

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Leon Tuček

Zagreb, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:  
Prof. dr. sc. Mladen Crneković dipl. ing.

Student:  
Leon Tuček

Zagreb, 2021.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

*Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Mladenu Crnekoviću na prihvaćanju mentorstva, ljubaznosti i stručnoj pomoći ukazanoj prilikom izrade rada. Također zahvaljujem svojoj majci za podršku tijekom čitavog preddiplomskog studija te mojim prijateljima jer su mi uljepšali moje studentske dane.*

Leon Tuček



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 21 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 21 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **LEON TUČEK** Mat. br.: 0035216759

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **METEOROLOŠKI BALON ZA PRIKUPLJANJE PODATAKA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **METEOROLOGICAL BALLOON FOR DATA COLLECTION**

Opis zadatka:

Meteorološki baloni za prikupljanje podataka najjeftiniji su način mjerenja meteoroloških parametara na velikim visinama. Napune se vodikom ili helijem, a sila uzgona ih podiže u visinu. Zbog pada tlaka s visinom, balon postaje sve veći, a između 20 i 30 kilometara visine pukne, pa se mjerni instrumenti vrte padobranom. Potrebno je projektirati sustav prikupljanja, pohrane i slanja meteoroloških informacija.

U radu je potrebno:

- odabrati potrebne senzore,
- odabrati sustav za pohranu i prijenos prikupljenih informacija,
- odabrati potreban kontroler i projektirati tiskanu pločicu,
- napisati dijagram tijeka za upravljanje procesom,
- procijeniti vrijednost uređaja.

Potrebno je navesti korištenu literaturu i ostale izvore informacija, te eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:  
30. studenoga 2020.

Datum predaje rada:  
**1. rok:** 18. veljače 2021.  
**2. rok (izvanredni):** 5. srpnja 2021.  
**3. rok:** 23. rujna 2021.

Predviđeni datumi obrane:  
**1. rok:** 22.2. – 26.2.2021.  
**2. rok (izvanredni):** 9.7.2021.  
**3. rok:** 27.9. – 1.10.2021.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Mladen Crneković

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

---

---

**SADRŽAJ**

<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>7</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>8</b>
<b>POPIS OZNAKA .....</b>	<b>9</b>
<b>SAŽETAK .....</b>	<b>10</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>11</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>12</b>
<b>2. OPĆENITO O METEOROLOŠKIH BALONIMA .....</b>	<b>13</b>
2.1. VRSTE METEOROLOŠKIH BALONA .....	13
2.1.1. Pilot balon.....	13
2.1.2. Radiosondažni balon.....	14
2.1.3. Transonda .....	15
2.2. PUNJENJE BALONA PLINOM .....	17
2.3. PRORAČUN SILA NA BALON .....	17
2.3.1. Maksimalna masa tereta .....	18
2.3.2. Maksimalna visina prije pucnja balona.....	18
<b>3. PROJEKTIRANJE TISKANE PLOČICE.....</b>	<b>20</b>
3.1. STRUKTURA UREĐAJA .....	20
3.1.1. Unutarnja tiskana pločica.....	21
3.1.2. Vanjska tiskana pločica .....	23
3.2. ODABIR MIKROKONTROLERA .....	25
3.3. ODABIR SENZORA.....	26
3.3.1. Senzor temperature .....	26
3.3.2. Senzor relativne vlage zraka .....	27
3.3.3. Senzor apsolutnog tlaka zraka .....	28
3.3.4. Senzor ultraljubičastog zračenja .....	29
3.3.5. Senzor ugljikovog dioksida .....	30
3.4. ODABIR OSTALIH ELEKTRONIČKIH KOMPONENTI.....	32
3.4.1. GPS modul .....	33
3.4.2. LoRaWAN modul .....	34
3.4.3. Modul za SD karticu .....	35

---

---

3.5. ELEKTRIČNA SHEMA TISKANIH PLOČICA .....	36
3.5.1. <i>Unutarnje tiskana pločica</i> .....	37
3.5.2. <i>Vanjska tiskana pločica</i> .....	39
3.6. DIJAGRAM TIJEKA .....	41
3.7. PROGRAMSKI KOD.....	44
3.8. PROCIJENJENA VRIJEDNOST UREĐAJA.....	51
<b>4. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>53</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>54</b>

---

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Pilot balon.....	13
Slika 2. Radiosondažni balon.....	14
Slika 3. Transonda .....	15
Slika 4. Rockoon balon i raketa .....	16
Slika 5. Shema sila na balon u letu .....	17
Slika 6. Proračunata gustoća zraka po JB2008 i NRLMSISE00 modelima u odnosu na nadmorsku visinu .....	19
Slika 7. Skica spajanja uređaja s ostalom potrebnom opremom.....	20
Slika 8. Mikrokontroler Attiny3216 .....	25
Slika 9. Senzor temperature DS18B20 .....	26
Slika 10. Senzor relativne vlage zraka DHT22.....	27
Slika 11. Statička karakteristika senzora SSCDANN010BAAA3 .....	28
Slika 12. Senzor apsolutnog tlaka zraka SSCDANN010BAAA3 .....	28
Slika 13. Senzor ultraljubičastog zračenja ML8511 .....	29
Slika 14. Statička karakteristika senzora ML8511 .....	30
Slika 15. Senzor ugljikovog dioksida MG811 .....	31
Slika 16. Shema spajanja senzora MG811, pojačala i filtera visokih frekvencija.....	32
Slika 17. NEO-M8 modul .....	33
Slika 18. RN2483 LoRaWAN modul .....	34
Slika 19. Držać SD kartice.....	35
Slika 20. Unutarnja tiskana pločica .....	38
Slika 21. Vanjska tiskana pločica .....	40

---

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Tehničke karakteristike senzora temperature DS1820 .....	26
Tablica 2. Tehničke karakteristike senzor relativne vlage zraka DHT22 .....	27
Tablica 3. Tehničke karakteristike senzora apsolutnog tlaka zraka SSCDANN010BAAA3.....	29
Tablica 4. Tehničke karakteristike senzora ultraljubičastog zračenja ML8511 .....	29
Tablica 5. Tehničke karakteristike senzora ugljikovog dioksida MG811 .....	31
Tablica 6. Tehničke karakteristike NEO-M8 GPS modula .....	33
Tablica 7. Tehničke karakteristike RN2483 LoRaWAN modula .....	34
Tablica 8. Tehničke karakteristike SD kartice .....	35
Tablica 9. Cijena elektroničkih komponenti .....	51



---

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$F$	$N$	sila
$m$	$kg$	masa
$g$	$\frac{m}{s^2}$	gravitacijsko ubrzanje
$G$	$N$	težina
$\rho$	$\frac{kg}{m^3}$	gustoća
$P$	$mils^2$	površina
$W$	$mils$	širina

---

## SAŽETAK

U radu je prikazan razvoj uređaja za prikupljanje meteoroloških podataka uz pomoć meteorološkog balona.

Razvoj uređaja za prikupljanje podataka zahtjeva odabir potrebnih senzora, mikrokontrolera te projektiranje tiskane pločice. Mikrokontroler prima podatke od svih senzora te očitane podatke obrađuje, sprema lokalno na SD karticu i šalje natrag prema Zemlji uz pomoć LoRaWAN prijemnika. Zahvaljujući široko rasprostranjenoj LoRaWAN mreži od organizacije *The Things Network* koja sarži preko 21600 prijemnika diljem Zemlje uređaj može odašiljati podatke neovisno o lokaciji na kojoj je pušten te će vrlo vjerojatno jedan od 21600 LoRaWAN radioprijemnika u mreži *The Things Networka* zaprimiti signal, tj. zaprimanje podataka se izvršava preko drugih LoRaWAN radioprijemnika te se time izbjegava izrada uređaja za zaprimanje signala radi toga je i sama cijena uređaja manja.

Zbog pada tlaka dolazi do rasta volumena balona te na visinama između 20 i 30 kilometara balon puca te uređaj pada na tlo. Kako bi se uređaj mogao ponovno upotrijebiti važno je osigurati mogućnost lociranja uređaja nakon pada.

Iako su Meteorološki baloni za prikupljanje podataka najjeftiniji način mjerenja meteoroloških parametara u visokim slojevima atmosfere i dalje je važno osigurati što nižu cijenu uređaja, pogotovo kada postoji mogućnost da uređaj nikada neće biti pronađen nakon pada balona.

Ključne riječi:

Meteorološki balon, meteorologija, LoRa, mikrokontroler, tiskana pločica, GPS

## SUMMARY

This thesis presents the development of a device for collecting meteorological data with the help of a weather balloon.

The development of the concept requires selection of the necessary sensors, microcontroller, and the design of a printed circuit board.

The microcontroller receives data from all sensors normalizes the read data, saves it locally on the SD card, and sends it back to the Earth using a LoRaWAN transmitter. Thanks to the widespread LoRaWAN network from *The Things Network* organization which contains over 21600 receivers across the Earth, the device can be deployed anywhere in the world and one of the 21600 LoRaWAN receivers in *The Things Network* will most likely receive the data. Data reception is done via other LoRaWAN radios thus avoiding the need to designing a ground reception station, therefore, making the device price lower.

Due to a pressure drop, volume of the balloon increases, and at altitudes between 20 and 30 kilometers, the balloon bursts, and the device falls to the ground. In order for the device to be reusable, it is important to ensure that the device can be located after a fall.

Although weather balloons are the cheapest way to measure and collect meteorological data in the upper atmosphere layer it is still important to ensure the lowest possible cost of the device, especially when there is a possibility that the device will be never found after it falls back to Earth.

Keywords:

Weather balloon, meteorology, LoRa, microcontroller, printed circuit board, GPS

## 1. UVOD

Meteorologija je znanost o Zemljinoj atmosferi i promjenama u njoj, spada u granu geofizike te se može svrstati u više disciplina. Dinamička meteorologija bavi se istraživanjem i zakonitostima atmosferskih procesa, prognozom vremena sinoptička meteorologija, stanjem atmosfere i klimom klimatologija. Ključnu ulogu u svim granama meteorologije imaju prikupljeni podaci dobiveni raznim načinima mjerenja. Mjerenje podataka na površini Zemlje je relativno jeftino i jednostavno izvedivo. S razvojem elektronike mjerenje na tlu postalo je još lakše jer ga je moguće automatizirati te jeftinije jer više ne postoji potreba za ljudima koji su prije očitavali i bilježili mjerenja.

Mjerenja podataka iznad površine Zemlje je vrlo skup proces te se u većini slučaja obavlja uz pomoć umjetnih Zemljinih satelita za mjerenje podataka koji se nazivaju meteorološki sateliti. Dva su osnovna tipa meteoroloških satelita, geostacionarni te sateliti s polarnom putanjom. Geostacionarni sateliti orbitiraju na visini od približno 36000 kilometara te su cijelo vrijeme iznad iste lokacije na Zemlji. Drugi tip meteoroloških satelita su sateliti s polarnom putanjom nagnutom pod kutom od približno  $60^\circ$  prema ekvatoru, orbitiraju na visini od 800 do 1000 kilometara.

Jeftinija alternativa sakupljanja podataka u viskom slojevima atmosfere su meteorološki baloni. Sastoje se od balon izrađenog od gume otporne na nisku temperaturu i ultraljubičasto zračenje. Balon se puni vodikom ili helijem te se uzdiže u zrak zajedno s mjernim uređajima. Upotreba meteoroloških balona započela je 1896. godine od strane francuskog meteorologa imena Léon Teisserenc de Bort. Iako su meteorološki baloni izumljeni prije više od 125 godina mjesta za njihov napredak ima na pretek te s daljnim razvojem elektronike otvaraju se nove mogućnosti u razvoju meteoroloških balona.

U ovom završnom radu cilj je prikazati projektiranje relativno jeftinog uređaja za prikupljanje meteoroloških podataka uz pomoć meteorološkog balona, kako bi se sam uređaj mogao rekreirati u što većem broju i time sakupiti što je više moguće mjernih podataka važno je prilikom izrade uređaja voditi računa o cijeni istog.

## 2. OPĆENITO O METEOROLOŠKIH BALONIMA

### 2.1. Vrste meteoroloških balona

Prije samog puštanja meteorološkog balona potrebno se odlučiti za vrstu balona koja će biti upotrijebljena. Postoje više vrsta balona kao što su pilot balon, radiosondažni balon, transonda i rockoon. U ovom radu obrađivat ćemo projektiranje uređaja za prikupljanje, obradu i slanje podataka koji bi se koristio u radiosondažnim balonima. Također ovakav uređaj bi se mogao upotrebiti i na raketama u rockoon vrstama balona.

#### 2.1.1. Pilot balon

Pilot baloni spadaju pod manje vrste balona, imaju masu 5 do 10 grama te ne nose instrumente. Samo prikupljanje podataka vrši se na način da se balon promatra sa tla. Pušta se pri slabom vjetru i slaboj oborini, a promatra se sve dok ne nestane u oblacima.



Slika 1. Pilot balon

### 2.1.2. Radiosondažni balon

Radiosondažni balon spada pod veće balone, izrađen je od neprena koji je otporan na niske temperature te na ultraljubičasto zračenje. Kao teret nosi radiosondu, odnosno uređaj za prikupljanje i slanje podataka. Promjer napunjenog balon na tlu je oko 2 do 3 metra, a na velikim visinama dosegne čak 12 metara. Radiosonažna mjerenje provode se nekoliko puta dnevno te se instrumenti uzdignuti s balonom obično gube. Iako je radiosonažno mjerenje puno jeftinije od izrade, održavanja i lansiranja meteorološkog satelita ono je i dalje skupo zbog gubitka mjernih instrumenata.



Slika 2. Radiosondažni balon

### 2.1.3. Transonda

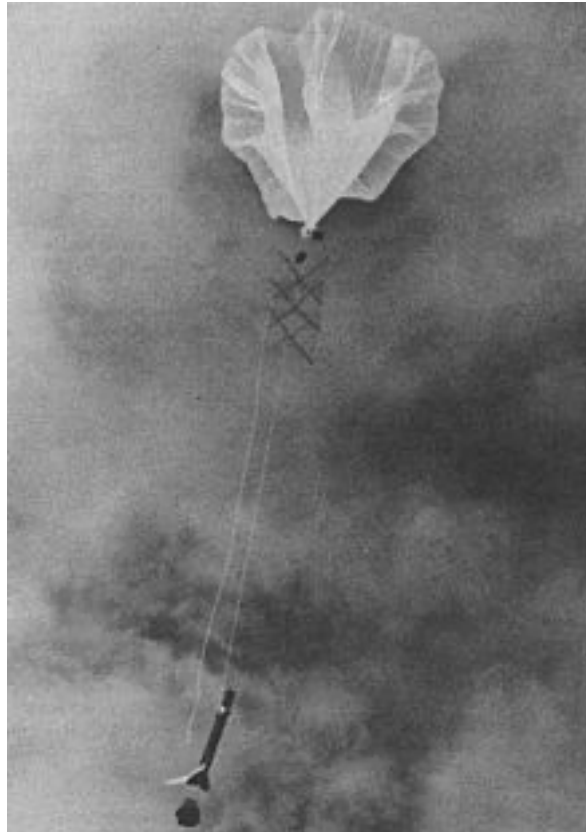
Transonda je balon namijenjen dugotrajnom prikupljanju podataka. Uzdiže se na visinu do 8000 kilometara te se zadržava na stalnoj nadmorskoj visini. Koristi se za proučavanje općeg atmosferskog strujanja te može prevaliti vrlo velike udaljenosti. Prikupljeni podaci se prenose preko satelita ili ih primaju zemaljske stanice.



Slika 3. Transonda

#### 2.1.4. Rockoon

Naziv ove vrste balona dolazi od spajanja dviju engleskih riječi, rocket (raketa) i balloon (balon). Rockoon je veliki balon koji kao teret nosi malu raketu. Mala raketa sadrži meteorološke instrumente za mjerenje podataka. Na visini koja je nešto niža od visine pucanja balona prema atmosferi se ispaljuje mala raketa koja tokom svoga leta kontinuirano prikuplja podatke te ih šalje natrag na Zemlju.



Slika 4. Rockoon balon i raketa

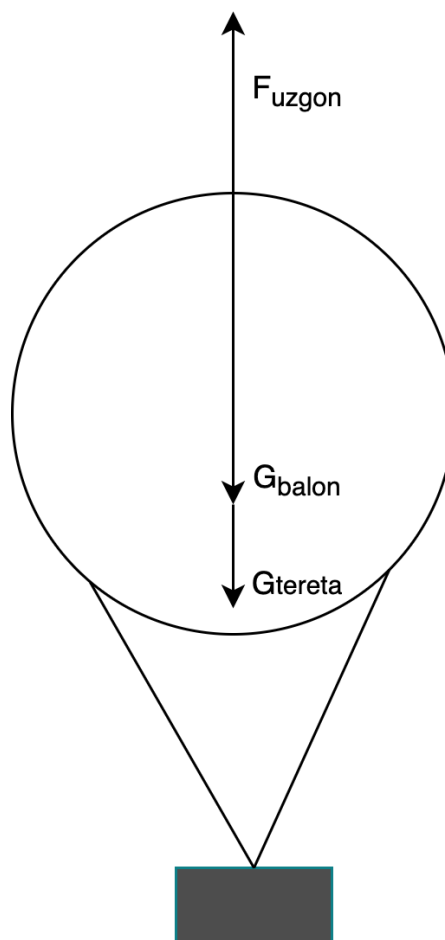


## 2.2. Punjenje balona plinom

Kako bi se balon uzdigao prema atmosferi puni se plinom manje gustoće od zraka. Najčešći odabir plina je helij. Helij je plemeniti plin te je u načelu gotovo potpuno neutralan, od svih plinova najteže ukapljiv. Iako je helij teži od vodika gustoća mu je samo dva puta veća jer se atomi helija ne vezuju u molekule. Zbog svoje male gustoće jednom kada helij iscure u atmosferu odlazi prema visokim slojevima atmosfere i na kraju završava u svemiru. Zbog toga postoji opasnost kako bi u sljedećih 25 do 30 godina mogli ostati bez helija. Također litra helija u prosijeku košta od 52,5 do 75 HRK, dok litra vodika od 1,13 do 2,03 HRK. Iz svih prije navedenih razloga preporučena je upotreba vodika kao plina za punjenje balona.

## 2.3. Proračun sila na balon

Na balon djeluje sila uzgona koja ga podiže prema visokim slojevima atmosfere, a suprotstavlja joj se težina balona i težina tereta uz pretpostavku zanemarivanja otpora zraka.



Slika 5. Shema sila na balon u letu

### 2.3.1. Maksimalna masa tereta

Ukoliko izjednačimo sve sile koje djeluju po vertikalnoj osi balona možemo izračunati maksimalnu dopuštenu masu tereta.

$$F_{uzgon} = \rho_{zraka} g V_{balona} \quad (1.1)$$

Gdje je  $V_{balona}$  volumen balona na tlu,  $\rho_{zraka}$  gustoća zraka na tlu te  $V_{vodika}$  volumen vodika koji se nalazi u balonu na tlu te je jednak  $V_{balona}$ .

$$G_{balon} = m_{vodika} g \quad (1.2)$$

$$G_{tereta} = m_{tereta} g \quad (1.3)$$

$$\sum F_v = 0 \quad (1.4)$$

$$G_{balona} + G_{tereta} = F_{uzgon} \quad (1.5)$$

$$m_{vodika} g + m_{tereta} g = \rho_{zraka} g V_{balona} \quad (1.6)$$

$$\rho_{vodika} = \frac{m_{vodika}}{V_{vodika}} \rightarrow m_{vodika} = V_{vodika} \rho_{vodika} \quad (1.7)$$

$$V_{vodika} \rho_{vodika} g + m_{tereta} g = \rho_{zraka} g V_{balona} \quad (1.8)$$

$$m_{tereta} = V_{balona} (\rho_{zraka} - \rho_{vodika}) \quad (1.9)$$

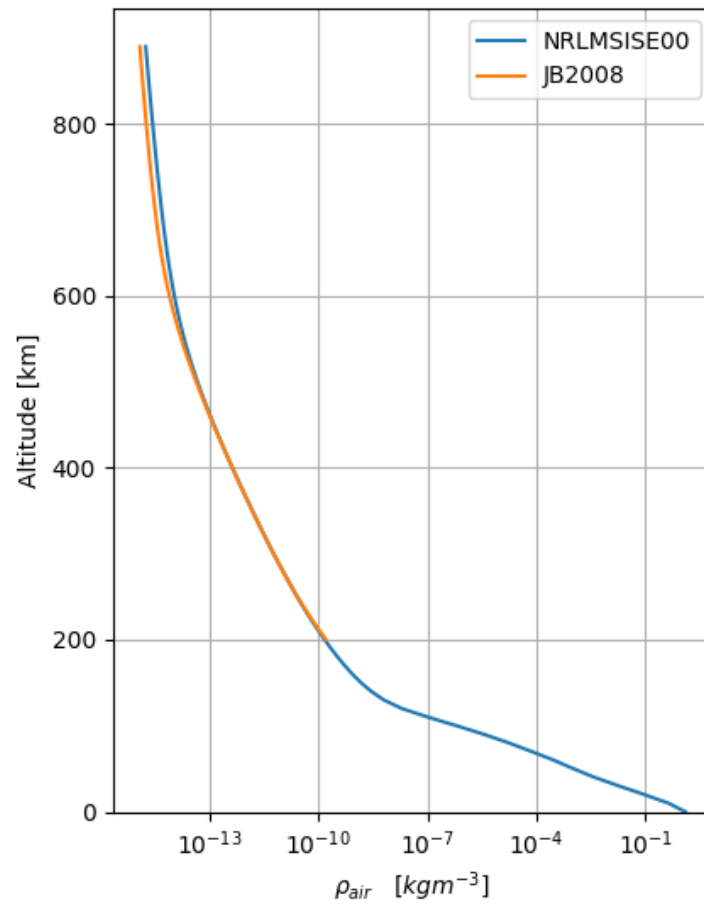
Kao što je vidljivo iz izraza (1.9) maksimalna masa tereta ovisi samo o volumenu balona na tlu no prilikom izračuna maksimalne mase valja voditi računa o padu tlaka s porastom visine, tj. o rastu volumena balon i njegovom pucanju.

### 2.3.2. Maksimalna visina prije pucanja balona

Proizvođači balona pružaju podatak o maksimalnom volumenu balona prije pucanja ( $V_{pucanja}$ ) te uz pomoć njega, mase vodika u balonu i mase tereta možemo približno izračunati gustoću zraka koja okružuje balon pri pucanju.

$$\rho_{zraka} = \frac{m_{tereta} + m_{vodika}}{V_{pucanja}} \quad (2.1)$$

S obzirom da je poznata gustoća zraka u ovisnosti o visini možemo približno odrediti visinu pucanja balona.

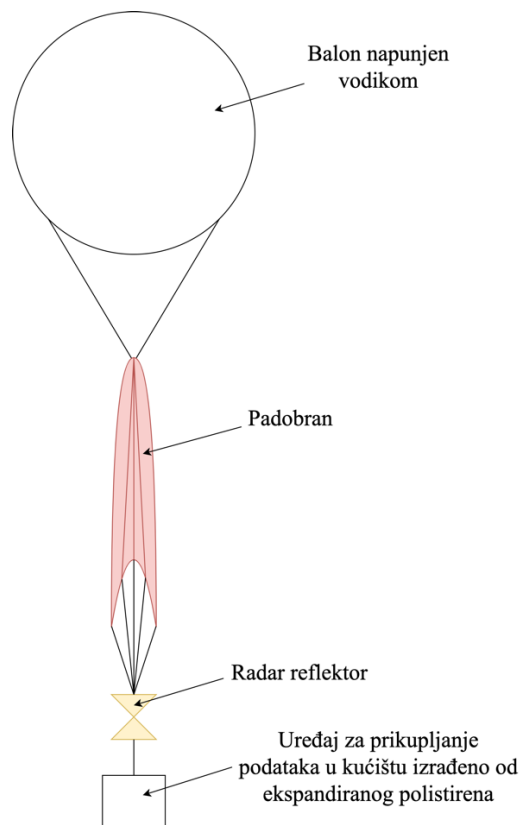


Slika 6. Proračunata gustoća zraka po JB2008 i NRLMSISE00 modelima u odnosu na nadmorsku visinu

### 3. PROJEKTIRANJE TISKANE PLOČICE

#### 3.1. Struktura uređaja

Sam uređaj sastoji se od dvije tiskane pločice, vanjske i unutarnje. Takva raspodjela napravljena je iz razloga jer se uređaj koristi u teškim radnim uvjetima te je grubim uvjetima stratosfere izložen samo nužan dio uređaja dok je ostatak zaštićen u kućištu. Zbog mogućnosti oborina te kondenzacije vode obje tiskane pločice moraju biti vodootporne. Također svi spojevi na tiskanim pločicama i vodiči koji se spajaju na iste kao i njihovi spojevi moraju biti vodootporni. Prilikom projektiranja tiskanih pločica važno je voditi računa o teškim radnim uvjetima stratosfere te pogotovo o vrlo niskim radnim temperaturama koje u prosjeku iznose oko  $-40^{\circ}\text{C}$ . Objе tiskane pločice i njihove komponente moraju ispravno funkcionirati u navedenim radnim uvjetima. Zbog LoRaWAN prijelnika koji se koristi u prijenosu podataka s uređaja na Zemlju te radi upotrebe GPS prijelnika na kućište je potrebno montirati dvije antene. Mjerni uređaj postavlja se u kućište koje se veže na reflektor radarskog signala kako bi uređaj bio vidljiv na radaru, radar reflektor veže se na padobran te se padobran veže za balon. Kako bi se uređaj sačuvao nakon pucanja balona koristi se padobran koji će usporiti pad uređaja. Za lansiranje ovakvog balona potrebno je dobiti dozvolu od Hrvatske kontrole zračne plovidbe.



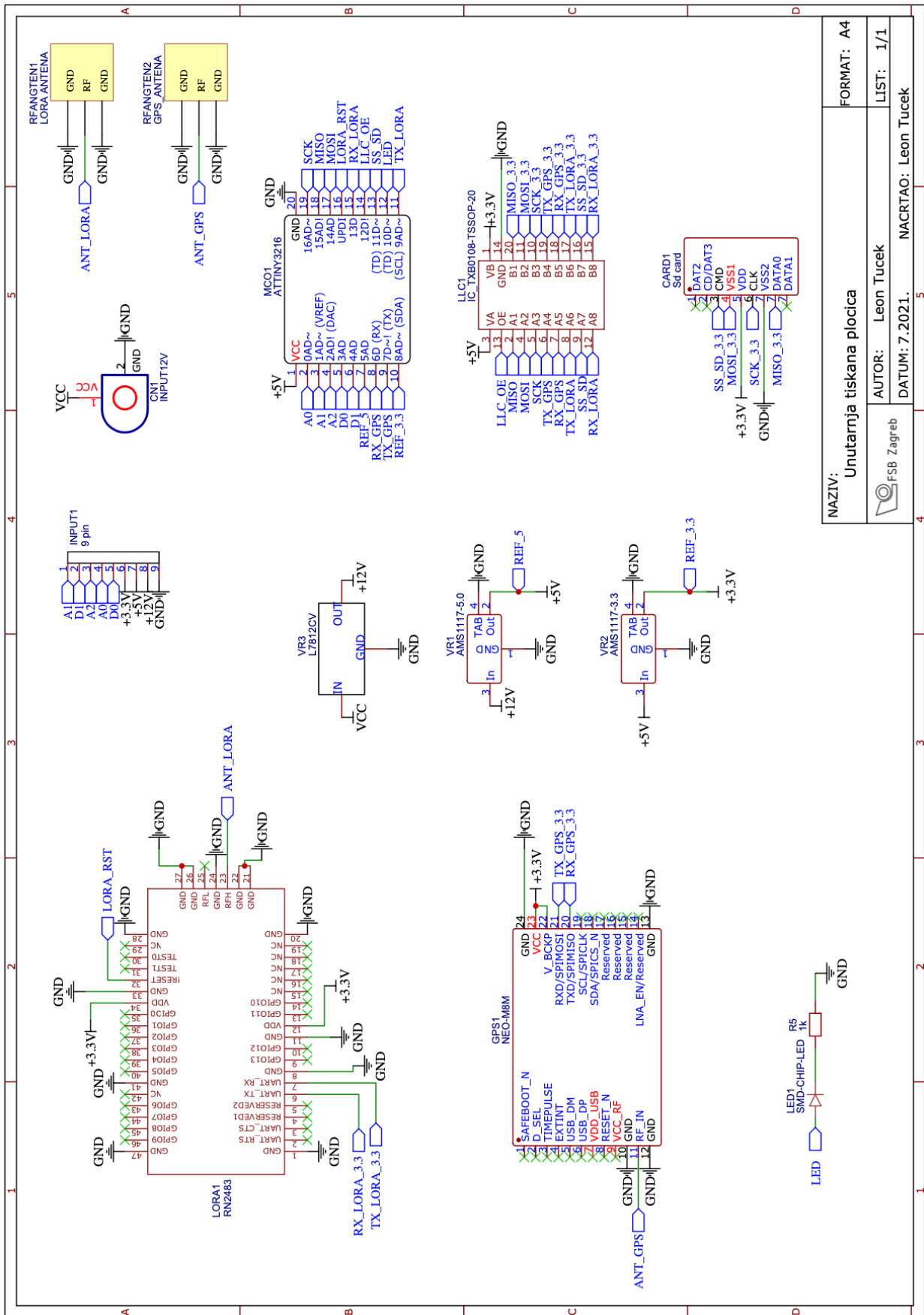
Slika 7. Skica spajanja uređaja s ostalom potrebnom opremom

### 3.1.1. Unutarnja tiskana pločica

Unutarnja tiskana pločica nalazi se u kućištu koje balon uzdiže u zrak. Kućište mora biti što lakše i što bolje toplinski izolirano. Navedenim kriterijima odgovara kutija izrađena od ekspaniranog polistirena.

U samu kutiju postavlja se unutarnja pločica zajedno s 12V napajanjem. Na kutiji je potrebno izraditi provrte za prolaz vodiča koji se spajaju na vanjsku pločicu s sensorima te za prolaz vodiča antena. Prilikom zatvaranja kućišta treba imati na umu da ono bude što čvršće sklopljeno, tj. da bude što bolje toplinski izolirano. Na unutarnjoj pločici nalazi se sam mikrokontroler, GPS modul, LoRaWAN modul, SD kartica, dva RPSMA konektora za antene GPS-a i LoRaWAN-a, 2,1mm DC priključak za napajanje, regulatori napona, pretvarač logičke razine te signalna LED dioda.

Signalna LED dioda će se ugasiti tek kada inicijalizacija svih senzora i modula bude uspješna te na taj način signalizira kada je uređaj spreman za let, tj. za puštanje. Dimenzije unutarnje tiskane pločice iznose 73x76mm.

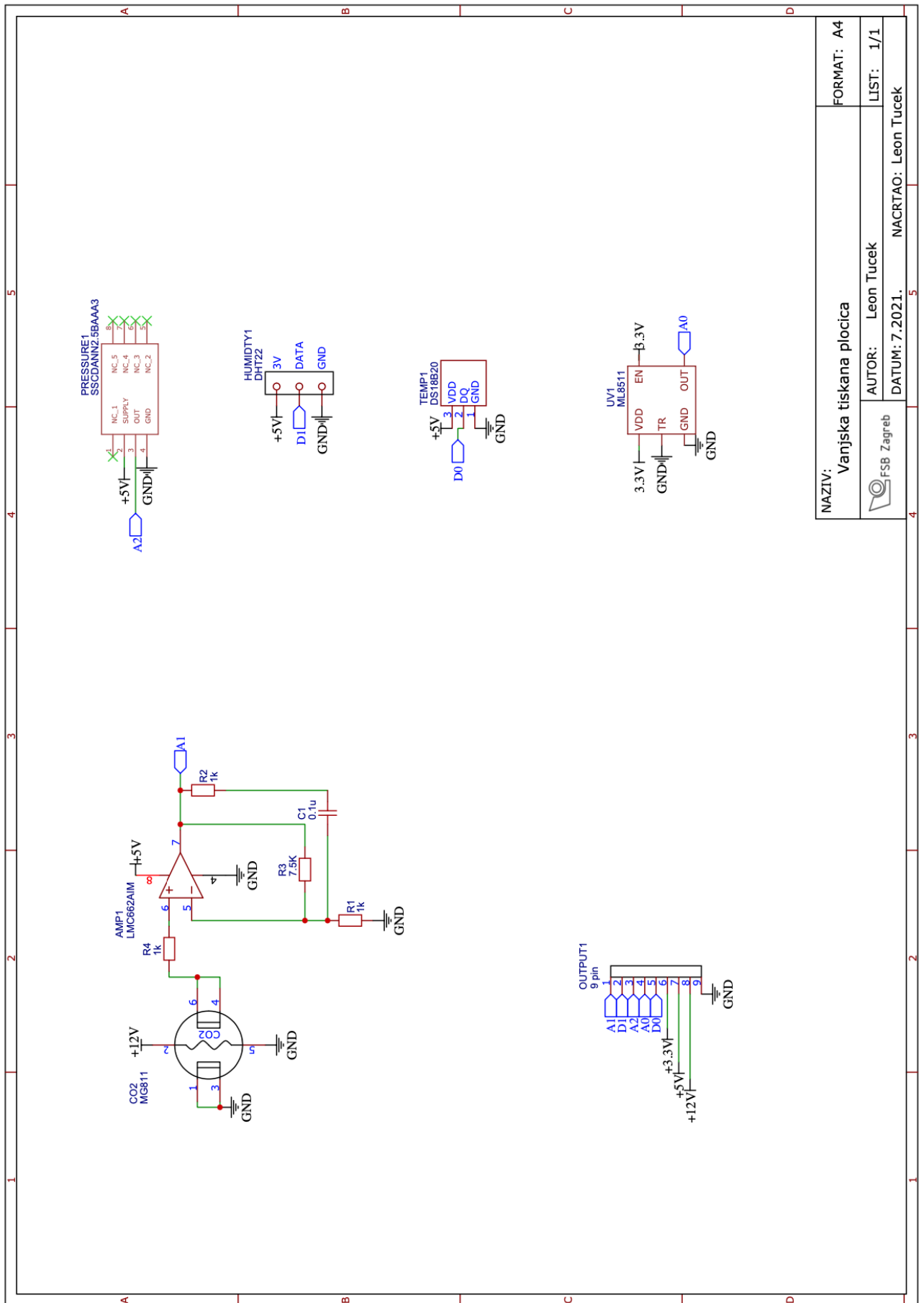


NAZIV:	Unutarnja tiskana pločica	FORMAT:	A4
AUTOR:	Leon Tuček	LIST:	1/1
DATUM:	7.2021.	NACRTAO:	Leon Tuček

Schema spojeva na unutarnjoj tiskanoj pločici

### 3.1.2. Vanjska tiskana pločica

Vanjska tiskana pločica montira se na vanjsku stranu kućišta uređaja te se na njoj nalaze svi senzori kao što je senzor temperature, količine ugljikovog dioksida, relativne vlage zraka, ultraljubičastog zračenja te potrebno pojačalo, otpornici i kondenzator. Pločica na sebi ima četiri provrta promjera M3 kako bi se olakšalo montiranje na vanjsku stranu kućišta. Raspodijelom uređaja na dvije tiskane pločice također je smanjena cijena održavanja uređaja jer ukoliko dođe do oštećenja vanjske tiskane pločice tokom leta ili pada nema potrebe za izradom cijelog novog uređaja već se može zamijeniti samo vanjska tiskana pločica. Dimenzije vanjske tiskane pločice iznose 80x47mm.



NAZIV:	Vanjska tiskana pločica	FORMAT:	A4
AUTOR:	Leon Tuček	LIST:	1/1
DATUM:	7.2021.	NACRTAO:	Leon Tuček

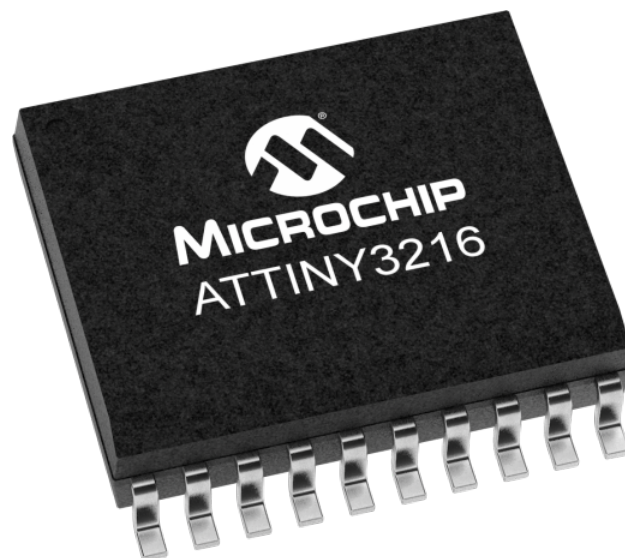
Schema spojeva na vanjskoj tiskanoj pločici



### 3.2. Odabir mikrokontrolera

Za mikrokontroler odabran je Attiny3216 od proizvođača Mikrochip. Mikrokontroler ima 20 pinova te je za izradu ovog uređaja iskorišteno svih 20. Mikrokontroler je cjenovno prihvatljiv te je lako dobavljiv s obzirom da je u aktivnoj proizvodnji. Ovaj mikrokontroler ima flash memoriju u iznosu od 32KB, radni takt procesora od 20 MHz te 2KB SRAM memorije što je dovoljno za potrebe ovog uređaja. Kako je projektirani uređaj namijenjen za puštanje u visoke slojeve atmosfere važno je da mikrokontroler može raditi na niskim temperaturama što ovaj mikrokontroler zadovoljava s rasponom radne temperature od  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $125^{\circ}\text{C}$ . Također izabrani mikrokontroler pogodan je za automobilsku industriju tj. izabrani mikrokontroler može raditi u teškim radnim uvjetima.

Ovaj mikrokontroler koristi novi UPDI (Unified Programming and Debug Interface - Single pin programming and debugging interface) protokol komunikacije s računalom. Za spajanje i programiranje mikrokontrolera s računalom može se koristiti skupi Microchipov UPDI programmer ali također mikrokontroler se može spojiti s računalom uz pomoć Arduina sa *jtag2updi* libraryjem. Ako se mikrokontroler poveže s računalom putem Arduina tada njegova komunikacija postaje jeftina i nema potrebe za skupim Microchipovim UPDI programmerom.



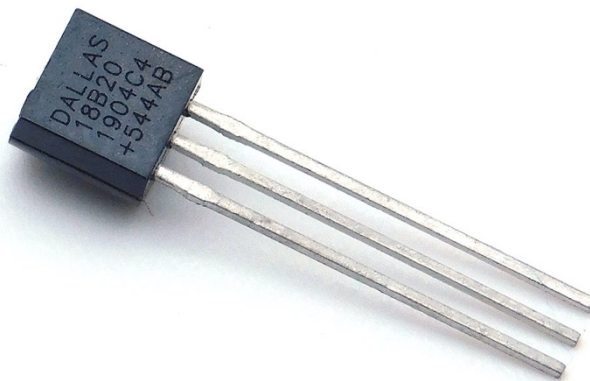
Slika 8. Mikrokontroler Attiny3216

### 3.3. Odabir senzora

Prilikom odabira senzora važno je imati na umu uvjete rada uređaja. Kako uređaj odlazi u stratosferu gdje su temperature vrlo niske važno je odabrati senzore koji ispravno funkcioniraju i na niskim temperaturama. Prije same realizacije uređaja poželjno je konzultirati se s meteorolozima oko odabira senzora radi sakupljanja što korisnijih podataka koji će se koristiti u izradi vremenske prognoze. U ovom radu uređaj sakuplja osnovne podatke kao što su temperatura, relativna vlaga zraka, apsolutni tlak, intenzitet ultraljubičastog zračenje te količinu ugljikovog dioksida.

#### 3.3.1. Senzor temperature

Za temperaturni senzor odabara se digitalni senzor DS18B20. DS18B20 koristi 1-wire protokol za komunikaciju s mikrokontrolerom te zbog toga zauzima samo jedan pin na mikrokontroleru za slanje podataka. Senzor nije potrebno dodatno kalibrirati.



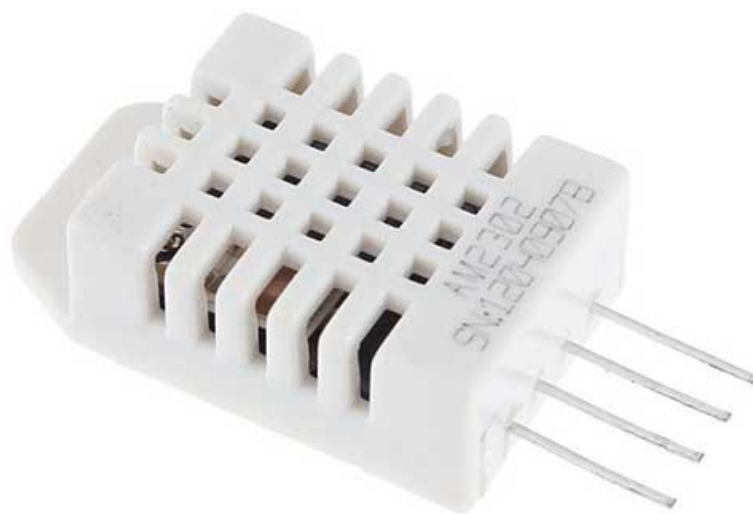
Slika 9. Senzor temperature DS18B20

Tablica 1. Tehničke karakteristike senzora temperature DS1820

Ulazni napon	3V – 5V
Rezolucija	9 bit – 12 bit
Radna temperatura	-55°C – 125°C
Točnost	± 0,5°C
Vrijeme odaziva	750ms
Maksimalna radna struja	1mA

### 3.3.2. Senzor relativne vlage zraka

Kako bi uređaj mogao mjeriti relativnu vlagu zraka potreban je senzor vlage zraka, izabran je digitalni senzor DHT22. DHT22 je relativno spor senzor s obzirom da vrijeme odaziva iznosi 2 sekunde, no za projektirani uređaj to ne predstavlja problem te nema potrebe za skupljim varijantama senzora, tj. bržim senzorom. Senzor nije potrebno dodatno kalibrirati.



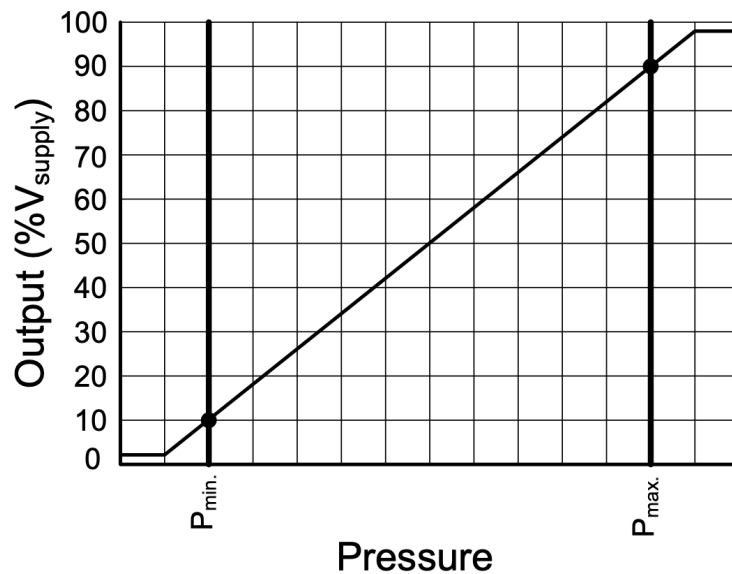
Slika 10. Senzor relativne vlage zraka DHT22

Tablica 2. Tehničke karakteristike senzor relativne vlage zraka DHT22

Ulazni napon	3V – 5V
Rezolucija	16bit
Radna temperatura	-40°C – 80°C
Točnost	2 – 5%
Vrijeme odaziva	2000ms
Maksimalna radna struja	2,5mA

### 3.3.3. Senzor apsolutnog tlaka zraka

Za senzor apsolutnog tlaka zraka izabran je SSCDANN2.5BAAA3 analogni senzor od proizvođača Honeywell. Ovaj senzor je izabran zbog njegove mogućnost mjerenja jako male vrijednosti tlaka, sve do vakuuma što je za projektiranje ovog uređaja vrlo važno s obzirom kako je u stratosferi vrlo niski tlak, oko 1mbar. Njegov mjerni raspon iznosi od 0 bara do 2,5 bara. Senzor nije potrebno dodatno kalibrirati.



$$\text{Output (V)} = \frac{0.8 \times V_{\text{supply}}}{P_{\text{max.}} - P_{\text{min.}}} \times (\text{Pressure}_{\text{applied}} - P_{\text{min.}}) + 0.10 \times V_{\text{supply}}$$

Slika 11. Statička karakteristika senzora SSCDANN010BAAA3

Kao što je vidljivo iz prijenosne funkcije senzora za očitavanje točnih rezultata senzora potreban je ulazni napon  $V_{\text{supply}}$ . Teorijski ulazni napon na senzor iznosi 3.3V no zbog puno faktora koji utječu na sam napon ne postoji garancija kako će ulazni napon stvarno iznositi 3.3V te iz tog razloga mjerimo referentni napon na izlazu iz 3.3V regulatora napona kako bi očitali što točnije vrijednosti senzora.



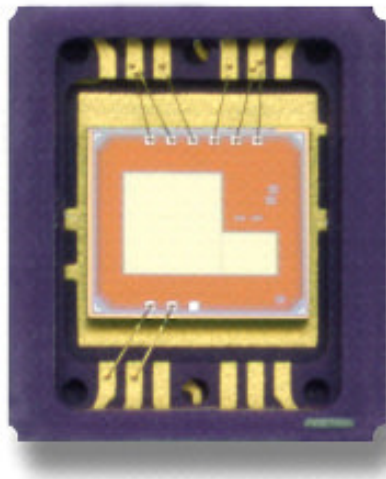
Slika 12. Senzor apsolutnog tlaka zraka SSCDANN010BAAA3

Tablica 3. Tehničke karakteristike senzora apsolutnog tlaka zraka SSCDANN010BAAA3

Ulazni napon	3,0V – 3,6V
Radna temperatura	-40°C – 85°C
Točnost	± 2%
Vrijeme odaziva	5ms
Maksimalna radna struja	1,6mA
Izlazni napon	0,075 – 3,51V

### 3.3.4. Senzor ultraljubičastog zračenja

Za senzor ultraljubičastog zračenja odabran je analogni senzor ML8511 od proizvođača LAPIS Semiconductor. Senzor ima ugrađeno pojačalo koje pretvara struju izazvanu ultraljubičastim zračenjem u napon na izlazu senzora u ovisnosti o jačini zračenja. Senzor detektira UV-A i UV-B zračenje. Senzor nije potrebno kalibrirati.



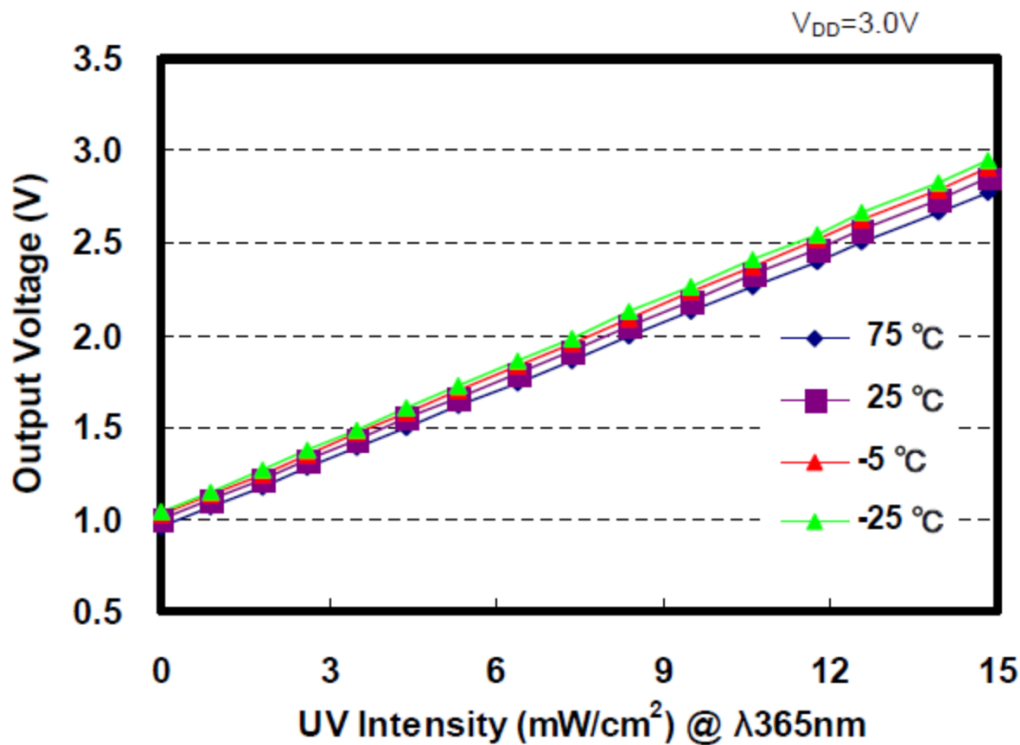
Slika 13. Senzor ultraljubičastog zračenja ML8511

Tablica 4. Tehničke karakteristike senzora ultraljubičastog zračenja ML8511

Ulazni napon	2,7V – 3,6V
Radna temperatura	-40°C – 70°C
Točnost	± 25mWm <sup>-2</sup>
Vrijeme odaziva	1ms

Maksimalna radna struja	300 $\mu$ A
Izlazni napon	0,99V – 2,8V

Isto kao i kod senzora apsolutnog tlaka potrebno je izmjeriti referentni ulazni napon kako bi očitavanje senzora bilo što točnije.



Slika 14. Statička karakteristika senzora ML8511

### 3.3.5. Senzor ugljikovog dioksida

Utjecaj ugljikovog dioksida na planet su od značajne važnosti. Ugljikov dioksid je važan staklenički plin koji zagrijava površinu Zemlje. Zbog sagorijevanja fosilnih goriva od industrijske revolucije do danas njegova koncentracija u atmosferi je u stalnom porastu. Posljedica povećavanja koncentracije ugljikovog dioksida u atmosferi je globalno zatopljenje te antropogene klimatske promijene. Iz svih navedenih razloga mjerenje koncentracije ugljikovog dioksida je vrlo važno. Za senzor ugljikovog dioksida odabran je analogni senzor MG811. Izabrani senzor ima relativno velik ulazni napon te se navedeni napon koristi za grijanje senzora. Proizvođač preporučuje kalibraciju senzora.



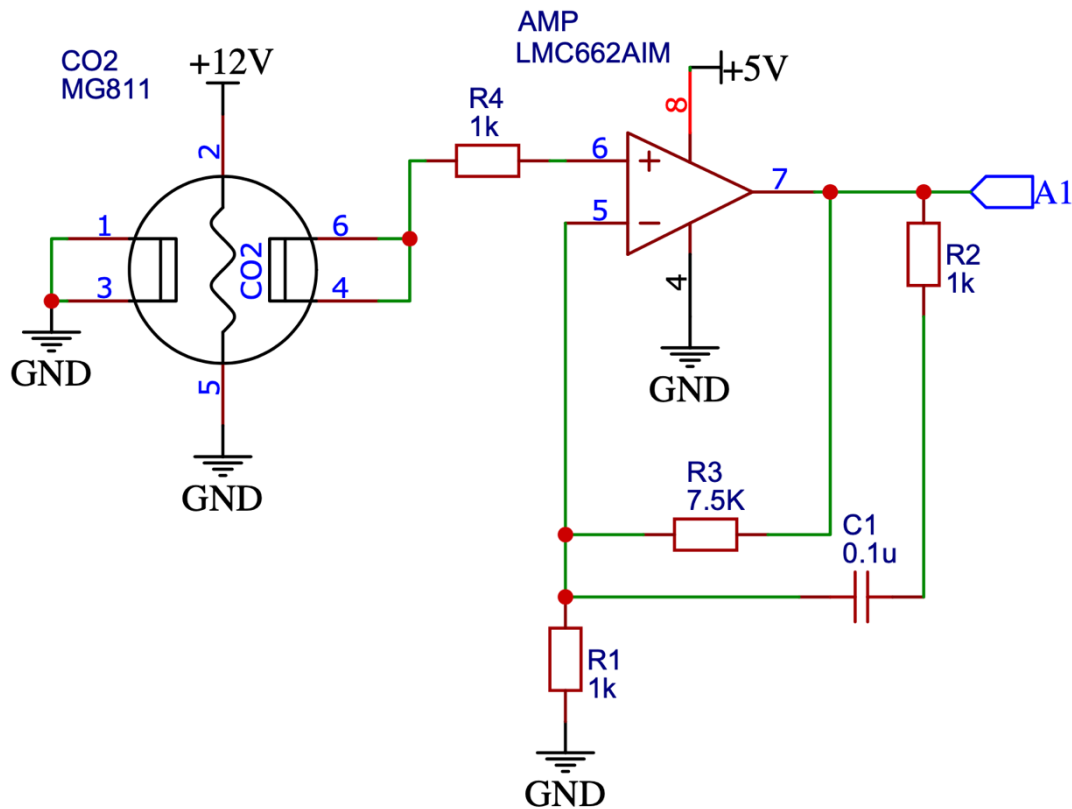
Slika 15. Senzor ugljikovog dioksida MG811

Tablica 5. Tehničke karakteristike senzora ugljikovog dioksida MG811

Ulazni napon	7,5V – 12V
Radna temperatura	-40°C – 50°C
Točnost	± 100ppm
Vrijeme odaziva	1ms
Maksimalna radna struja	200mA
Izlazni napon	100mV – 600mV

Prijenosna funkcija senzora je linearna te za 100mV koncentracija ugljikovog monoksida iznosi 400ppm, dok za 600mV koncentracija iznosi 10000ppm.

Sama izlazna amplituda napona senzora je dosta mala te je izlazna impedancija velika. Iz navedenog potrebno je nadodati pojačalo i filter visokih frekvencija kako bi se maknuo šum visokih frekvencija.



Slika 16. Shema spajanja senzora MG811, pojačala i filtera visokih frekvencija

Pojačanje izlaznog napona računa se uz pomoć izraza:  $V_{izlaz} = V_{ulaz} \left(1 + \frac{R3}{R1}\right) = 8.5 V_{ulaz}$

Nakon pojačanja početnog izlaznog napona senzora novi izlazni napon iznosi  $0.85V - 5V$  što je prihvatljiva vrijednost. Isto kao i kod prethodnih senzora prilikom utvrđivanja koncentracije ugljikovog dioksida mjeri se referentni napon kako bi rezultat bio što točniji.

### 3.4. Odabir ostalih elektroničkih komponenti

Uređaj uz pomoć navedenih senzora prikuplja podatke te se daljnja obrada podataka vrši putem ostalih elektroničkih komponenti kao što je GPS modul, LoRaWAN modul te za lokalnu pohranu podataka koristi se držač za SD karticu.



### 3.4.1. GPS modul

Kako bi se uređaj mogao locirati nakon pada ključnu ulogu vrši GPS modul u kombinaciji s LoRaWAN modulom. Lokacija uređaja nakon pada značajno smanjuje njegovu cijenu jer je tada jedini potrošni materijal balon, a sam uređaj se može ponovno iskoristiti za novi let. Iako nije preporučena upotreba GPS-a za proračun vertikalne brzine u slučaju ovog uređaja navedeno možemo zanemariti jer promjenu vertikalne pozicije uređaja možemo odrediti uz pomoć senzora za apsolutni tlak. GPS podaci mogu zamijeniti anemometra i senzor smjera vjetera jer se brzina i smjer uređaja odnosno vjetera mogu proračunati na temelju razlike koordinata i tlaka u odnosu na vrijeme.

Za GPS modul izabran je NEO-M8M od proizvođača U-Blox. NEO-M8M koristi serijsku komunikaciju s mikrokontrolerom. Odabrani GPS modul ima mogućnost istovremenog povezivanja s do 3 satelitska navigacijska sustava (GNSS).



Slika 17. NEO-M8 modul

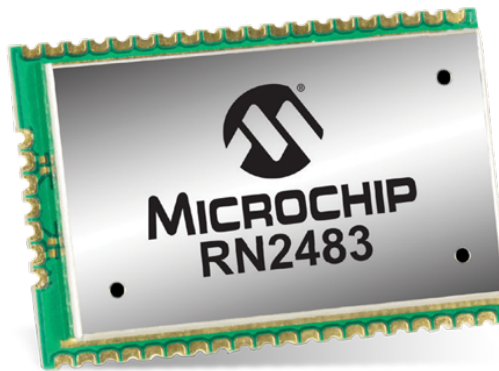
Tablica 6. Tehničke karakteristike NEO-M8 GPS modula

Ulazni napon	1,65V – 3,6V
Radna temperatura	-40°C – 105°C
Preciznost horizontalnog pozicioniranja	2,5m
Preciznost određivanja brzine	0,05m/s
Preciznost određivanja smjera	0,03°
Vrijeme prvog odaziva (cold start)	26s
Maksimalna radna struja	67mA
Prosječna radna struja prilikom kontinuiranog pozicioniranja	12mA

Kako bi GPS modul mogao ispravno funkcionirati obvezno je spojiti antenu na njega putem RPSMA priključka na unutarnjoj tiskanoj pločici.

### 3.4.2. LoRaWAN modul

Za slanje podataka prema Zemlji upotrebljen je LoRaWAN modul RN2483 od proizvođača Microchip. LoRaWAN modul se spaja na uređaj preko serijskog protokola, iako odabrani mikrokontroler ima samo jedan serijski port, a ovaj uređaj koristi dva modula koji koriste serijsku komunikaciju (GPS i LoRaWAN modul) to ne predstavlja problem zbog upotrebe library-a *SoftwareSerial* koji omogućava serijsku komunikaciju preko drugih pinova. Jedino na što treba paziti je to da *SoftwareSerial* ne može zaprimati ili slati podatke istovremeno preko dva različita serijska porta.



Slika 18. RN2483 LoRaWAN modul

Tablica 7. Tehničke karakteristike RN2483 LoRaWAN modula

Ulazni napon	2,1V – 3,6V
Radna temperatura	-40°C – 85°C
Snaga odašiljanja	25,7mW
Maksimalna radna struja	38,9mA

Za slanje podataka izabran je LoRaWAN modul umjesto uobičajenog paketnog radija iz razloga što LoRaWAN ispravno funkcionira na puno većim udaljenostima nego paketni radio, tj. ima veći domet nego uobičajeni paketni radio. LoRaWAN odašilje i zaprima signale na frekvencijama 863-870/873 MHz, te za navedeni modul snaga odašiljanja pri 868 MHz iznosi

14.1dBm odnosno 25,7mW što bi trebalo biti i više nego dovoljno za prijenos podataka na udaljenosti od 30 do 40 kilometara s obzirom da je na trenutno najveća zabilježena udaljenost prijenosa podataka uz pomoć LoRaWAN radija iznosi 832 kilometara pri snazi odašiljanja od 25mW. Kako bi LoRaWAN prijemnik mogao prenositi podatke na što veću udaljenost poželjno je koristiti usmjerenu antenu.

Važnu ulogu u zaprimanju podataka s uređaja ima besplatna mreža LoRaWAN prijemnika od organizacije *The Things Network* koja je rasprostranjena po cijelom svijetu. Zbog široke mreže prijemnika uređaj može odašiljati podatke neovisno o lokaciji na kojoj je pušten te će vrlo vjerojatno jedan od 21 600 LoRaWAN radioprijemnika u mreži *The Things Networka* zaprimiti signal. Također upotrebom LoRaWAN modula u kombinaciji s *The Things Network* gubi se potreba za izradom i održavanjem bazne stanice koja bi zaprimala signal te na taj način sam uređaj postaje jeftiniji i masovnije uporabljiv.

LoRaWAN prijemnik u kombinaciji s GPS prijemnikom šalje lokaciju uređaja prema Zemlji te se zbog toga uređaj može više puta upotrijebiti i time mu sama cijena opada jer nije potrebno izrađivati novi uređaj za svaki novi let.

### 3.4.3. Modul za SD karticu



Slika 19. Držać SD kartice

Tablica 8. Tehničke karakteristike SD kartice

Ulazni napon	1,8V – 3,6V
Radna temperatura	-40°C – 85°C
Maksimalna radna struja	100mA

Za lokalno spremanje podataka na uređaj koristi se SD kartica. Komunikacija između mikrokontrolera i SD kartice vrši se preko SPI (*Serial Peripheral Interface*) protokola. SD

kartica se umetne u držač kartice na unutarnjoj tiskanoj pločici te se svi podaci o letu lokalno pohranjuju u obliku CSV datoteke naziva *log.csv*.

CSV tip datoteke odabran je kako bi se olakšalo daljnje strojno čitanje podataka, tj. kako bi analiza prikupljenih podataka bilo što jednostavnija i brža.

Također na SD karticu se zapisuju i greške nastale u letu, npr. ukoliko LoRaWAN module ne uspije poslati podatke tada će se u datoteku *error.log* zapisat zbog čega slanje podataka nije bilo uspješno kako bi otklanjanje greške bilo što jednostavnije.

Kako bi SD kartica ispravno radila važno ju je prije umetanja u uređaj formatirati na FAT32 format.

### 3.5. Električna shema tiskanih pločica

Kako bi se osiguralo ispravno funkcioniranje uređaja potrebno je odrediti maksimalnu struju koju teoretski tiskana pločica može provesti, tj. odrediti potrebnu širinu vodova na tiskanoj pločici. Navedeno se vrši zbrajanjem radnih struja od svih uređaja na tiskanim pločicama.

$$I_{max} = I_{DS18B20,max} + I_{DHT22,max} + I_{SSCDANN2.5BAAA3,max} + I_{ML8511,max} + I_{MG811,max} + I_{NEO-M8M,max} + I_{RN2483,max} + I_{SD,max} \quad (3.1)$$

$$I_{max} = 1 + 2,5 + 1,6 + 0,3 + 200 + 67 + 38,9 + 100 = 411,3 \text{ mA} \quad (3.2)$$

$I_{max}$  izračunato u (3.2) je teoretski maksimalna struja koja prolazi kroz tiskanu pločicu

$$P = \left( \frac{I_{max}}{k \Delta T^b} \right)^{\frac{1}{c}} = \left( \frac{0,4113}{0,024 \cdot 5^{0,44}} \right)^{\frac{1}{0,725}} = 18,426 \text{ mils}^2 \quad (3.3)$$

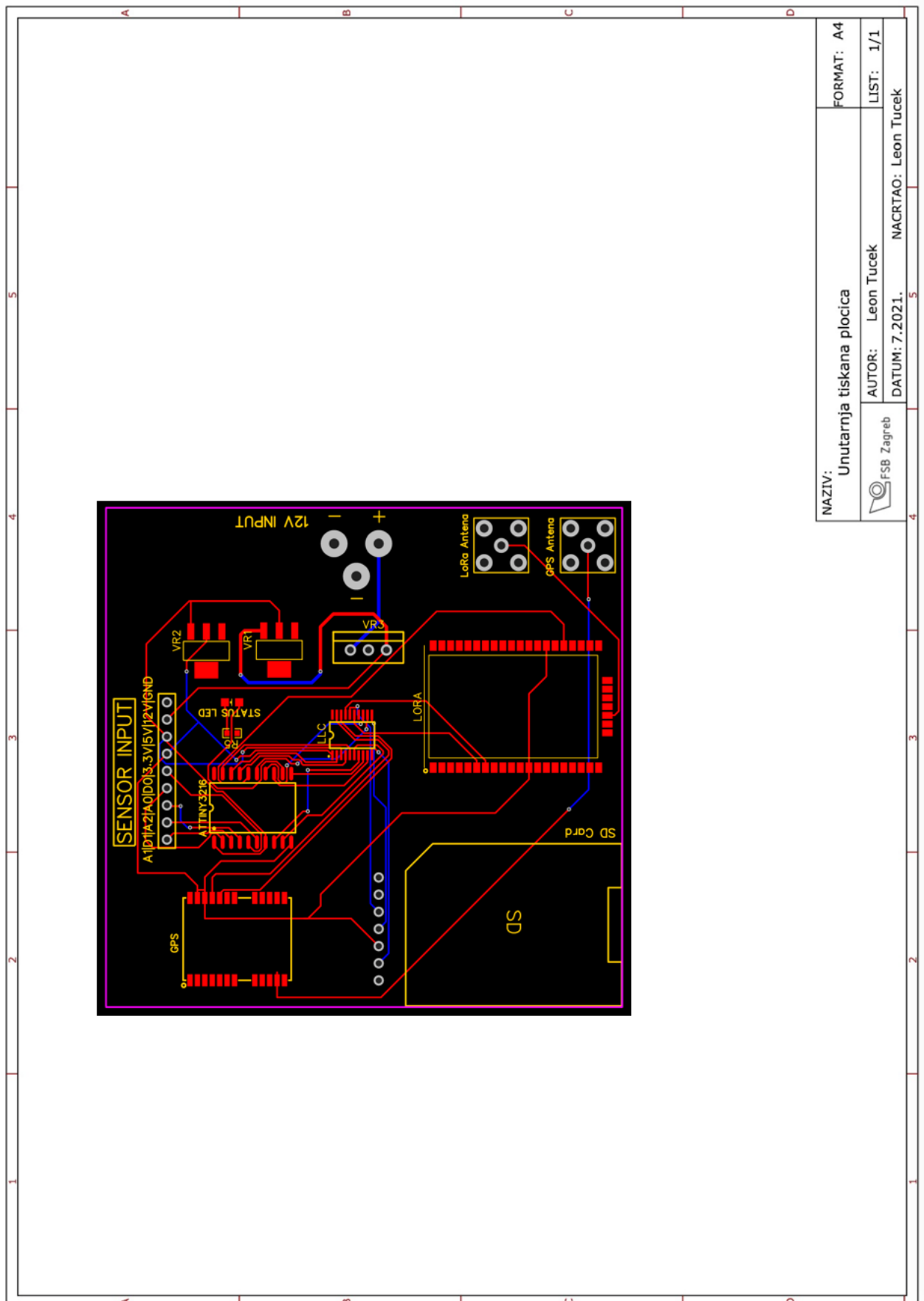
$P$  izračunato u (3.3) predstavlja potrebnu površinu vodova na pločici gdje su  $k$  i  $c$  konstante dobivene iz krivulja po IPC-2221 normi.

$$W = \frac{P}{D \cdot 1,378} = \frac{18,426}{2 \cdot 1,378} = 6,68 \text{ mils} \quad (3.4)$$

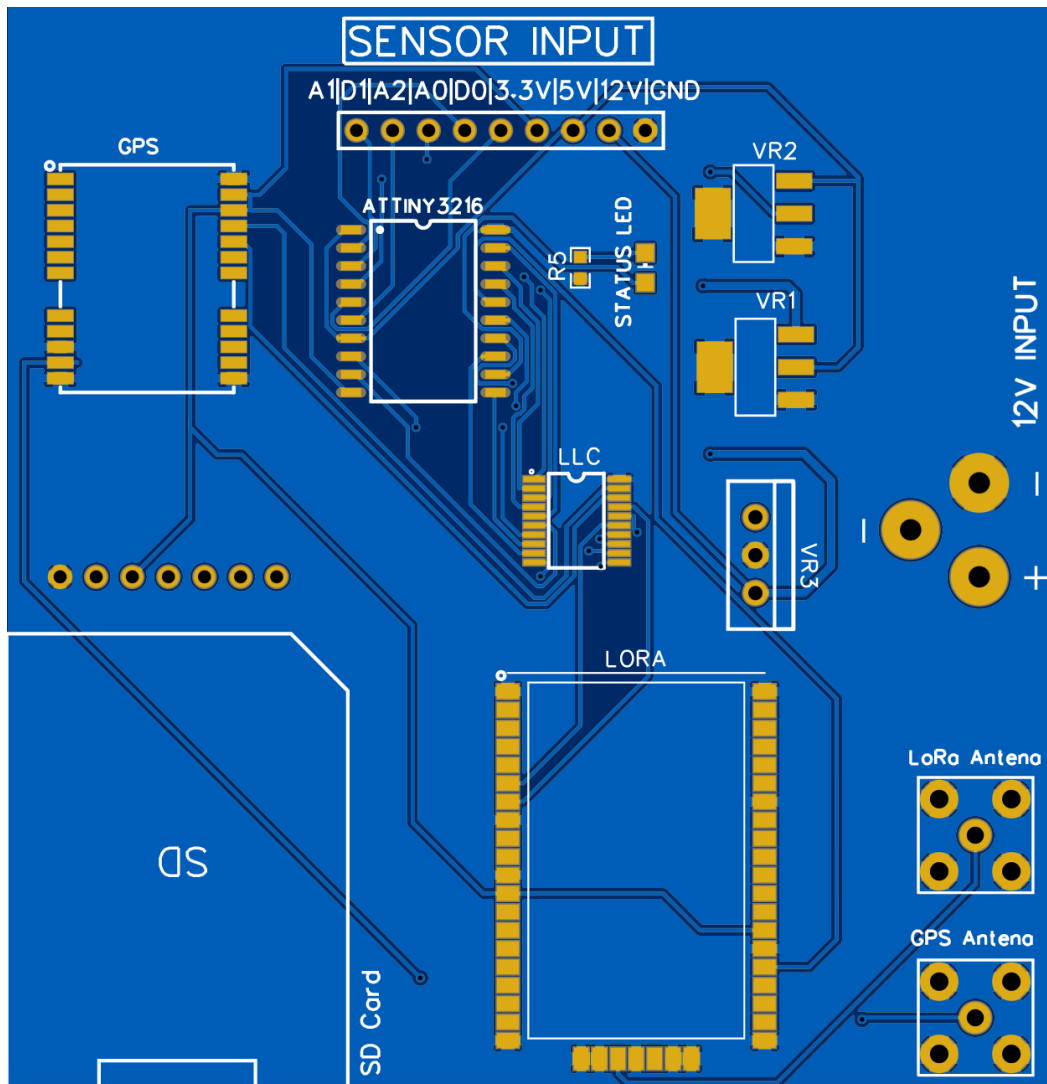
$W$  je potrebna širina vodova za izračunatu površinu u (3.3) dok je  $D$  debljina bakra u uncama.

Proračunata širina vodova tiskane pločice za najgori uvjet gdje se pločica zagrijava za samo 10°C iznosi 6,68 mils, odnosno 7 mils. Vanjska i unutarnja tiskana pločica projektirane su s debljinom vodova u iznosu 10mil što je dovoljno za proračunatu maksimalnu radnu struju.

## 3.5.1. Unutarnje tiskana pločica

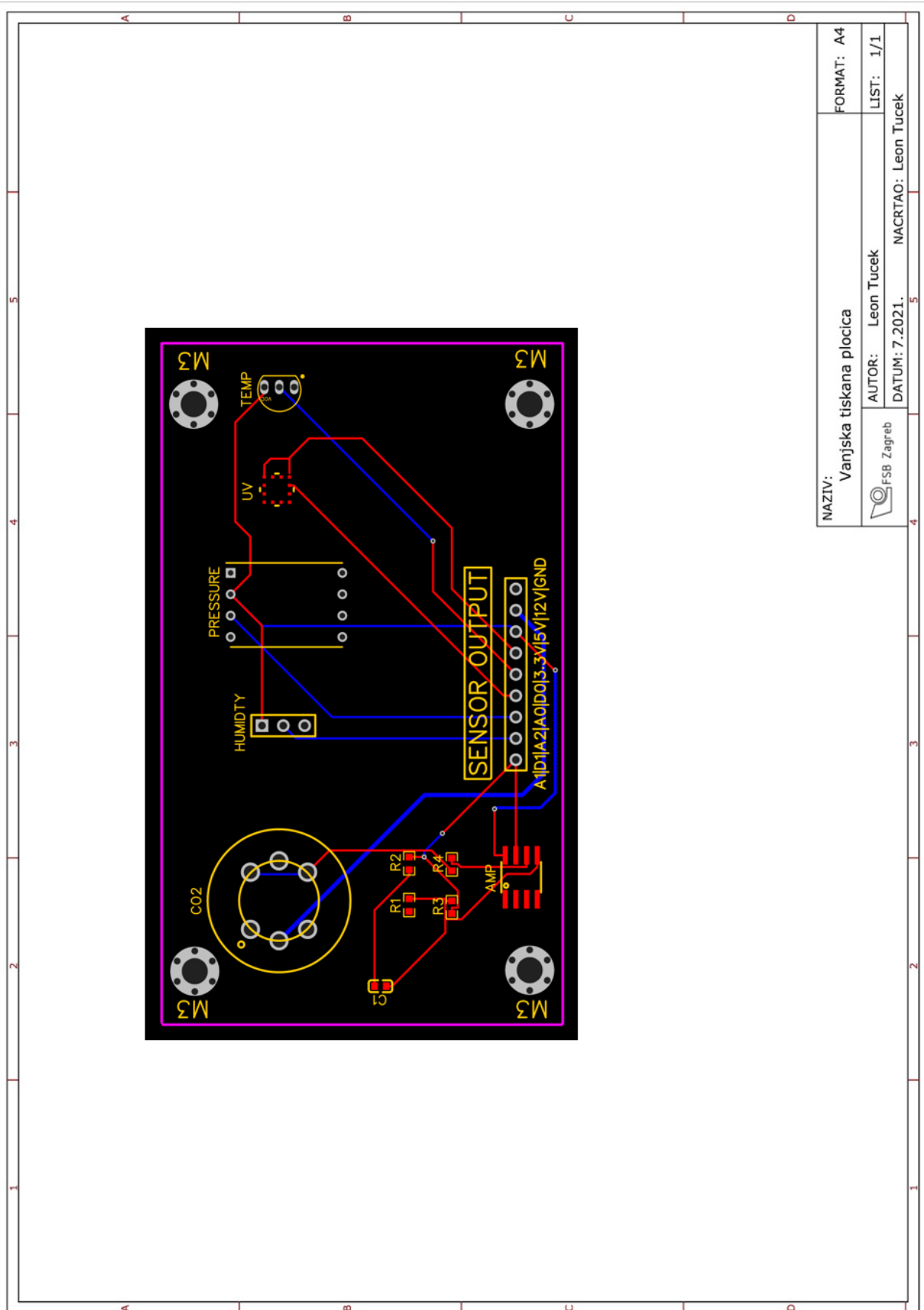


## Shema unutarnje tiskane pločice

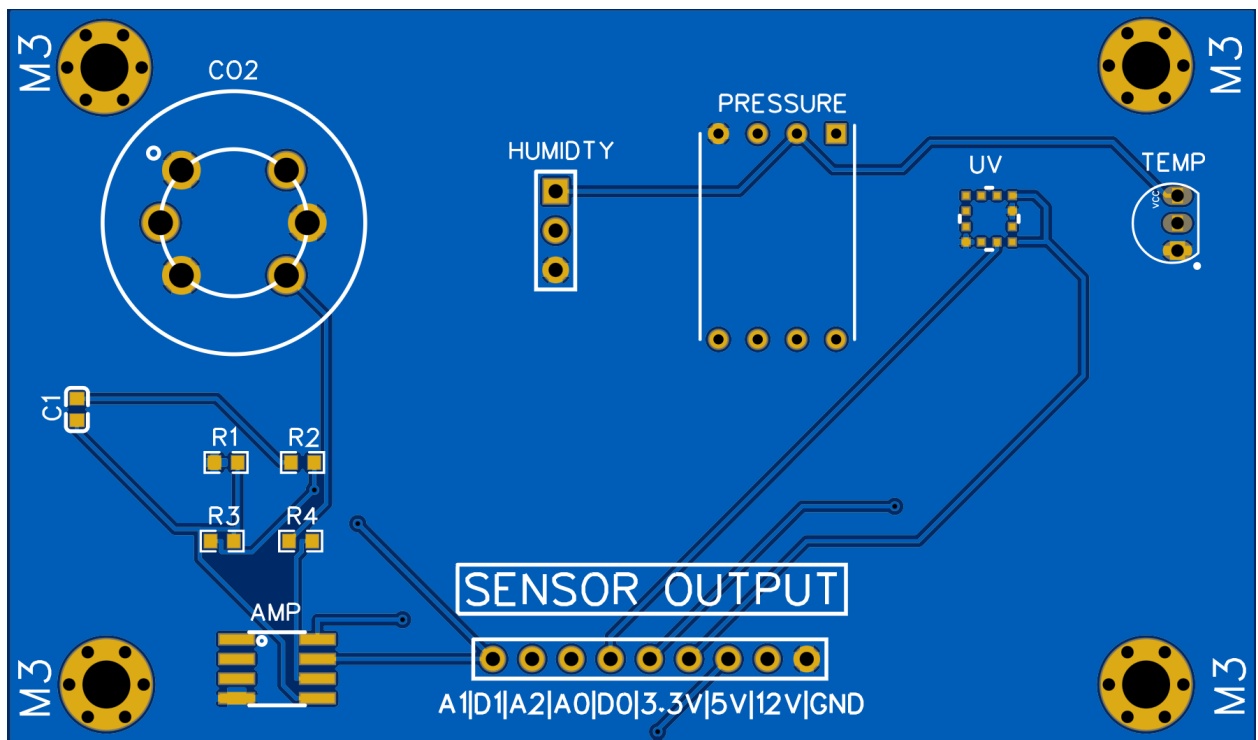


Slika 20. Unutarnja tiskana pločica

## 3.5.2. Vanjska tiskana pločica



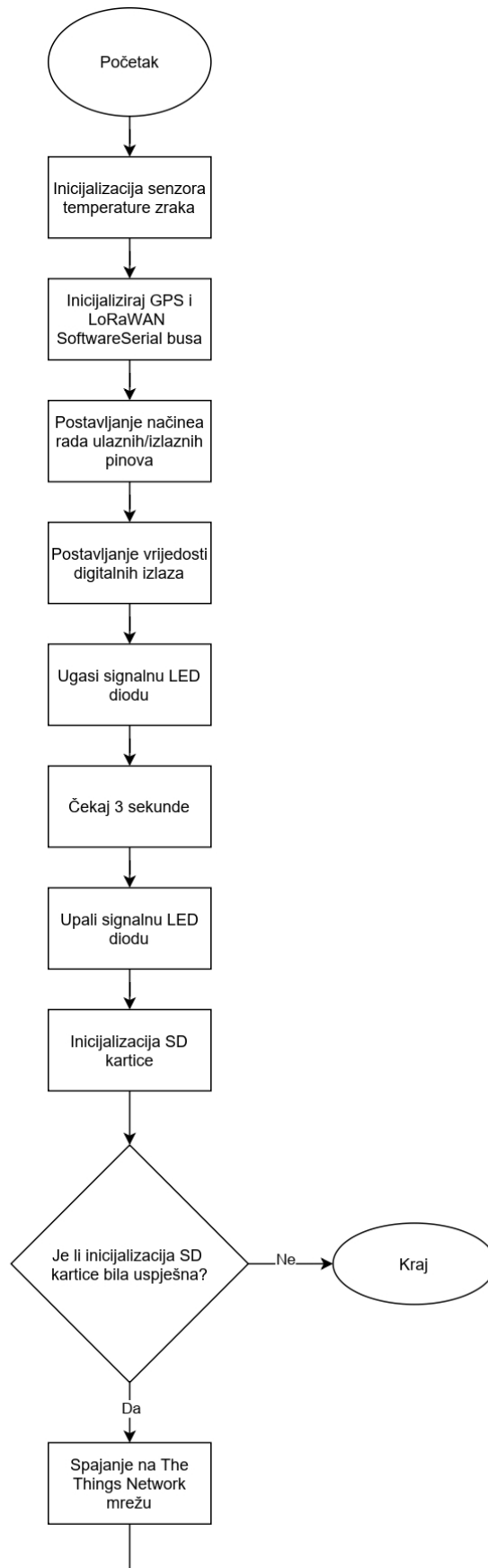
Shema vanjske tiskane pločice

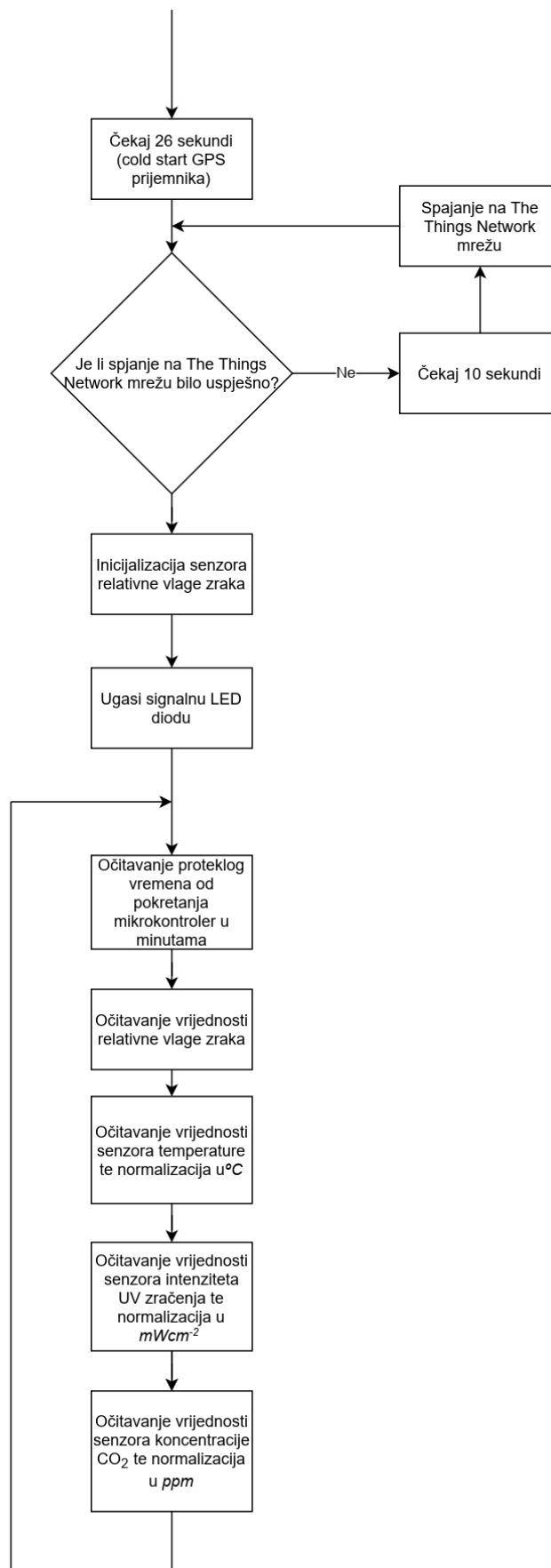


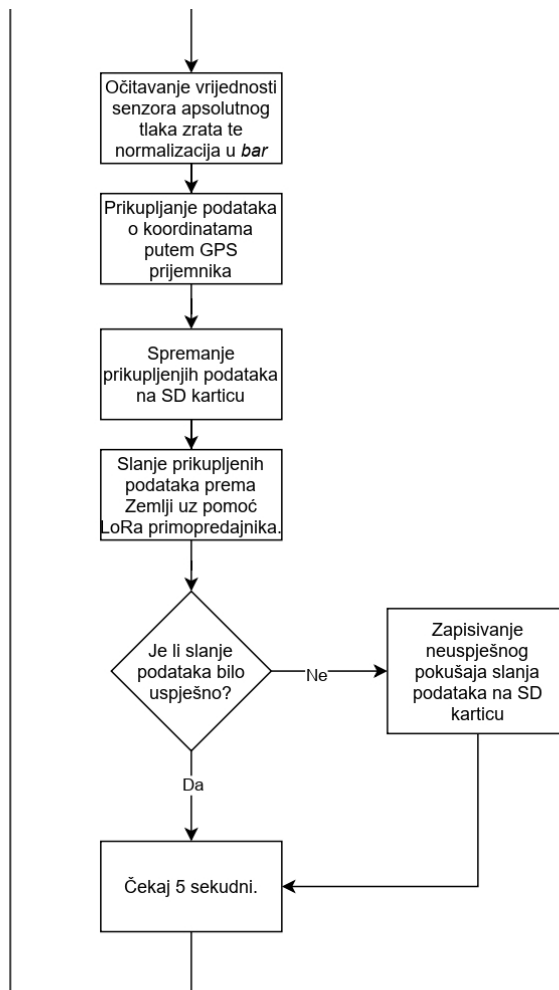
Slika 21. Vanjska tiskana pločica



### 3.6. Dijagram tijeka







### 3.7. Programski kod

```
#include <DHT.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <TheThingsNetwork.h>

#define HumidityPin 4 // Pin senzora relativne vlage zraka
#define TemperaturePin 3 // Pin senzora temperature zraka
#define UvPin 0 // Pin senzora ultraljubicastog zracenja
#define VoltageRefPinLow 8 // Pin referentnog napona za 3.3V
#define VoltageRefPinHigh 5 // Pin referentnog napona za 5V
#define GpsRxFPin 6 // Rx pin za GPS modul
#define GpsTxPin 7 // Tx pin za GPS modul
#define CarbonMonoxidePin 1 // Pin senzora ugljikovog dioksida
#define PressurePin 2 // Pin senzora apsolutnog tlaka zraka
#define LoraRxFPin 13 // Rx pin za LoRaWAN modul
#define LoraTxPin 9 // Tx pin za LoRaWAN modul
#define LedPin 10 // Pin signalne LED diode

#define SdChipSelectPin 5 // Chip slecet pin za SD karticu koji se koristi u SPI protokolu
#define LogicLevelShifterPin 12 // Chip slecet pin za pretvarac logice razine koji se koristi u
SPI protokolu

#define HighVoltage 5.0 // Vrijednost 5V napona
#define LowVoltage 3.3 // Vrijednost 3.3V napona

// Navedene vrijednosti dobivaju se kalibracijom senzora te su različite za svaki senzor, ovdje
navedene vrijednosti su prosjecne vrijednosti koje pruža proizvođač
#define ZeroPointVoltage 0.220
#define ReactionVoltage 0.020
```

```
// Vrijednosti krivulje prijenosne funkcije dane od strane proizvođača
const float Co2Curve[3] = {2.602, ZeroPointVoltage, (ReactionVoltage / (2.602 - 3))};
const float Co2CurveConst = Co2Curve[1] / Co2Curve[2] + Co2Curve[0];
#define DcGain 8.5 // Pojačanje pojačala

const String dataLogFileName = "log.csv"; // Naziv datoteke koja se koristi za bilježenje
podatka
const String errorLogFileName = "error.log" // Naziv datoteke koja se koristi za bilježenje
gresaka

// Podaci za prijavu u The Things Network
const char *appEui = "0000000000000000";
const char *appKey = "00000000000000000000000000000000";

bool connectedToLora = false;

DHT dht(HumidityPin, DHT22); // Inicijalizacija senzora relativne vlage zraka

// Inicijalizacija senzora temperature
OneWire oneWire(TemperaturePin);
DallasTemperature temperatureSensor(&oneWire);

// Inicijalizacija GPS prijemnika
SoftwareSerial gpsSerial(GpsRxPin, GpsTxPin);
TinyGPS gps;

SoftwareSerial loraSerial(LoraRxPin, LoraTxPin); // Inicijalizacija LoRaWAN prijemnika
TheThingsNetwork ttn(loraSerial, loraSerial, TTN_FP_EU868, uint8_t sf = 12); // Definiiranje
parametara LoRaWAN prijemnika i postavljanje faktora sirenja signala na 12 kako bi povećali
udaljenost pri kojoj će signal biti zabilježen

struct Coordinate {
    float lat;
    float lng;
```

```
};

void setup() {
    gpsSerial.begin(9600); // Pokreni GPS modul na SoftwareSerial portu
    loraSerial.begin(57600); // Pokreni LoRaWAN modul na SoftwareSerial portu

    // Postavljanje nacina rada pinova
    pinMode(LogicLevelShifterPin, OUTPUT);
    pinMode(SdChipSelectPin, OUTPUT);
    pinMode(LedPin, OUTPUT);

    pinMode(UvPin, INPUT);
    pinMode(VoltageRefPinLow, INPUT);
    pinMode(VoltageRefPinHigh, INPUT);

    digitalWrite(LogicLevelShifterPin, LOW); // Omoguci rad pretvaraca logicke razine
    digitalWrite(LedPin, LOW);

    // Upali i ugasi LED signalnu diodu radi provjere ispravnosti LED diode
    digitalWrite(LedPin, HIGH);
    delay(3000);
    digitalWrite(LedPin, LOW);

    // Provjeri je li inicijalizacije SD kartice bila uspjesna, ako ne uplai LED signalnu
    diodu
    if (!SD.begin()) {
        return;
    }

    writeToSdCard(dataLogFileName,
    "time[min],humidity[%],uv[mW/cm^2],co2[ppm],pressure[bar],lat,lng"); // Napisi pocetak
    CSV datoteke s imenima polja
}
```

```
ttn.join(appEui, appKey); // Povezivanje na The Things Network
dht.begin(); // Zapocni mjeriti relativnu vlagu zraka

// Upali signalnu LED diodu i cekaj 10s sve dokle slanje tesne poruke preko
LoRaWAN prijemnika ne bude uspjesno
while (connectedToLora == false) {
    sendDataViaLora("Connection test message");
    digitalWrite(pinMode, LOW);
    sleep(10000);
}

delay(26000); // Cekaj 26 sekundi za cold start GPS prijemnika

digitalWrite(pinMode, HIGH); // Inicijalizacije je bila uspjesna, ugasi signalnu LED
diodu
}

void loop() {
    float time = round((millis() / 60000) * 1000) / 1000; // Ocitaj vrijeme od paljenja
uredaja u minutama s 3 decimalna mjesta
    float humidity = readHumidity(); // Ocitaj relativnu vlagu zraka u postocima
    float temperature = readTemperature(); // Ocitaj temperaturu u stupnjevima C
    float uv = readUv(); // Ocitaj snagu ultraljubicastog zracenja u mW/cm^2
    int carbonDioxide = readCarbonDioxide(); // Ocitaj koncentraciju ugljikovog dioksida
ppm
    int pressure = readPressure(); // Ocitaj apsolutni tlak zraka u bar
    Coordinate ballonCoordinates = readCoordinates(); // Ocitaj koordinate uredaja

    // Formatiraj sakupljene podatke
    String collectedData = String(time + "," + humidity + "," + temperature + "," + uv + ","
+ carbonDioxide + "," + pressure + "," + ballonCoordinates[0] + "," + ballonCoordinates[1]);
```

```
writeToSdCard(dataLogFileName, collectedData); // Lokalno pohrani podatke na SD
karticu
    sendDataViaLora(collectedData); // Posalji podatke prema Zemlji putem LoRaWAN
prijemnika

    delay(5000); // Cekaj 5 sekundi prije sljedeceg mjerenja
}

// Radi vece tocnosti očitava se prosijecna analogna vrijednost pina
int averageAnalogRead(int pinToRead) {
    byte numberOfReadings = 8;
    int runningValue = 0;

    for(int x = 0 ; x < numberOfReadings ; x++) {
        runningValue += analogRead(pinToRead);
    }
    runningValue /= numberOfReadings;

    return(runningValue);
}

float readHumidity() {
    return dht.readHumidity();
}

float readTemperature() {
    temperatureSensor.requestTemperatures();
    return sensors.getTempCByIndex(0);
}

float readUv() {
    int uvLevel = averageAnalogRead(UvPin);
    int refLevel = averageAnalogRead(VoltageRefPinLow); // Očitaj referentnu vrijednost
napona 3.3V
```



```
float uvVoltage = LowVoltage / refLevel * uvLevel; // Ispravi rezultate mjerenja uz
pomoc referente vrijednosti napona radi vece tocnosti mjerenja

return (uvVoltage - 0.99) * 8.784530387; // Pretvori vrijednost napona mW/cm^2 uz
pomoc prijenosne funkcije senzora
}

Coordinate readCoordinates() {
    float lat = 0.0, lng = 0.0; // Zadane vrijednosti

    if (gpsSerial.available() && gps.encode(gpsSerial.read())) {
        gps.f_get_position(&lat, &lng);
    }

    Coordinate coordinates = {lat, lng};
    return coordinates;
}

int readCarbonDioxide() {
    int carbonMonoxideLevel = averageAnalogRead(CarbonMonoxidePin);
    int refLevel = averageAnalogRead(VoltageRefPinHigh); // Ocitaj referentu vrijednost
napona 5V
    float carbonMonoxideVoltage = HighVoltage / refLevel * carbonMonoxideLevel; //
Ispravi rezultate mjerenja uz pomoc referente vrijednosti napona radi vece tocnosti mjerenja

    return pow(10, carbonMonoxideVoltage / DcGain - Co2CurveConst); // Pretvori
vrijednost napona u bar uz pomoc prijenosne funkcije senzora
}

float readPressure() {
    int pressureLevel = averageAnalogRead(PressurePin);
    int refLevel = averageAnalogRead(VoltageRefPinLow); // Ocitaj referentu vrijednost
napona 3.3V
```

```
float pressureVoltage = LowVoltage / refLevel * pressureLevel; // Ispravi rezultate
mjerenja uz pomoc referente vrijednosti napona radi vece tocnosti mjerenja
float pressurePsig = ((pressureVoltage - 0.1 * refLevel) * 150) / (0.8 * refLevel); //
Pretvori vrijednost napona u psig uz pomoc prijenosne funkcije senzora

return pressurePsig * 0.0689475728; // Pretvori psig u bar
}

void writeToSdCard(String filename, data) {
    digitalWrite(SdChipSelectPin, LOW);

    File logFile = SD.open(filename, FILE_WRITE);
    logFile.println(data);
    logFile.close();

    digitalWrite(SdChipSelectPin, HIGH);
}

void sendDataViaLora(String data) {
    byte buffer[data.length()];
    data.getBytes(buffer, data.length());
    int ttnResponse = ttn.sendBytes(buffer, sizeof(buffer));

    if (ttnResponse == TTN_ERROR_SEND_COMMAND_FAILED || ttnResponse ==
TTN_ERROR_UNEXPECTED_RESPONSE) {
        writeToSdCard(errorLogFileName, String("Failed to send data, error: " +
ttnResponse));
    } else {
        connectedToLora = true;
    }
}
```

### 3.8. Procijenjena vrijednost uređaja

S obzirom kako uređaj nije proizveden već je napravljen njegov koncept točnu cijenu uređaja nije moguće odrediti.

Tablica 9. Cijena elektroničkih komponenti

Naziv	Količina	Cijena
Pojačalo LMC662AIM	1	11,27 HRK
SMD Kondenzator 0.1 $\mu$ F	1	1,63 HRK
Držać SD kartice	1	3,85 HRK
5.5mm konektor vodiča napajanja	1	2,86 HRK
MG811 senzor	1	114,86 HRK
NEO-M8M GPS modul	1	1575 HRK
DHT22 senzor	1	45,5 HRK
9 pinova za povezivanje dvije tiskane pločice	2	0,83 HRK
SMD LED dioda	1	0,41 HRK
Pretvarac logične razine TXB0108-TSSOP-20	1	3,55 HRK
RN2483 LoRaWAN modul	1	116,03 HRK
ATtiny3216 mikrokontroler	1	35,48 HRK
SSCDANN2.5BAAA3 senzor	1	357,5 HRK
1k otpornik	4	0,05 HRK
7,5k otpornik	1	0,05 HRK
DS18B20 senzor	1	10,66 HRK
RPSMA konektor antene	2	9,75 HRK
ML8511 senzor	1	31,79 HRK
AMS1117	1	6,5 HRK
AMS1117-5.0	1	0,65 HRK
AMS1117-3.3	1	0,65 HRK
L7812CV	1	7,35 HRK
<b>SVEUKUPNO</b>		<b>929,45 HRK</b>

U procjenu cijene uređaja nije uračunat trošak izrade dvije tiskane pločice, cijena GPS i LoRaWAN antene te cijena devet vodiča koji spajaju vanjsku i unutarnju pločicu. Ne treba zaboraviti kako je ovo samo cijena uređaja za prikupljanje podataka koja ne uključuje cijenu

balona, baterije, padobrana, radar reflektor i kućište (kutija) izrađeno od ekspandiranog polistirena.

---

## 4. ZAKLJUČAK

Ovaj rad prikazuje teorijski koncept projektiranja uređaja za mjerenje, pohranjivanje i prijenos podataka meteorološkog balona te je sljedeći korak u razvoju uređaja izrada prototipa.

Sam rad prikazuje kako je za relativno nisku cijenu manju od 1000 HRK moguće izraditi uređaj koji može prikupljati velik broj podataka pomoću kojih se može izraditi vremenska prognoza te pratiti promijene u Zemljinoj atmosferi. S obzirom da meteorološki baloni imaju vrlo važnu ulogu u stvaranju vremenskih prognoza ovakav uređaj može značajna pojeftiniti i omogućiti slabije razvijenim područjima izradu detaljnih vremenskih prognoza. Također uređaj je projektiran tako da se može više puta koristiti te na taj način istraživanje Zemljine atmosfere postaje još jeftinije i pristupačnije većim masama.

Ovakav uređaj ne mora nužno biti spojen na meteorološki balon, može se spojiti i na raketu koja će biti ispaljena u stratosferu te na taj način prikupljati mjerne podatke.

Isto tako na uređaj je moguće postaviti još dodatnih senzora ukoliko se pokaže potreba jer sustav za pohranu i prijenos podataka može funkcionirati s više vrsta mjernih podataka te nije ograničen na mjerne podatke koji su navedeni u ovom radu. Naravno ukoliko bi se ugrađivali dodatni senzori potrebne su manje preinake u tiskanim pločicama uređaja i programskom kodu.

Za izradu ovog uređaja potrebna su znanja stečena na studiju Mehatronike i robotike no isto tako i znanja iz općeg strojarstva.

---

**LITERATURA**

- [1] meteorologija. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021.
- [2] meteorološki sateliti. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021.
- [3] meteorološki balon. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021.
- [4] meteorološki element. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021.
- [5] Kühlwein, Ludwig. Helium Recovery: Tailor-made and Absolutely Gastight. Bauer Kompressoren GmbH. April 11, 2007.
- [6] [www.thethingsnetwork.org](http://www.thethingsnetwork.org)
- [7] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [8] [www.space.stackexchange.com](http://www.space.stackexchange.com)
- [9] [www.scied.ucar.edu](http://www.scied.ucar.edu)
- [10] [www.easyeda.com](http://www.easyeda.com)
- [11] [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
- [12] [www.datasheets.maximintegrated.com](http://www.datasheets.maximintegrated.com)
- [13] [www.electroschematics.com](http://www.electroschematics.com)
- [14] [www.sensing.honeywell.com](http://www.sensing.honeywell.com)
- [15] [www.rohm.com](http://www.rohm.com)
- [16] [www.sandboxelectronics.com](http://www.sandboxelectronics.com)
- [17] [www.u-blox.com](http://www.u-blox.com)
- [18] [www.kingston.com](http://www.kingston.com)
- [19] [www.ipc.org](http://www.ipc.org)
- [20] [www.mouser.com](http://www.mouser.com)
- [21] [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)