejšnjem poglavju, obstaja poseben zasnovan instrument za merjenje jakosti sončnega obsevanja. Sodoben piranometer za merjenje sončnega obsevanja stane med 200 in 800 dolarjev. Zaradi zelo visokih cen smo poskušali na alternativni način priti do čim bolj zanesljivih podatkov o jakosti sončnega obsevanja.

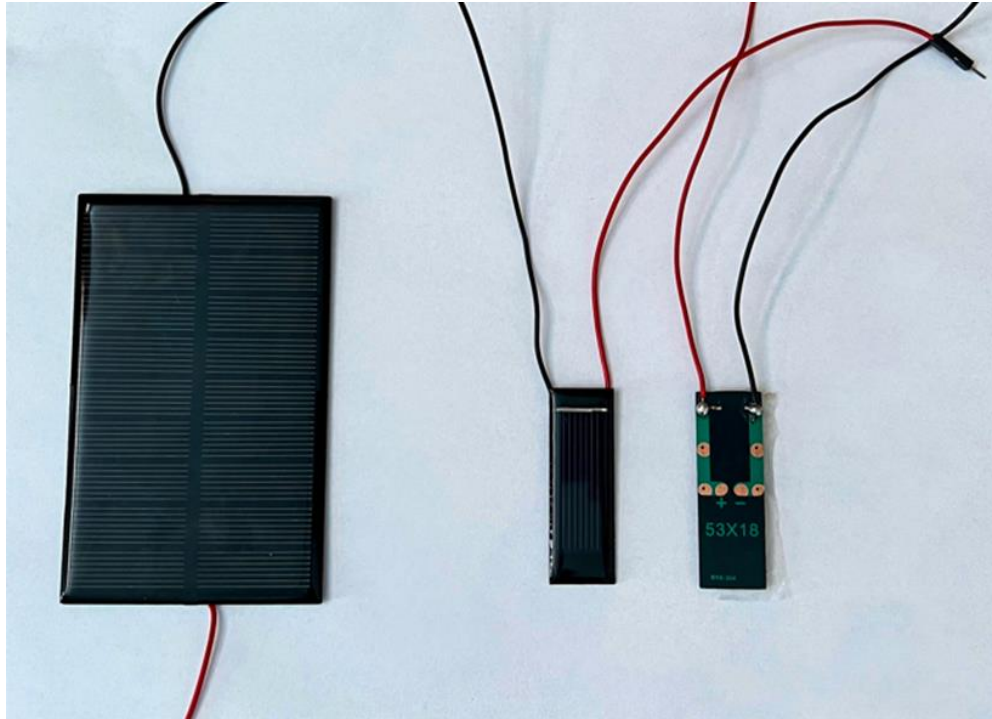
Bistvo tega postopka je, da se kot senzor za merjenje sončnega sevanja namesto piranometra uporablja navadna sončna celica.

3.4.1 Sončne celice

Fotovoltaika je veda, ki preučuje pretvorbo energije svetlobe (fotonov) v električno energijo. To neposredno pretvorbo nam omogočajo fotonapetostni sistemi. Osnovna gradbena enota vsakega PV sistema je sončna celica. Med seboj povezane sončne celice tvorijo sončni modul, več med seboj povezanih modulov pa tvori solarni panel. [5]

Najbolj znane vrste sončnih celic so monokristalne, polikristalne in amorfne sončne celice. Monokristalne sončne celice so izdelane iz silicija in imajo najvišji izkoristek sončne energije. Polikristalne sončne celice se izdelujejo na podoben način kot monokristalne sončne celice. Razlika je v tem, da je pri polikristalnih celicah namesto monokristalnega silicija uporabljen ingot. Material ingot je nekoliko slabši in cenejši, kar pomeni, da bo izkoristek polikristalnih sončnih celic manjši v primerjavi z monokristalnimi celicami. Precej enostavnejšo izdelavo imajo amorfne sončne celice. Sestavljene so iz amorfnega silicija z dodatkom vodika in imajo nizko ceno ter najslabši izkoristek. [5]

Glede na to, da je nas cilj pridobiti čim bolj zanesljive podatke s čim nižjimi investicijskimi stroški, smo v diplomski nalogi uporabljali amorfne sončne celice. Sončni modul, ki je obrnjen proti jugu, ima maksimalno napetost 5 V in moč 1 W. Ena sončna celica je obrnjena proti zahodu, druga pa proti vzhodu. Obe celici imata moč 0,05 W in lahko proizvajata napetost do 0,7 V in električni tok do 100 mA. Uporabljeni senzorji so prikazane na sliki 3.9.



Slika 3.9: Uporabljeni sončni modul in celice [lastni vir]

3.4.2 Fotovoltaični efekt

Da bi lahko sončno energijo koristno uporabili, jo moramo najprej pretvoriti v uporabno obliko. Osnovni namen sončnih celic je pretvarjanje sončne energije v električno, prav tako pa so osnovna komponenta sončnih elektrarn. Sončne celice so v osnovi polprevodniške diode p-n tipa. Njihovo delovanje temelji na tem, da, ko svetloba pade na površino polprevodnika, pride do trkov med fotoni in atomi polprevodnika. Pri tem fotoni oddajajo vso svojo energijo, valenčni elektroni pa se dvignejo iz valenčnega pasu in za seboj pustijo vrzeli. Tedaj pride do fotoefekta oziroma nastanka parov elektron-vrzeli. Iz območja p-tipa prodre nekaj vrzeli v območje n-tipa in ujame bližnje elektrone. Iz območja n-tipa gre nekaj elektronov v območje p-tipa in ujame vrzeli. Na tak način na območju p-tipa nastane primanjkljaj vrzeli, na območju n-tipa pa primanjkljaj elektronov. Oziroma, v p-tipu se pojavi presežek pozitivnega naboja, v n-tipu polprevodnika pa presežek negativnega naboja. Kot posledica razlik v električnem naboju med priključnima sponkama sončne celice nastane napetost.

Slika 3.10 prikazuje poenostavljen postopek nastanka fotovoltaičnega učinka. Bistvo te pretvorbe je, da se energija fotona prenaša na elektron, ki je v atomu celice. Če je sončna celica še naprej izpostavljena sončnemu sevanju, se izbijanje elektronov oziroma njihov prehod v prevodni pas nadaljuje in elektroni postanejo nosilci toka v električnem tokokrogu. Tako sončna celica stalno generira električni tok, sorazmeren jakosti sončnega sevanja, ki vpade na njo. [5]

Energija vpadnega toka je enaka:

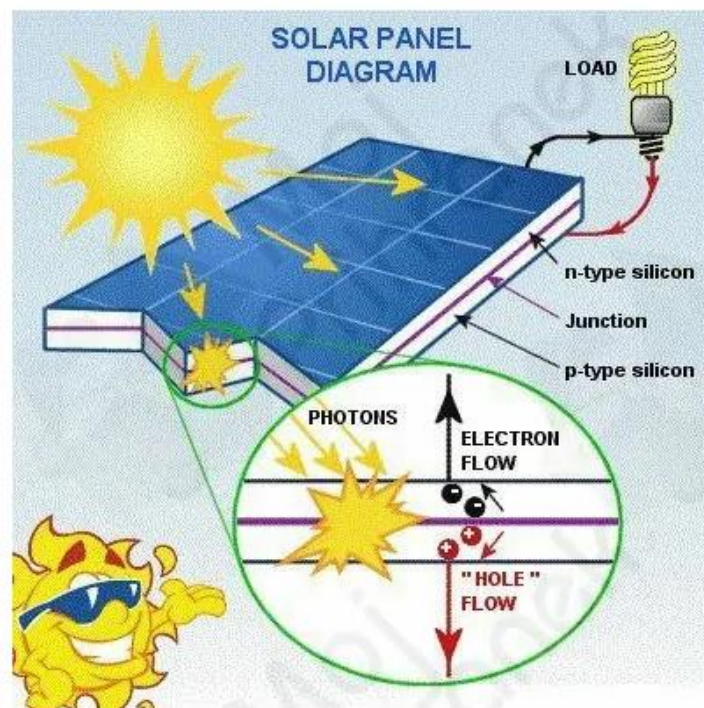
$$U = \frac{hc}{\lambda}, \quad (3.1)$$

kjer je

h - plankova konstanta (Js),

c - hitrost svetlobe (9 m/s),

λ - valovna dolžina (m). [5]



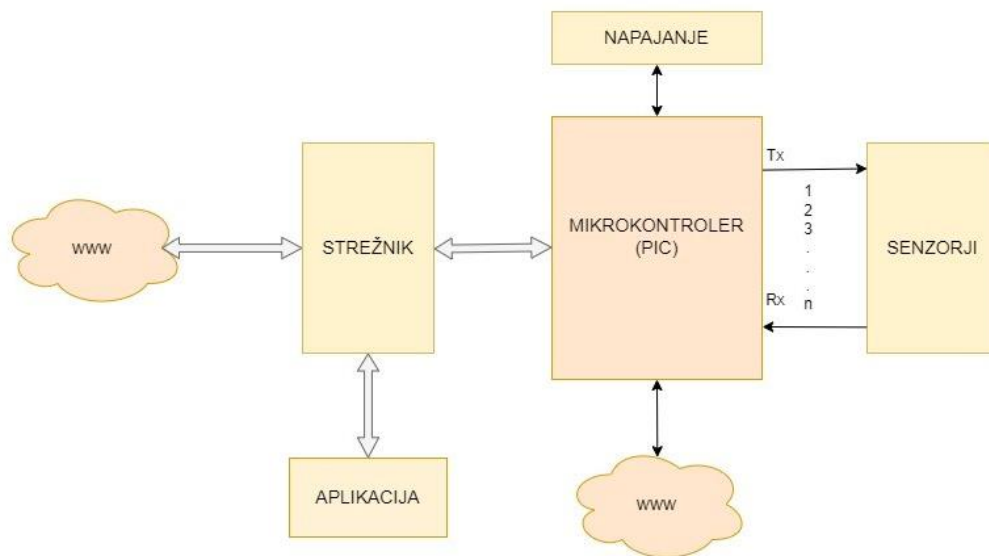
Slika 3.10: Slikovni prikaz fotoefekta [21]

4 PROGRAMSKO OZADJE IN PRAKTIČNA REALIZACIJA MOBILNE POSTAJE

V četrtem poglavju je bolj podrobno predstavljeno programsko ozadje mobilne postaje kot tudi sama praktična izvedba in postavitve makete.

Osnovna enota merilne postaje je mikrokrmilnik. Sestavljen je iz internega pomnilnika, centralne procesorske enote, komunikacijskega modula, vhodno-izhodnega modula in vmesnika za povezavo z web-om. Mikrokrmilnik je centralna hardverska naprava, ki je povezana s senzorji preko ustreznih portov. Mikrokrmilnik ima istočasno vlogo sprejemnika in oddajnika. Preko Tx (*transmitter*) porta pošilja podatke senzorjem, preko Rx (*reciever*) porta pa prejema podatke od senzorja. Ker je mikrokrmilnik aktivno električno vezje, je za njegovo delovanje potreben vir napajanja (omrežno napajanje ali napajanje iz solarnega panela). Mikrokrmilnik ima vgrajen komunikacijski Wi-Fi modul za prenos podatkov, kar je ena izmed njegovih največjih prednosti. Podatki se hitro in enostavno spremljajo in posredujejo pod pogojem, da imamo na voljo dovolj močen Wi-Fi signal. V primeru slabšega signala se ta lahko okrepi z dodatnimi antenami. Mobilne postaje se v praksi običajno uporabljajo v nenaseljenih krajih, ki niso pokriti z Wi-Fi signalom. Zaradi velike pokritosti mobilnega omrežja, bi bilo koristno uporabiti dodaten GSM modul. Zaradi eksperimentalne narave, enostavnosti procesa programiranja in praktične izvedbe mobilne postaje je bila uporabljena Wi-Fi povezava.

Merjene veličine se shranjujejo v bazi podatkov, ki se nahaja na strežniku, kar omogoča prikaz meritev v realnem času v mobilni ali web aplikaciji. Splošna zgradba sistema je prikaza v blok shemi na sliki 4.1.



Slika 4.1: Blok shema arhitekture celotnega sistema mobilne postaje [lastni vir]

4.1 IMPLEMENTACIJA SENZORA

Za povezavo senzorjev z mikrokontrolnikom smo morali v programskem okolju ArduinoIDE naložiti ustrezne knjižnice za vsak senzor posebej. Mobilna postaja ima več senzorskih vozlišč, ki se vežejo na analogne vhodne pine (Ain (1), Ain (2), Ain (3) in Ain (4)), ki so prilagojeni uporabniku in služijo za merjenje jakosti sončnega obsevanja ter temperature in vlažnosti zraka. Programsko smo definirali vhodne pine mikrokontrolnika, na katere smo priklopili senzorje.

Vse, kar potrebujemo za povezavo že znanih senzorjev, kot je DHT11, je prosto dostopno na internetu. Zaradi vseprisotne dostopnosti informacij je sam postopek povezave senzorjev in nalaganja programa na mikrokontrolnik zelo enostaven. Tudi za sončne celice, katerih glavni namen ni merjenje sončnega sevanja, obstajajo knjižnice na internetu.

Gostoto moči sončnega sevanja smo v programu opredelili kot razmerje med močjo in površino sončne celice z enačbo (4.1)

$$G = \frac{P}{A}, \quad (4.1)$$

kjer je:

G - gostota moči sončnega sevanja na sončno celico (W/m^2)

P - moč sončne celice (W),

A - površina sončne celice (m^2).

Moč sončne celice je določena z enačbo (4.2)

$$P = UI, \quad (4.2)$$

kjer je:

U - izhodna napetost sončne celice,

I - pa tok, ki ga sončna celice proizvede pod vplivom sončnega sevanja.

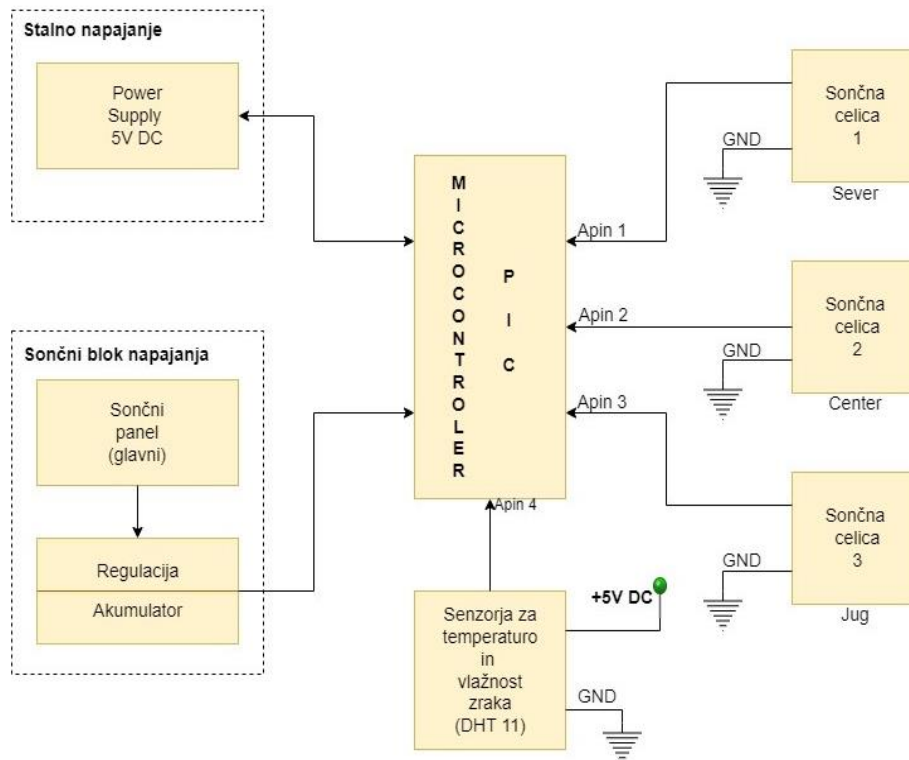
Ob upoštevanju enačb (4.1) in (4.2) pridemo do direktne odvisnosti sončne obsevanosti in izhodne napetosti iz sončne celice, ki je predstavljena z enačbo (4.3). Na tej odvisnosti temelji delovanje sončne celice kot senzorja za merjenje sončne obsevanosti.

$$G = \frac{UI}{A} \quad (4.3)$$

Merilna postaja je modularna, kar pomeni, da uporabniki iz baze razpoložljivih senzorjev lahko dodajajo nov senzor v sistem na ustrezni port. S pomočjo A/D usmernika se analogne veličine pretvorijo v digitalne.

Mikrokrmilnik se lahko napaja na dva načina. Lahko se napaja iz omrežja tako, da se napetost omrežja preko usmernika pretvori v enosmerno napetost, ki znaša 5V. Da bi merilna postaja bila mobilna, se mora mikrokrmilnik napajati iz obnovljivega energetskega vira, kot je solarni panel. Napajanje iz solarnega panela je sestavljeno iz

dveh delov, in sicer regulatorja napetosti in akumulatorja. Regulator regulira napetost iz solarnega panela, akumulator pa omogoča delovanje sistema, kadar ni Sonca. Na sliki 4.2 je prikazana splošna povezava napajalnih virov in senzorja na mikrokrmilnik.



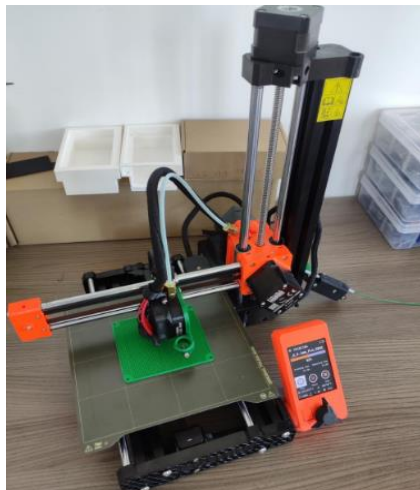
Slika 4.2: Blok shema povezovanja senzorskega Sistema in napajalnega vira z mikrokrmilnikom [lastni vir]

4.2 IZDELAVA IN POSTAVITEV MAKETE MOBILNE POSTAJE

Za izdelavo makete smo uporabili naslednje komponente strojne opreme: mikrokrmilnik ESP32, senzor DHT11, LCD zaslon 16x2, 2 sončni celici, mali sončni modul, napajalni sončni panel, baterijo ter regulator napetosti. Za pritrditev posameznih komponent smo uporabljali objemke. Vse komponente so spajkane na eksperimentalni spajkalni plošči, ki se najpogosteje uporablja za testiranje prototipov. Vsi elementi so postavljeni na ploščo iz pleksi stekla. Elektronsko vezje je nameščeno v posebej izdelanem ohišju, ki ga je potrebno imeti, ker nobena od komponent končnega

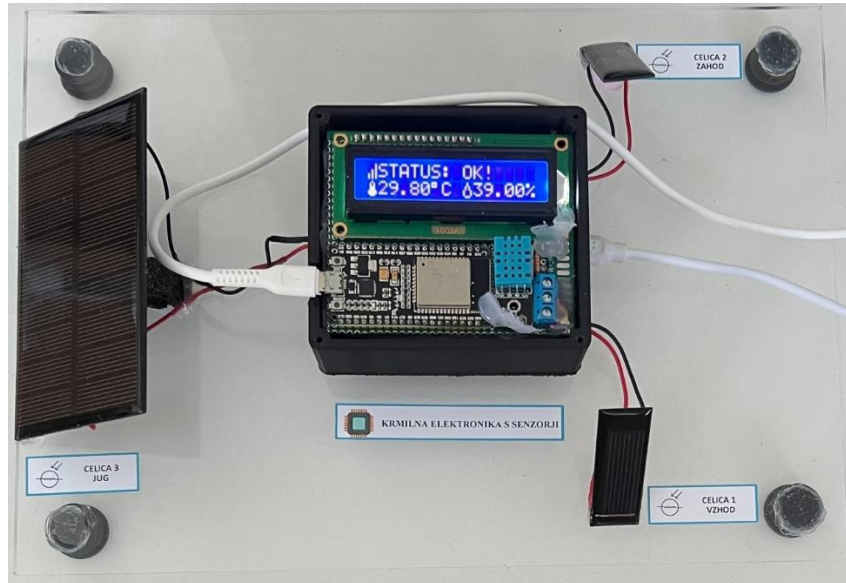
izdelka ni vodoodporna. Ohišje je izdelano iz plastike, kar je povsem v redu glede na to, da bo postaja uporabljena le v lastne eksperimentalne namene. Če bi postajo uporabljali dlje časa, bi bilo zaželeno, da so komponente vgrajene v ohišje, izdelano iz kvalitetnejšega materiala, kot je na primer les.

Vse elektronske komponente mobilne postaje so vgrajene v plastično škatlo, ki jo je mogoče odpreti, tako da je viden LCD zaslon, ki prikazuje temperaturo in vlažnost ozračja. Škatlo lahko zapremo s posebej izdelanim pokrovom, tako da so komponente popolnoma zaščitene pred dežjem in drugimi vremenskimi vplivi. Postopek izdelave zaščitnega pokrova na 3D tiskalniku Prusa 5 mini je prikazan na spodnji sliki.



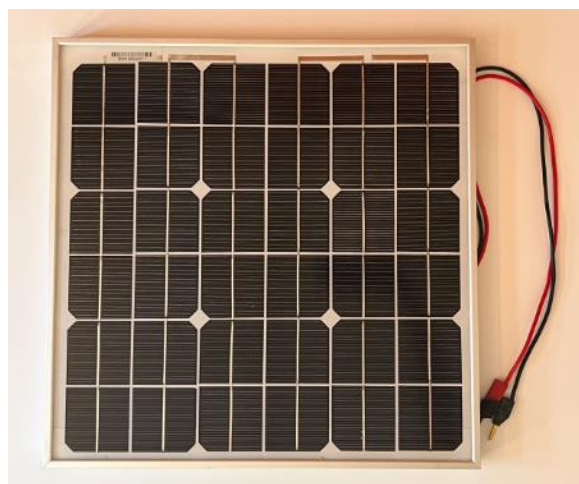
Slika 4.3: Pogled na postopek 3D tiskanja pokrova ohišja krmilne elektronike mobilne postaje [lastni vir]

Postopek izdelave mobilne postaje je potekal tako, da smo na začetku kot napajalni vir uporabljali električno energijo iz javnega omrežja. Po programiranju mikrokrmilnika in priklopu senzorjev in LCD zaslona smo opazovali delovanje sistema. Rezultate smo spremljali na serijal monitorju znotraj programa Arduino IDE. Ko smo bili prepričani, da sistem pravilno deluje, smo postajo naredili mobilno s priklopom na obnovljivi vir energije. Slika 4.4 prikazuje prvo različico merilne postaje.



Slika 4.4: Prikaz makete merilne postaje [lastni vir]

Pomembna lastnost končne različice postaje za merjenje parametrov je popolna energijska neodvisnost. To pomeni, da kot vir napajanja uporablja obnovljive vire energije. V mojem primeru je to fotonapetostni panel površine 0,1849 m² in moči 20 W, ki je zanesljiv, ima nizke stroške vzdrževanja in izjemno vzdržljivost. Na sliki 4.5 je prikazan fotonapetostni panel, ki se je uporabljal kot napetostni vir mobilne postaje za merjenje sončne obsevanosti in vremenskih razmer.



Slika 4.5: Prikaz uporabljenega fotonapetostnega panela [lastni vir]

Osnovna funkcija PV panela je pretvorba sončne energije v električno. Pridobljeno energijo lahko neposredno uporabimo za napajanje električnih naprav ali pa jo shranimo v akumulatorskih baterijah v obliki kemične energije. To shranjeno energijo lahko uporabimo v primeru, ko ni dovolj sončnega sevanja. V namen akumulacije pridobljene električne energije smo uporabljali svinčeno akumulatorsko baterijo, katera je prikazana na sliki 4.6.



Slika 4.6: Prikaz uporabljene akumulatorske baterije [22]

Da bi se energija, ki jo proizvede panel, lahko shranila v bateriji ali uporabila za napajanje mobilne postaje, potrebujemo regulator napetosti. To je naprava, ki je namenjena regulaciji električne energije, ki temelji na samodejni pretvorbi napetosti v običajno nižjo enosmerno napetost. Regulator napetosti regulira napetost na izhodu sončnega fotonapetostnega panela tako, da se lahko koristno uporabi za napajanje mobilne postaje ali pa shrani za primere pomanjkanja sončnih dni. Na sliki 4.7 je prikazan uporabljeni regulator napetosti.



Slika 4.7: Uporabljeni regulator napetosti fotonapetostnega panela [23]

Na sliki 4.8 je prikazana postavljena mobilna postaja z vsemi zgoraj naštetimi komponentami.



Slika 4.8: Prikaz postavitve mobilne postaje [lastni vir]

4.3 IZDELAVA WEB APLIKACIJE

Sama mobilna postaja brez uporabnega in preglednega prikaza merjenih podatkov nima velikega smisla. V ta namen smo izdelali enostavno web aplikacijo, ki prikazuje merjene podatke v realnem času. Da smo lahko spremljali, shranjevali in kasneje analizirali rezultate merjenja senzorja, mora mobilna postaja postati del interneta. Komunikacijski modul je tisti, ki omogoča mreženje postaje in kreiranje aplikacije. Da

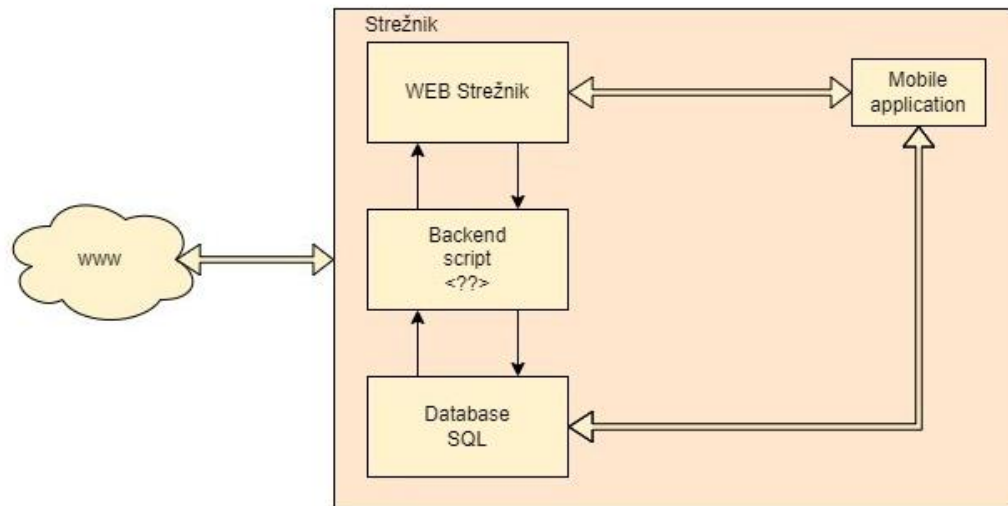
smo prišli do končne različice aplikacije, smo morali iti skozi določene korake, ki bodo opisani v nadaljevanju.

Ko smo vse senzorje in LCD zaslon povezali z mikrokontrolnikom ter naložili ustrezen program, smo dobili pričakovan odziv. Ko smo se prepričali, da postaja deluje, smo že obstoječo kodo nadgradili z ukazi za komunikacijo s strežnikom oziroma pošiljanje podatkov na strežnik.

Web aplikacija predstavlja množico spletnih funkcij in storitev. V splošnem je to program, ki se izvaja na web strežniku. Za razliko od namiznih aplikacij, ki jih poganja operacijski sistem, se web aplikacije najpogosteje izvajajo s pomočjo spletnih brskalnikov (Chrome, Firefox in drugi). Spletne aplikacije delujejo na vseh platformah in jih ni treba prilagajati različnim operacijskim sistemom. Nameščene so na enem strežniku, do katerega lahko dostopajo vsi uporabniki, kjerkoli se nahajajo. Lahko se uporabljajo na vseh hardverskih napravah, ki se lahko povežejo z internetom preko http protokola (*ang. Hyper Text Transfer Protocol*).

Na sliki 4.9 je prikazana blok shema strežniške platforme, ki je zasnovana na IoT tehnologiji. Strežniška platforma je sestavljena iz SQL (*ang. Structured Query Language*) baze podatkov, web strežnika, vmesnika in dodatnih modulov za zaščito. S pomočjo skriptnih programskih jezikov se lahko kreirajo web in mobilne aplikacije, ki so del popolnega informacijskega sistema mobilne postaje. Podatke, ki jih pošilja senzorska postaja, se prenašajo v JSON (*ang. Java Script Object Notation*) format preko http protokola za komunikacijo do vmesnega modula strežnika. Ta modul prejema dobljene podatke in jih konvertira v primerno obliko za njihovo obdelavo in shranjevanje. Sistem ima na strežniku SQL bazo podatkov za shranjevanje merjenih veličin, ki je predvidena in optimizirana, da ima sistem za upravljanje. Sistem upravljanja baze je takšen, da lahko uporabnik kadarkoli in v različnih oblikah potegne izmerjene podatke iz baze. Platforma lahko vsebuje modul, s katerim se generirajo želena poročila iz baze

podatkov. Lahko vsebuje tudi modul za zaščito, ki se uporablja za upravljanje uporabnikov, avtorizacijo ter kriptiranje podatkov.



Slika 4.9: Prikaz arhitekture strežnika [lastni vir]

Na sliki 4.10 je prikazana arhitektura web aplikacije. Preprosto povedano, spletno mesto se sestoji iz frontend-a, kar je uporabnikom skrito, in backend-a, kar je uporabnikom skrito. Aplikacija temelji na PHP (ang.*HyperText Preprocessor*) programskem jeziku, ki je strežniški programski jezik, kar pomeni, da za njegovo delovanje potrebujemo spletni strežnik.

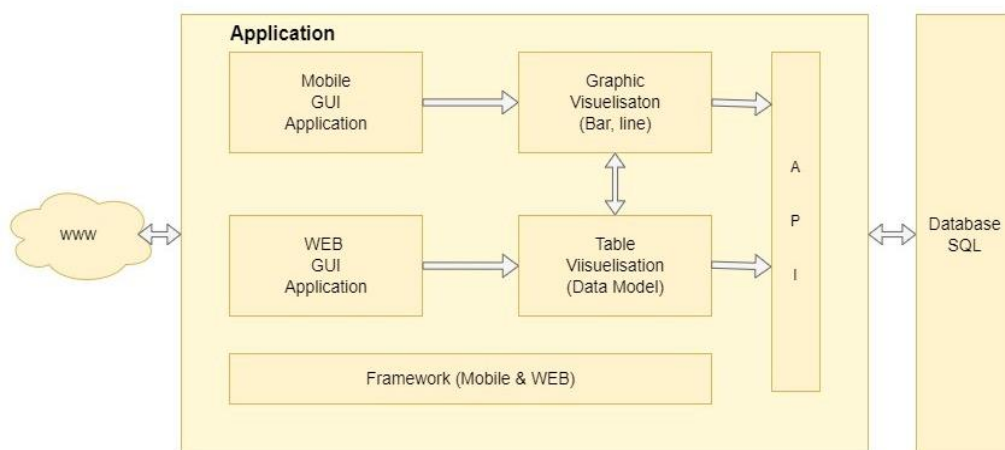
V primerjavi z drugimi jeziki je bolj enostaven in dinamičen. Velikost kode je stokrat manjša v primerjavi z velikostjo, če bi bilo spletno mesto pisano v HTML programskem jeziku.

Aplikacija omogoča povezavo uporabnika z merilno postajo prek strežniške platforme. Aplikacija je lahko mobilna (prilagojena Android ali IOS operativnem sistemu) ali WEB GUI (ang.*Grafic User Interface*), kot je to v našem primeru. Aplikacija omogoča grafično vizualizacijo merjenih veličin v realnem času. Večinoma so rezultati merjenja prikazani

v obliki bar ali line diagrama in table. Za izdelavo web aplikacije so uporabljena standardna delovna okolja (*ang. frameworks*).

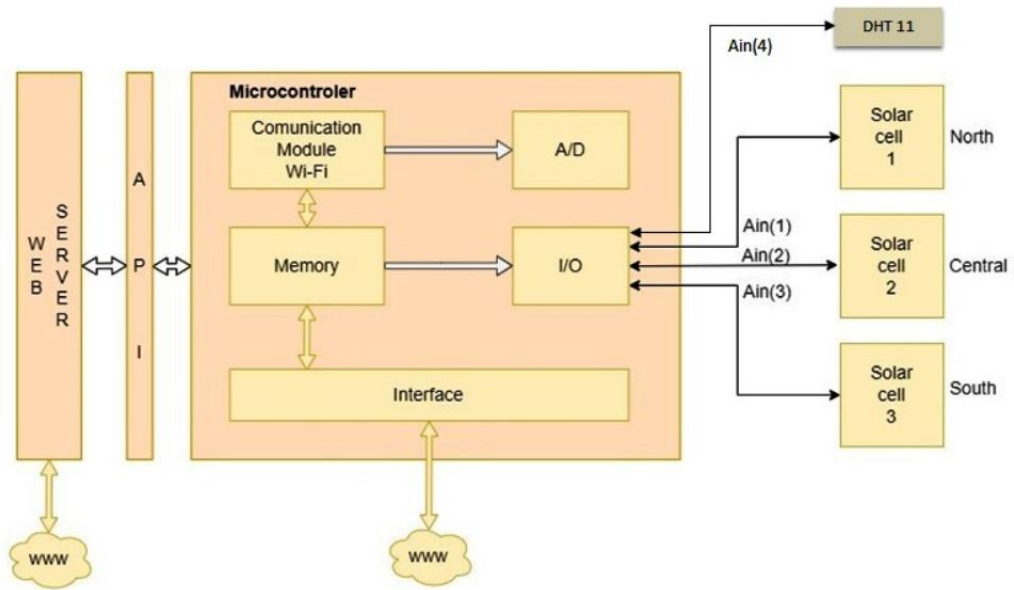
Vsak program, ki operira z podatki in jih shranjuje, potrebuje podatkovno bazo. Merjeni parametri se shranjujejo v SQL bazi podatkov. Podatkovna baza SQL je v splošnem zbirka tabel, ki hrani določen niz strukturiranih podatkov.

Za komunikacijo s *server CLOUD* platformo se uporablja API (*ang. Application Programming Interface*). Generiranje API znaka (ključa) omogoča dostop do merjenih veličin v bazi podatkov.



Slika 4.10: Arhitektura aplikacije [lastni vir]

Slika 4.11 prikazuje arhitekturo celotnega sistema merilne postaje. Na sliki vidimo, kako je mikrokrmilnik preko vhodnih pinov povezan s senzorji in hkrati preko API-ja s strežnikom, kjer shranjuje izmerjene vrednosti senzorjev.



Slika 4.11: Prikaz arhitekture celotnega sistema mobilne postaje [lastni vir]

5 ANALIZA REZULTATOV

5.1 WEB APLIKACIJA

Web aplikacija je zasnovana na način, da v realnem času prikazuje rezultate, ki jih dobimo iz mobilne postaje. Postaja je nastavljena tako, da se meritev izvaja vsakih 30 s. V vsakem trenutku imamo znotraj aplikacije vpogled v zadnjih deset meritev, pri čemer se rezultati osvežujejo vsake pol minute.

Aplikacija je programirana tako, da je pregledna in enostavna za uporabnika. Glede na to, da je zasnovana za osebne potrebe sledenja rezultatov (eksperimentalni namen), je prostora za izboljšave veliko. Čeprav je funkcionalnost, ki jo ponuja web aplikacija v bistvu enaka že obstoječim vremenskim aplikacijam, se grafično ne morejo primerjati.

Rezultati meritev so prikazani v obliki tabel in grafov. Natančneje, po odprtju aplikacije se prikažejo tabele z rezultati in grafi, ki prikazujejo spremembe merjene veličine v zadnjih deset meritvah.

Naslednji dve sliki prikazujeta posnetke zaslona web aplikacije. Na slikah 5.1 in 5.2 vidimo vse razpoložljive podatke o temperaturi in vlažnosti zraka, ki so uporabnikom dostopni znotraj web aplikacije.



Slika 5.1: Prikaz trenutne vrednosti temperature in vlažnosti zraka v web aplikaciji

[lastni vir]

Pregled zadnjih 10 meritev			
Prstna številka	Temperatura zraka [°C]	Vlažnost zraka[%]	Čas odčitavanja
41378	24.80	40.00	2023-08-12 13:46:43
41377	24.80	40.00	2023-08-12 13:46:23
41376	24.80	39.00	2023-08-12 13:45:16
41375	24.80	39.00	2023-08-12 13:44:59
41374	24.80	39.00	2023-08-12 13:43:44
41373	24.80	40.00	2023-08-12 13:43:30
41372	24.80	41.00	2023-08-12 13:43:16
41371	24.80	41.00	2023-08-12 13:42:56
41370	24.90	39.00	2023-08-12 13:41:58
41369	25.30	40.00	2023-08-12 13:40:00

Slika 5.2: Tabelarni prikaz zadnjih 10 meritev temperature in vlažnosti zraka v web

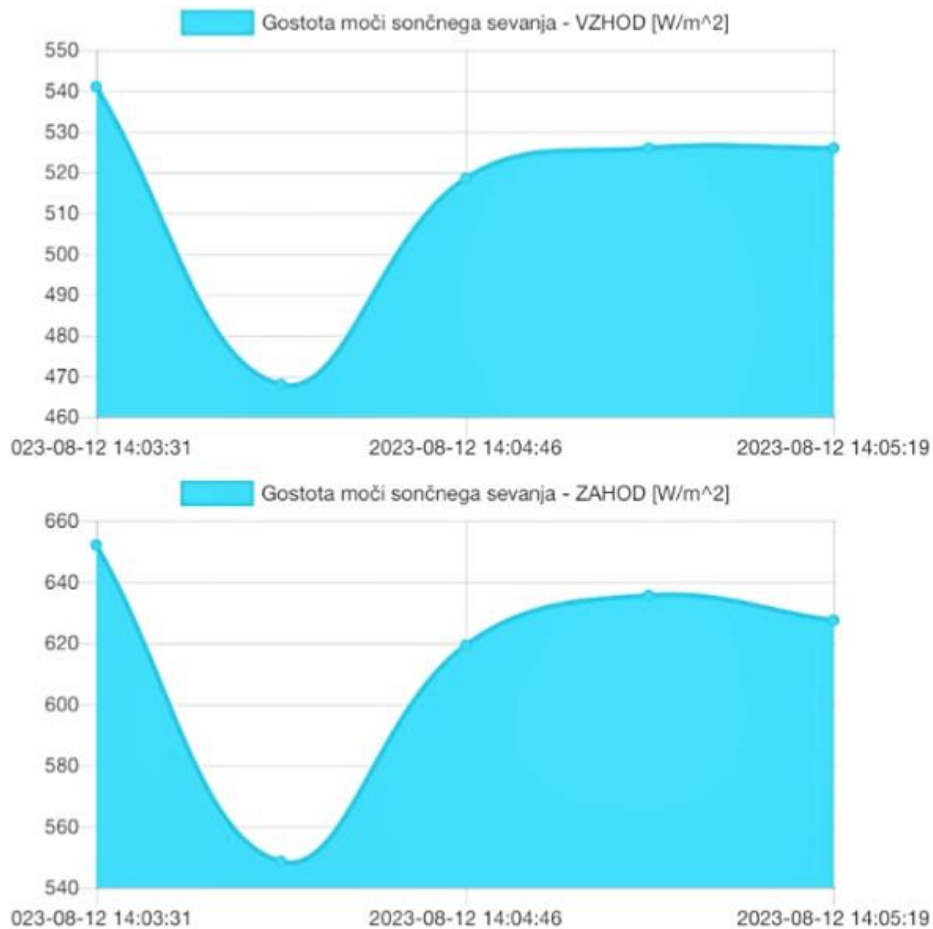
aplikaciji [lastni vir]

Enako kot izmerjene vrednosti temperature in vlažnosti zraka se v realnem času prikazujejo tudi trenutni podatki o sončni obsevanosti. Na naslednji sliki je posnetek zaslona web aplikacije, ki prikazuje tabelo z zadnjimi desetimi meritvami. Kot lahko vidimo na sliki 5.3, so vrednosti gostote moči sončnega sevanja prikazane za vsako celico posebej. V tabeli je prikazana tudi povprečna vrednost gostote moči sončnega sevanja za obe celici.

Pregled zadnjih 10 meritev					
Vrstna številka	Gostota moči sončnega sevanja - JUG [W/m ²]	Gostota moči sončnega sevanja - VZHOD [W/m ²]	Gostota moči sončnega sevanja - ZAHOD [W/m ²]	Povprečna gostota moči sončnega sevanja [W/m ²]	Čas odčitavanja
91972	5.00 V P= 166.67 W/m2	1.41 V P= 525.95 W/m2	1.54 V P= 627.41 W/m2	576.68	2023-08-12 16:05:19
91971	5.00 V P= 166.67 W/m2	1.41 V P= 525.95 W/m2	1.55 V P= 627.41 W/m2	576.68	2023-08-12 16:05:01
91970	5.00 V P= 166.67 W/m2	1.40 V P= 525.95 W/m2	1.53 V P= 627.41 W/m2	576.68	2023-08-12 16:04:46
91969	5.00 V P= 166.67 W/m2	1.33 V P= 525.95 W/m2	1.44 V P= 627.41 W/m2	576.68	2023-08-12 16:04:07
91968	5.00 V P= 166.67 W/m2	1.43 V P= 525.95 W/m2	1.57 V P= 627.41 W/m2	576.68	2023-08-12 16:03:31
91967	5.00 V P= 166.67 W/m2	1.47 V P= 525.95 W/m2	1.62 V P= 627.41 W/m2	576.68	2023-08-12 16:02:30
91966	5.00 V P= 166.67 W/m2	1.26 V P= 525.95 W/m2	1.34 V P= 627.41 W/m2	576.68	2023-08-12 16:01:12
91965	5.00 V P= 166.67 W/m2	1.27 V P= 525.95 W/m2	1.37 V P= 627.41 W/m2	576.68	2023-08-12 16:00:53
91964	5.00 V P= 166.67 W/m2	1.43 V P= 525.95 W/m2	1.57 V P= 627.41 W/m2	576.68	2023-08-12 16:00:13
91963	5.00 V P= 166.67 W/m2	1.47 V P= 525.95 W/m2	1.60 V P= 627.41 W/m2	576.68	2023-08-12 15:59:34

Slika 5.3: Pregled zadnjih 10 meritev sončne obsevanosti v web aplikaciji [lastni vir]

Naslednja slika prikazuje preostalo vsebino aplikacije, v kateri so grafično ponazorjeni rezultati meritev celic.



Slika 5.4: Grafična vizualizacija meritev sončne obsevanosti v web aplikaciji [lastni vir]

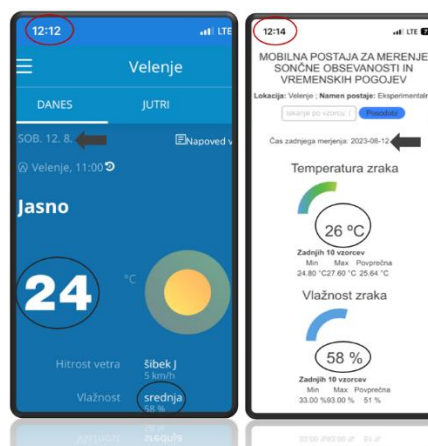
5.2 REZULTATI MERJENJA V DOLOČENEM ČASOVNEM OBDOBJU

Po analizi delovanja sistema smo ugotovili, da je naša postaja primerna za meritve obsevanosti v zmerno sončnih dneh. Gostoto moči sončnega sevanja smo v programu opredelili kot razmerje med močjo in površino sončne celice. Ob upoštevanju podane odvisnosti je največja gostota moči sončnega sevanja, ki bi jo lahko izmerili, neposredno odvisna od najvišje izhodne moči sončne celice. Ker je podatek o izhodni moči sončne celice podan s strani proizvajalca, smo izračunali zgornjo mejo, do katere lahko merita naši celici. Ob upoštevanju njihovih karakteristik se je izkazalo, da sončni celici ne moreta dati podatkov o sončnem obsevanju večjem od 700 W/m^2 . Če vemo,

da se gostota moči sončnega sevanja ob rahlo sončnem dnevu giblje približno od 200 W/m² do 600 W/m², bi delovanje postaje lahko preizkusili pri takšnem vremenu.

Zaradi premajhne izhodne moči glede na površino se je sončni modul izkazal kot neprimeren za merjenje sončne obsevanosti. Merjenje gostote moči sončnega sevanja s pomočjo sončnega modula bi bilo omejeno na maksimalno 166,67 W/m², kar pomeni, da bi modul realne podatke dajal le v zgodnjih jutranjih in poznih večernih urah. Čeprav ga nismo mogli uporabiti kot senzor za merjenje sončnega sevanja, solarni modul zagotovo nekaj prispeva, saj pod vplivom sončnih žarkov proizvaja električni tok, ki se lahko shranjuje v bateriji in nato uporablja za napajanje celotne mobilne postaje. Omenjeni modul bi sicer lahko uporabljali kot senzor, vendar pod drugimi pogoji. Če bi želeli merilno postajo izboljšati, bi morali modul povezati z dodatnim bremenom ali uporabiti močnejše sončne module. Tako bi omogočili večji obseg meritev in bi postaja nemoteno delovala v izmerno sončnih poletnih dneh.

Po daljšem spremljanju delovanja mobilne postaje smo ugotovili, da na naš sistem vpliva veliko dejavnikov. Postaja je pogosto dajala rezultate, zelo podobne realnim vrednostim temperature in vlažnosti zraka (slika 5.5). Zgodilo se je tudi, da so vrednosti odstopale za več kot 20 % od realnih meteoroloških podatkov. Do odstopanj v rezultatih pride zaradi različnih zunanjih vplivov, ki jih ne moremo natančno določiti.

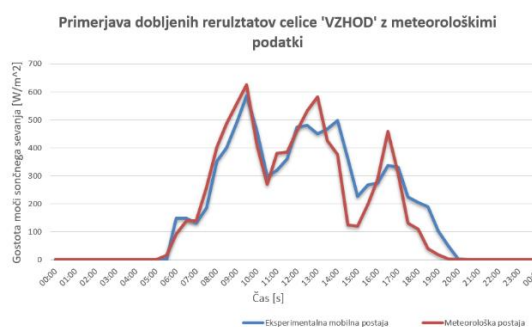


Slika 5.5: Primerjava trenutne temperature in vlažnosti zraka v naši web aplikaciji z uradnimi meteorološkimi podatki [lastni vir]

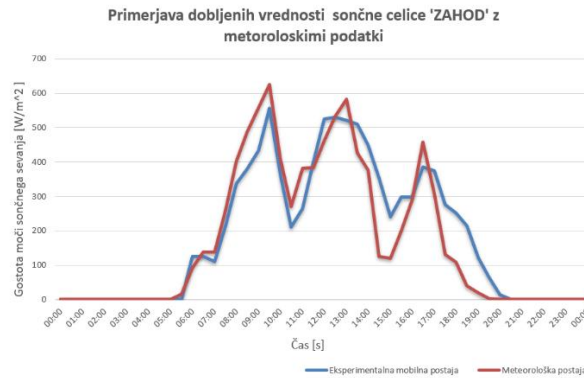
Da bi čim bolj ocenili delovanje merilne postaje, smo jo spremljali 24 ur. Tekom dneva smo opazovali, kako se rezultati v aplikaciji spreminjajo s spremembo vremena. Ugotovili smo, da ima postaja pričakovan odziv na vidne vremenske spremembe. Ko sonce zaide za oblake, vrednosti v kratkem času padejo in obratno. Prav tako so se ob vsakem opazovanem padcu ali dvigu temperature merjene vrednosti na LCD zaslonu spreminjale po pričakovanjih.

Da bi ugotovili, kako zanesljivi so podatki, do katerih smo prišli, smo jih morali primerjati z nekaterimi veljavnimi meritvami. Izmerjene vrednosti gostote moči sončnega sevanja smo primerjali z uradnimi podatki meteoroloških postaj, ki so javno dostopni na internetu [24]. Kot referenčno meteorološko postajo smo izbrali nam najbližjo, ki je imela dostopne podatke o globalni sončni obsevanosti za ta dan.

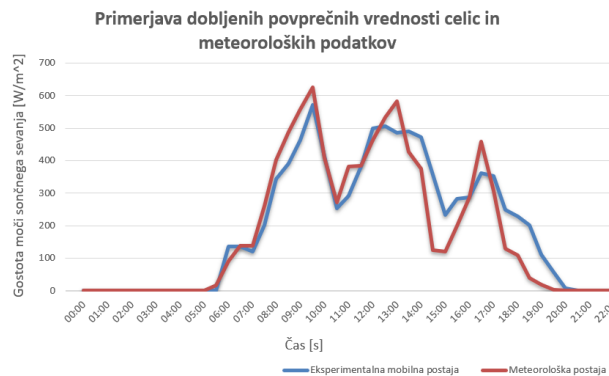
Preko treh grafov smo prikazali primerjavo rezultatov posameznih celic in njihove srednje vrednosti z meteorološkimi podatki. Graf 5.1 prikazuje primerjavo dobljenih rezultatov celice, ki je obrnjena proti vzhodu z uradnimi meteorološkimi podatki. Na grafu 5.2 lahko vidimo primerjavo rezultatov celice, ki je obrnjena proti zahodu z istimi meteorološkimi podatki. Opazili smo, da obe celici dajeta približno enake rezultate čez dan. Nekoliko višje vrednosti zjutraj izmeri celica, ki je obrnjena proti vzhodu, popoldan pa obratno. Glede na to, da razlike niso velike, nam različna postavitev celic ni prinesla dodatnih razkritij. Zato smo iz rezultatov obeh celic izračunali srednjo vrednost, ki predstavlja najbolj smiseln in resničen rezultat (graf 5.3).



Graf 5.1: Graf primerjave referenčnih in pridobljenih rezultatov gostote moči sončnega sevanja iz celice 'VZHOD' [lastni vir]



Graf 5.2: Graf primerjave referenčnih in pridobljenih rezultatov gostote moči sončnega sevanja iz celice 'ZAHOD' [lastni vir]



Graf 5.3: Graf primerjave referenčnih in pridobljenih povprečnih rezultatov gostote moči sončnega sevanja iz obeh celic [lastni vir]

Iz grafov je razvidno, da ujemanje krivulj ni idealno, česar vsekakor nismo pričakovali. Odstopanje naših rezultatov od meteoroloških podatkov je v sprejemljivih mejah glede na metodo merjenja in razmere, v katerih je bila meritev opravljena. Zato moramo pri oceni učinkovitosti mobilne postaje upoštevati določene moteče dejavnike.

Pomembno je poudariti, da naša mobilna postaja in instrumenti, s katerim merijo meteorološke postaje, niso na isti lokaciji, kar zagotovo vpliva na veljavnost naših rezultatov. Upoštevati moramo tudi to, da je celotna mobilna postaja izdelana z najcenejšo možno opremo in da kot orodje uporablja alternativno merilno metodo, medtem ko meteorološka postaja uporablja specializirane naprave za merjenje sončne obsevanosti. Piranometri, ki natančno merijo sončno obsevanje, so zasnovani tako, da

pritegnejo čim več sončnih žarkov. Celice nimajo absorberjev za boljšo absorpcijo sončnega sevanja. Meritev sončne obsevanosti sploh ni njihova osnovna funkcija in zato moramo upoštevati njihovo nenatančnost pri merjenju.

Če se ozremo na omenjene moteče dejavnike, ki so vplivali na natančnost in zanesljivost naših podatkov, lahko sklepamo, da smo kot rezultat dobili vsaj približno enako karakteristiko dnevnega sončnega obsevanja.

Merilna postaja je namenjena merjenju trenutnih vrednosti sončnega obsevanja in vremenskih razmer ter spremljanju teh v realnem času prek spletne aplikacije. S pomočjo sodobnih tehnik napovedovanja in izboljšav bi lahko v prihodnje razširili področje uporabe mobilne postaje. Statična analiza, ki vključuje izračun statičnih parametrov, bi omogočila boljšo oceno natančnosti in zanesljivosti meritev. Analiza trendov bi lahko pomagala pri razumevanju dolgoročnih sprememb v sončnem sevanju in vremenskih razmerah, kar bi postaji dalo dodatno uporabno funkcijo.

6 ZAKLJUČEK

Diplomsko delo obravnava izdelavo in analizo mobilne postaje za merjenje sončne obsevanosti in atmosferskih pogojev. Za izdelavo smo uporabljali metodo eksperimentalnega oblikovanja in razvoja. S pomočjo Arduino programskega okolja, mikrokontrolerja ter različnih senzorjev smo pridobili podatke o vremenskih razmerah in sončni obsevanosti. Metoda merjenja sončne obsevanosti temelji na pretvorbi sončne energije v električno energijo s sončno celico in nato na merjenje napetosti sončne celice. Iz napetosti smo izračunali moč sončne celice, iz katere smo določili gostoto moči sončnega sevanja.

Za lažje spremljanje in analizo rezultatov smo ustvarili preprosto spletno aplikacijo. Temelji na enostavnem programskem jeziku in uporabnikom omogoča dostop do merjenih veličin kadarkoli in kjerkoli. Za naše potrebe se je aplikacija izkazala kot funkcionalna. Če bi želeli mobilno postajo nadgraditi in jo uporabiti še za druge namene, ne samo eksperimentalne, bi morali izboljšati tudi aplikacijo. Največ izboljšav bi lahko naredili na področju grafike, s čimer bi pridobili na komercialnosti aplikacije.

Če bi bila postaja skupaj z aplikacijo bolj komercialna in še bolj prilagojena potrebam uporabnika, bi imela praktično uporabo na različnih področjih delovanja. Pod ustreznimi pogoji bi postajo lahko uporabili za ocenjevanje potenciala za proizvodnjo sončne energije na določeni lokaciji in postavitve PV elektrarn ter za njihovo optimizacijo. Poleg tega bi lahko ocenjevali primernost lokacij za postavitve drugih mobilnih postaj za merjenje različnih parametrov. Glede na to, da se vse mobilne postaje napajajo s solarnimi ali fotonapetostnimi paneli, bi z našo postajo lahko

ugotovili, ali je določena lokacija dovolj izpostavljena sončnemu obsevanju, da bi delovanje drugih mobilnih postaj na njej bilo nemoteno.

Ob primerjavi rezultatov naše mobilne postaje z meteorološko postajo smo ugotovili, da je celoten postopek uspešno izveden. Glede na delovne pogoje in moteče dejavnike, ki so vplivali na meritev, smo pridobili optimalne vrednosti merjenih parametrov. Končni rezultat diplomskega dela je funkcionalna mobilna postaja za pridobivanje dovolj zanesljivih podatkov o sončnem sevanju in vremenskih razmerah ter praktična spletna aplikacija za njihovo spremljanje. Ker je končni produkt diplomske naloge delujoč izdelek v praksi, lahko našo raziskavo ocenimo kot zelo uspešno.

Enako kot vsak eksperimentalno ustvarjen sistem, ima tudi ta določene pomanjkljivosti. Postaja je zasnovana kot mobilna, tako da lahko samostojno deluje v naravi. Ker ima ESP32 vgrajen komunikacijski Wi-Fi modul, je bilo najenostavneje uporabiti Wi-Fi povezavo za prenos podatkov. Vendar, ta način merjenja ni najbolj idealen za odprt teren, saj moramo s seboj imeti Wi-Fi usmerjevalnik in ojačevalnike signala. Zaradi vseprisotnosti mobilnega omrežja tudi v nenaseljenih območjih bi uporaba dodatnega GSM modula bila veliko boljša rešitev.

Ena izmed izboljšav bi lahko bila uporaba močnejših celic in modulov. Celice in moduli z višjo maksimalno izhodno močjo lahko proizvedejo višje napetosti, na podlagi katerih naknadno preračunavamo gostoto moči sončnega sevanja. Njihova implementacija v sistem bi omogočila večji obseg meritev in lahko bi zabeležili najvišje možne vrednosti sončnega obsevanja.

Mobilna postaja je primerna za nadaljnje raziskave z namenom povečanja natančnosti in zanesljivosti meritev. Izboljšanje bi lahko potekalo v smeri razširitve nabora senzorjev in s tem merjenih parametrov. Poleg tega bi lahko aplikacijo nadgradili z naprednimi funkcijami, s katerimi bi bila primerna za množično uporabo. Poleg videza spletne aplikacije je možno izboljšati tudi njeno funkcionalnost. Zelo koristna izboljšava

bi bila uvedba možnosti, da lahko uporabnik prek spletne aplikacije samodejno vključuje nove senzorje v sistem.

Z uspehom eksperimentalnega dela diplomske naloge smo pokazali, da je s skromnim znanjem s področja informacijske tehnologije, a zahvaljujoč dostopnosti informacij na internetu, mogoče izdelati funkcionalno in uporabno postajo. Sam proizvodni proces je prinesel veliko novih informacij in znanj tudi na področjih izven energetike, ki bodo zelo koristni pri nadaljnjem osebnem razvoju in delu.

VIRI IN LITERATURA

- [1] MeteorologijaenRdeča, [Elektronski]. Available: <https://www.meteorologiaenred.com/sl/>. [Poskus dostopa 10. 4. 2023].
- [2] D. Pret, *Predavanje 6* [Elektronski]. Available: http://lrtme.fe.uni-lj.si/lrtme/slo/UNIVSS/daja_pret/PREDAVANJE_6_Merjenje%20temperature_1del.pdf. [Poskus dostopa 10. 4. 2023].
- [3] Rovex inženjering d.o.o., *Relativna vlažnost OSNOVNO*, [Elektronski]. Available: <https://www.rovex.rs/relativna-vlaznost-osnovno..> [Poskus dostopa 12. 4. 2023].
- [4] J. Perovnik in I. Bajsić, *Pregled metod merjenja vlažnosti zraka*, 1993. [Elektronski]. Available: https://www.svjme.eu/?ns_articles_pdf=/ns_articles/files/ojs3/597/submission/597-1-2543-1-2-20171107.pdf&id=4000.. [Poskus dostopa 11. 4. 2023].
- [5] S. Seme, *Zapiski pri predmetu Fotonapetostni sistemi*.
- [6] B. Cvikel, *Jedrski energetski sistemi z uvodom v stacionarno fiziko reaktorjev*, 2009.
- [7] A. Blinc, *Elektromagnetna sevanja in njihovi učinki na telo*, (7. 1. 2015). [Elektronski]. Available: <https://zasrce.si/clanek/elektromagnetna-sevanja-in-njihovi-ucinki-na-telo/>. [Poskus dostopa 1. 6. 2023].
- [8] Hukseflux Thermal Sensors, *What is a pyranometer?*, (2006). [Elektronski]. Available: <https://www.hukseflux.com/applications/solar-energy-pv-system-performance-monitoring/what-is-a-pyranometer>. [Poskus dostopa 13. 4. 2023].
- [9] NRG Systems, *NRG R1 Pyranometer*, (2023). [Elektronski]. Available: <https://www.nrgsystems.com/products/solar-met-sensors/detail/nrg-r1-pyranometer/>. [Poskus dostopa 21. 5. 2023].

- [10] PV portal, *Sončno sevanje*, [Elektronski]. Available: <http://pv.fe.uni-lj.si/sl/fotovoltaika/soncno-sevanje/>. [Poskus dostopa 25. 4. 2023].
- [11] CircuitSchools Staff, *What is ESP32, how it works and what you can do with ESP32?*, (11. 1. 2022). [Elektronski]. Available: <https://www.circuitschools.com/what-is-esp32-how-it-works-and-what-you-can-do-with-esp32/>. [Poskus dostopa 2. 6. 2023].
- [12] AZ-Delivery, *ESP32 NODEMCU Module WiFi Development Board with CP2102 (successor model for the ESP8266) Compatible with Arduino*, [Elektronski]. Available: <https://www.az-delivery.de/en/products/esp32-developmentboard>. [Poskus dostopa 10. 6. 2023].
- [13] F. Koyanagi, *ESP32: Internal Details and Pinout*, (6. 3. 2018). [Elektronski]. Available: <https://www.instructables.com/ESP32-Internal-Details-and-Pinout/>. [Poskus dostopa 20. 5. 2023].
- [14] Espressif Systems, *ESP32 Series*, (2023). [Elektronski]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. [Poskus dostopa 20. 5. 2023].
- [15] Arduino, *Arduino Integrated Development Environment (IDE) v1*, [Elektronski]. Available: <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics>. [Poskus dostopa 10. 6. 2023].
- [16] *DHT11 Humidity & Temperature Sensor*, [Elektronski]. Available: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>. [Poskus dostopa 20. 5. 2023].
- [17] Components101, *DHT11–Temperature and Humidity Sensor*, (16. 7. 2021). [Elektronski]. Available: <https://components101.com/sensors/dht11-temperature-sensor>. [Poskus dostopa 12. 6. 2023].
- [18] AliExpress, *10pcs DHT11 Module Digital Temperature and Humidity Sensor Electronic Building Blocks 3.3V-5V with Wires*, [Elektronski]. Available: <https://www.aliexpress.us/item/1005004633501285.html?gatewayAdapt=4itemAdapt..> [Poskus dostopa 12. 6. 2023].

- [19] (2023). [Elektronski]. Available: <https://moonelectronicssbd.com/shop/display/16x2-display-module/>. [Poskus dostopa 22. 6. 2023].
- [20] E. Odunlade, *USING A 16x2 I2C LCD DISPLAY WITH ESP32*, [Elektronski]. Available: <https://www.electronics-lab.com/project/using-16x2-i2c-lcd-display-esp32/>. [Poskus dostopa 20. 5. 2023].
- [21] Nevtron & Company d.o.o., *Kako delujejo sončne celice*, (6. 8. 2013). [Elektronski]. Available: <https://www.mojprihranek.si/energija-in-okolje/proizvodnja-energije/kako-delujejo-soncne-panele/?cn-reloaded=1>. [Poskus dostopa 14. 4. 2023].
- [22] Eurodiskont, *Svinčeni akumulator SLA 12V 5AH*, [Elektronski]. Available: <https://www.eurodiskont.net/izdelek/svinceni-akumulator-sla-12v-5ah/>. [Poskus dostopa 11 07 2023].
- [23] Elektorstore, *USB Solar Panel Battery Regulator Charge Intelligent Controller (12/24 V, 10 A)*, [Elektronski]. Available: <https://www.elektor.com/usb-solar-panel-battery-regulator-charge-intelligent-controller-12-24-v-10-a>. [Poskus dostopa 1. 7. 2023].
- [24] ARSO, *Arhiv*, [Elektronski]. Available: <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/>. [Poskus dostopa 12. 6. 2023].