

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Matija Verbič

**Vremenska postaja z vgrajenim
spletnim strežnikom**

DIPLOMSKO DELO
NA UNIVERZITETNEM ŠTUDIJU

MENTOR: prof. dr. Dušan Kodek

Ljubljana 2012

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina avtorja in Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavljanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje avtorja, Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil \LaTeX .



Št. naloge: 01866/2012

Datum: 05.09.2012

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **MATIJA VERBIČ**

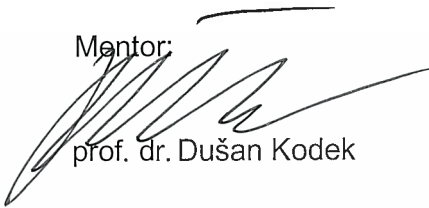
Naslov: **VREMENSKA POSTAJA Z VGRAJENIM SPLETNIM STREŽNIKOM
WEATHER STATION WITH A BUILT IN WEB SERVER**

Vrsta naloge: Diplomsko delo univerzitetnega študija

Tematika naloge:

Zasnujte vremensko merilno postajo, ki ima senzorje za temperaturo, zračni tlak, vlago in hitrost ter smer vetra. Naprava naj bo zasnovana iz baterijsko napajane senzorskega dela, ki podatke preko radijskega oddajnika pošilja v sprejemniški modul. Ta naj poleg shranjevanja podatkov na microSD kartico vsebuje tudi ethernet priključek in spletni strežnik. V ta namen izdelajte primerno spletno stran, preko katere je mogoče spremljati vremenske podatke preko poljubnega spletnega brskalnika. Razvijte in izdelajte vso potrebno strojno in programsko opremo ter preizkusite delovanje postaje.

Mentor:


prof. dr. Dušan Kodek

Dekan:


prof. dr. Nikolaj Zimic



IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisani Matija Verbič, z vpisno številko **63040174**, sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Vremenska postaja z vgrajenim spletnim strežnikom

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom prof. dr. Dušana Kodeka,
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki "Dela FRI".

V Ljubljani, dne 23. oktobra 2012

Podpis avtorja:

Zahvaljujem se mentorju, prof. dr. Dušanu Kodeku, za vse nasvete, strokovno pomoč in mentorstvo. V drugi vrsti gre zahvala družini, ki me je tekom študija podpirala in prenašala moje muhe. Zahvala gre tudi vsem prijateljem, kolegom in znancem, ki so na kakršenkoli način pripomogli h končanju mojega študija na FRI.

Kazalo

Povzetek

Abstract

1	Uvod	1
2	Oprema	3
2.1	Mikrokrmilnik	3
2.2	Komunikacijski modul	4
2.3	Pomnilniška kartica microSD	4
2.4	Modul RTC	5
2.5	Ethernet krmilnik	5
2.6	Senzorji	6
2.6.1	Senzor temperature in barometričnega tlaka	6
2.6.2	Senzor zračne vlage	7
2.6.3	Anemometer	8
2.6.4	Merilnik smeri vetra.	10
2.6.5	Senzor na Hallov pojav	10
2.7	Microchipov paket knjižnic	12
2.8	Vodilo SPI	13
2.9	PICKit 2	14
2.10	MPLAB X	15

KAZALO

3	Realizacija	17
3.1	Oddajniški modul	18
3.1.1	Zajem podatkov	18
3.1.2	Obdelava in pošiljanje podatkov	20
3.2	Sprejemniški modul	21
3.2.1	Uporabniški vmesnik	23
3.3	Izdelava vezja	25
3.4	Testiranje	26
4	Sklepne ugotovitve	29
A	Senzorski moduli	31
B	Oddajniško vezje	35
C	Sprejemniško vezje	39
	Seznam slik	44
	Seznam tabel	45
	Literatura	47

Seznam uporabljenih kratic in simbolov

EEPROM (ang.) Electrically Erasable Programmable Read Only Memory - električno izbrisljiv in programirljiv bralni pomnilnik

hPa (ang.) hectopascal - hektopascal, merska enota za merjenje zračnega tlaka, $1\text{hPa} = 100\text{Pa} = 1\text{mbar}$

HTTP (ang.) Hypertext Transfer Protocol - protokol za prenos informacij na spletu

MPFS (ang.) Microchip File System - Microchipov datotečni sistem

RAM (ang.) Random Access Memory - pomnilnik z naključnim dostopom

RF (ang.) Radio Frequency - radijska frekvenca

RTC (ang.) Real-Time Clock - realnočasovna ura

SD (ang.) Secure Digital - format pomnilniških kartic za uporabo v prenosnih napravah

SPI (ang.) Serial Peripheral Interface - serijski periferni vmesnik

UART (ang.) Universal Asynchronous Receiver/Transmitter - univerzalni asinhronski oddajnik/sprejemnik

Povzetek

Ideja diplomskega dela je bila zasnovati in izdelati preprosto vremensko postajo, ki bi, neodvisno od ostalih naprav, podatke pošiljala v lokalno (s primerno nastavitvijo usmerjevalnika pa tudi internetno) omrežje.

Rešitev je ločena na dva modula, senzorskega in strežniškega. Modula delujeta neodvisno en od drugega, podatke pa si izmenjujeta preko brezžične RF povezave. Naloga senzorskega je zajem podatkov, na strežniškem pa teče preprosta implementacija strežnika HTTP. Do njega je mogoče dostopati s pomočjo poljubnega spletnega brskalnika.

Opisana so pomembnejša orodja, elektronski elementi, njihova uporaba in implementacija. V nadaljevanju sledi podrobnejši opis delovanja, uporabe in izdelave vsakega od modulov in spletne strani. Na koncu je opisano testiranje naprave pri realnih pogojih.

Ključne besede:

HTTP, RF, senzor, strežnik, vremenska postaja

Abstract

The idea of the thesis was to design and implement a simple weather station, which would, independently of any other device, be able to send data into a local area (and with a suitable router setting also internet) network.

The solution is split into two, sensory and server, modules. Modules operate independently of each other and exchange data over wireless RF link. The purpose of the sensory module is to capture the data and send it to server module. Server module implements a simple HTTP server. It can be accessed using any web browser.

The thesis describes the tools, electronic components, their use and implementation. Furthermore, it describes operation, use and manufacture of both modules and web site. In the end, there is also a description of the testing process in real-world conditions.

Key words:

HTTP, RF, sensor, server, weather station

Poglavje 1

Uvod

Vreme in vremenski pojavi so že od nekdaj burili človeško domišljijo, saj je bilo od tega odvisno vsakdanje življenje. Ravno zato se je opazovanje vremena pojavilo že zelo zgodaj v človeški zgodovini. Nekoč je opazovanje temeljilo zgolj na videnem in čutenem, skozi evolucijo in s tehnološkim napredkom pa je postajalo vedno bolj sistematično in kompleksno.

Vremenska postaja je naprava, bodisi na zemlji, v zraku, ali pa na vodi, s pripadajočimi instrumenti. Namenjena je zajemanju podatkov o vremenu. Namen je lahko napovedovanje vremena, analiza preteklih meritev, na katerih bazirajo študije klimatskih sprememb,... Meritve vključujejo podatke o temperaturi, barometričnem tlaku, zračni vlagi, smeri in hitrosti vetra, pa tudi hidrometeorološke meritve, npr. količine padavin, merjenje vidljivosti,... Pomembno je, da se meritve vršijo po standardih, saj je le tako lahko zagotovljena njihova primerljivost.

Vremenske postaje uporabljajo različne principe zajema podatkov. Najpreprostejši je analogni, kjer trenutno stanje s senzorja odčitamo ročno, danes pa so jih v večini izpodrinili digitalni senzorji, ki z ustreznimi vmesniki in komunikacijo omogočajo lažje analize in predstavitve podatkov.

Poleg profesionalnih vremenskih postaj, ki so namenjene predvsem inštitucijam, poznamo tudi take, ki so namenjene osebni rabi. Lahko za namene športa, podjetništva, kmetijstva,... ali pa „kar tako“. Take postaje so ce-

nejše, imajo omejene zmogljivosti merjenja in meritve zajemajo z manjšimi natančnostmi.

Ideja diplomskega dela je bila realizirati postajo za osebno rabo, ki bi bila sposobna merjenja atmosferskega dogajanja in ki bi podatke lahko predstavila v omrežju. Realizacija vsebuje 2 modula, senzorskega in strežniškega. Na senzorskem se vrši zajem podatkov, le-ti pa se pošiljajo po brezžični povezavi na strežniškega. Na tem teče preprost strežnik HTTP, do katerega lahko dostopamo s poljubnim spletnim brskalnikom.

Naprava je sposobna zajemanja podatkov o zračni vlagi, temperaturi, barometričnem tlaku, hitrosti in smeri vetra. Pri izvajanju meritev smo se oprli na merilne standarde.

Poglavje 2

Oprema

V poglavju so opisani pomembnejši elementi, senzorji in programirna orodja, ki smo jih uporabili pri naši realizaciji. Kosovnica uporabljenih elementov je prikazana v dodatku (glej tabele A.2, B.1 in C.1).

2.1 Mikrokrmilnik

Jedro vremenske postaje predstavljata 2 mikrokrmilnika PIC24FJ64GA002. Na enem teče program za senzorsko oz. oddajno, na drugem pa za strežniško oz. sprejemno stran. Gre za 16-bitni mikrokrmilnik proizvajalca Microchip. Napaja se z napetostjo od 2,0V do 3,6V. Ima 28 pinov, od katerih jih je 21 namenjenih vhodno-izhodnim priključkom. Programiranju je na voljo 64KB obstojnega in 8KB neobstojnega SRAM pomnilnika. Za komunikacijo s perifernimi napravami skrbi več vmesnikov, med pomembnejšimi so SPI (poglavje 2.8), I²C in UART [10].

Čip je bil izbran zaradi velikosti programskega pomnilnika in pomnilnika RAM, poleg tega pa sta 2 ločena strojna vmesnika SPI omogočila ločeno uporabo kartice microSD in ethernet vmesnika, ne da bi bilo potrebno signale multipleksirati. Čip je dobavljiv v ohišju DIP, tako da je bilo prototip lažje realizirati na razvojni plošči.

2.2 Komunikacijski modul

Za namen brezžične komunikacije med obema ločenima moduloma vremenske postaje je bil izbran RF modul proizvajalca Hope Microelectronics, RFM12B. Modul deluje v frekvenčnem območju 868 MHz, z mikrokrmilnikom pa komunicira preko vmesnika SPI (poglavje 2.8). SPI je bil realiziran programsko. Nastavitvi modula in komunikaciji služi 15 različnih ukazov, ki se pošiljajo serijsko. Zahtevo za komunikacijo z mikrokrmilnikom predstavlja generiranje prekinitve, ki se zgodi ob vseh posebnih dogodkih in jih po želji lahko obravnavamo (npr. sprejem naslednjega bajta informacije). Kateri od dogodkov se je zgodil, nam pove vsebina statusnega registra [8].

Antena v paket ni bila vključena. Izdelana je bila iz ravne bakrene žice. Njena dolžina je izračunana po enačbi 2.1, kjer je $1/4$ eden od faktorjev, pri katerih antena resonira. Valovna dolžina je izračunana po 2.2, kjer je c_0 svetlobna hitrost, f pa frekvenca oddajanja [3].

$$l = 1/4\lambda \quad (2.1)$$

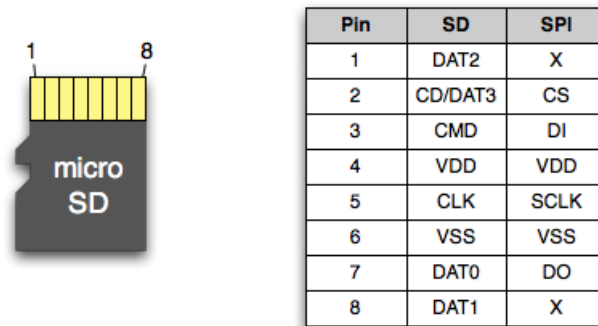
$$\lambda_0 = c_0/f \quad (2.2)$$

Izračunana dolžina antene je znašala 86,4 mm.

2.3 Pomnilniška kartica microSD

Shranjevanje podatkov je bilo realizirano na spominsko kartico microSD, ki je ena od izvedenk kartice SD. Komunikacija med mikrokrmilnikom in kartico se lahko izvaja v SD 1-bitnem, 4-bitnem ali pa SPI (poglavje 2.8) načinu [2].

Razpored priključkov za vsakega od načinov je prikazan na sliki 2.1. Zaradi preprostosti realizacije je bil izbran način SPI, ki je bil realiziran na strojnem nivoju. Pri tem je bil, zaradi preprostosti uporabe za končnega uporabnika, uporabljen datotečni sistem FAT32. Pri realizaciji smo se oprli na knjižnico iz Microchipovega paketa knjižnic (več v poglavju 2.7).



Slika 2.1: Kartica microSD z razporedom priključkov.

2.4 Modul RTC

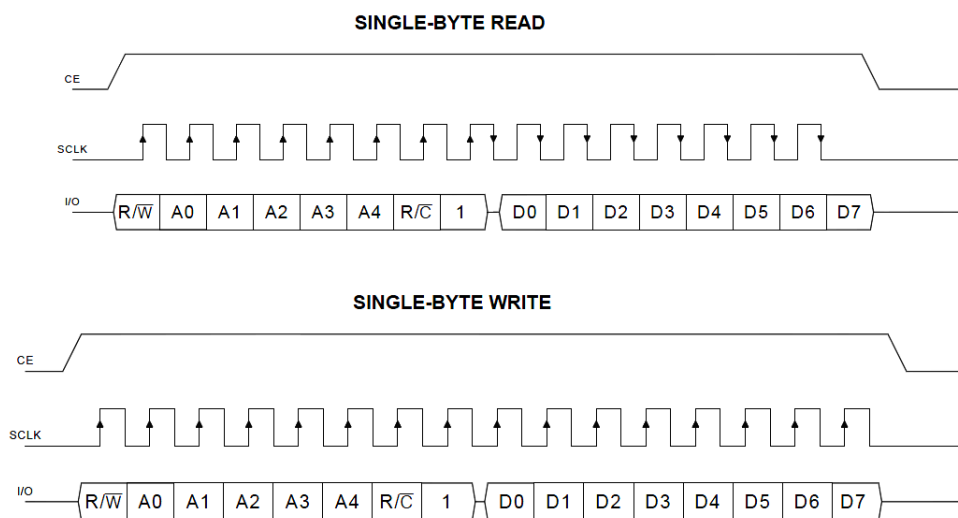
Namen modula je podati podatek o času meritve.

DS1302 je modul RTC, ki vsebuje realno uro in koledar, z mikrokrmilnikom pa komunicira preko komunikacijskega protokola 3-Wire. Omogoča štetje sekund, minut, ur, dneva v tednu, dni v mesecu, meseca in leta. Vsebuje že vgrajena prestopna leta, število dni v mesecu in uro v 24-urnem formatu. Poleg realiziranega eksplozijskega načina prenosa podatkov podpira tudi bajtni način [9].

Čeprav uporabljen mikrokrmilnik PIC že vsebuje vgrajen modul RTC, je bil izbran dodatni, saj ob morebitnem izpadu napajanja vgrajeni ne omogoča ohranitve informacij. Izbran mikrokrmilnik ne vsebuje strojne realizacije 3-Wire protokola, le-ta je bil realiziran programsko, na osnovi časovnih diagramov. Na sliki 2.2 je prikazan časovni diagram protokola pri bajtnem prenosu. V eksplozijskem načinu je razlika ta, da je signal CE v visokem stanju, vse dokler se prenos ne zaključi.

2.5 Ethernet krmilnik

ENC28J60 je ethernet krmilnik, ki deluje s pomočjo serijskega perifernega vmesnika SPI (več v 2.8). Namenjen je delovanju kot ethernet vmesnik za



Slika 2.2: Časovni diagram protokola 3-Wire.

poljuben krmilnik z SPI [13].

Programiranje vmesnika je bilo izvedeno s pomočjo knjižnice TCP/IP Stack (več v poglavju 2.7). Zaradi lažje izdelave prototipa in lažjega razhroščevanja je bil izbran čip, ki je bil že prispajkan na prototipno ploščico, skupaj s pripadajočimi elementi in omrežnim priključkom RJ45 z vgrajeno galvansko ločitvijo.

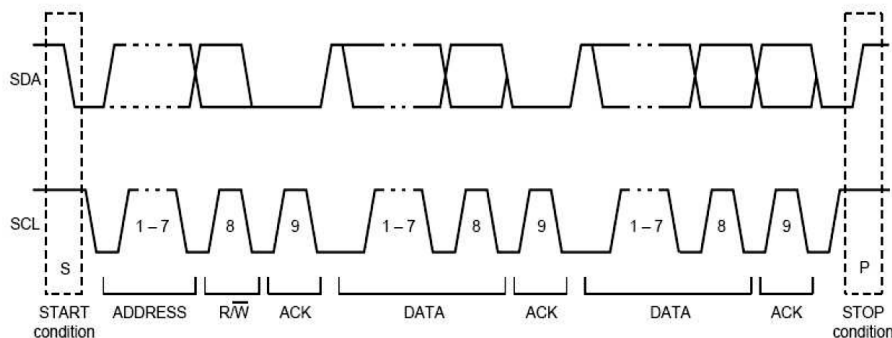
2.6 Senzorji

2.6.1 Senzor temperature in barometričnega tlaka

Za namen merjenja trenutne temperature in barometričnega tlaka je bil izbran senzor proizvajalca Bosch, BMP085. Gre za digitalni senzor, ki omogoča merjenje podatkov o temperaturi v ločljivosti 0.1°C in 0.01hPa za merjenje tlaka. Komunikacija z mikrokrmilnikom poteka preko vodila I²C, protokol pa je realiziran na strojnem nivoju. To pomeni uporabo ustreznih registrov v mikrokrmilniku (več v [10]). Časovni diagram protokola je prikazan na

sliki 2.3. Izmerjena tlak in temperatura se izračunata s pomočjo kalibracijskih podatkov, ki so zapisani v EEPROMu sensorja. Tlak ni odvisen samo od vremena, ampak tudi od nadmorske višine. Za referenco ga zato s pomočjo enačbe 2.3 preračunamo na nadmorsko višino 0 m [5].

$$p_0 = \frac{p}{\left(1 - \frac{\text{nadmorska_višina}}{44330}\right)^{5,255}} \quad (2.3)$$



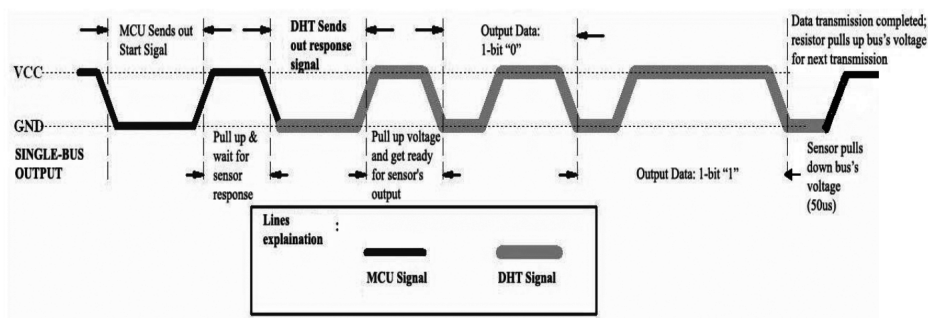
Slika 2.3: Časovni diagram protokola I²C.

2.6.2 Senzor zračne vlage

V namen merjenja trenutne zračne vlage je bil izbran senzor DHT11. Komunikacija mikrokrmilnika s sensorjem poteka preko preprostega enožičnega komunikacijskega protokola. Časovni diagram enožičnega komunikacijskega protokola je prikazan na sliki 2.4. Mikrokrmilnik pošlje zahtevo za meritev tlaka tako, da pošlje ukaz START. Ukaz START je nizek nivo na izhodu podatkovne linije, ki mu sledi visoko stanje. Linijo mikrokrmilnik nato sprosti in počaka na odziv sensorja. Ta je sestavljen iz nizkega logičnega nivoja, ki mu sledi visok. To je znak mikrokrmilniku, da lahko začne z branjem podatkov. Vsak bit branega podatka je sestavljen iz nizkega nivoja, ki mu sledi visok, razlika pa je v trajanju visokega nivoja, ki je $26 - 28\mu s$ za logično 0

in $70\mu s$ za logično 1. Nizek nivo v obeh primerih traja $50\mu s$. Poleg merjenja zračne vlage senzor omogoča tudi meritev temperature [6].

Ta zmožnost ni bila uporabljena. Temperatura se izmeri s pomočjo senzorja barometričnega tlaka, ki po specifikacijah dosega večje točnosti. Branje posameznih bitov podatka je realizirano tako, da se ob zaznani pozitivni fronti sproži časovnik. Čez $60\mu s$ se stanje signala, ki ustreza vrednosti posameznega podatkovnega bita, prebere ponovno.

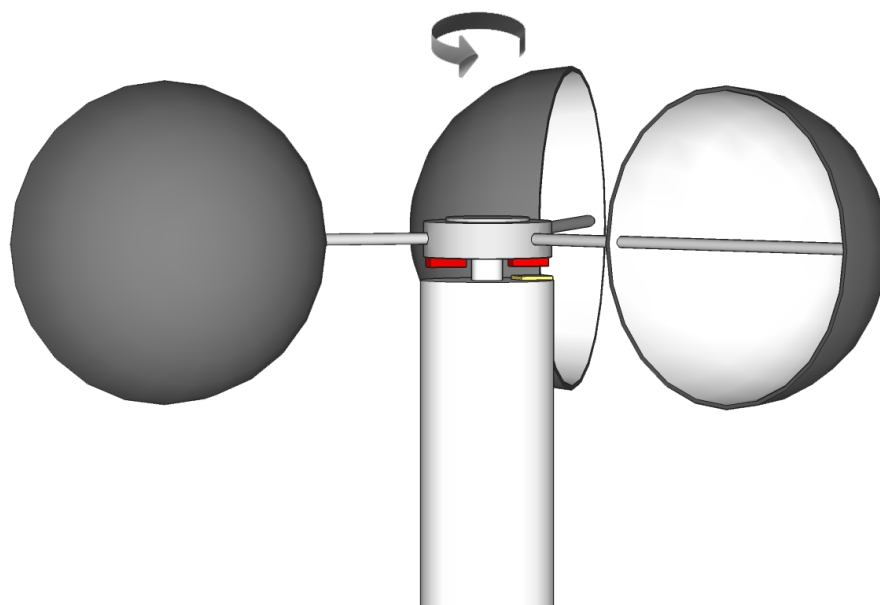


Slika 2.4: Časovni diagram enožične komunikacije.

2.6.3 Anemometer

Anemometer (merilnik hitrosti vetra) je bil izdelan v samoizdelavi.

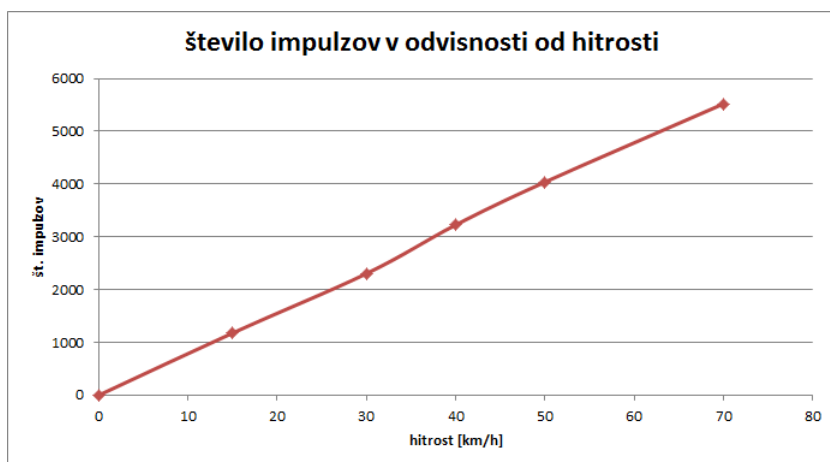
Osnovo merilnika predstavlja senzor na Hallov pojav (več v poglavju 2.6.5). Hallov senzor je pritrjen na nosilec vetrnice, na katero sta pritrjena dva magneti. S tem je dosežena dovolj visoka natančnost merjenja. Pri vsakem obratu vetrnice se zaznata 2 impulza. Merilnik deluje tako, da se magneti vrtijo skupaj z vetrnico. Hitrost vrtenja je linearno odvisna od hitrosti pihanja vetra. Ob vsakem prehodu magnetov preko Hallovega senzorja se generira urina fronta. To mora mikrokrmilnik zaznati. Na podlagi števila odčitanih se lahko izračuna hitrost pihanja vetra. Princip delovanja je prikazan na sliki 2.5. Z rdečo barvo sta označena magneti, z rumeno pa Hallov senzor. Puščica ponazarja smer vrtenja vetrnice. Pred uporabo je bilo potrebno izdelan anemometer umeriti, saj je hitrost vrtenja in s tem število oddanih



Slika 2.5: Anemometer.

impulzov neposredno povezana z velikostjo, obliko, trenjem in zračnim uprom sestavnih delov. Predpostavljena je bila linearna odvisnost. Vetrovnika nismo imeli na voljo, zato je bil uporabljen princip vožnje z avtom (in kolesom) v mirnem vremenu, pri točno določenih hitrostih. To je ekvivalent pihanju vetra. Število impulzov je bilo merjeno pri hitrostih 15, 30, 40, 50 in 70 km/h. Za vsako od meritev so bili zajeti podatki v skupni dolžini 3 minut, pri čemer so bili delni podatki zapisovani na vsakih 10 sekund. Nato so bile 3 najvišje in 3 najnižje meritve izločene, iz preostalih podatkov (v tabeli A.1) pa je bil narisana graf odvisnosti števila impulzov od hitrosti (na 2.6). Na podlagi teh meritev je bilo izračunano, da v 2 minutah za hitrost pihanja vetra 1 km/h dobimo v povprečju 39,5 impulza, kar ustreza linearni enačbi 2.4.

$$v = \frac{\text{št. impulzov}}{39,5} \quad (2.4)$$



Slika 2.6: Graf odvisnosti števila impulzov od hitrosti pihanja vetra.

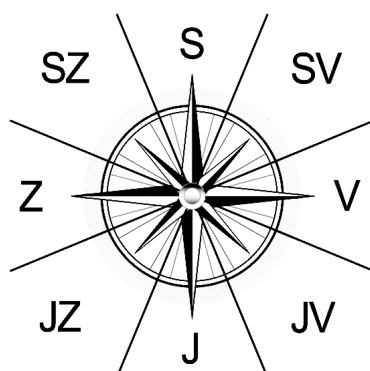
2.6.4 Merilnik smeri vetra.

Merilnik je bil izdelan v samoizdelavi, osnova pa je senzor na Hallov pojav (poglavje 2.6.5).

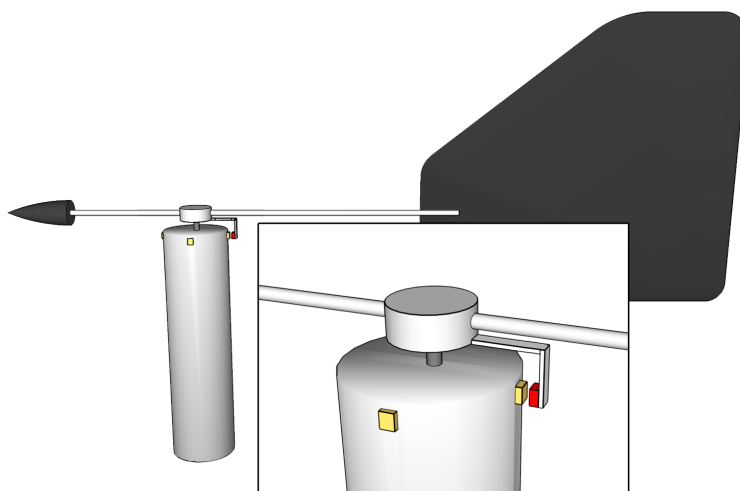
Merilnik smeri ima ločljivost 45° , kar zadostuje za določanje smeri vetra v 8 različnih smereh, kot je prikazano na sliki 2.7. Ta princip zaznavanja je bil realiziran tako, da smo na nosilec pritrdili 4 Hallove senzorje, po enega za vsako od osnovnih smeri neba. Na kazalec smeri je pritrjenih več magnetov, razporejenih tako, da je vedno izbran vsaj en senzor, vendar največ 2. S tem, ko se kazalec obrača v smeri vetra, aktivira določen senzor in tako vedno vemo v katero smer je kazalec obrnjen. V primeru, da sta aktivirana 2 sosednja senzorja, se to interpretira kot pihanje v obeh smereh (npr. severovzhodni veter). Princip delovanja je prikazan na sliki 2.8. Z rdečo je označen magnet, z rumeno pa so označeni štirje Hallovi senzorji.

2.6.5 Senzor na Hallov pojav

Uporabljen je bil senzor A1120, proizvajalca Allegro MicroSystems. Senzor ima 3 priključke, 2 za napajanje in 1 za izhod. Stanje izhoda je odvisno od tega, ali se senzor nahaja v magnetnem polju ali ne. Taki senzorji imajo



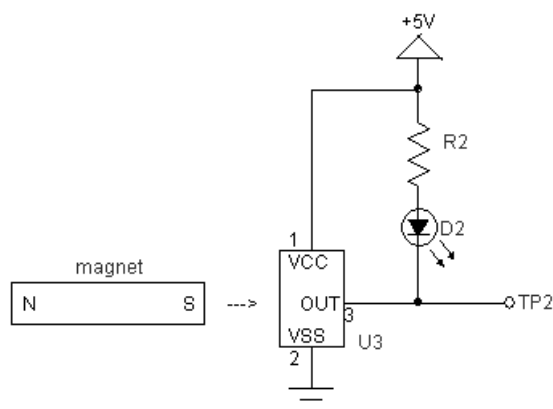
Slika 2.7: Smer vetra glede na kot.



Slika 2.8: Merilnik smeri vetra

dolgo življenjsko dobo, visoko delovno hitrost (nad 100 kHz), širok delovni temperaturni razpon in ne vsebujejo gibljivih delov [7].

Na sliki 2.9 je prikazan primer vezave LED diode in senzorja na Hallov pojav, ko se mu približamo z južno stranjo magneta.



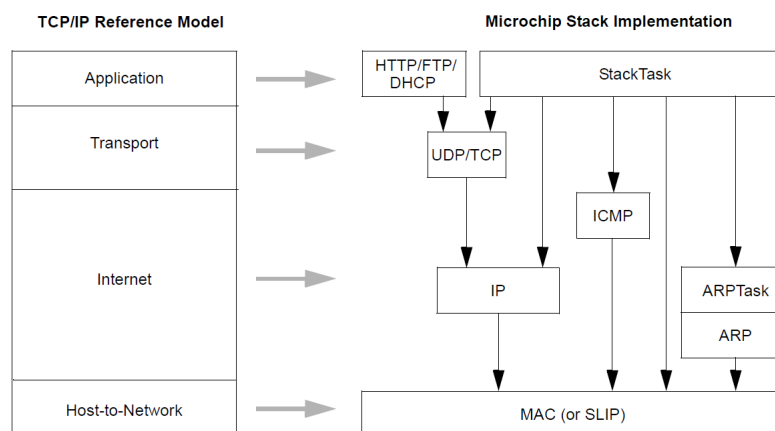
Slika 2.9: Primer uporabe senzorja na Hallov pojav.

2.7 Microchipov paket knjižnic

Microchip uporabnikom svojih čipov ponuja testne primere aplikacij s področja mreženja, USB naprav, pomožnih pomnilnikov, brezžičnosti, grafike,... s pripadajočimi knjižnicami. Primeri so dosegljivi preko Microchipove spletne strani. To programerjem omogoča lažje programiranje kompleksnejših sistemov, kar je bilo uporabljeno tudi pri realizaciji vremenske postaje z vmesnikom ethernet. Iz paketa knjižnic smo uporabili 2:

- Memory Disk Drive (MDD), ki vsebuje osnovne funkcije za delovanje kartice SD s pomočjo strojnega vmesnika SPI. Podpira uporabo datotek v datotečnih sistemih FAT12, FAT16 in FAT32.
- TCP/IP Stack, ki vsebuje implementacijo uporabljenega čipa z vmesnikom ethernet, ENC28J60. Pri tem se podatki berejo iz zunanje EEPROM pomnilnika. Uporablja datotečni sistem MPFS, za njegovo uporabo pa potrebujemo namenska orodja [11].

Ta funkcionalnost ni bila ohranjena, namesto tega je bila uporabljena uporabniku prijaznejša kartico microSD z datotečnim sistemom FAT32. Primerjava med referenčnim modelom TCP/IP in Microchipovo implementacijo je prikazana na sliki 2.10.



Slika 2.10: Primerjava med referenčnim modelom TCP/IP in Microchipovo implementacijo.

2.8 Vodilo SPI

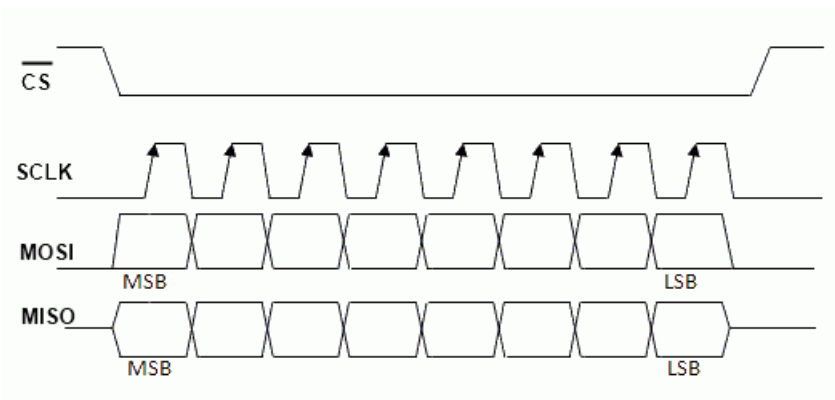
SPI je sinhronsko serijsko vodilo, ki se uporablja za komunikacijo mikrokrmilnikov z drugimi mikrokrmilniki in s perifernimi napravami. To so lahko pomnilniki EEPROM, analogno-digitalni pretvorniki, pomikalni registri, senzorji... Realizirano je lahko na strojnem ali programskem nivoju. Pri vsaki komunikaciji imamo napravo ki deluje kot gospodar ali pa suženj. V našem primeru je bil mikrokrmilnik vedno gospodar, periferne naprave pa so bili sužnji.

Vodilo SPI definirajo 4 logični signali:

- SCLK - urin signal, ki ga generira gospodar,
- MOSI - izhod gospodarja in vhod sužnja,
- MISO - vhod gospodarja in izhod sužnja,
- CS - izbira čipa.

Strojna realizacija vsebuje posebne registre, ki so namenjeni prenosu podatkov v obe smeri (lahko v istočasno dvosmernem ali pa izmenično enosmernem prenosu), kontrolne registre, s katerimi je določen režim delovanja in statusni register, ki označuje status prenosa. Uporaba strojne realizacije pomeni uporabo teh namenskih registrov [12].

Primer časovnega diagrama takega vmesnika je predstavljen na sliki 2.11. Programska realizacija deluje po istem časovnem diagramu, tukaj pa je stanje izhoda določeno programsko, z visokim ali nizkim logičnim nivojem posameznih izhodov mikrokrmilnika. Vsakemu od 4 signalov ustreza en izhod mikrokrmilnika.



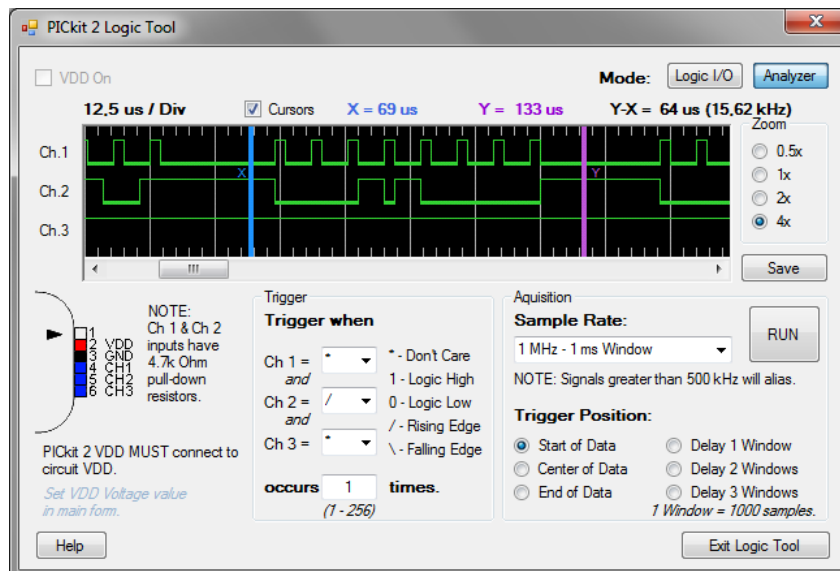
Slika 2.11: Časovni diagram protokola SPI.

2.9 PICkit 2

Programiranje mikrokrmilnikov je bilo izvedeno s pomočjo Microchipovega programatorja PICkit 2. Poleg programiranja omogoča tudi razhroščevanje, deluje pa lahko tudi kot preprost trikanalni logični analizator in vmesnik UART. Pri programiranju komunikacije med mikrokrmilnikom in periferijo sta bili obe funkcionalnosti tudi uporabljeni.

Na sliki 2.12 je prikazan sprejem podatka o sekundah pri modulu RTC v obliki BCD [9]. Na 1. kanalu (na sliki označen kot Ch.1) je priklopljen urin

signal, na 2. kanalu (na sliki označen kot Ch 2.) pa podatkovni signal.



Slika 2.12: Primer sprejema podatka z modula RTC. Vrednost predstavlja 19 sekund.

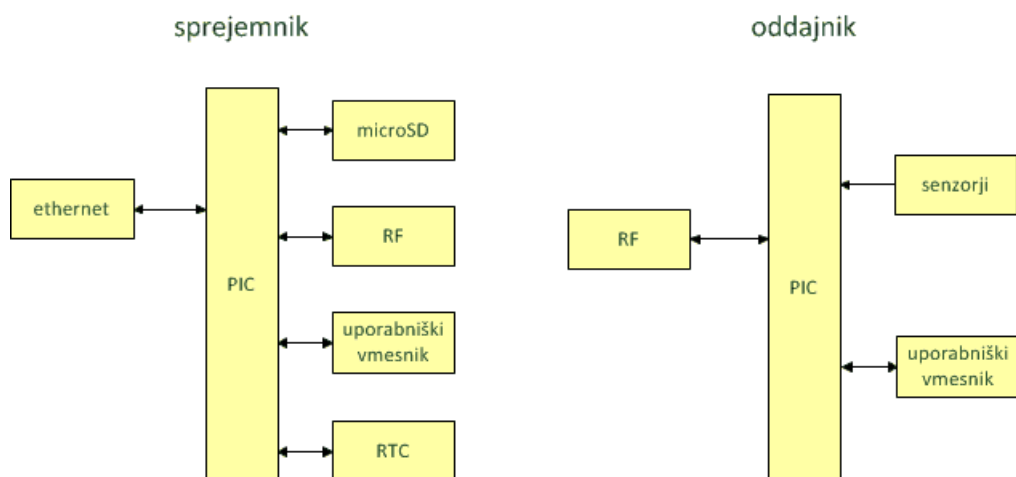
2.10 MPLAB X

Za programiranje mikrokontrolerov je bil uporabljen Microchipov programski paket MPLAB (www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/mplabx/). Paket ponuja grafično okolje za razvoj aplikacij na platformi PIC, bodisi v zbirniku ali pa v programskem jeziku C. Poleg okolja za programiranje omogoča tudi razhroščevanje. Programiranje mikrokontrolerov je bilo izvedeno v programskem jeziku C, uporabljen je bil prevajalnik C30.

Poglavje 3

Realizacija

Merilna postaja sestoji iz dveh, med seboj neodvisno delujočih modulov. Oddajnik je namenjen zajemu podatkov, nanj so priključeni vsi senzorji in modul RF. Podatki se pošiljajo preko brezžičnega modula na sprejemnik, ki deluje kot preprost strežnik HTTP in podatke pošilja v omrežje, poleg tega pa vrši zapis aktualnih podatkov o vremenu na spominsko kartico. Bločna shema sistema s pripadajočimi moduli je predstavljena na sliki 3.1.



Slika 3.1: Bločna shema sistema vremenske postaje.

3.1 Oddajniški modul

Na oddajniški modul (slika B.2) so priključeni senzorji za zajem podatkov in oddajniški del brezžične komunikacije. Zasnovati smo ga poskušali čim bolj modularno, da bi lahko zagotovili fizično kar se le da optimalno razporeditev senzorjev v vremenski hišici (katere izdelava ni bila predmet diplomskega dela) in izven nje.

Modul se napaja s pomočjo baterije, ki je preko 3,3V napetostnega regulatorja priključena na vezje. Poskrbeti je bilo potrebno za čim nižjo porabo električne energije, saj je od tega odvisna trajnost baterije. Zato je bilo potrebno poskrbeti, da so vse komponente čim več časa v mirovanju. Senzorja vlage in tlaka/temperature mirujeta vedno, kadar ne komunicirata z mikrokrmilnikom ali izvajata meritve. Za mirovanje RF oddajnika in mikrokrmilnika je bilo poskrbljeno z ustreznimi ukazi pri RF oddajniku in z namenskim časovnikom pri mikrokrmilniku.

Morebitno okvaro na programskem nivoju delovanja lahko odpravimo z resetiranjem modula, kateremu je namenjena tipka, pravilnost delovanja pa je mogoče spremljati preko dveh kontrolnih LED diod. Namen prve je indikator delovanja, druga pa deluje kot indikator pošiljanja podatkov.

3.1.1 Zajem podatkov

Poraba električne energije je odvisna od pogostosti zajema podatkov. Želeli smo čim pogostejše meritve, hkrati pa čim nižjo porabo energije. Kompromis je bil zajem podatkov na vsakih 10 minut. Celotna meritev se izvaja 2 minuti. Čas merjenja je pogojen z merilnim standardom. Temperatura, barometrični tlak in vlaga so izmerjeni v časovnih okvirih, določenih s tovarniško določeno realizacijo. Smer in povprečna hitrost vetra sta določeni po standardu, z dvominutnim časovnim povprečjem [4].

Povprečna hitrost vetra se meri s pomočjo izdelanega anemometra. Hitrost se izračuna glede na število zaznanih impulzov v dvominutnem intervalu, kot je opisano v poglavju 2.6.3.

Smer vetra je po standardu določena kot povprečje meritev zadnjih 2 minut. Zaradi poenostavitve se vrednost ustreznih Hallovihih senzorjev odčita vsako sekundo, meritve pa se vnašajo v tabelo. Veljavna smer je določena kot povprečje vseh. Za izračun povprečja trivialna rešitev ne obstaja. Gre za zaporedje trigonometričnih izračunov, ki so na mikrokrmilniku izvedeni v enojni natančnosti. Vsaki od smeri neba ustreza točno določen kot iz množice kotov 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° in 315° . Severu ustreza kot 0° , jugu pa 180° . Za vsako od meritev je potrebno s pomočjo enačb 3.1 izračunati povprečje funkcij sinus in kosinus. Pri tem je n število vseh meritev, ϕ_i pa vrednost vsakega od izmerjenih kotov.

$$\begin{aligned} x_a &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sin\phi_i \\ y_a &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos\phi_i \end{aligned} \tag{3.1}$$

Povprečni kot se izračuna z uporabo enačbe 3.2. Primer, ko je vrednost y_a enaka 0, je potrebno obravnavati posebej, saj izraz 3.2 v tem primeru ni definiran.

$$\phi_a = \arctan\left(\frac{x_a}{y_a}\right) \tag{3.2}$$

Kvadrant koordinatnega sistema, v katerem se izračunana povprečna smer nahaja, določajo predznaki sinusnih in kosinusnih vrednosti. Rezultat se pretvori v eno od smeri neba, ki so določene z $22,5^\circ$ odstopanjem v pozitivni in negativni smeri glede na vrednosti iz množice kotov.

Pri merjenju prihaja do napak, ki so posledica nenatančnosti senzorjev, pri postavitvi postaje pa je potrebno upoštevati ustrezne pogoje (le-ti niso predmet diplomskega dela, zato se z njimi nismo ukvarjali).

- Senzor zračnega tlaka - senzor zagotavlja merjenje zračnega tlaka v tovarniško določenih merah točnosti, z največjim absolutnim odstopanjem $\pm 4hPa$, tipično $\pm 1,5hPa$ [5].
- Senzor temperature - senzor zagotavlja merjenje temperature v tovarniško določenih merah točnosti, z največjim absolutnim odstopanjem

$\pm 1,5^{\circ}C$, tipično $\pm 0,5^{\circ}C$ [5].

- Senzor zračne vlage - senzor zagotavlja meritev zračne vlage v tovarniško določenih merah točnosti, z največjim absolutnim odstopanjem $\pm 5\%$ [6].
- Anemometer - napake pri merjenju so posledica dimenzij in nepravilnosti pri izdelavi. Največji vpliv ima nepopolna uravnoteženost vetrnice in trenje v ležaju, posledično zaznavanje zelo nizkih hitrosti vetra ni mogoče.
- Merilnik smeri vetra - način izdelave ne zagotavlja izjemno velike točnosti (idealno bi bilo $\pm 45^{\circ}$ za vsako od možnih merjenih smeri neba). Odstopanja so odvisna od natančnosti izdelave, pa tudi od zaznavnega kota senzorjev. Natančnost je dovoljšna za ne preveč zahtevno uporabo.

3.1.2 Obdelava in pošiljanje podatkov

Po končani meritvi se podatki ustrezno obdelajo v človeku razumljivo tekstovno obliko in pošljejo na strežnik.

Komunikacijski protokol je definiran s strani proizvajalca komunikacijskega modula RFM12B, Hope Microelectronics. Uporablja se sinhronski način pošiljanja podatkov s pomočjo oddajniškega registra z medpomnjenjem. Oddajanje se začne na zahtevo mikrokrmilnika. Oddajniški register se napolni z dvema bajtoma AA_{16} , ki sta uporabljena za uvod v prenos podatkov. Po končanem prenosu enega bajta podatkov mikrokrmilnik zazna prekinitvev in v oddajniški register se zapiše nov bajt. To se ponavlja vse dokler je za pošiljanje na voljo še kaj podatkov. Uvodu sledita bajta $2D_{16}$ in $D4_{16}$, ki služita sinhronizaciji oddajne in sprejemne ure. Nato se pošljejo želeni podatki. Pošiljanje se zaključi z dvema znakoma AA_{16} . Na ta način se izprazni oddajniški register [8].

Slika celotnega podatkovnega okvira je predstavljena na sliki 3.2. Pošiljani podatki (na sliki 3.3) so sestavljeni iz dolžine podatkov, podatkov samih in

AA	AA	2D	D4	vsebina	AA	AA
----	----	----	----	---------	----	----

Slika 3.2: Pošiljanje podatkovnega okvira.

kontrolne vsote. Vsak od podatkov je predstavljen v alfanumerični obliki. Dolžina je odvisna od števila znakov potrebnih za zapis. Vsak znak je predstavljen z enim bajtom. Posamezni podatki so med seboj ločeni s presledki. Kontrolna vsota je enaka zadnjim 8 bitom vsote vseh podatkov in njihove dolžine. Vsebino podatkov (na sliki 3.4) sestavljajo meritve trenutnega stanja vremena.

dolžina podatkov	podatki	kontrolna vsota
------------------	---------	-----------------

Slika 3.3: Sestava vsebine v podatkovnem okviru.

temperatura	tlak	vlažnost	hitrost vetra	smer vetra
-------------	------	----------	---------------	------------

Slika 3.4: Zgradba polja „podatki“.

3.2 Sprejemniški modul

Sprejemniški modul ima nalogo zbiranja podatkov in njihovo pošiljanje v omrežje. Na njem teče preprost strežnik HTTP. Napaja se s pomočjo odsluženega polnilca za mobilni telefon, napetost pa se zniža z uporabo ustreznega 3,3V napetostnega regulatorja.

Modul uporablja tehniko programskega izpraševanja za sprejem podatkov. Ko mikrokrmilnik ugotovi, da ima komunikacijski modul podatek na voljo za branje, lahko začne z branjem. Podatki se sprejmejo v istem vrstnem redu, kot so bili poslani. Sprejeti podatki z vsebino AA_{16} so znak, da se sprejemnik pripravi na sprejem. Sledijo podatki za sinhronizacijo sprejemniške

```
dd/mm/yy_hh:mm:ss_temp_tlak_vlaga_hitrostVetra_smerVetra
```

Slika 3.5: Oblika zapisa v datoteko v alfanumerični obliki.

ure z oddajno, ki jih sprejemnik zazna in izloči samodejno, brez posredovanja programerja in/ali uporabnika. Sedaj se lahko začne sprejem uporabnih podatkov [8].

Najprej se prebere dolžina podatkov, temu sledijo podatki o vremenu, nato pa kontrolna vsota, v istem vrstnem redu kot je opisano v 3.1.2. Iz prejetih podatkov se izračuna kontrolna vsota. Če se le-ta ne razlikuje od prejete, se iz modula RTC prebereta še podatka o datumu in času. Vse skupaj je zapisano v alfanumerični obliki (na sliki 3.5) v datoteko na pomnilniški kartici. Pri tem je vsak od zapisanih znakov predstavljen z enim bajtom. Dolžina zapisa je enaka številu zapisanih znakov. Prejeti podatki se shranjujejo v dve ločeni datoteki. Datoteka `history.txt` se uporablja kot dnevnik, vanjo pa se zapisujejo vsi podatki o vremenu. Tak dnevnik lahko služi kot osnova za kasnejšo analizo. V drugi datoteki `current.log` je vedno zapisan samo en, trenutno aktualen podatek.

Na sprejemniški strani teče implementacija strežnika HTTP. HTTP definira nabor varnih metod. Metodi GET in HEAD sta definirani kot varni, kar pomeni, da se kot rezultat ene od teh dveh zahtev ne bi smela pojaviti nobena akcija. S tem je mišljeno, da se na strani strežnika ne bo zgodilo nič, kar bi bilo posledica HTTP zahteve. To pa še ne pomeni, da bo temu res tako. Varne metode so namenjene predvsem razvijalcem, da dajo uporabniku vedeti, kdaj se uporablja ne-varna metoda, primer so pojavna okna z opozorili (npr. pri pošiljanju številke kreditne kartice). Najbolj običajna metoda je metoda GET. Uporablja se za povpraševanje strežnika po datoteki (tekstovni, slikovni, zvočni datoteki,...) [1].

Strežnik HTTP sam po sebi še ne definira uporabljenih metod. Pri naši realizaciji je bila uporabljena le najosnovnejša, metoda GET. Poleg zahteve po datoteki je z njo mogoče pošiljati tudi parametre. To zmožnost smo

uporabili za nastavitev modula RTC (več v poglavju 3.2.1).

3.2.1 Uporabniški vmesnik

Uporabniški vmesnik predstavljajo spletna stran, dnevnik in 4 kontrolne tipke. Ena od tipk je namenjena resetiranju strežnika v primeru programskih težav, druge 3 pa so namenjene nastavitvi ure modula RTC. Delovanje označuje kontrolna LED dioda.

Pogoj za uporabo spominske kartice je datotečni sistem FAT32, z velikostjo bloka 512B. Ta datotečni sistem je bil izbran, ker ga zna brati vsak starejši in novejši računalnik in je en od danes najpogosteje uporabljenih standardov za shranjevanje datotek na kartico microSD. To uporabniku omogoča preprosto uporabo, brez namenskih orodij.

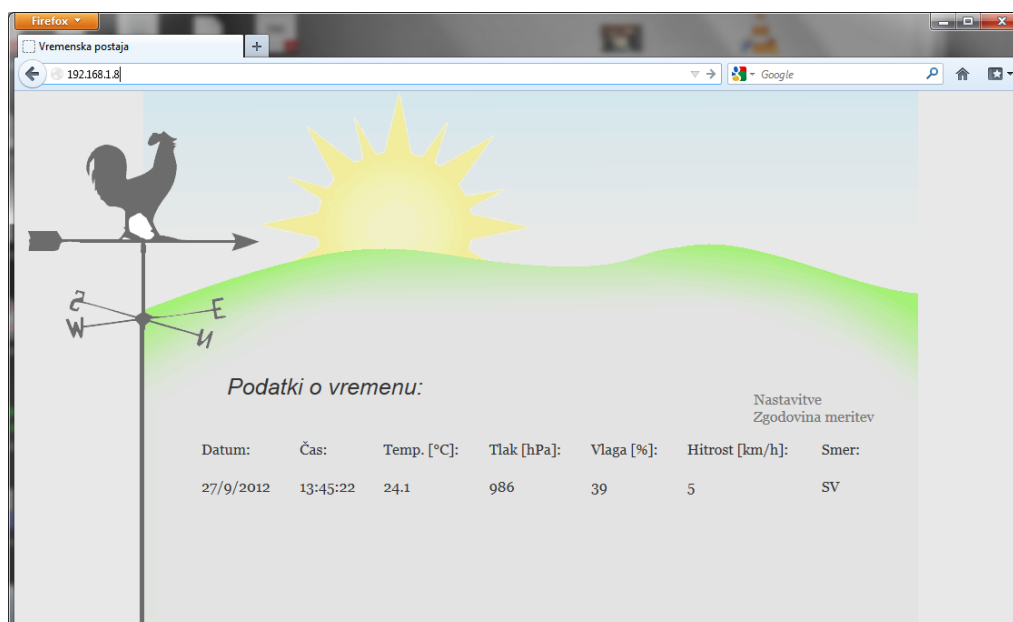
Do spletne strani je mogoče dostopati preko statično določenega naslova IP, 192.168.1.8. Spletna stran (na sliki 3.6) je bila izdelana v jeziku HTML in JavaScript, pri čemer je bila uporabljena knjižnica jQuery (<http://jquery.com/>). Uporabljena je bila zaradi osveževalne funkcije, ki omogoča osveževanje samo enega točno določenega razdelka v spletni strani. Osnovna spletna stran se tako naloži samo enkrat, osveževanje razdelka z vremenskimi podatki pa se vrši samodejno, iz prej zapisane datoteke `current.log`. Tako je osveževanje prikazanih podatkov realizirano brez posredovanja uporabnika in z minimiziranim prenosom podatkov.

Nastavitev modula RTC

Nastavitev modula se lahko izvršuje na 2 načina:

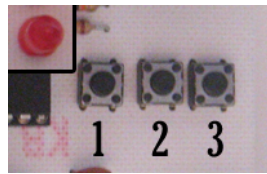
- z uporabo tipk,
- z uporabo spletnega vmesnika.

Uporaba tipk je s stališča praktičnosti uporabe precej okorna, tako s stališča programerja, kot uporabnika. Vključuje fizično interakcijo uporabnika s strežnikom, pri čemer je potrebno nastavitev izvrševati s pomočjo zaslona.

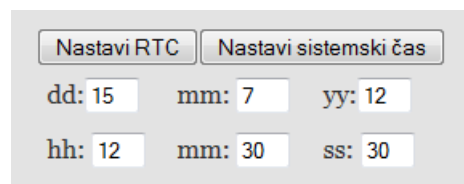


Slika 3.6: Spletna stran.

Ob vsakem pritisku tipke se sprememba zabeleži v datoteko `config.cfg`, v realnem času pa jo na zaslonu prikazujemo s pomočjo osveževalne funkcije iz knjižnice jQuery. V konfiguracijski načina vstopimo z daljšim pritiskom tipke 1 (na sliki 3.7), kontrolna LED dioda začne utripati. S krajšimi pritiski se pomikamo med posameznimi elementi (dnevi, meseci,...). S tipkama 2 in 3 nastavljamo vrednosti. S tipko 2 se pomikamo v pozitivni, s tipko 3 pa v negativni smeri. Postopek zaključimo s ponovnim daljšim pritiskom tipke 1 in tako zapustimo konfiguracijski način. Vrednost se zapiše v modul RTC. Čeprav je rešitev okorna, je nismo izključili iz projekta. V primeru vključitve vremenske postaje v nezavarovano omrežje (npr. internet), lahko onemogočimo zmožnost nastavljanja preko spletnega brskalnika in tako poskrbimo za varnost. V tem primeru nastavitve s tipkami služi kot varna. Poleg tega je modul možno nastavljanje tudi preko vmesnika na spletni strani (slika 3.8). Uporabljena je bila HTTP metoda GET. Vmesnik je sestavljen iz vnosnih polj, po eno polje za vsakega od parametrov o času in datumu, ter dveh gumbov. Gumb *Nastavi sistemski čas* nastavi polja na trenutni čas sis-



Slika 3.7: Tipke za nastavitve modula RTC.

A screenshot of a web interface for configuring the RTC module. It features two buttons at the top: 'Nastavi RTC' and 'Nastavi sistemski čas'. Below these are two rows of input fields. The first row contains fields for 'dd: 15', 'mm: 7', and 'yy: 12'. The second row contains fields for 'hh: 12', 'mm: 30', and 'ss: 30'.

Slika 3.8: Spletni mesnik za nastavitve modula RTC.

tema, s katerega smo spletno stran obiskali, *Nastavi RTC* pa pošlje zahtevo za nastavitve v obliki parametrov spletnega naslova, kot je prikazano na 3.9.

<http://192.168.1.8/config.htm?28&9&12&14&15&18>

Slika 3.9: Primer za izvedbo nastavitve modula RTC.

3.3 Izdelava vezja

Sheme vezave elementov (na slikah A.1, B.3 in C.3) in predlogi tiskanih vezij (na slikah B.1 in C.1) so bili izdelani s pomočjo orodja EAGLE (dosegljivo na <http://www.cadsoftusa.com/>).

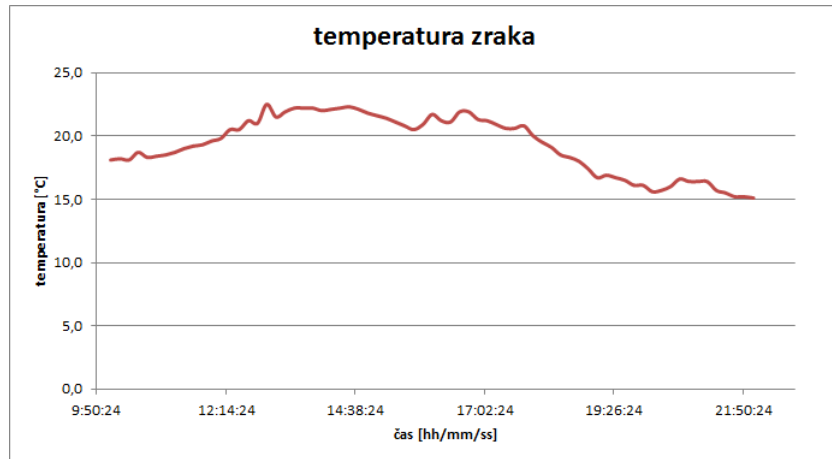
Vezje je bilo realizirano na enostransko pobakreni vitroplast plošči. Plošča je bila najprej očiščena, nato pa smo nanjo prenesli natisnjeno sliko s pomočjo postopka prenosa tonerja. Prenos tonerja je postopek, pri katerem s pomočjo grelnega telesa, v našem primeru gospodinjskega likalnika, pod vplivom ustrezne temperature, natisnjeno sliko prenesemo na prej pripravljeno ploščo. Slika je bila natisnjena na gladek papir z laserskim tiskalnikom. Po končani

toplotni obdelavi je bil odvečni papir odstranjen v vodi. Za jedkanje je bila uporabljena mešanica vodovodne vode, vodikovega peroksida (H_2O_2) in klorovodikove kisline (HCl). Koncentracije za uspeh niso bile kritičnega pomena (uporabljeni so bili tretinski deleži vsake od komponent). Ko je jedkanica odstranila ves odkrit baker, je bila plošča oprana v vodi, s čimer so bili odstranjeni ostanki kemikalij. Nato so bile izvrtane luknje ustreznega premera za vstavitev elektronskih komponent. Sledilo je čiščenje nanosa tonerja z acetonom in nanos raztopine kolofonije, ki služi kot zaščita vezja in omogoča lažje spajkanje. Po končanem spajkanju je bila na vezje ponovno nanešena kolofonija, ki služi kot zaščita pred korozijo.

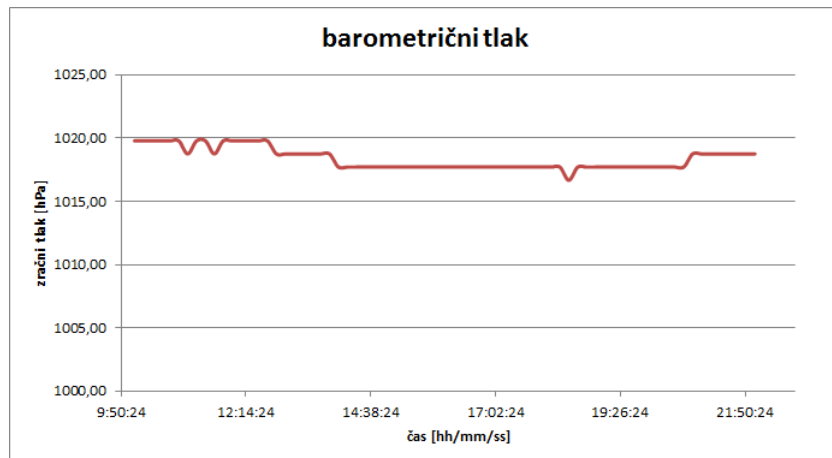
3.4 Testiranje

Testiranje delovanja vezja je potekalo pri realnih pogojih. V ta namen je bila izdelana preprosta montaža, ki je služila postavitvi senzorjev. Točnost izmerjenih podatkov odstopa od realnega stanja, saj ni bilo zadoščeno pogojem po standardih postavitve vremenske postaje. Največja odstopanja so v primeru hitrosti in smeri vetra. Vzrok za to bila je bližina ovir. Namen je bil predvsem testirati delovanje (tako delovanja senzorjev, kot pravilnosti komunikacije in delovanja strežnika HTTP), ne pa zajem točnih podatkov, tako da tega nismo obravnavali kot slabost.

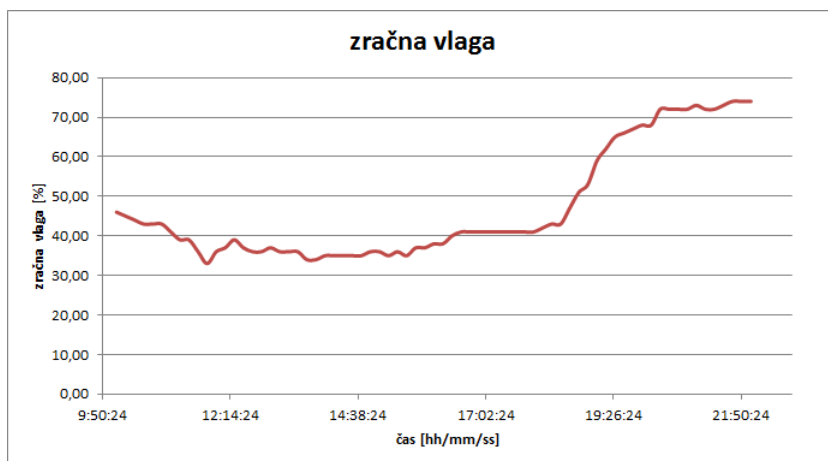
Zajete podatke smo ustrezno obdelali in prikazali na grafih. Graf temperaturne dinamike je prikazan na sliki 3.10. Graf dinamike barometričnega tlaka je prikazan na sliki 3.11. Pri tem smo upoštevali normalizacijo izmerjenega tlaka na nadmorsko višino 0 m po formuli 2.3. Graf smeri in hitrosti vetra je prikazan na sliki 3.13. Smer vetra je podana v stopinjah, kjer sever označuje kot 0° , jug pa 180° . Razloga za majhno število meritev sta dva: anemometer ne zaznava zelo nizkih hitrosti vetra, pa tudi meritve so bile izvedene skorajda v brezveterju. Graf dinamike zračne vlage je prikazan na sliki 3.12.



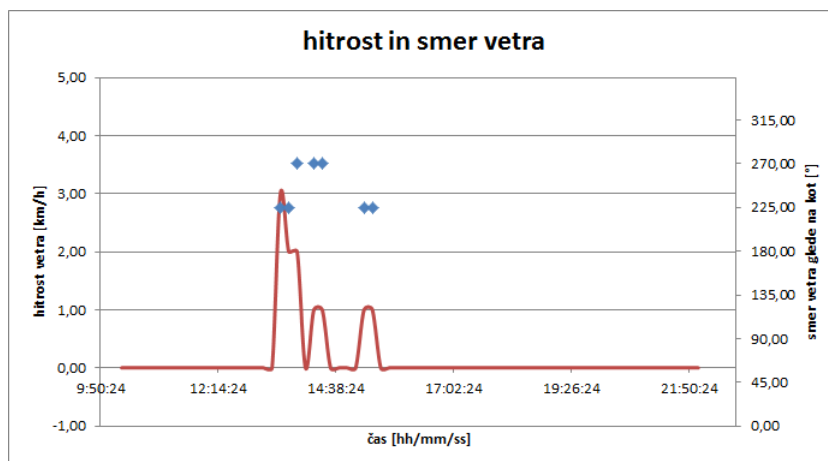
Slika 3.10: Graf zračne temperature.



Slika 3.11: Graf zračnega tlaka.



Slika 3.12: Graf zračne vlage.



Slika 3.13: Graf hitrosti in smeri pihanja vetra.

Poglavje 4

Sklepne ugotovitve

V tem diplomskem delu je bila razvita preprosta vremenska postaja, ki je sposobna brezžično pošiljati podatke na preprost strežnik HTTP.

Razvita je bila z namenom delovanja kot samostojna naprava, ki podatke lahko pošilja v lokalno (s primerno nastavitvijo usmerjevalnika pa tudi internetno) omrežje. Tako je omogočeno spremljanje vremena na zaslonu domačega računalnika, brez da bi za to potrebovali namenski zaslon, saj lahko do podatkov dostopamo prek poljubnega spletnega brskalnika.

Pri razvoju se je pojavilo nekaj težav, ki so bile posledica mojega neznanja in neizkušenosti s področja elektronike in poznavanja periferije, kar je tudi botrovalo času končanja projekta. Pri komunikacijskem modulu RFM12B je bila težava tudi v pomanjkljivi dokumentaciji in v napačnih navodilih za programiranje. Sprva je bila v načrtu sicer bolj zmogljiva postaja, ki bi omogočala zajem podatkov o vremenu na zahtevo uporabnika. To se je pri naši realizaciji izkazalo za nemogoče iz vsaj enega razloga. V stanju mirovanja oddajniškega modula ne moremo prebuditi brezžično. Če bi ga vklapljali in preverjali stanje prekinitvenega signala, bi močno povečali porabo energije. Baterijsko napajanje ne bi bilo več dovolj. Iz tega razloga se za to rešitev nismo odločili.

Z jedkanjem tiskanih vezij sem imel že od prej nekaj izkušenj, se je pa samo načrtovanje povezav med elementi izkazalo kot težavno. Največja

težava so bile motnje s sosednjih linij. Motnje so v enem od primerov povzročile tudi to, da kvarčni kristal ni osciliral. Delujoča rešitev je bila rezultat več poskušanj in testiranj.

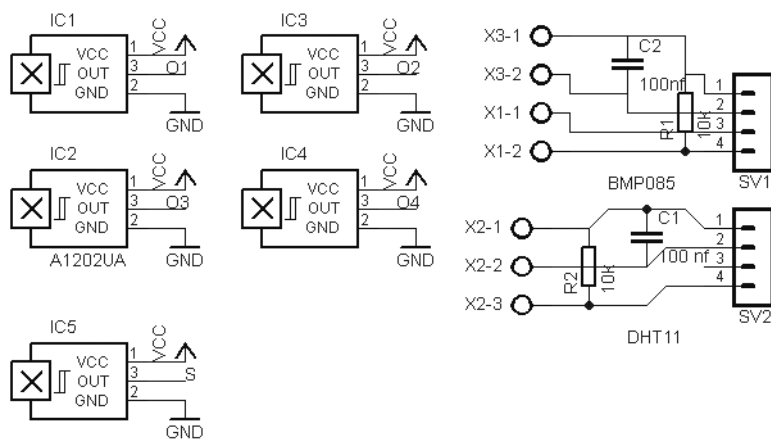
Maneverskega prostora za razširitev delovanja in optimizacije je še precej. Na oddajniški del bi lahko priključili tudi ostale senzorje (Geigerjev števec, senzor osvetljenosti, merilnik količine padavin,...), po katerih pa nisem čutil potrebe. Z manjšimi popravki v programski kodi bi lahko projekt uporabili tudi kot nadzorni, pa tudi varnostni sistem za različne namene, tako pri hobi, kot pri resnejših projektih. Projekt zase bi lahko bil tudi strežnik HTTP, ki bi lahko služil za katerikoli namen, kjer se ne zahtevajo visoke prenosne hitrosti in veliko število hkratnih dostopov. Realiziran je bil samo tip zahtev GET, kar za naše zahteve popolnoma zadostuje, delovanje pa bi bilo mogoče razširiti tudi na ostale.

Dodatek A

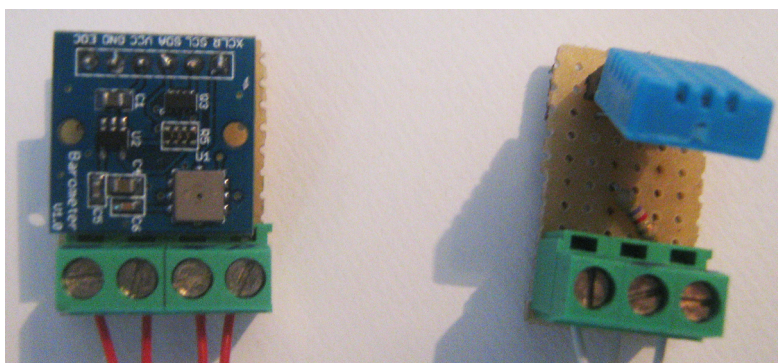
Senzorski moduli

hitrost [km/h]	št. impulzov
0	0
15	589
30	1152
40	1613
50	2019
70	2760

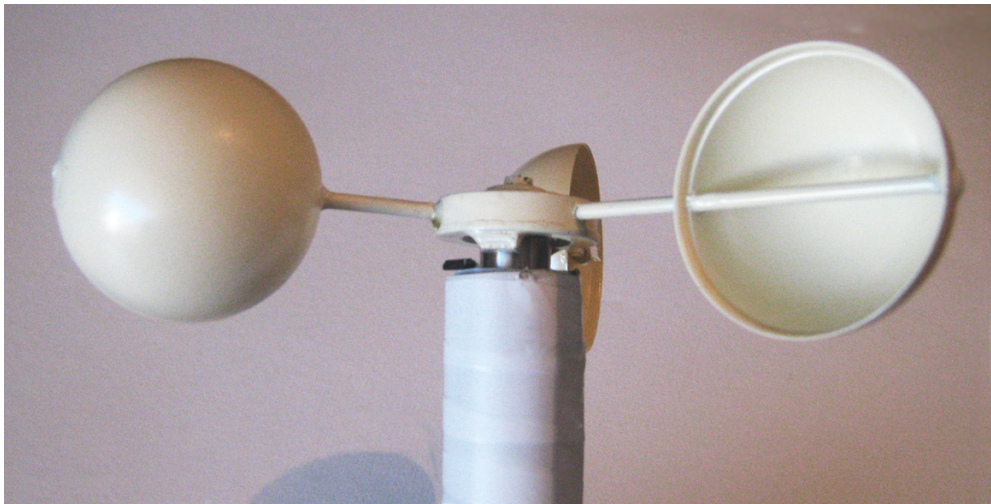
Tabela A.1: Odvisnost števila impulzov od hitrosti vetra pri anemometru.



Slika A.1: Električna shema priklopa Hallovih senzorjev (IC1 do IC5), senzora temperature/barometričnega tlaka (BMP085) in senzora vlage (DHT11).



Slika A.2: Priklop temperaturnega/barometričnega senzora in senzora vlage.



Slika A.3: Izdelan anemometer.



Slika A.4: Izdelan merilnik smeri vetra.

kol.	tip elementa	vrednost	oznaka na shemi
1	senzor	BMP085 na ploščici	
1	senzor	DHT11	
2	upor	$10k\Omega$	R1, R2
2	kondenzator	$100nF$	C1, C2
1	letvica	ž., 2,54 mm, 4p	SV1
1	letvica	ž., 2,54 mm, 6p	SV2
2	sponka	2-polna	X1, X3
1	sponka	3-polna	X2
5	senzor	Hall, A1120	IC1, IC2, IC3, IC4, IC5

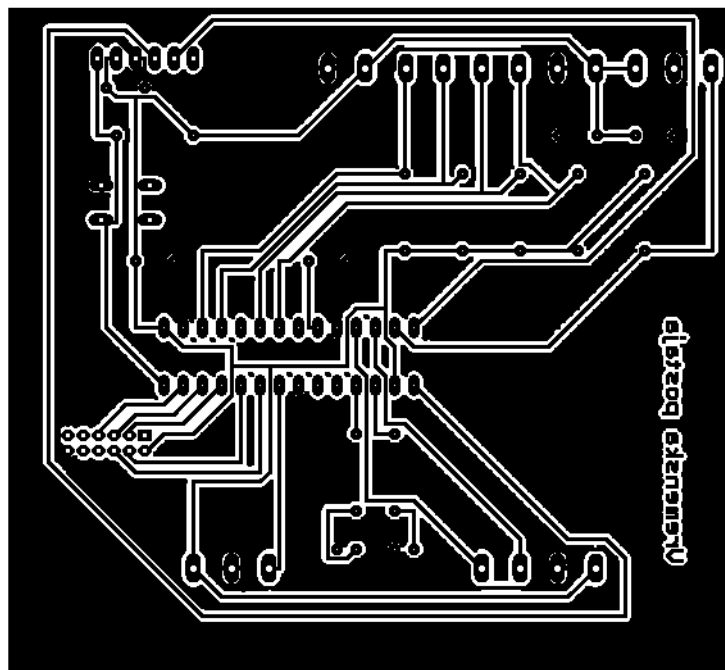
Tabela A.2: Kosovnica elementov senzorskih modulov.

Dodatek B

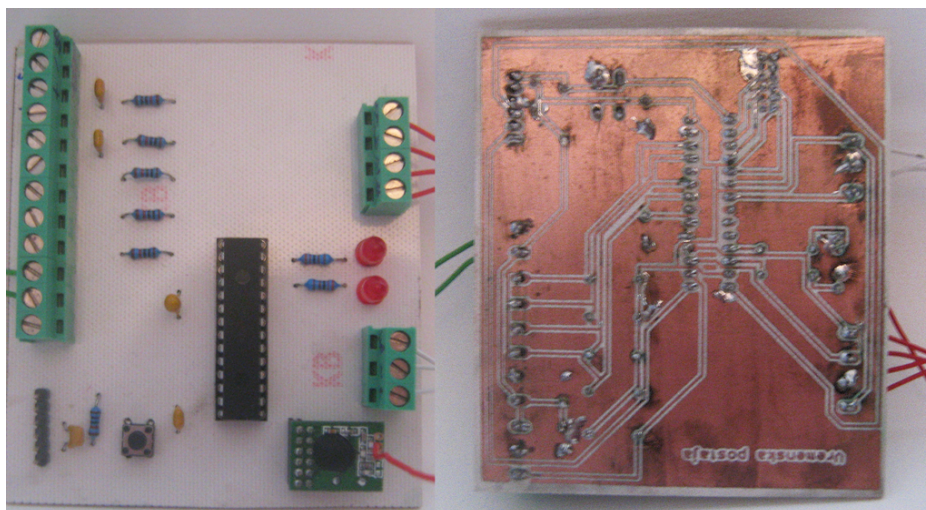
Oddajniško vezje

kol.	tip elementa	vrednost	oznaka na shemi
1	mikrokrmilnik	PIC24FJ64GA002	
1	modul RF	RFM12B	
8	upor	$10k\Omega$	R1, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11
2	upor	300Ω	R2, R3
6	kondenzator	$100nF$	C1, C2, C3, C4, C6, C7
1	kondenzator	$10\mu F$	C5
5	sponka	2-polna	X1, X2, X4, X5-1 do X5-3
3	sponka	3-polna	X3, X5-4 do X5-6
2	LED dioda	rdeča	LED1, LED2
2	letvica	ž., 2,0 mm, 6p	JP2
1	letvica	m., 2,54 mm, 6x2p	JP1
1	podnožje	DIP 28 pin	IC1
1	tipka	6x6mm	S1
1	sponka	2-polna	X1

Tabela B.1: Kosovnica oddajniškega vezja.



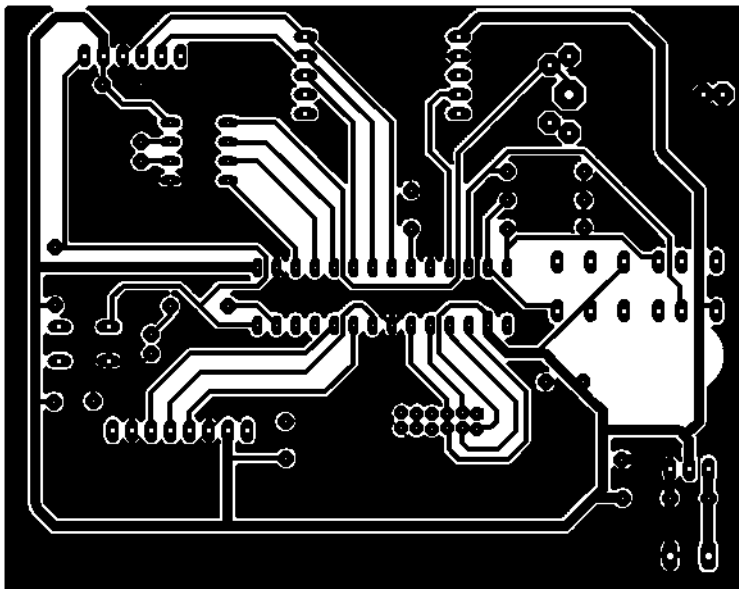
Slika B.1: Predloga za jedkanje oddajniškega vezja.



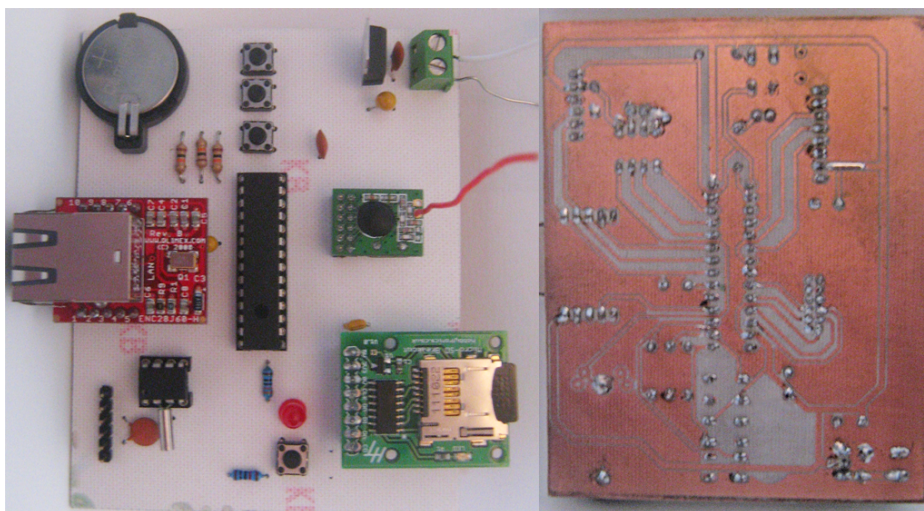
Slika B.2: Izdelano vezje oddajnika.

Dodatek C

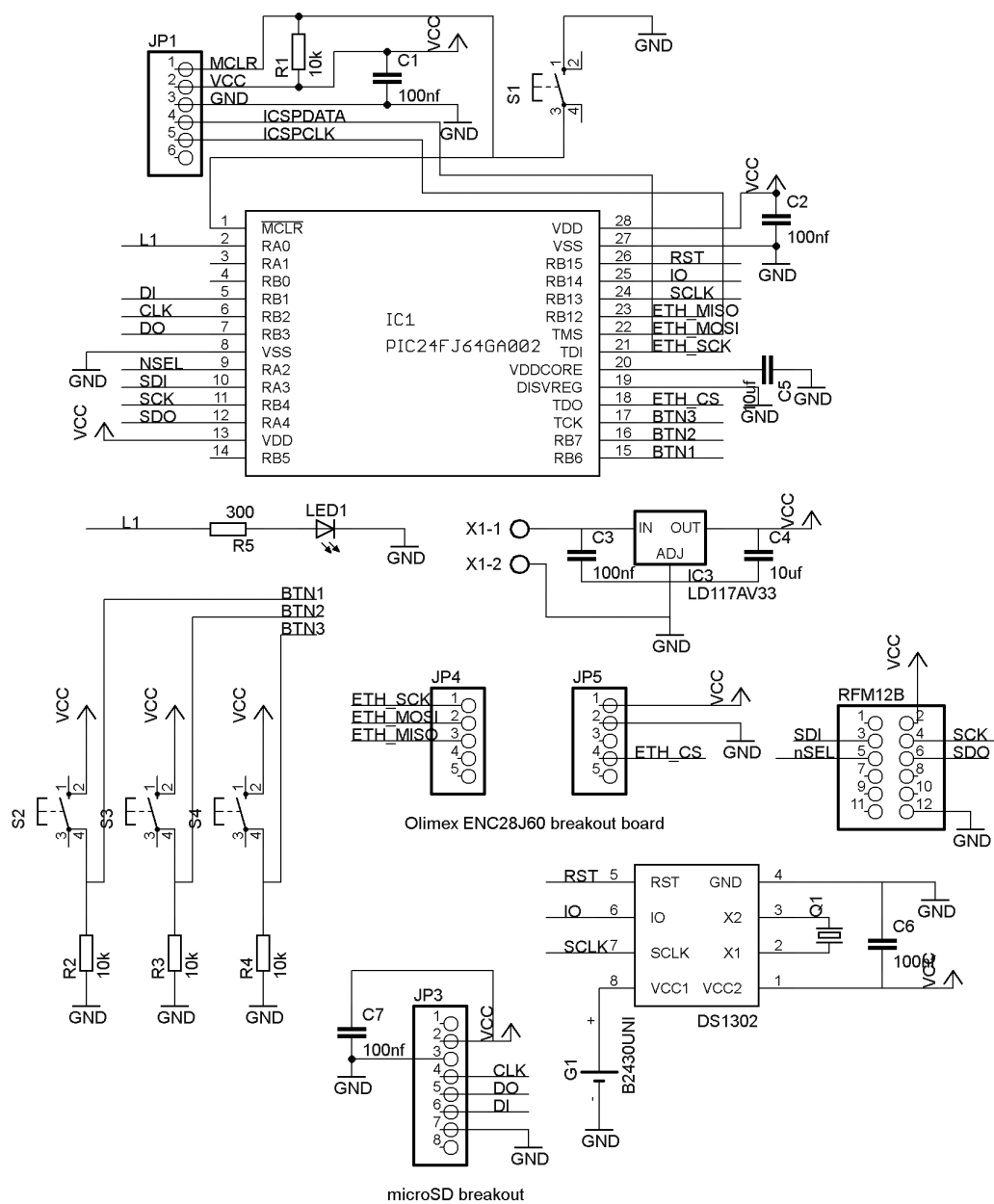
Sprejemniško vezje



Slika C.1: Predloga za jedkanje sprejemniškega vezja.



Slika C.2: Izdelano vezje sprejemnika.



Slika C.3: Električna shema sprejemniškega modula.

kol.	tip elementa	vrednost	oznaka na shemi
1	mikrokrmilnik	PIC24FJ64GA002	
1	modul RF	RFM12B	
1	RTC modul	DS1302	
1	ethernet modul	ENC28J60 + RJ45	
1	baterija	CR2032	
1	držalo za bat.		G1
4	tipka	6x6 mm	S1, S2, S3, S4
1	podnožje	DIP 28 pin	IC1
1	podnožje	DIP 8 pin	DS1302
2	letvica	ž., 2,54 mm, 5p	JP4, JP5
1	letvica	ž., 2,54 mm, 6p	JP3
1	letvica	ž., 2,0 mm, 6x2p	RFM12B
1	upor	300 Ω	R5
4	upor	10k Ω	R1, R2, R3, R4
5	kondenzator	100nF	C1, C2, C3, C6, C7
2	kondenzator	10 μ F	C4, C5
1	nap. regulator	LD117AV33	IC3
1	LED dioda	rdeča	LED1
1	kvarčni kristal	32768 Hz, 6 pF	Q1
1	sponka	2-polna	X1

Tabela C.1: Kosovnica sprejemniškega vezja.

Slike

2.1	Kartica microSD z razporedom priključkov.	5
2.2	Časovni diagram protokola 3-Wire.	6
2.3	Časovni diagram protokola I ² C.	7
2.4	Časovni diagram enožične komunikacije.	8
2.5	Anemometer.	9
2.6	Graf odvisnosti števila impulzov od hitrosti pihanja vetra. . .	10
2.7	Smer vetra glede na kot.	11
2.8	Merilnik smeri vetra	11
2.9	Primer uporabe senzorja na Hallov pojav.	12
2.10	Model TCP/IP in TCP/IP Stack	13
2.11	Časovni diagram protokola SPI.	14
2.12	Logični analizator	15
3.1	Bločna shema sistema vremenske postaje.	17
3.2	Pošiljanje podatkovnega okvira.	21
3.3	Sestava vsebine v podatkovnem okviru.	21
3.4	Zgradba polja „podatki“.	21
3.5	Oblika zapisa v datoteko v alfanumerični obliki.	22
3.6	Spletna stran.	24
3.7	Tipke za nastavitev modula RTC.	25
3.8	Spletni mesnik za nastavitev modula RTC.	25
3.9	Primer za izvedbo nastavitve modula RTC.	25
3.10	Graf zračne temperature.	27

3.11 Graf zračnega tlaka.	27
3.12 Graf zračne vlage.	28
3.13 Graf hitrosti in smeri pihanja vetra.	28
A.1 Električna shema priklopa senzorjev.	32
A.2 Priklop senzorjev temperature, tlaka in vlage.	32
A.3 Izdelan anemometer.	33
A.4 Izdelan merilnik smeri vetra.	33
B.1 Predloga za jedkanje oddajniškega vezja.	36
B.2 Izdelano vezje oddajnika.	36
B.3 Električna shema oddajniškega modula.	37
C.1 Predloga za jedkanje sprejemniškega vezja.	40
C.2 Izdelano vezje sprejemnika.	40
C.3 Električna shema sprejemniškega modula.	41

Tabele

A.1	Odvisnost števila impulzov od hitrosti vetra pri anemometru. .	31
A.2	Kosovnica elementov senzorskih modulov.	34
B.1	Kosovnica oddajniškega vezja.	35
C.1	Kosovnica sprejemniškega vezja.	42

Literatura

- [1] D. Gourley, B. Tottly. HTTP The Definitive Guide. O'Reilly Media, 2002.
- [2] D. Ibrahim. SD Card Projects Using the PIC Microcontroller. Oxford, Elsevier Ltd.: str. 107-136, 361-393, 2010.
- [3] K. Smith. Antennas For Low Power Applications, 2009. Dostopno na: <http://www.rfm.com/corp/appdata/antenna.pdf>
- [4] Federal Meteorological Handbook No.1, Surface Weather Observations and Reports, poglavje 5, 7, 2005. Dostopno na: <http://www.ofcm.gov/fmh-1/pdf/>
- [5] Bosch Sensortec. BMP085 Digital pressure sensor Data Sheet, 2009. Dostopno na: <http://www.bosch-sensortec.com/content/language1/downloads/BST-BMP085-DS000-05.pdf>
- [6] D-Robotics UK. DHT11 Humidity & Temperature sensor, 2010. Dostopno na: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>
- [7] Honeywell. Hall-Effect Sensing and Application. Dostopno na: http://sensing.honeywell.com/index.php?ci_id=47847 (september 2012)
- [8] Hope RF. RFM12B Universal ISM Band FSK Transceiver Module RFM12B, 2006. Dostopno na: <http://www.hoperf.com/upload/rf/rfm12b.pdf>

-
- [9] Maxim. DS1302 Trickle-Charge Timekeeping Chip, 2008. Dostopno na: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS1302.pdf>
- [10] Microchip. PIC24FJ64GA004 Family Data Sheet, 2010. Dostopno na: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39881D.pdf>
- [11] Microchip. The Microchip TCP/IP Stack, 2008. Dostopno na: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00833c.pdf>
- [12] Microchip. Section 23. Serial Peripheral Interface (SPI), 2007. Dostopno na: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39699b.pdf>
- [13] Microchip. ENC28J60 Stand-Alone Ethernet Controller with SPI Interface, 2012. Dostopno na: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39662d.pdf>
- [14] SD Group. Physical Layer Simplified Specification Version 3.01, 2010. Dostopno na: https://www.sdcard.org/downloads/pls/simplified_specs/Part_1_Physical_Layer_Simplified_Specification_Ver_3.01_Final_100518.pdf