

**UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO**

**Zvonko Boštjančič**

**Sistem za avtomatsko oddajanje  
meteoroloških informacij**

DIPLOMSKO DELO UNIVERZITETNEGA ŠTUDIJA

Mentor:

prof. dr. Dušan Kodek

Ljubljana, 2008



## **Zahvala**

Iskrena hvala mentorju prof. dr. Dušanu Kodeku za strokovne nasvete in vodenje pri izdelavi diplomske naloge. Hvala tudi asist. mag. Mateju Možku za vse ideje in nasvete pri načrtovanju ter pomoč pri izdelavi strojnega dela naloge.

Zahvala gre tudi družini in vsem, ki so mi na tej poti stali ob strani, me spodbujali in verjeli vame.

— Zvonko Boštjančič, Ljubljana, september 2008



# Kazalo

<b>Povzetek</b> .....	<b>1</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Uvod</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Merjenje meteoroloških podatkov v mraziščih</b> .....	<b>7</b>
2.1 Pogoji za nočno ohlajanje zraka .....	8
2.2 Merjenje v mraziščih .....	8
<b>3 Smernice za izdelavo naprave za merjenje meteoroloških podatkov v mraziščih</b> .....	<b>11</b>
3.1 Sporočanje podatkov .....	12
3.2 Shranjevanje podatkov.....	13
3.3 Strojna oprema.....	14
3.4 Programska oprema .....	14
3.5 Postavitev naprave .....	15
<b>4 APRS</b> .....	<b>17</b>
4.1 Zgodovina.....	17
4.2 Delovanje omrežja .....	17
4.3 Funkcionalnosti omrežja.....	18
4.4 Oprema za delo na omrežju .....	18
4.4.1 Namenska strojna in programska oprema.....	19
4.4.2 Standardna strojna in namenska programska oprema.....	19
4.5 Osnovne komponente omrežja .....	19
4.5.1 Sledilnik.....	20
4.5.2 Sprejemno-oddajna postaja.....	20
4.5.3 Digipiter.....	21
4.5.4 Internetni prehod.....	21
4.6 O protokolu AX.25 .....	21
4.7 Uporaba protokola AX.25 za prenos podatkov v APRS omrežju .....	23
4.7.1 Posebnosti naslova pošiljatelja in prejemnika .....	24
4.7.2 Sporočila APRS v podatkovnem polju okvirja UI.....	25
4.8 Sporočila v omrežju APRS .....	26
<b>5 Naprava</b> .....	<b>27</b>
5.1 Mikrokontroler LPC2366/LPC2368.....	27
5.2 Operacijski sistem FreeRTOS .....	29
5.3 Organizacija programske opreme .....	29
5.4 Napajanje sistema .....	31
5.4.1 Nadzor napajalnih napetosti .....	31
5.4.2 Kontrola polnjenja akumulatorja s solarnim modulom .....	33
5.5 Ura realnega časa .....	33
5.6 Interakcija z zunanjim svetom .....	34
5.6.1 Lokalni terminalski dostop .....	34
5.6.2 Dostop preko vmesnika RS-232 .....	35
5.7 Sprejemnik GPS.....	37
5.7.1 Protokol NMEA-0183 .....	38

5.8	Senzorji .....	38
5.8.1	Temperaturni senzor .....	38
5.9	Shranjevanje podatkov .....	39
5.9.1	Pomnilniška kartica Secure Digital (SD) .....	40
5.9.2	Zapis podatkov na pomnilniški kartici .....	41
5.9.3	Format zapisa podatkov .....	42
5.10	Pošiljanje podatkov v omrežje APRS .....	43
5.10.1	Povezava z radijskim oddajnikom .....	44
5.10.2	Modulacija AFSK .....	45
5.10.3	Realizacija modulatorja AFSK .....	46
<b>6</b>	<b>Sklepne ugotovitve.....</b>	<b>47</b>
	<b>Priloga A: Načrt naprave .....</b>	<b>49</b>
	<b>Priloga B: Kazalo slik .....</b>	<b>51</b>
	<b>Priloga C: Kazalo tabel.....</b>	<b>53</b>
	<b>Literatura in viri .....</b>	<b>55</b>

## Seznam uporabljenih kratic

A/D	– Analog-digital
AFSK	– Audio Frequency-Shift Keying
APRS	– Automatic Packet Reporting System
ASCII	– American Standard Code for Information Interchange
CAN	– Controller-area Network
CD	– Card Detect
CETS	– Connectionless Emergency Traffic System
CRC	– Cyclic Redundancy Check
D/A	– Digital-analog
DMA	– Direct Memory Access
DTR	– Data Terminal Ready
EEPROM	– Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
FAT	– File Allocation Table
FCS	– Frame Check Sequence
FEMA	– Federal Emergency Management Agency
GPS	– Global Positioning System
ISP	– In-system Programming
LCD	– Liquid Crystal Display
MMC	– Multimedia Card
NMEA	– National Marine Electronics Association
OSI	– Open Systems Interconnection
PID	– Protocol Identifier
PTT	– Push To Talk
PWM	– Pulse-width Modulator
RTC	– Real-time Clock
RTOS	– Real-time Operating System
RTS	– Request To Send
SD	– Secure Digital
SPI	– Serial Peripheral Interface Bus
SSID	– Service Set Identifier
UART	– Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
USB	– Universal Serial Bus
WP	– Write Protect
XID	– Exchange identification



## **Povzetek**

Merjenje meteoroloških podatkov na odročnih področjih je izziv, ki se ga loti le malokdo – tako zaradi tehničnih omejitev kot zaradi omejitev samega terena. V pričujočem diplomskem delu je predstavljena možnost merjenja in sporočanja meteoroloških informacij v realnem času z uporabo radioamaterske komunikacijske infrastrukture.

Osnovne informacije o mraziščih in klimatskih pogojih v njih so predstavljene v drugem poglavju. Podrobno je opisan proces ohlajanja zraka in dejavniki, ki vplivajo nanj. Podani so tudi problemi merjenja meteoroloških podatkov v mraziščih. Na tej podlagi so razvite smernice za izdelavo naprave, primerne za izvajanje in sporočanje meteoroloških informacij iz mrazišč. Predvidene so posamezne lastnosti in funkcionalnosti, ki jih mora imeti takšna naprava. Obdelane so možnosti sporočanja izmerjenih podatkov v realnem času in pogostega shranjevanja izmerjenih podatkov. Poleg tega so predstavljena tudi priporočila za izdelavo strojne in programske opreme, za postavitve naprave v okolje in povezavo v komunikacijsko omrežje.

Predstavljeno je radioamatersko digitalno komunikacijsko omrežje APRS, njegova zgodovina, delovanje in funkcionalnosti. Prikazane so osnovne komponente omrežja. Podrobno je opisan način prenosa podatkov v omrežju z uporabo protokola AX.25.

Po smernicah za izdelavo naprave za merjenje meteoroloških podatkov v mraziščih je razvita naprava, predstavljena v tretjem poglavju. Nazorno je opisano delovanje naprave; podrobno so predstavljeni posamezni deli strojne in programske opreme. Podrobno je razložen tudi format zapisa podatkov na pomnilniško kartico in struktura podatkov, poslanih v omrežje APRS.

**Ključne besede:** AFSK, APRS, AX.25, mrazišče, sporočanje meteoroloških informacij



## **Abstract**

Due to technical restrictions and restraints of land conditions, measuring meteorological data on remote areas is a challenge that hardly anyone undertakes. In the present thesis the possibility of real-time temperature measuring and reporting utilizing radioamateur communication infrastructure is presented.

Basic information concerning frost hollows and climatic conditions in them is introduced in second chapter, including the process of cold air pool creation and factors that influence it. The problems of measuring meteorological data in frost hollows are also described. Based on these the guidelines for a device for measurement of meteorological data are developed, giving individual characteristics and functionalities of such a device. Possibilities for reporting and storing the measured data in realtime are thoroughly discussed. In addition, the recommendations are developed for hardware and software device design, for setting up the device in the environment, and for establishing the connection with communication network.

Radioamateur digital communication network APRS is introduced, including its history, activity and functionalities. Basic components of a network are given. Data transfer over the network using protocol AX.25 is described in detail.

Using the above mentioned guidelines an actual device is designed and developed. Behaviour of the device is described in general; individual parts of the device are thoroughly explained. Structure of data on memory card and data sent over the APRS network is explained in detail.

**Keywords:** AFSK, APRS, AX.25, frost hollow, meteorological reports



# 1 Uvod

Vreme – skupek naravnih sil, ki odločilno vpliva na svet okoli nas in, nenazadnje, tudi na nas same. Včasih pred njim bežimo, spet drugič se mu nastavljam. Še posebej v zadnjih letih, ko nas preseneča s svojimi ekstremi.

Uradne dokumentirane meteorološke meritve v Sloveniji potekajo od leta 1850. Od takrat dalje je število meteoroloških postaj počasi naraščalo. V zadnjem času pa se na račun klasičnih meteoroloških postaj širi mreža avtomatiziranih postaj, saj se število opazovalcev počasi a vztrajno, krči. Hkrati s tem opažamo fenomen širjenja amaterskih meteoroloških postaj –amatersko meteorološko postajo se dandanes lahko kupi že za 100 do 200 €.

Na amaterskem meteorološkem področju se v zadnjem času krepi raziskovanje t. i. mrazišč, področij z zelo izrazito temperaturno inverzijo. Najnižje izmerjene (neuradne) temperature v slovenskih mraziščih se gibljejo tudi pod  $-40$  °C. Pri odčitavanju meritev v mraziščih je velika ovira tudi to, da so le-ta ponavadi na za človeka težje dostopnih in odročnih krajih ter posledično oddaljena od telekomunikacijskih infrastruktur. Tako nizke temperature za delovanje večine elektronskih naprav predstavljajo velik izziv, zato se za merjenje minimalnih temperatur uporabljajo še vedno stare in preizkušene metode.

Možna bi bila sicer uporaba amaterskih meteoroloških postaj, a imajo te za uporabo v mraziščih kar nekaj omejitev. Prva in najpomembnejša je ta, da niso namenjene uporabi v okoljih s takšnimi ekstremnimi pogoji delovanja. Ponavadi tudi nimajo ne dovolj lastnega pomnilnika za shranjevanje rezultatov meritev ne možnosti oddajanja informacij preko telekomunikacijskih omrežij. To pa je pogoj za merjenje meteoroloških podatkov v mraziščih, saj je treba rezultate na nek način shranjevati za kasnejšo obdelavo, pa naj si bo to na lokalnem pomnilnem mediju ali na nekem oddaljenem centralnem sistemu. Cenejše postaje tudi ne zmorejo dovolj pogostega izvajanja meritev; prav tako so ponavadi manj natančne, kot je zahtevano.

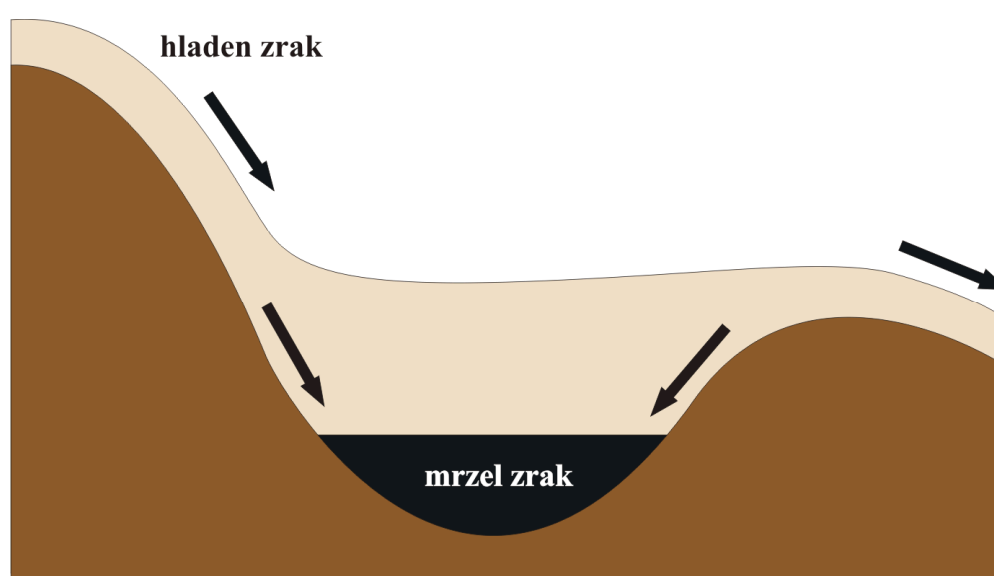
Vse zgoraj omenjene omejitve bomo poskušali odpraviti z razvojem lastne rešitve za izvajanje meteoroloških meritev. Že v osnovi bomo načrtovali razširljivo napravo, ki bo zmožna delovati v ekstremnih okoljih, ki smo jim priča v mraziščih, in ki se bo poskušala približati natančnosti analognih rešitev. Poleg tega je ena od pglavitnih lastnosti načrtovane naprave periodično pošiljanje izmerjenih meteoroloških podatkov v realnem času in njihovo shranjevanje na pomnilni medij, s čimer odpravimo potrebo po rednem (npr. tedenskem, mesečnem) odčitavanju podatkov na mestu izvajanja meritev.



## 2 Merjenje meteoroloških podatkov v mraziščih

Mrazišče pojmuje kot območje (lahko je tudi kotlina ali globel) z zelo veliko ohlaiditvijo; je kraj, kjer so temperature zraka pogosto bistveno nižje od okolice.

Praviloma so mrazišča konkavne oblike, kar omogoča nabiranje in nadaljnje ohlaidanje hladnega zraka. So različnih dimenzij, od manjših (velikosti do nekaj 100 m<sup>2</sup>), do večjih, kot so npr. kraška polja in uvale, udorne jame ipd. z dimenzijami tudi po več 10 ha. Za vsa mrazišča je značilno redno stekanje ohlaidenega zraka z okoliških pobočij, s čimer se v njih tvorijo jezera hladnega zraka, ki sežejo največ do vrha reliefnega oboda, kot je prikazano na sliki 1. Najnižje temperature so vedno na dnu mrazišč. [1]



Slika 1: Shematski prikaz nastajanja jezera hladnega zraka.

Temperaturne razmere v mraziščih se precej razlikujejo od razmer v, lahko bi rekli, normalnih področjih. So ekstremne. Že samo ime nam pove, da so to območja z nizkimi temperaturami, obstajajo pa tudi razlike med mrazišči. Nekatera imajo trajen temperaturni obrat, v drugih se pojavi občasno. V mraziščih so spremenjeni tudi nekateri drugi klimatski pogoji (osončenost, prevetrenost, zračna vlaga ipd.), kar vpliva tudi na rastje v mraziščih – v dovolj globokih in izrazitih mraziščih se pojavi vegetacijski obrat, kjer se v posameznem pasu mrazišča oblikuje naravnim pogojem ustrezno rastje (npr. rušje v dnu mrazišča, smrekov gozd na pobočjih). [2]

## 2.1 Pogoji za nočno ohlajanje zraka

Že v poznih popoldanskih urah, takoj ko sončna svetloba več ne doseže dna mrazišč, se v njih prične nabirati hladen zrak, ki z osenčenih pobočij počasi polzi proti dnu. Če je mrazišče zaprtega tipa (kraška polja, vrtače, udorne jame ...), hladen zrak v njem ostane, sicer (alpske doline) odteka navzdol. Zrak, ki obmiruje na dnu mrazišča, se vseskozi radiacijsko ohlaja (površina tal seva toploto v vesolje), kar zraku na dnu mrazišč omogoči, da je pri tleh najhladnejši in najtežji. Zrak, ki priteka proti dnu v poznejših urah, je manj mrzel in zato lažji. Zaradi tega se ustavlja nad ohlajenim zrakom in tako se mrazišče polni plast za plastjo –na dnu mrazišč tako nemoteno poteka ohlajanje od poznega popoldneva do zgodnjega jutra naslednji dan.

Ohlajanje zraka v mraziščih je odvisno od:

- oblike mrazišč: odprta mrazišča se hitreje ohlajajo, saj izsevajo več toplote, medtem ko se pri bolj zaprtih mraziščih sevanje odbija od pobočij in vrača v mrazišče;
- nadmorske višine: višjeležeča mrazišča so praviloma hladnejša, saj je atmosfera, ki ovira radiacijsko ohlajanje tal, redkejša;
- podlage: za učinkovito nočno ohlajanje mora podlaga omogočiti nemoteno ohlajanje površine in preprečevati pretok toplote iz globljih plasti na površje; najintenzivnejše ohlajanje omogoča snežna odeja, ki je odličen izolator in hkrati odličen sevalec dolgovalovnega sevanja – s tem je omogočen prenos toplote iz tal na površje, snežna odeja pa se hkrati intenzivno ohlaja;
- meteoroloških pogojev: jasne in mirne noči predstavljajo najboljše pogoje za nizke temperature;
- dolžine noči: v daljših nočeh je verjetnost zelo nizkih temperatur večja.

## 2.2 Merjenje v mraziščih

Meteorološke meritve je treba izvajati po standardih Svetovne meteorološke organizacije. Merilni prostor mora biti reprezentativen za čim širšo okolico in poraščen z nizko travo, če to dopuščajo naravni pogoji. V bližini ne sme biti večjih ovir (npr. stavb, dreves), ki bi vplivale na pravilnost meritev. Zaželeno je, da v bližini ni večjih urbanističnih posegov.

Temperatura zraka se na meteoroloških postajah meri dva metra nad tlemi, v zaklonu, ki ščiti termometer pred padavinami in kratkovalovnim sevanjem (neposredno in odbito sončno sevanje) ter dolgovalovnim infrardečim sevanjem (sevanje tal, okoliških predmetov in neba) hkrati, pa mora biti zaklon prepusten za zračni tok. Kljub dobri zaščiti pred sevanjem se lahko

zrak v neprevetrenem zaklonu v sončnih dneh segreje tudi za 1 °C nad dejansko temperaturo zraka. Standarden zaklon, ki vse to ponuja, je vremenska hišica – ta se tudi uporablja pri uradnih meteoroloških meritvah. [3]

Merjenje temperature in ostalih meteoroloških podatkov je v mraziščih veliko bolj naporno kot na standardnih meteoroloških postajah – že zaradi svoje narave in vremenskih pogojev. Poleg tega so mrazišča ponavadi na težje dostopnih krajih, kar v kombinaciji z ekstremnimi vremenskimi pogoji (v prvi vrsti hud mraz) predstavlja veliko oviro za redna odčitavanja meritev iz naprav na takih lokacijah.

Problemi merjenja meteoroloških podatkov v mraziščih:

- S termometrom MIN/MAX izvemo le skrajne dosežene vrednosti. Nimamo podane časovne komponente meritve.
- Pri mikroprocesorskih meteoroloških postajah se pojavi problem napajanja. Energetska avtonomija zagotavljamo s sončnimi celicami in akumulatorji. Osončenost je v mraziščih praviloma kratka, zaradi česar je polnjenje baterije sončnih celic kratkotrajno. Poleg tega pa zaradi nizkih temperatur pade tudi kapaciteta akumulatorja.
- Ekstremne ohladike v mraziščih lahko trajajo le nekaj minut, zato moramo zajem vrednosti podatkov opravljati v intervalih, krajših od 5 min, kar na daljši rok predstavlja precej podatkov in posledično hitro zapolnitev spominskega prostora.
- Že dejstvo, da je mrazišče globalno, poleg tega pa še oddaljeno od telekomunikacijskih infrastruktur, nam povzroča probleme pri klasičnih povezavah v omrežja. Za radijske povezave je v večini primerov treba uporabiti dodatno vmesno postajo, da pridobljene podatke posredujemo do sprejemnika.



### 3 Smernice za izdelavo naprave za merjenje meteoroloških podatkov v mraziščih

Naprava je namenjena delovanju v zahtevnem okolju, zato je primarno treba poskrbeti za ustrezno zaščito naprave in zanesljive komponente strojne opreme. Vplivi okolja na napravo morajo biti čim bolj omejeni.

Predvideti je treba, da bo naprava delovala v okolju z omejeno količino električne energije, zato moramo načrtovati tudi učinkovito upravljanje s porabo in v sistemu uporabljati funkcije za varčevanje z energijo (npr. izklop posameznih delov sistema, ko le-ti niso v uporabi, kontrola napetosti akumulatorja ipd.).

Predvideti je treba naslednje lastnosti in funkcionalnosti naprave:

- odpornost elektronike na nizke temperature: treba je izbrati takšne elektronske komponente, ki bodo zanesljivo delovale tudi pri temperaturah globoko pod lediščem;
- natančni merilni senzorji: senzorji, ki se bodo uporabljali za merjenje meteoroloških podatkov, morajo biti natančni, hkrati pa morajo biti dovolj vzdržljivi in primerni za delovanje v zahtevnih okoljih z ekstremno nizkimi temperaturami;
- sporočanje podatkov v realnem času: naprava naj omogoča povezljivost z zunanjo oddajno postajo, s pomočjo katere je mogoče v realnem času sporočiti podatke o trenutnem stanju (meritve, ipd.);
- zmožnost pogostega zajemanja in shranjevanja podatkov: naprava mora biti sposobna pogostega zajemanja in hitrega shranjevanja podatkov, in sicer iz vseh senzorjev vsaj dvakrat v minuti – temu mora biti prilagojena tudi izbira komponent za implementacijo teh funkcionalnosti;
- povezljivost preko vmesnika RS-232: preko tega vmesnika mora omogočati povezovanje z zunanjimi sistemi, ki lahko kontrolirajo delovanje naprave in pridobivajo podatke iz nje (vključujoč meritve);
- možnost t. i. »on-site« konfiguracije naprave in spremljanja delovanja: omogočati mora nadzor in konfiguracijo naprave ob fizičnem dostopu do nje na tak način, da ni treba posodobiti naložene strojne programske opreme;
- datum in čas: naprava mora biti zmožna voditi uro realnega časa in imeti možnost nastavitve trenutnega datuma in časa;
- opcijski sprejemnik GPS: za morebitno uporabo v razširjenih (mobilnih) sistemih in v tistih, ki zahtevajo sporočanje lokacije v realnem času.

### 3.1 Sporočanje podatkov

Naprava mora biti od načina sporočanja podatkov neodvisna in mora podpirati povezljivost z oddajno postajo s standardnimi vmesniki za povezovanje (npr. RS-232). Kljub temu je priporočljivo, da naprava že v osnovi podpira sporočanje podatkov, ne da bi potrebovala dodatne zunanje naprave.

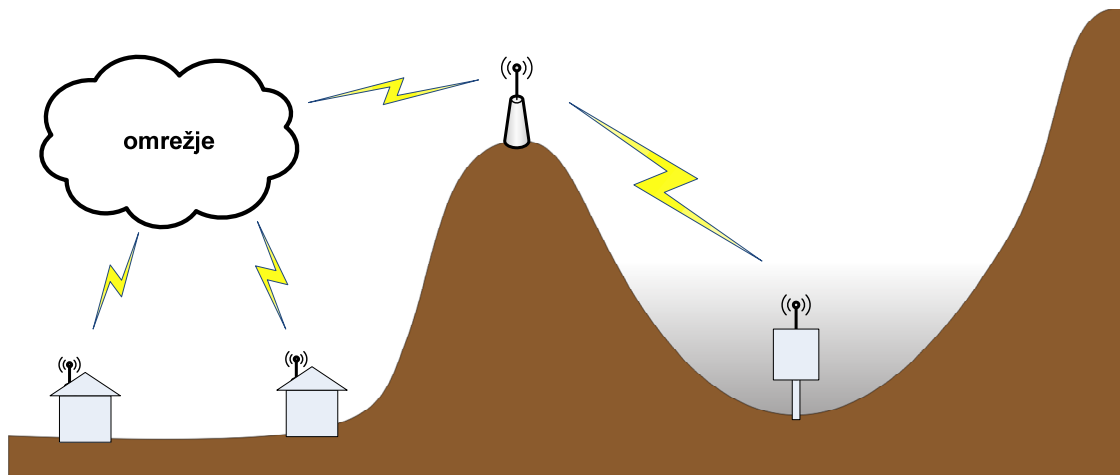
Mrazišča so ponavadi oddaljena od telekomunikacijske infrastrukture, saj so ponavadi locirana na neposeljenih območjih, oddaljenih od urbanih območij, kar je tudi največji problem pri sporočanju meteoroloških informacij iz mrazišč. Tu je namreč dostop do kakršne koli komercialne telekomunikacijske infrastrukture zelo otežen, če ne celo nemogoč.

Žična TK-infrastruktura na takšnih območjih ponavadi ni postavljena, njena postavitve pa je predraga in se samo za namene amaterskih meteoroloških meritev ne splača. Tudi delovanje komercialne brezžične TK-infrastrukture (npr. GSM/GPRS) je na takih predelih zelo vprašljivo. Takšna infrastruktura je večinoma postavljena le v urbanih področjih – pokritost odročnih in nenaseljenih predelov pa je slaba. Poleg tega je mrazišče kotanja, ponavadi obdana z višjimi vzpetinami, kar dodatno negativno vpliva na povezljivost v takšno omrežje.

Eno izmed večjih nekomercialnih omrežij na svetu, če ne celo največje, je radioamatersko omrežje, katerega uporaba je brezplačna – za delo na omrežju je potrebna le ustrezna radioamaterska licenca. Če imamo narejen radioamaterski izpit in izdano dovoljenje za delo na radioamaterskih frekvencah, lahko uporabljamo vse možnosti komunikacije, ki so na teh frekvencah dovoljene (regulatorni organ, ki v Sloveniji ureja to področje, je APEK, Agencija za pošto in elektronske komunikacije Republike Slovenije).

Del radioamaterskega omrežja je tudi omrežje APRS, digitalno paketno omrežje, namenjeno izključno prenosu podatkov. Hitrost prenosa podatkov po tem omrežju je za današnje čase zelo nizka (najpogosteje 1200 bps), vendar je to za naše potrebe več kot dovolj – pošiljali bomo le kratka sporočila velikosti od nekaj deset do nekaj sto bajtov.

Pokritost s signalom v primeru uporabe radioamaterskega omrežja ne predstavlja problema. Če z našim oddajnikom ne uspemo sporočiti podatkov v omrežje, lahko težave rešimo sami in omrežje razširimo, kot je prikazano na sliki 2 – seveda v skladu z regulatornimi omejitvami in pravili dela na omrežju. Uporabimo lahko močnejše oddajnike, postavimo vmesne postaje (repetitorje oz. digipiterje), ki naše podatke posredujejo naprej v omrežje ipd.



Slika 2: Shema razširitve omrežja z vmesno postajo.

Radijske frekvence so v osnovi omejena naravna dobrina in v skladu s pravili dela na radioamaterskem omrežju je njihova uporaba pod enakimi pogoji dovoljena vsem radioamaterjem. Da ne zasedamo omrežja in onemogočamo dela ostalim, je treba upoštevati pravila lepega vedenja. Priporočeno je omejiti količino sporočenih podatkov (pošiljajo naj se le pomembni podatki) in povečati časovni razmik med oddajami.

### 3.2 Shranjevanje podatkov

Naprava mora biti zmožna pogostega zajemanja in shranjevanja podatkov iz vseh senzorjev. Dobrodošlo je tudi shranjevanje dnevnika izvajanja (kot pomoč pri ugotavljanju vzroka morebitnih napak). Zaradi tega moramo predvideti takšen način shranjevanja podatkov, ki nam omogoča:

- hitro shranjevanje podatkov;
- razširitev pomnilne kapacitete;
- hiter in preprost prenos podatkov.

Pomnilna naprava mora ohraniti podatke tudi ob izklopu električne energije. Mogoče bi bilo uporabiti naprave, ki temeljijo na magnetnem zapisu podatkov (npr. trdi disk), a je bolj smotrna uporaba rešitev, ki temeljijo na uporabi tehnologije pomnilnikov EEPROM (npr. flash pomnilniki). Slednji nimajo mehanskih delov, so bolj kompaktni in za svoje delovanje porabijo znatno manj energije.

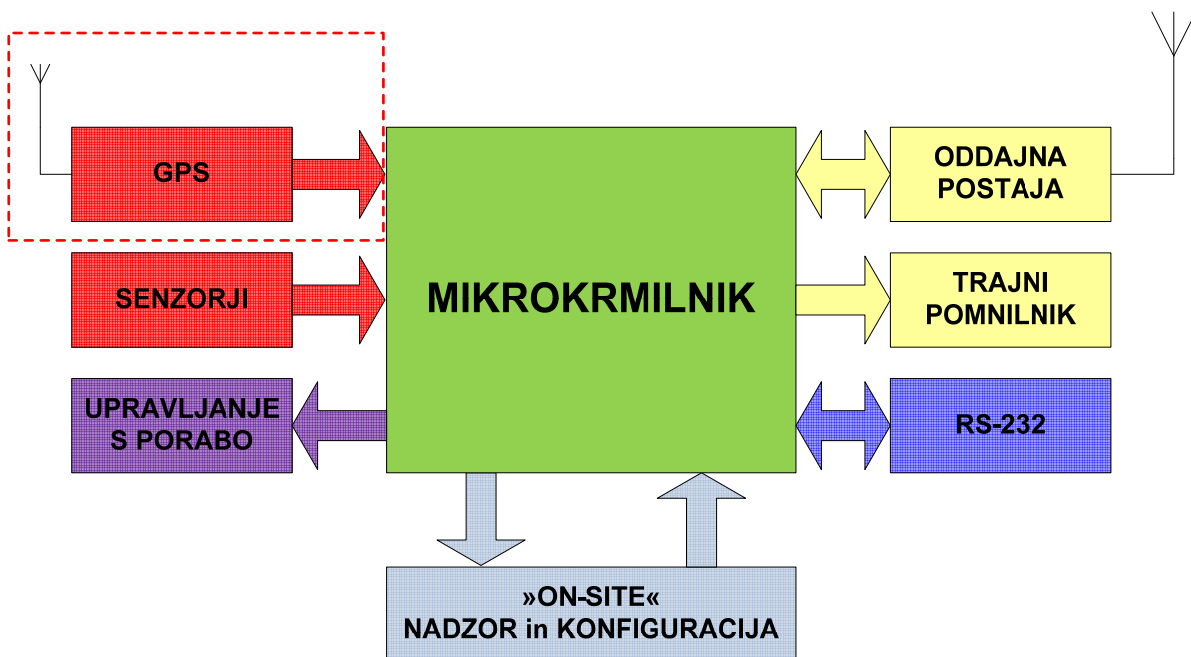
Pri shranjevanju podatkov smo lahko veliko bolj potratni kot pri sporočanju podatkov v radioamatersko omrežje. Zapisujemo lahko poljubne količine podatkov s poljubnimi časovnimi razmiki med zapisi. Če vrednosti meritev iz senzorjev na daljše obdobje izvajamo zelo pogosto (npr. nekajkrat na minuto) in te meritve sproti shranjujemo, lahko dobimo zelo

podrobne in, če uporabljamo kvalitetne senzorje, tudi kvalitetne podatke. Omejeni smo le s fizičnimi karakteristikami pomnilnega medija (hitrost prenosa, kapaciteta, ipd.).

### 3.3 Strojna oprema

Že pri načrtovanju strojne opreme je treba upoštevati dejstvo, da bo naprava delovala v zahtevnem okolju, zato je treba temu primerno izbrati elektronske komponente. Čeprav bo naprava zaščitena pred zunanjimi vplivi, je vseeno priporočeno izbrati kvalitetne komponente, ki so sposobne delovati pri zelo nizkih temperaturah (vsaj do ca.  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Če upoštevamo lastnosti in zahteve, začrtane v začetku poglavja, lahko sestavimo bločno shemo modularne strojne opreme, kot je prikazano na sliki 3. Strojno opremo je treba razviti po principih modularnega razvoja [4], da lahko sestavimo različne konfiguracije sistema za različne namene uporabe (npr. z ali brez sprejemnika GPS).



Slika 3: Bločna shema zgradbe strojne opreme.

### 3.4 Programska oprema

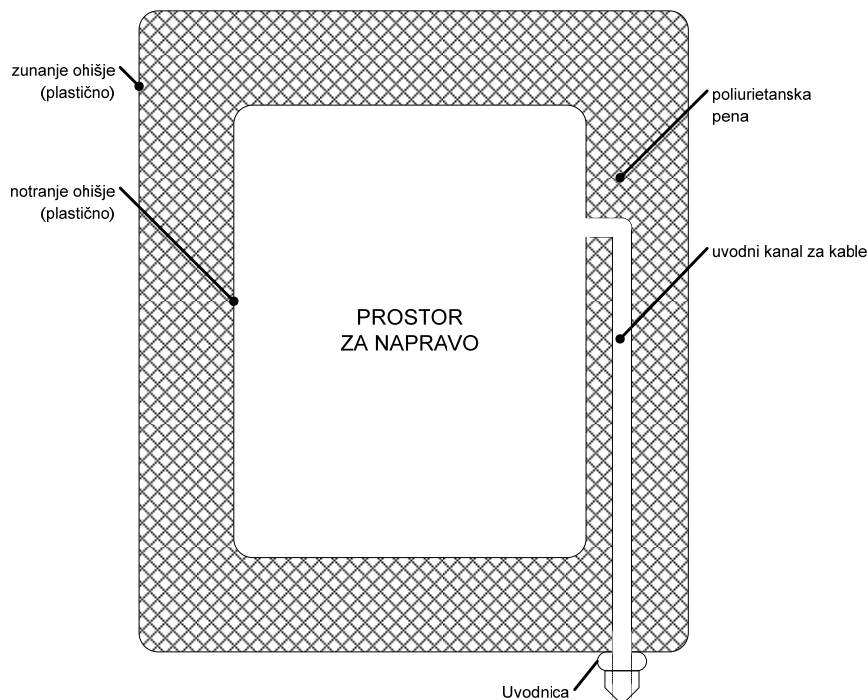
Podobno kot pri strojni opremi je modularnost zahtevana tudi pri organizaciji programske opreme. Na takšen način pisana oz. sestavljena programska koda je bolj pregledna in lažja za vzdrževanje; prav tako je lažje kasnejše dodajanje novih funkcionalnosti in izboljšav. Priporočljivo se je držati principov modularnega razvoja programske opreme [5] in strukturiranega [6] ali objektno-orientiranega [7] programiranja, odvisno od izbire programskega jezika in razvojnega okolja.

Programska oprema naj bo pisana tako, da v primeru, da posamezen del strojne opreme ni vključen v konfiguracijo naprave, programska oprema ta manko samodejno zazna. Tisti del programske opreme, ki je odgovoren za manjkajočo strojno opremo, se mora samodejno deaktivirati in ne sme povzročiti nedelovanja sistema.

Uporaba operacijskega sistema z razvrščevalnikom opravil, ki se ga uporabi kot osnovo za realizacijo programskega dela sistema, je zaželeno, saj le-ta omogoča bolj modularno zasnovo – del programske opreme je kot zaključena celota lahko implementiran v obliki opravila, ki se izvaja pod kontrolo operacijskega sistema. Poleg tega nam operacijski sistem ponavadi že ponuja konstrukte za komunikacijo, ki nam olajšajo sodelovanje med različnimi deli (opravili) sistema.

### 3.5 Postavitev naprave

Naprava mora biti čim bolj zaščitena pred zunanjimi vplivi. Najbolj pomembna je zaščita pred vlago in nizkimi temperaturami, zato je treba napravo postaviti v tak prostor, da bodo taki vplivi minimalni. Če s takšnim prostorom na lokaciji izvajanja meritev ne razpolagamo, je treba napravi pripraviti ohišje, ki čim bolj minimizira vplive okolja.

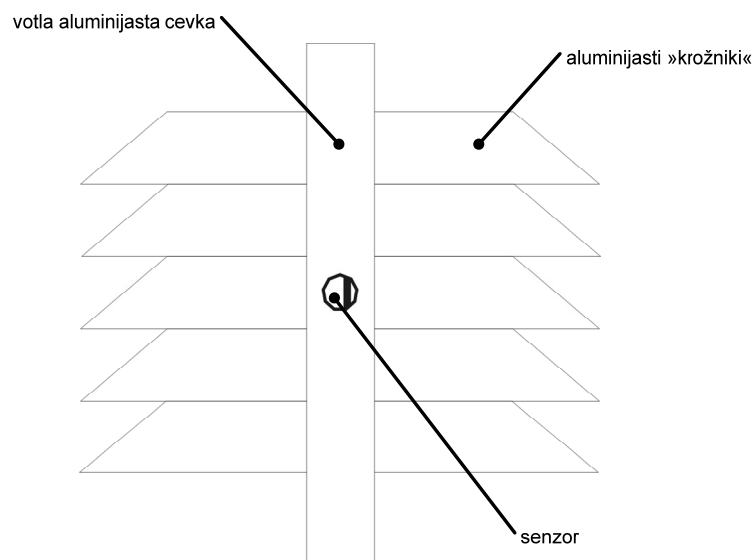


Slika 4: Skica ohišja za zaščito naprave pred zunanjimi vplivi.

Primer takšnega ohišja je na sliki 4, kjer smo v večje (zunanje) vodoodporno plastično ohišje montirali manjše (notranje) plastično ohišje (tudi vodoodporno), v katerega postavimo napravo. Prostor med ohišjema smo zapolnili s poliuretansko peno z nizkim koeficientom

temperaturne prevodnosti, s čimer smo omejili prehod nizkih temperatur v prostor za napravo. Uvodni kanal nam omogoča žično povezavo zunanjih senzorjev z napravo. Speljan je tako, da poskuša minimizirati zunanje vplive, saj je v notranje ohišje speljan po daljši poti skozi poliuretansko peno, z zunanje strani pa so žice zatesnjene z uvodnico.

Za pravilne meritve je treba podobno zaščititi tudi senzorje – le-te predvsem pred kratkovalovnim in dolgovalovnim infrardečim sevanjem. Temu je ponavadi namenjena standardna vremenska hišica, ki se uporablja tudi pri uradnih meteoroloških meritvah, primerljive rezultate pa dobimo tudi s preprostejšim zaklonom iz aluminijastih »krožnikov«. Shema takšnega zaklona je na sliki 5. Skozi pet aluminijastih kosov pločevine v obliki krožnika z luknjo v sredini potisnemo aluminijasto cevko, v katero postavimo senzorje, in vse skupaj dobro pritrdimo.



**Slika 5: Shema zaklona iz aluminijastih "krožnikov".**

Takšen zaklon je v primerjavi z vremensko hišico enostavnejši in cenejši za gradnjo, kvaliteta podatkov pa je primerljiva z izmerjenimi v vremenski hišici. Zaradi svoje majhnosti je manj vpadljiv v naravnem okolju, predvsem pa je dovolj lahek in primeren za prenos na težje dostopne lokacije.

## 4 APRS

APRS (angl. »Automatic Packet Reporting System«) je digitalni komunikacijski sistem (oz. omrežje) za lokalno obveščanje in izmenjavo podatkov v realnem času. Uporablja se predvsem v radioamaterskih aplikacijah in primarno deluje na lokalni ravni, vendar ga lahko razširimo v globalno omrežje, če:

- vzpostavimo prehode med lokalnimi omrežji;
- vzpostavimo prehode iz lokalnih omrežij v internet in obratno.

### 4.1 Zgodovina

Začetki APRS segajo v osemdeseta leta dvajsetega stoletja, ko je Bob Bruninga, inženir v ameriški mornarici, razvil sistem za realno-časovno izmenjavo taktičnih informacij in koordinacijo enot s pomočjo visokofrekvenčnih radijskih oddajnikov (frekvence med 3 in 30 MHz, glej [8]). Na osnovi tega sistema je bil kasneje razvit sistem CETS, ki ga je za svoje namene uporabljala ameriška zvezna agencija FEMA in je direktni predhodnik tedanjega sistema APRS, takrat poimenovanega še »Automatic Position Reporting System«.

Uporaba APRS se je kmalu razširila tudi na ostala področja in sistem se je v začetku devetdesetih let dvajsetega stoletja razvil tudi v smereh, ki niso bile vezane le na sporočanje geografske pozicije: radiogonometriranje, telemetrijo, sporočanje meteoroloških podatkov in podobno. Pomen kratice APRS se je tako spremenil v »Automatic Packet Reporting System«, ki bolje odraža najbolj pogosto namembnost in uporabo sistema – paketni prenos podatkov po radijskih zvezah.

### 4.2 Delovanje omrežja

V osnovi je uporaba APRS neodvisna od frekvenčnega področja, modulacije in protokola, zato ga zasledimo v različnih aplikacijah, tako komercialnih kot nekomercialnih, na različnih frekvenčnih področjih. Najpogosteje se uporablja v radioamaterskih aplikacijah na 2-metrskem frekvenčnem pasu [9], kjer se podatki prenašajo z uporabo protokola AX.25 [10] in modulacijo 1200 bps AFSK (angl. »Audio frequency-shift keying«).

V Evropi večina radioamaterskih omrežij za APRS deluje na frekvenci 144,800 MHz [11] in uporablja modulacijo 1200bps AFSK. Ker vse postaje APRS uporabljajo eno samo frekvenco, je lahko učinkovitost sistema včasih zelo vprašljiva, saj je veliko odvisno od nastavitve opreme (npr. pogostosti oddajanja v kanal). Precej digipiterjev (glej 4.5.3), predvsem tistih, ki so na visokih lokacijah, zaradi tega za izmenjavo uporablja druge frekvence.

Poleg prizemnih komunikacij se APRS lahko uporablja tudi v satelitskih komunikacijah. Tu gre predvsem za povezovanje v omrežje APRS s pomočjo digipiterjev na radiomaterskih satelitih (AO-51, GO-32, PCSAT, PCSAT2, ISS). Za povezavo s satelitom je dovolj le biti ob pravem trenutku na pravi frekvenci, ko je satelit nad tabo.

### 4.3 Funkcionalnosti omrežja

Odvisno od programske in strojne opreme nam omrežje APRS omogoča uporabo naslednjih funkcionalnosti:

- sporočanje pozicije (opcijsko tudi hitrosti in smeri), izris teh podatkov na zemljevid in opcijsko beleženje za kasnejšo obdelavo;
- sporočanje meteoroloških podatkov (prikaz trenutne situacije na raznih geografskih lokacijah);
- povezavo na internet (strežniki na internetnih prehodih za APRS lahko lokalni radijski promet objavljajo na internetu, kjer lahko vsi vidijo vse podatke);
- izmenjavo sporočil med dvema postajama s potrjevanjem;
- pošiljanje okrožnic in najav (posebna sporočila, ki so naslovljena na vse postaje APRS; okrožnice (angl. »bulletins«) se pošiljajo vsakih 20 minut v naslednjih 4 urah, najave (angl. »announcements«) pa vsake 4 ure v naslednjih 4 dneh);
- spremljanje prometa (pakete APRS shranjujemo v dnevnik, ki jih kasneje lahko pregledujemo in obdelujemo);
- statistiko prometa na omrežju (programska oprema omogoča spremljanje števila paketov po posameznih postajah, prikaz poti potovanja paketov, prihod/odhod posameznih postaj v omrežje in iz njega in podobno);
- ročno nastavljanje pozicije postaje z uporabo t. i. Maidenheadovih lokatorjev [12] ali GPS koordinat;
- uporabo objektov, kjer lahko vsak uporabnik v omrežje odda podatke o objektu, slednjega določi popolnoma ročno in se hitro pojavi na zemljevidih ostalih uporabnikov.

### 4.4 Oprema za delo na omrežju

Glede na naše želje in/ali zahteve aplikacije je treba izbrati primerno opremo za povezovanje v omrežje. V grobem lahko izbiramo med dvema pristopoma:

- uporaba namenske strojne in programske opreme;
- uporaba standardne strojne in namenske programske opreme.

#### 4.4.1 Namenska strojna in programska oprema

Uporaba namenske strojne in programske opreme je primerna predvsem za tiste aplikacije, kjer interakcija z uporabnikom ni primarni faktor. To so predvsem vgrajeni (angl. »embedded«) sistemi, pri katerih so ponavadi bolj pomembni tehnični dejavniki projekta (npr. nizka poraba energije). Z uporabo vgrajenih tehnologij so ponavadi izdelani samo avtomatizirani, samostojni in samozadostni sistemi, s katerimi uporabnik le redko rokuje in ki služijo za periodično obveščanje, sporočanje telemetrijskih ali meteoroloških podatkov in podobno. Funkcionalnosti takšnih sistemov se med seboj lahko zelo razlikujejo, saj so sistemi ponavadi prilagojeni za natančno določene naloge in okolje, v katerem delujejo.

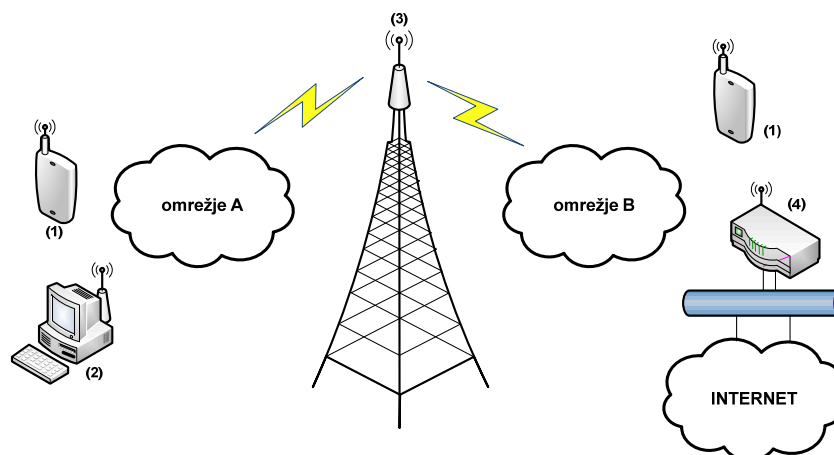
#### 4.4.2 Standardna strojna in namenska programska oprema

Z uporabo standardne strojne opreme (npr. osebni računalnik z zvočno kartico, povezan z ročno radijsko postajo) in namenske programske opreme (nekatera je tudi prosto dostopna) lahko zajamemo večino funkcionalnosti namenskih sistemov in jih v določenih pogledih celo prekašamo. Ta pristop se uporablja predvsem za delo na sprejemni strani omrežja, kjer prevladujejo zahteve po sposobnosti interakcije z uporabnikom in potrebe po interpretaciji ter obdelavi podatkov (npr. interakcija z uporabnikom z grafičnim vmesnikom, grafična interpretacija podatkov, statistične analize ...).

### 4.5 Osnovne komponente omrežja

Tako z namensko kot s standardno strojno opremo lahko v večini primerov realiziramo vse komponente omrežja. Le-te so predstavljene na sliki 6:

- sledilnik (angl. »tracker«), označen s številko 1;
- sprejemno-oddajna postaja, označena s številko 2;
- digipiter (angl. »digipeater«), označen s številko 3;
- internetni prehod, označen s številko 4.



Slika 6: Osnovne komponente omrežja APRS.

### 4.5.1 Sledilnik

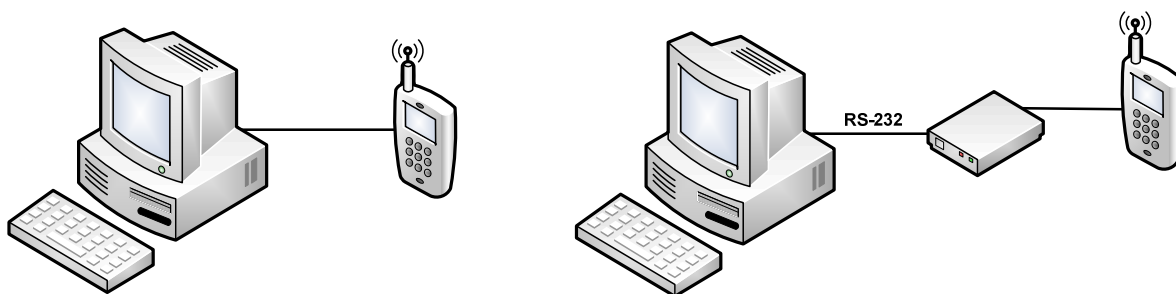
Osnovna enota omrežja APRS je sledilnik, na sliki 6 označen s številko 3. To je ponavadi namenski vgrajeni sistem, ki ga sestavljajo:

- sprejemnik GPS (ni obvezen, lokacija je lahko fiksna);
- modulator AFSK;
- radijska postaja.

Osnovni sledilniki znajo le pošiljati podatke o trenutni lokaciji; podatkov z omrežja ne znajo sprejemati (so brez demodulatorja AFSK) – sprejemnik radijske postaje uporabljajo le za detekcijo zasedenosti kanala (da oddajo podatke takrat, ko je na kanalu tišina). Bolj kompleksni sledilniki imajo poleg osnovnih funkcij APRS tudi možnost pošiljanja raznih telemetrijskih, meteoroloških in drugih podatkov, preko standardnih vmesnikov (UART, SPI, I<sup>2</sup>C ...) se znajo povezovati z ostalimi napravami (senzorji, meteorološkimi postajami ...) itd.

### 4.5.2 Sprejemno-oddajna postaja

Za razliko od sledilnika, ki ponavadi le oddaja podatke v omrežje, lahko s takšno postajo (na sliki 6 je označena s številko 2) podatke tudi sprejemamo, jih shranjujemo, obdelujemo, itd. Zasnova takšne postaje ponavadi temelji na standardnem računalniškem sistemu (osebni računalnik) z modemom in zunanjo oddajno postajo, kot je prikazano na sliki 7. Modem je lahko realiziran programsko (npr. s programsko kontrolo izhoda zvočne kartice) ali strojno z uporabo namenske zunanje naprave.



Slika 7: Sprejemno-oddajna postaja s programskim (levo) in strojnim (desno) modemom.

Postaja mora biti opremljena tudi s posebno programsko opremo, namenjeno delu na omrežju APRS. Za to obstaja več programskih rešitev, tako prostih kot plačljivih. Izbira je odvisna od operacijskega sistema, predvsem pa od funkcionalnosti, ki jih potrebujemo za delo na omrežju in ki jih posamezna programska rešitev podpira.

### 4.5.3 Digipiter

Digipiter [13], na sliki 6 označen s številko 3, je naprava, ki med seboj povezuje dve ali več lokalnih digitalnih radijskih omrežij v večje lokalno ali globalno omrežje. Praviloma je vedno postavljen na neki strateški (višjeležeči) točki, s katere je mogoče sprejemati in oddajati v vsa omrežja, s katerimi je digipiter povezan.

Digipiterji ponavadi delujejo v načinu half-duplex– tako za sprejem kot za oddajo uporabljajo isto frekvenco. To so predvsem tisti digipiterji, ki delujejo na lokalnem nivoju. Tisti, ki delujejo na nivoju globalnega omrežja (imenovani tudi prehodi, angl. »gateway«), delujejo na drugih frekvencah, ponavadi tudi v načinu full-duplex (sprejemajo in oddajajo na dveh različnih frekvencah). S tem je zagotovljena višja prepustnost sistema.

### 4.5.4 Internetni prehod

Z uporabo internetnega prehoda (angl. »igate«), na sliki 6 označenega s številko 4, omogočimo selektivni prenos podatkov iz omrežja APRS v internetno omrežje. Ponavadi je prehod sestavljen iz osebnega računalnika s posebno programsko opremo in z dodatnimi perifernimi enotami, ki omogočajo sprejem podatkov iz omrežja APRS (radijska postaja, modem) in oddajo v internetno omrežje. Oddaja iz internetnega omrežja v omrežje APRS je tudi mogoča, vendar se je pri tem treba prilagoditi fizičnim in regulatornim omejitvam [14].

## 4.6 O protokolu AX.25

Protokol AX.25 [15] je bil načrtovan za uporabo v radioamaterskih radijskih omrežjih in je zasnovan na podlagi protokola HDLC [16]. Intenzivno se uporablja v paketnih radioamaterskih omrežjih. Po definiciji OSI referenčnega modela [17] je to protokol povezovalne plasti in določa prvo (fizično) in drugo (povezovalno) plast tega modela. Njegova naloga je prenos podatkov (paketov) med vozlišči z detekcijo napake med prenosom (opravlja podobno vlogo kot ethernet v klasičnih žičnih omrežjih). Podpira tako povezavni kot brezpovezavni način prenosa podatkov; slednji je uporabljen pri prenosu podatkov preko APRS omrežja.

Prenos podatkov se na povezavnem nivoju vrši v obliki manjših blokov podatkov, imenovanih okvirji. Protokol pozna 3 osnovne tipe okvirjev:

- informacijski okvirji (I);
- nadzorni okvirji (S);
- neoštevilčeni okvirji (U).

Okvirja U in S								
Zastavica	Naslov			Kontrola	Podatki	FCS	Zastavica	
	Prejemnik	Pošiljatelj	Digipiter					
Bitov:	8	56	56	0/56/112	8 ali 16	$N \times 8$	16	8

Tabela 1: Zgradba okvirja U in S protokola AX.25.

Okvir I									
Zastavica	Naslov			Kontrola	PID	Podatki	FCS	Zastavica	
	Prejemnik	Pošiljatelj	Digipiter						
Bitov:	8	56	56	0/56/112	8 ali 16	8	$N \times 8$	16	8

Tabela 2: Zgradba okvirja I protokola AX.25.

Razlaga polj v okvirju protokola AX.25:

- zastavica: označuje začetek in konec okvirja in ima vedno vrednost  $7E_{16}$  ( $01111110_2$ );
- naslov: enolično določa pošiljatelja in prejemnika ter morebitno uporabo digipiterjev;
- kontrola: določa tip okvirja in razne attribute povezave (pri okvirju U je to polje vedno dolgo 8 bitov);
- PID (angl. »protocol identifier«): oznaka protokola (samo pri okvirjih I);
- podatki: vsebuje uporabniške podatke, ki se jih prenaša od pošiljatelja k prejemniku;
- FCS (angl. »frame-check sequence«): 16-bitna vrednost CRC, s katero preverjamo integriteto prejetega okvirja in ki je izračunana po priporočilih standarda [18].

Polje za naslov je sestavljeno iz treh delov:

- klicnega znaka prejemnika;
- klicnega znaka pošiljatelja;
- opcijskih klicnih znakov digipiterja (največ dveh).

Klicna znaka prejemnika in pošiljatelja sta obvezna, zato je naslov dolg najmanj 14 in ker imamo lahko največ dva klicna znaka digipiterjev, največ 28 bajtov. Vsi klicni znaki so zapisani s 7-bitno abecedo ASCII, pomaknjeno za en bit v levo. Bite 7-bitne abecede ASCII zapišemo na mesta od 7 do 1 posameznega bajta, ničto mesto pa ima poseben pomen (določa konec naslova). Če konec naslova ugotovimo po sprejetih 14 bitih, potem imamo le naslov prejemnika in pošiljatelja; če pa po 21 ali 28 bitih, naslov vsebuje en oz. dva digipiterja, po katerih se pošlje okvir. Konec naslova je določen z zadnjim bitom posameznega bajta (t.i. ničti bit):

- če je le-ta enak »1«, potem je to konec naslova;
- sicer se naslov nadaljuje.

Dolžina kontrolnega polja je pri okvirjih U vedno 8 bitov. Pri okvirjih I in S je možno dolžino kontrolnega polja določiti ob vzpostavitvi povezave z uporabo okvirjev XIX; če dolžina ni drugače določena, se uporablja privzeta dolžina polja, ki je 8 bitov.

Okvir v dolžino ni omejen, saj začetek in konec označujeta zastavici. Priporočena je le dolžina podatkovnega polja (v tabeli 1 in 2 označena z N), ki naj znaša 256 bajtov. Odvisno od namena uporabe in količine podatkov lahko dolžino prilagodimo našim potrebam (jo ustrezno zmanjšamo ali zvečamo), vendar se moramo zavedati posledic takšne odločitve (razdrobljenost podatkov, izguba podatkov, količina dodatnega procesiranja ipd.).

Prenos okvirjev se vrši po posameznih bajtih po vrsti od najmanj pomembnega do najbolj pomembnega bita. Izjema je polje FCS, kjer se bite prenaša v smeri od najbolj pomembnega proti najmanj pomembnemu. Poleg tega je treba paziti na zastavico, ki se med prenosom nikjer ne sme ponoviti. Zaradi tega pogoja mora oddajnik po vsaki sekvenci petih enk vstaviti ničlo. Temu postopku pravimo vrivanje bitov (angl. »bit stuffing«). Prav tako mora sprejemnik po sprejetih petih zaporednih enkah odstraniti ničlo, ki sledi. Če petim zaporednim enkam sledi tudi šesta, potem je, razen v primeru, ko smo sprejeli znak za zastavico, pri prenosu prišlo do napake.

Če pride med prenosom do napake, okvir zavržemo. Napako pri prenosu ugotovimo, ko:

- se vrednost polja FCS razlikuje od izračunane vrednosti;
- sprejmemo neveljaven okvir. Med neveljavne okvirje štejemo tiste, ki:
  - so krajši od 136 bitov (vključno z začetno in končno zastavico);
  - nimajo začetne in/ali končne zastavice;
  - niso poravnani (skupna dolžina okvirja ni celoštevilsko deljiva z 8).

#### **4.7 Uporaba protokola AX.25 za prenos podatkov v APRS omrežju**

V omrežju APRS se uporablja le manjši nabor funkcionalnosti protokola AX.25. Poleg tega so določene funkcionalnosti protokola, ki se jih sicer uporablja v APRS omrežju, močno poenostavljene. Za prenos podatkov se uporablja poseben tip okvirja U, t. i. neoštevilčeni informacijski (UI) okvir (angl. »unnumbered information frame«). Prenos podatkov se vrši brez potrditve sprejema, kar pomeni, da poteka ves prenos podatkov v omrežju APRS v brezpovezavnem načinu – poslani okvirji ne zahtevajo potrditve prejema, zato dostava naslovniku nikoli ni zagotovljena.

Okvir UI									
Zastavica	Naslov			Kontrola	PID	Podatki	FCS	Zastavica	
	Prejemnik	Pošiljatelj	Digipiter						
Bitov:	8	56	56	0/56/112	8	8	N * 8	16	8

Tabela 3: Zgradba okvirja UI protokola AX.25.

Razlaga polj v okvirju UI protokola AX.25:

- zastavica: označuje začetek in konec okvirja in ima vedno vrednost  $7E_{16}$  ( $01111110_2$ );
- naslov: določa pošiljatelja in prejemnika ter morebitno uporabo digipiterjev, po katerih se usmeri okvir;
- kontrola: določa tip okvirja, v našem primeru okvir UI, zato je vrednost polja vedno  $3_{16}$  ( $00000011_2$ );
- PID: oznaka protokola, ki vedno vsebuje vrednost  $F0_{16}$  ( $11110000_2$ );
- podatki: podatki APRS, ki jih pošiljamo po omrežju;
- FCS: 16-bitna vrednost CRC, s katero preverjamo integriteto prejetega okvirja.

Okvir UI omrežja APRS									
Zastavica	Naslov			Kontrola	PID	Podatki	FCS	Zastavica	
	Prejemnik	Pošiljatelj	Digipiter						
Bitov:	8	56	56	0 – 448	8	8	8 - 2048	16	8

Tabela 4: Zgradba okvirja UI protokola AX.25 za uporabo v omrežju APRS.

AX.25 UI okvir za uporabo v omrežju APRS se od splošnega okvirja UI razlikuje v tem, da:

- omogoča večje število digipiterjev v naslovu (do 8);
- dovoljuje največ 256 bajtov podatkov.

#### 4.7.1 Posebnosti naslova pošiljatelja in prejemnika

Naslov pošiljatelja praviloma vsebuje njegov klicni znak (6 bajtov) in SSID (1 bajt), ki je ponavadi »0«. Če je vrednost SSID drugačna, se v omrežju APRS interpretira kot posebna oznaka (ikona), ki predstavlja tip pošiljatelja (npr. vozilo, avtobus, ladja ipd.). O mogočih vrednostih polja SSID in pripadajočih tipih si bralec lahko prebere v [10].

Ker je promet APRS v osnovi namenjen vsem, ki poslušajo na frekvenci, polje za vpis naslova prejemnika tu nima pričakovanega pomena. Vanj namreč ne zapišemo naslova prejemnika, ampak enega od 6 generičnih tipov prejemnikov, ki so detajlno predstavljeni v [10].

#### 4.7.2 Sporočila APRS v podatkovnem polju okvirja UI

Podatkovno polje okvirja UI				
Tip	Podatki	Razširitev	Komentar	
Bitov:	8	N * 8	56	M * 8

Tabela 5: Zgradba podatkovnega polja okvirja UI pri sprejemu/oddaji sporočil APRS.

Razlaga polj podatkovnega polja okvirja UI:

- tip: določa tip sporočila in natančno obliko podatkovnih polj, ki sledijo;
- podatki: podatki APRS;
- razširitev: odvisno od tipa sporočila lahko to polje vsebuje dodatne informacije;
- komentar: ponavadi vsebuje nek tekstovni komentar sporočila, pri nekaterih tipih sporočil izjemoma tudi dodatne informacije.

Dolžina polj za podatke in komentar (konstanti N in M v tabeli 5) je v [10] definirana za vsak tip sporočila posebej in se med posameznimi tipi lahko razlikuje. Nekateri tipi sporočil ne predvidevajo uporabe vseh podatkovnih polj okvirja UI (npr. polja za komentar), kar je tudi nazorno nakazano v [10].

Ločimo deset glavnih tipov informacij, ki jih pošiljamo z uporabo sporočil APRS [10]:

- pozicija: sem spada pošiljanje časa in pozicije, tudi smeri in hitrosti;
- trigonometriranje;
- objekti: pošiljanje informacij o objektih (simboli) in njihovih lastnostih / parametrih (npr. pozicija, smer, hitrost ...);
- meteorološka poročila;
- telemetrija;
- sporočila, okrožnice in najave;
- povpraševanja: pošlje se tip in naslov postaje, ki ji je povpraševanje namenjeno;
- odzivi: to so odgovori na povpraševanje, ki lahko vsebujejo poljubna sporočila (npr. stanje in zmožnosti postaje, meteorološka poročila ...);
- sporočila o stanju: poročilo o stanju postaje, nadmorska višina, čas ipd.;
- drugo: razni drugi podatki in podatki, zapisani po pravilih, ki niso del specifikacije protokola APRS.

## 4.8 Sporočila v omrežju APRS

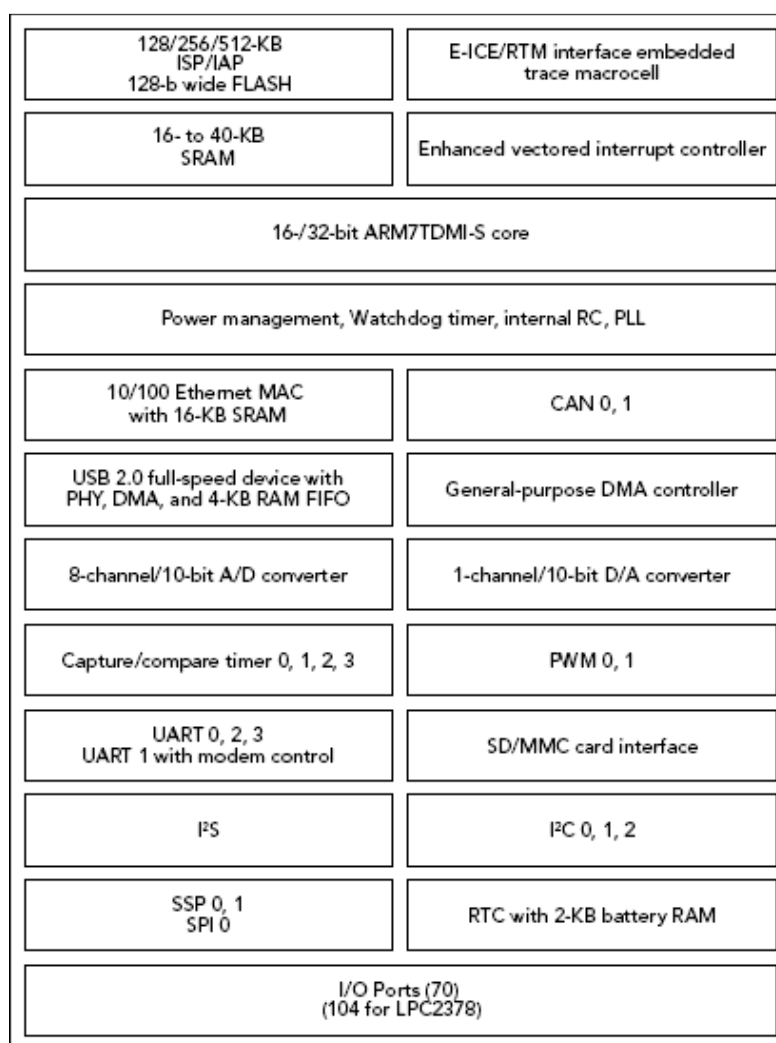
Sporočilo v omrežju APRS je najmanjša smiselna informacija (ali del nje), ki se lahko samostojno pošilja po radijskih zvezah. Včasih je za sporočanje istih informacij definiranih več tipov sporočil; izbira tipa sporočila je takrat odvisna od tega, katere in kako podrobne dodatne informacije vključujemo v sporočilo.

Za posamezen tip sporočila so v [10] natančno definirana pravila zapisa, ki določajo, kateri podatki sestavljajo sporočilo, kakšen je njihov format zapisa in pomen. Določeno je tudi, kateri deli sporočila so obvezni in kateri ne. Obstajata tudi dva tipa sporočil, ki sta definirana le z oznako tipa in ne določata tipov in dolžin podatkovnih polj, ki sledijo. Namenjena sta razširitvi protokola APRS– definiranju lastnih tipov sporočil za prenos poljubnih informacij.

## 5 Naprava

### 5.1 Mikrokrmilnik LPC2366/LPC2368

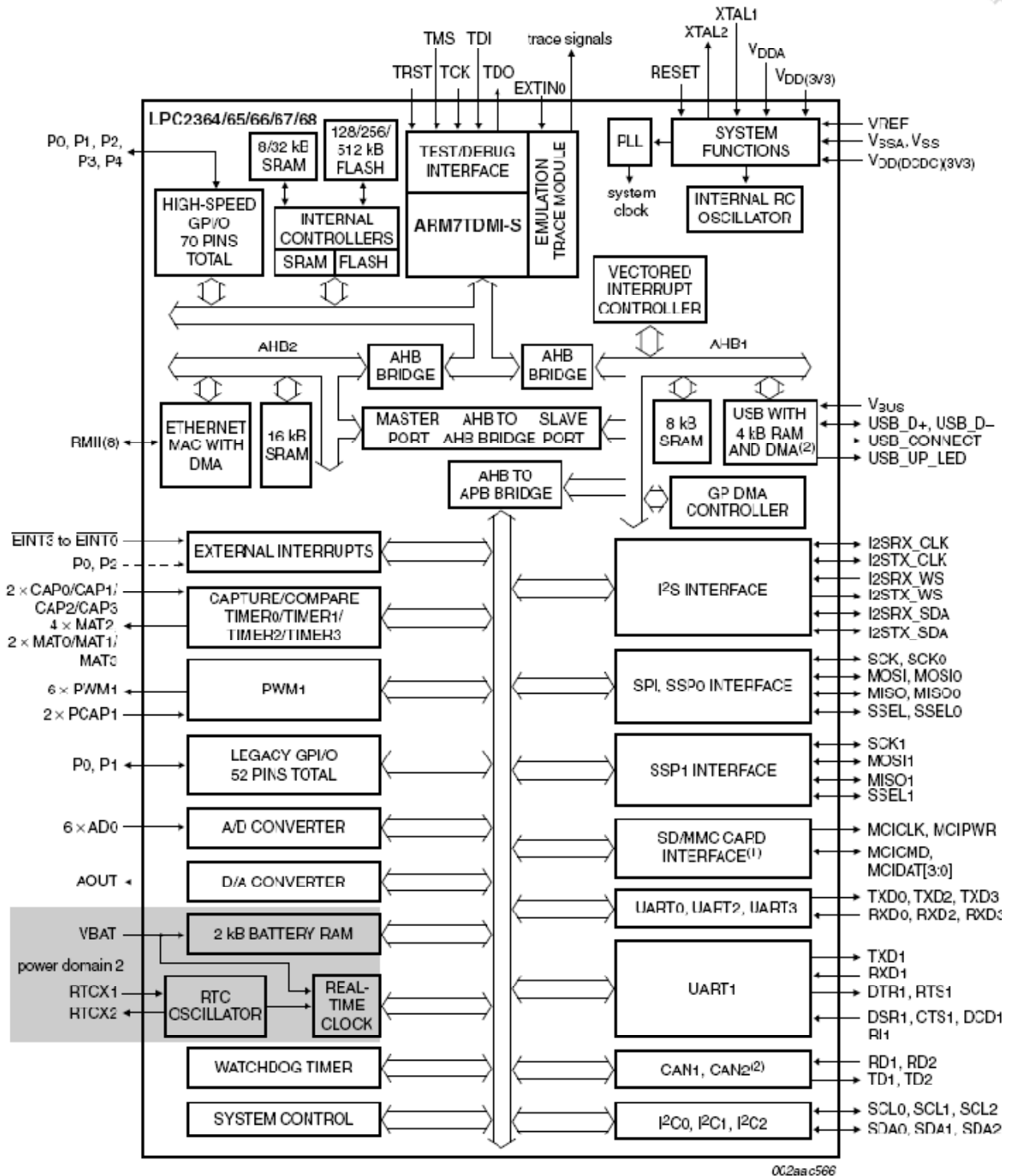
Omenjena mikrokrmilnika sta člana NXP-jeve (bivši Philips Semiconductors) serije 32-bitnih mikrokrmilnikov LPC23xx, ki temelji na procesorskem jedru ARM7TDMI-S in katere bločna shema je prikazana na sliki 8. Najvišja hitrost obeh je 72 MHz; prav tako oba vsebujeta 32kB pomnilnika SRAM in sta navzven popolnoma enaka. Edina razlika med njima je v tem, da ima LPC2368 vgrajenih 512kB pomnilnika flash in vsebuje periferno enoto za priklop pomnilniške kartice SD (Secure Digital) ali MMC (Multimedia Card), LPC2366 ima pa le 256kB pomnilnika flash in takšne enote nima.



Slika 8: Bločna shema procesorjev iz serije LPC23xx.

Vsi modeli so bogato opremljeni s perifernimi enotami – od najbolj osnovnih (UART, A/D pretvornik, SPI, splošni vhodno-izhodni priključki) do bolj naprednih (CAN, krmilnik DMA,

USB, Ethernet ...), kar omogoča relativno preprosto izvedbo dodatnih razširitev, tako strojnih kot programskih. Bločna shema mikrokrmilnikov iz serije LPC236x je prikazana na sliki 9.



(1) LPC2367/68 only.

(2) LPC2364/66/68 only.

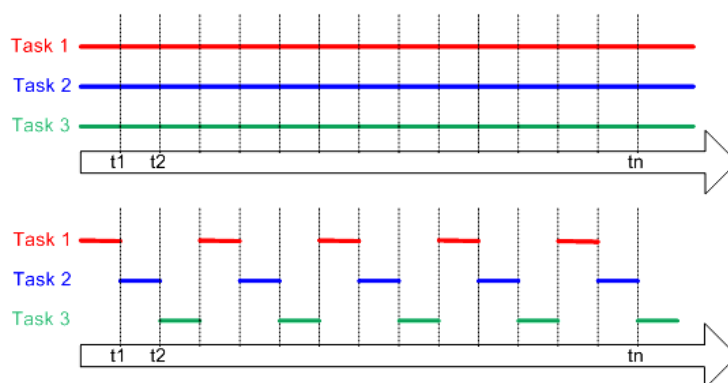
Slika 9: Bločna shema mikrokrmilnikov iz serije LPC236x.

## 5.2 Operacijski sistem FreeRTOS

Uporaba preprostega operacijskega sistema je za uspešno in sistematično izvedbo projekta v današnjem času že skorajda nuja. Lastnih rutin in knjižnic za izvedbo osnovnih konstruktov operacijskega sistema se nam, razen izjemoma, ne splača razvijati, saj je ponudba tako prostih kot komercialnih rešitev dovolj velika, da zadovolji večino okusov.

V našem sistemu je uporabljen odprtokodni operacijski sistem FreeRTOS [19], ki je v osnovi minimalistično jedro, načrtovano za uporabo v vgradnih sistemih. Jedro je prenosljivo (mogoče ga je uporabljati na različnih arhitekturah mikroprocesorjev), preprosto in zasede relativno malo prostora v pomnilniku. Poleg tega je zelo prilagodljivo, saj je mogoče nepotrebne funkcionalnosti z nekaj konfiguracijskimi vnosi enostavno odstraniti, kar omogoča uporabo natančno tistih funkcij, ki jih potrebujemo, in prilagoditev manjšim in počasnejšim sistemom ter sistemom z manj pomnilnika.

FreeRTOS omogoča vpeljavo večopravnosti v sistem. Poglavitni del jedra operacijskega sistema je prioritetni razvrščevalnik, ki je odgovoren za izvajanje opravil glede na prioriteto, določeno vsakemu posameznemu opravilu. Ker je preklapljanje med opravili zelo hitro (nekaj mikrosekund), se uporabniku zdi, da se vsa opravila izvajajo hkrati, v resnici pa se vedno izvaja le eno opravilo, kot je nazorno prikazano na sliki 10.



Slika 10: Izvajanje opravil v večopravnem sistemu.

Poleg večopravnosti nam operacijski sistem ponuja še eno zelo pomembno prednost: s svojimi konstrukti nam omogoča modularen pristop k razvoju programske opreme.

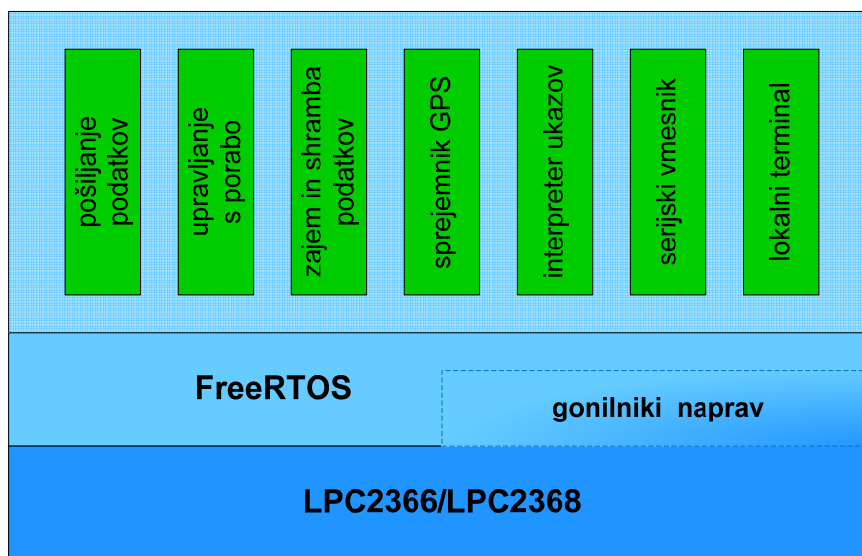
## 5.3 Organizacija programske opreme

Posamezen zaključen del programske opreme sistema je izveden kot opravilo (angl. »task«) pod kontrolo operacijskega sistema FreeRTOS, s čimer dosežemo tudi visoko stopnjo modularnosti. S pomočjo konstruktov, ki so vgrajeni v operacijski sistem, je poskrbljeno tudi za komunikacijo in sinhronizacijo med opravili (kjer je to potrebno). Komunikacija se vrši s

pomočjo sporočilnih vrst (angl. »messaging queue«), sinhronizacija pa z uporabo binarnih in števnih semaforjev. Pogost pristop k časovni sinhronizaciji, ki se tudi uporablja v sistemu, je ustavitev izvajanja opravila za določen čas (npr. za eno sekundo) in možnost, da se opravila vzajemno zaustavijo (angl. »suspend«), vendar je pri slednjem potrebna velika mera previdnosti.

Kot je razvidno iz slike 11, programska oprema v grobem sestoji iz:

- operacijskega sistema (FreeRTOS);
- gonilnikov naprav (npr. za ekran LCD, tipkovnico, UART ...);
- opravil.



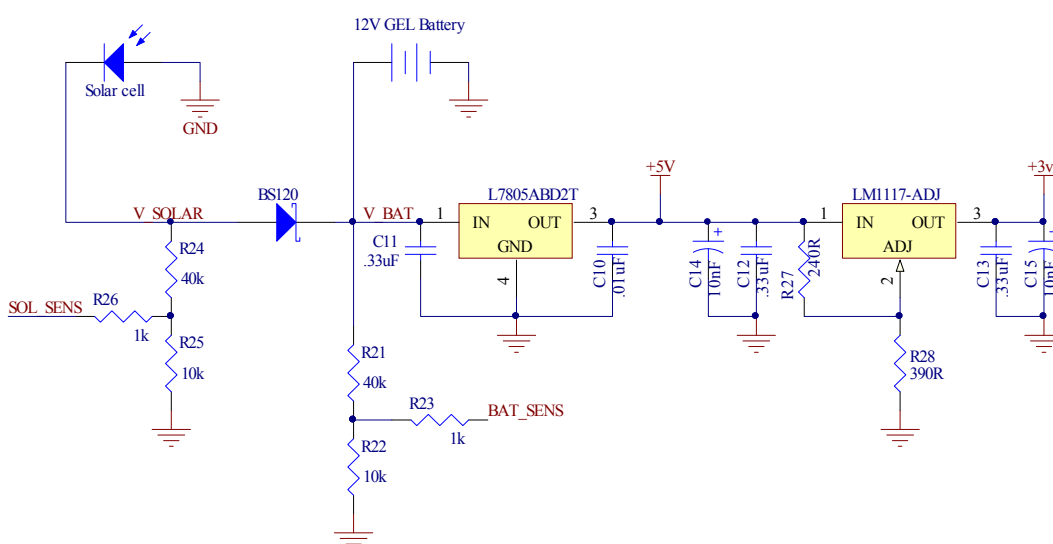
Slika 11: Shema organizacije programske opreme.

V sistemu je prisotnih sedem opravil:

- pošiljanje podatkov: skrbi za periodično pošiljanje podatkov z uporabo zunanjega radijskega oddajnika;
- upravljanje s porabo energije: skrbi za upravljanje s porabo energije in nadzor sistema;
- zajem in shranjevanje podatkov: skrbi za periodični zajem podatkov s senzorjev in shranjevanje zajetih podatkov na pomnilniški medij;
- sprejemnik GPS: skrbi za sprejem signala GPS in ustrezno interpretacijo sprejetih podatkov GPS;
- interpreter ukazov: skrbi za izvrševanje ukazov, podanih preko lokalnega terminalskega dostopa in serijskega vmesnika (RS-232);
- lokalni terminal: skrbi za interakcijo z uporabnikom s pomočjo lokalnega terminala;
- serijski terminal: skrbi za interakcijo z uporabnikom in povezljivost z zunanjimi sistemi preko vmesnika RS-232.

## 5.4 Napajanje sistema

Napajalni del sistema je sestavljen iz dveh virov energije, akumulatorja in solarnega modula. Za oba je predviden nadzor napetosti, da se prepreči prekomerno izpraznjenje in s tem trajno poškodovanje akumulatorja [20]. Namesto 12 V akumulatorja bi lahko uporabili tudi takšnega z nominalno napetostjo 6 V, vendar zunanji radijski oddajnik za stabilno delovanje potrebuje napajalno napetost 7,4 V.



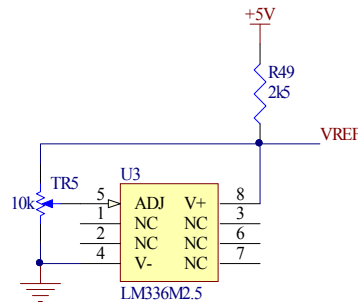
Slika 12: Načrt napajalnega dela sistema.

V sistemu sta potrebna dva regulatorja napetosti, saj imamo naprave, ki za delovanje zahtevajo različne napajalne napetosti. Prvi regulator je standardni L7805, ki nam zagotavlja napetost 5 V, drugi je tudi standardni LM1117-ADJ, s katerim dobimo drugo potrebno napetost, 3,3 V.

### 5.4.1 Nadzor napajalnih napetosti

Nadzor napajalnih napetosti se vrši z uporabo A/D pretvornikov mikrokrmilnika, ki uporabljajo referenčno napetost  $V_{ref}$ , ločeno od napajalnega dela. Le-ta se uporablja samo pri pretvorbah iz analognega v digitalno. Mikrokrmilniki iz serije LPC23xx za normalno delovanje zahtevajo referenčno napetost vsaj 2,5 V; najvišja dovoljena referenčna napetost je omejena z napajalno napetostjo mikrokrmilnika [21].

Izbira referenčne napetosti je v osnovi poljubna, vendar mora biti v skladu z omejitvami mikrokrmilnika. Pomembno je tudi, da je napetost natančna in stabilna, zato je v ta namen priporočljivo uporabiti namensko vezjo, kot je vezje LM336-2.5 [22], generator referenčne napetosti  $V_{ref} = 2,5$  V.



Slika 13: Načrt vezave generatorja referenčne napetosti.

Generator referenčne napetosti na izhodu VREF praviloma daje izjemno natančno in stabilno napetost  $V_{ref} = 2,5 \text{ V}$ , ki pa lahko v določenih primerih (odvisno od okolja in električnih karakteristik vezja) odstopa  $\pm 1 \%$ . Da se izognemo napakam pri pretvorbah A/D in D/A, vezju dodamo trimer potenciometer z upornostjo  $10 \text{ k}\Omega$ . Z ustrezno nastavitvijo le-tega kompenziramo takšna odstopanja – seveda je treba natančnost referenčne napetosti preveriti z voltmetrom.

Ker z mikrokrmilnikom ne moremo meriti napetosti, višjih od  $V_{ref}$ , želimo pa meriti napetosti do  $V_{INmax} = 15 \text{ V}$ , saj je lahko napetost akumulatorja precej višja od  $12 \text{ V}$  (ponavadi do  $14 \text{ V}$ ), se poslužimo trika z napetostnim delilnikom. Upoštevajoč najvišjo napetost na vhodu v A/D pretvornik mikrokrmilnika  $V_{ref}$  in enačbo (1), lahko izračunamo, da je treba vhodno napetost deliti v razmerju  $5 : 1$ .

$$V_{OUT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{IN} \quad (1)$$

$$I = \frac{U}{R} \quad (2)$$

Sama izbira uporov  $R_1$  in  $R_2$  niti ni toliko pomembna, važno je, da sta upora v pravilnem razmerju. Iz enačbe (1) izhaja, da mora biti to razmerje  $4 : 1$ . Treba pa se je zavedati, da izbira manjšega upora povzroči višji tok v vezju, kar je posledica ohmovega zakona (2), zato je treba vedno preveriti najnižje in najvišje dovoljene tokove na vhodu v pretvornik A/D. V našem primeru smo izbrali vrednosti uporov  $R_1 = 40 \text{ k}\Omega$  in  $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ .

V sistemu sta predvidena dva napetostna delilnika z zaščitnim uporom, s katerima je mogoče merjenje dveh napetosti (glej shemo na sliki 12). Prvega, ki je namenjen merjenju napetosti v bateriji (sponka BAT\_SENS), sestavljajo upori  $R_{21}$ ,  $R_{22}$  in  $R_{23}$ . Drugi delilnik, sestavljen iz uporov  $R_{24}$ ,  $R_{25}$  in  $R_{26}$ , pa je namenjen merjenju napetosti sončne celice (sponka SOL\_SENS).

Kot je razvidno iz načrta na sliki 12, sta obema delilnikoma na sponki  $V_{OUT}$  dodana zaščitna upora  $R_{23}$  in  $R_{26}$  z upornostjo  $1\text{ k}\Omega$ , ki gladita morebitne konice in preprečujeta prevelike tokove proti vhodu pretvornika A/D.

Rezultat pretvorbe je razmerje  $\frac{V_{OUT}}{V_{ref}}$ , izraženo kot 10-bitni pozitivni dvojiški ulomek [23].

Rekonstrukcija napetosti  $V_{IN}$  (označimo jo z  $V_{izmerjena}$ ) je po enačbi (3) zelo preprosta:

$$V_{izmerjena} = \frac{V_{OUT}}{V_{ref}} V_{INmax} \quad (3)$$

Pri rekonstrukciji napetosti se moramo zavedati, da pretvornik A/D ob pretvorbi v rezultat vnese določeno mero napake, ki je nazorno opisana v [21] in je posledica omejene natančnosti pretvornika (10-bitna natančnost).

#### 5.4.2 Kontrola polnjenja akumulatorja s solarnim modulom

Predvideno je, da se baterija polni z 12-voltnim solarnim modulom. Preprost akumulatorski »polnilnik« lahko naredimo z eno samo usmerniško ali Shottky diodo. V splošnem imajo Shottky diode nižji padec napetosti od usmerniških in so kot take bolj primerne za sisteme kot je naš, kjer padec napetosti ni zaželen. Vendar pa so Shottky diode ponavadi bolj omejene z najvišjim tokom, ki lahko steče skozi, ki je veliko nižji kot pri navadnih usmerniških diodah. Katero bomo izbrali, je torej odvisno od skupne porabe sistema in moči nameščenega solarnega modula.

Za uporabo v našem vezju smo izbrali Shottky diodo SB130 [24], ki dovoljuje tokove do  $1\text{ A}$  in ima padec napetosti  $0,5\text{ V}$  pri toku  $1\text{ A}$ , kar omogoča priklop solarnih modulov do moči ca.  $15\text{ W}$  (odvisno od karakteristik modula lahko tudi manj).

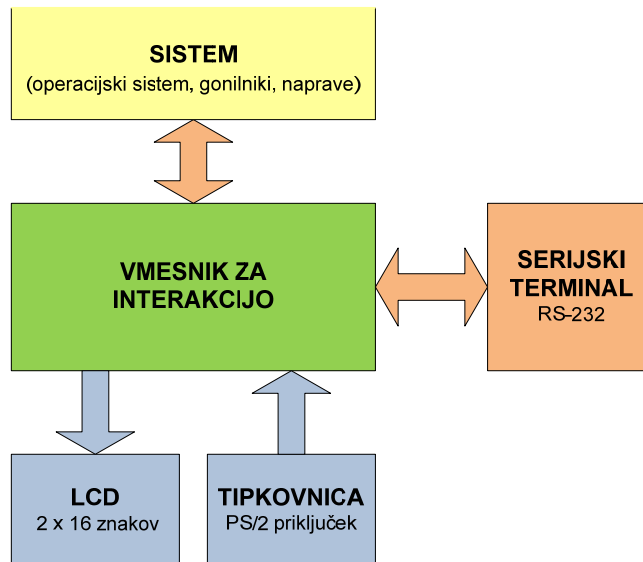
### 5.5 Ura realnega časa

Ura realnega časa (angl. »Real-time Clock«, krajše RTC) je kot periferna enota že vgrajena v mikrokontroler in deluje neodvisno od poteka programa, kar pomeni, da njeno delovanje ne zahteva procesorskega časa. Dostop do trenutne vrednosti ure in konfiguracija le-te se izvaja s pomočjo namenskih registrov [25].

Mikrokontrolerji iz serije LPC23xx imajo za uro realnega časa predvideno ločeno napajanje, katerega namen je vodenje vrednosti ure tudi v primeru odpovedi glavnega napajanja. Ta možnost je izkoriščena tudi v našem sistemu – ura realnega časa se napaja iz standardne  $3\text{ V}$  baterije CR2032.

## 5.6 Interakcija z zunanjim svetom

Administracija sistema in nadzor sta mogoča tako preko vmesnika RS-232 kot z uporabo lokalnega terminala, ki ga sestavljata dvovrstični zaslon LCD in tipkovnica PS/2. Preko prvega se lahko povezujemo tudi z drugimi napravami, medtem ko je drugi namenjen le interakciji z uporabnikom.



Slika 14: Bločna shema podsistema za interakcijo sistema z zunanjim svetom.

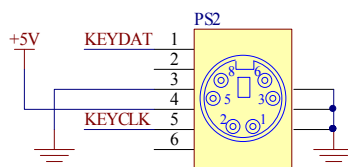
Vmesnik za interakcijo je implementiran kot opravilo, ki iz vhodne vrste sprejema ukaze z vmesnika RS-232 oz. tipkovnice, jih ustrezno obdelata in rezultat pošlje drugi napravi (preko vmesnika RS-232) ali izpiše na zaslon LCD (če je bil ukaz podan s tipkovnico).

Ukazi za delo s sistemom so popolnoma enaki za delo preko vmesnika RS-232 in z uporabo lokalnega terminala. Razlika je le v tem, da smo pri delu z lokalnim terminalom omejeni pri vnosu ukazov in prikazu rezultatov, zato določenih ukazov tu ni mogoče uporabljati (npr. kompleksnih ukazov z veliko parametri, ukazov za prenos podatkov, ipd.).

### 5.6.1 Lokalni terminalski dostop

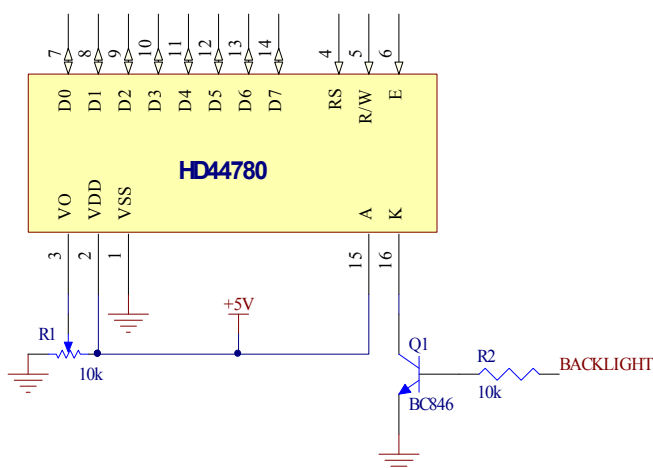
Prednost takšnega dostopa do sistema je ta, da lahko napravo samostojno konfiguriramo, ne da bi za to potrebovali osebni računalnik s posebno programsko opremo.

Tipkovnica PS/2 je bila kot vhod lokalnega terminalskega dostopa izbrana zaradi preproste povezave s sistemom (zaseda le dve liniji, kot je prikazano v načrtu na sliki 15) in velikega nabora funkcionalnosti, ki se jih lahko podpre, podpora osnovnim funkcijam pa ni zahtevna. Protokol podpira dvosmerno komunikacijo, vendar za osnovno delovanje tipkovnice to ni potrebno. Podrobno o delovanju protokola si lahko bralec prebere v [26] in [27].



Slika 15: Načrt vezja za priklop tipkovnice PS/2.

Izhodni del sistema predstavlja dvovrstični alfanumerični ekran LCD, ki je združljiv z zelo razširjenim standardnim vmesnikom HD44780 [28] [29]. Za prenos podatkov je uporabljen 4-bitni način dostopa, ki je podrobno opisan v [29]. Z mikrokrmilnikom so tako povezani podatkovni signali D7:D4 in kontrolni signali RS, R/W in E.



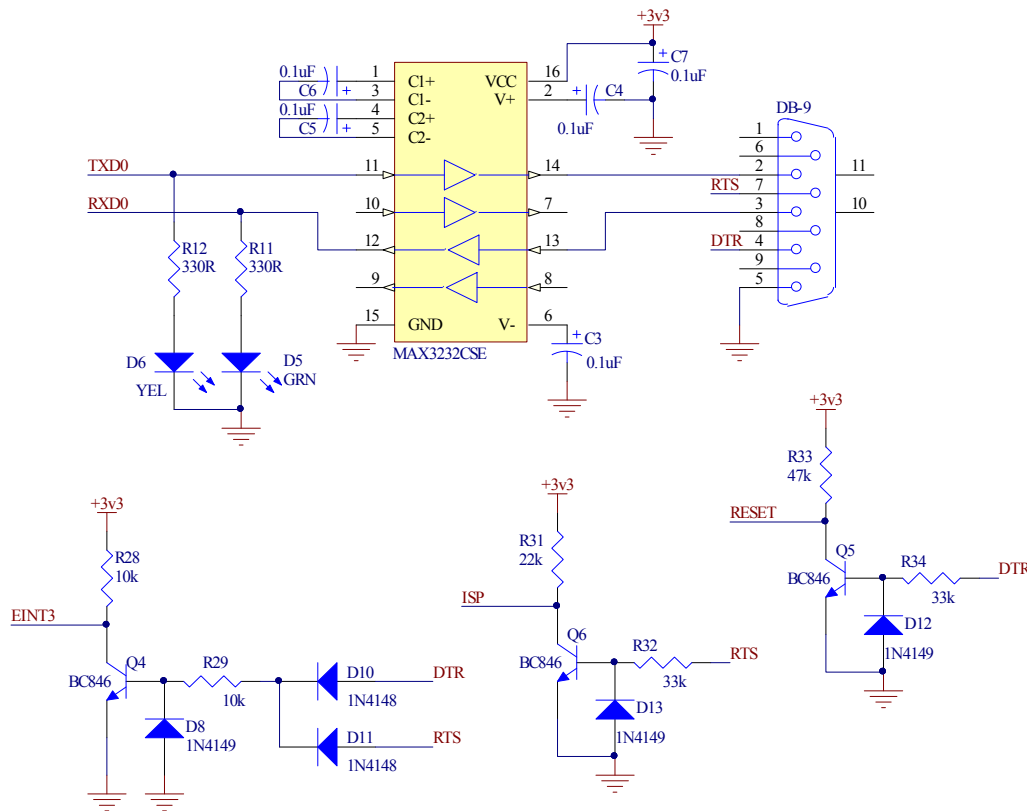
Slika 16: Načrt vezja za priklop ekrana LCD.

Z mikroprocesorjem je mogoče poleg standardnih funkcionalnosti, vgrajenih v komunikacijski protokol, programsko nadzorovati tudi vklop in izklop osvetlitve. Nastavitev kontrasta je mogoča ročno, preko 10 k $\Omega$  trimer potenciometra.

### 5.6.2 Dostop preko vmesnika RS-232

Vmesnik RS-232 nam omogoča, da s pomočjo računalnika ali katere koli druge naprave, ki podpira komunikacijo preko tega vmesnika, izvajamo podrobno konfiguracijo in nadzor sistema.

Vmesnik RS-232 povežemo s periferno enote mikrokrmilnika UART0. Za to uporabimo standardno vezje MAX3232 [30] proizvajalca Maxim. Hitrost prenosa je nastavljena na 9600 bps z 8 podatkovnimi bitmi in enim stop bitom, brez paritetnega bita in brez kontrole pretoka (angl. »handshake«). Načrt povezave vmesnika z mikrokrmilnikom je podan na sliki 17.



Slika 17: Načrt povezave mikrokrmilnika z vmesnikom RS-232.

Poleg terminalske povezave z napravo je mogoče tudi:

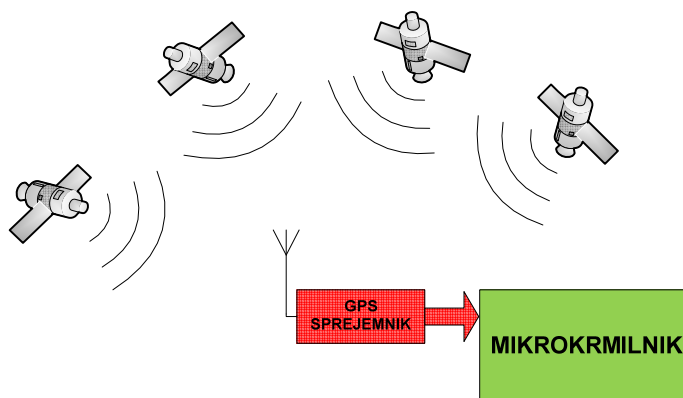
- Posodabljanje strojne programske opreme (angl. »firmware«) sistema: mikrokrmilnik podpira posodabljanje programske opreme skozi periferno napravo UART0. S pomočjo signalov RESET in ISP, ki ju krmilimo s signaloma RTS in DTR, z namenskim programom FlashMagic [31] mikrokrmilnik postavimo v t. i. ISP način delovanja, v katerem mu lahko preko serijske povezave naložimo novo strojno programsko opremo.
- Proženje prekinitve ob priklopu naprave: ko s konektorjem DB-9 priklopimo zunanjo napravo, signala DTR in RTS odpreta tranzistor Q<sub>4</sub>. Signal EINT3 gre v nizko stanje, kar sproži prekinitvev, ki služi za vklop naprave UART0. Le-ta se namreč samodejno izklopi po 5 minutah nedelovanja.
- Indikacija aktivnosti vmesnika: diodi D5 in D6 s prižiganjem in ugašanjem prikazujeta aktivnost (sprejem in oddajo) vmesnika.

V primerjavi z lokalnim terminalskim dostopom imamo na voljo več možnosti za upravljanje sistema, saj je tu omejitev tako vhoda kot izhoda veliko manjša in lahko omogočimo kompleksnejše ukaze za delo s sistemom.

## 5.7 Sprejemnik GPS

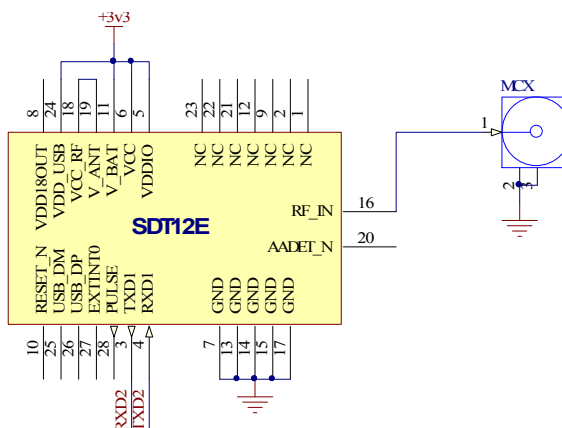
GPS je satelitski navigacijski sistem, ki se uporablja za določanje natančnega položaja in časa kjerkoli na Zemlji ali v zemeljski tirnici. Sistem GPS je zasnovalo obrambno ministrstvo ZDA, ki ga tudi upravlja. Prosto ga lahko uporablja vsakdo, ki ima ustrezen sprejemnik. Iz razlike med časom sprejema signala in časom njegove oddaje sprejemniki s postopkom trilateracije [32] [33] natančno izračunajo naš položaj. Za pridobitev podatkov o zemljepisni dolžini in širini, nadmorski višini ter točnem času potrebujemo signale štirih satelitov. Na podlagi teh podatkov je mogoče izračunati tudi druge podatke, kot je npr. hitrost premikanja.

Sprejem signala iz satelitov GPS v našem sistemu omogoča integrirani modul GPS (sprejemnik) Modulestek SDT12E, ki ga povežemo z mikrokrmilnikom, kot je razvidno iz sheme na sliki 18. Modulu je dodana zunanja antena, s čimer omogočimo sprejem signala GPS tudi tam, kjer signal s satelitov ni dovolj močan za natančno določanje pozicije.



Slika 18: Shema podsistema za sprejem GPS podatkov.

Načrt na sliki 19 nam detajlno prikazuje povezavo modula GPS z mikrokrmilnikom in zunanjo anteno. To priklopimo s konektorjem MCX, modul pa s serijsko povezavo povežemo z mikrokrmilnikovo periferno enoto UART2.



Slika 19: Načrt priklopa GPS modula na mikrokrmilnik.

### 5.7.1 Protokol NMEA-0183

Sprejemnik GPS uporablja za sporočanje podatkov standardni protokol NMEA-0183 [34]. Ta protokol se primarno uporablja za komunikacijo med elektronskimi napravami, ki se uporabljajo v mornarici, in predvideva tako vsebino kot način prenosa podatkov.

Na fizičnem nivoju je priporočena uporaba enega izmed razširjenih serijskih vmesnikov (RS-232, RS-422 in RS-423). Določena je tudi priporočena konfiguracija serijskega protokola, ki predvideva hitrost 4800 bps z 8 podatkovnimi biti in enim stop bitom, brez paritetnega bita in brez kontrole pretoka.

Standard na aplikacijskem nivoju predpisuje obvezno uporabo znakov abecede ASCII in osnovno enoto komunikacije poimenuje sporočilo, ki je definirano kot zaporedje znakov ASCII in se obvezno začne z znakom \$ ter zaključi s kombinacijo znakov za novo vrstico (znaka CR in LF abecede ASCII). Poleg tega določa tudi tipe sporočil in za posamezen tip tudi pravila za oblikovanje vsebine sporočila. Seznam in pomen posameznih NMEA je podrobno razložen v [35].

Splošna pravila sporočil NMEA:

- znaku \$, ki označuje začetek, obvezno sledi 5 znakov, ki določajo tip sporočila;
- vsa podatkovna polja so ločena z vejico;
- za zadnjim podatkovnim poljem sledi znak \*;
- temu sledi dvočrkovna kontrolna vsota, izračunana kot ekskluzivni OR vseh znakov med \$ in \* (kontrolna vsota za večino tipov sporočil ni obvezna).

## 5.8 Senzorji

Senzorji nam omogočajo, da pridobivamo podatke iz okolja in se nanje ustrezno odzovemo. V našem sistemu podatke s senzorjev zajamemo in jih shranjujemo za kasnejšo obdelavo. Lahko jih tudi pošljemo po radijskih zvezah. Frekvenca zajema podatkov je nastavljiva (mogoč je razmak med zajemi od nekaj sekund do nekaj minut).

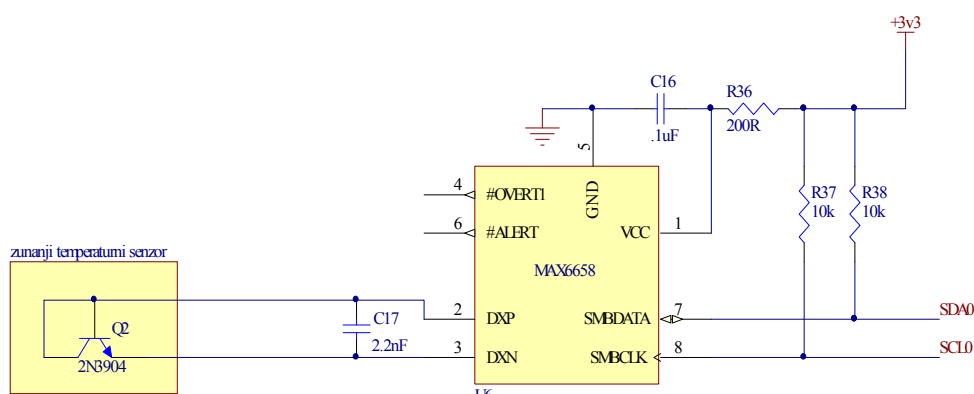
### 5.8.1 Temperaturni senzor

Za temperaturni senzor je uporabljeno vezje MAX6658 [36] proizvajalca Maxim. To je dvokanalni temperaturni senzor, ki omogoča merjenje notranje in zunanje temperature. Komunikacija med temperaturnim senzorjem in mikrokrmilnikom poteka po vodilu I<sup>2</sup>C. Senzor je zmožen meriti temperaturo v območju od -55 °C do +125 °C z natančnostjo 0,125 °C in z največjo napako meritve ±1 °C. Z upoštevanjem odvisnosti napake od temperature

[36] lahko z uporabo matematičnih metod točnost meritev še povečamo, vendar je treba pravilnost izračunov preveriti z dodatnimi natančnimi meritvami.

Za merjenje notranje temperature (temperature vezja) ne potrebujemo nobenih dodatnih komponent, saj so vse potrebne komponente že vgrajene v vezje MAX6658.

Za merjenje zunanje temperature je treba z vezjem MAX6658 povezati tranzistor z bazno-kolektorskim spojem, kot je prikazano v načrtu na sliki 20. Ta tranzistor (v našem sistemu je to 2N3904) se postavi na mesto, kjer želimo meriti temperaturo (praviloma izven naprave). Če je razdalja med mestom merjenja in vezjem MAX6658 daljša od 20 cm, je za takšno povezavo treba uporabiti zvito parico.



Slika 20: Načrt povezave temperaturnega senzorja z mikrokrmilnikom.

MAX6658 ima nastavljivo frekvenco meritve temperature med 16 in 0,0625 Hz – v našem sistemu je frekvenca meritev nastavljena na 1 Hz. Zunanja in notranja temperatura sta tako izračunani enkrat na sekundo. Programska oprema podatke preko vodila I<sup>2</sup>C periodično bere (perioda je nastavljiva) in jih skupaj s podatki o trenutnem datumu in času shranjuje na pomnilni medij.

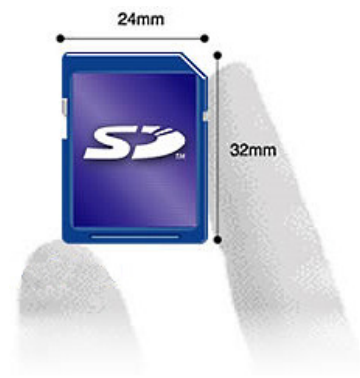
## 5.9 Shranjevanje podatkov

Kadar naprava zajema in shranjuje podatke iz senzorjev zelo pogosto, je predvidena količina zapisanih podatkov precej obsežna. Naš cilj je zgraditi modularno in razširljivo napravo, zato moramo to upoštevati tudi pri načrtovanju podsistema za shranjevanje podatkov in tu predvideti tudi zapisovanje drugih podatkov, kar implicira razširljivost pomnilnih kapacitet. To lahko zagotovimo tako, da uporabimo zamenljive pomnilniške medije, ki se jih da ponovno uporabiti. Idealna izbira so pomnilniške kartice, ki temeljijo na pomnilniški tehnologiji flash.

Na voljo imamo več vrst pomnilniških kartic. Pri izbiri kartice je treba najprej preučiti možnosti priklopa na mikrokrmilnik in težavnost le-tega. Izbrati je treba takšen tip kartice, da je priklop na mikrokrmilnik čim bolj preprost (majhno število potrebnih vhodno-izhodnih linij) in da so kapacitete ter performanse kartice zadovoljive. Dobra izbira so kartice, ki omogočajo serijski prenos podatkov, saj tak način prenosa zahteva relativno malo vhodno-izhodnih linij, hkrati pa performančno povsem zadovoljuje naše potrebe. Poleg tega ima večina mikrokrmilnikov najpogostejše serijske vmesnike (npr. UART, SPI, I<sup>2</sup>C ipd.) že vgrajene, kar delo dodatno olajša.

### 5.9.1 Pomnilniška kartica Secure Digital (SD)

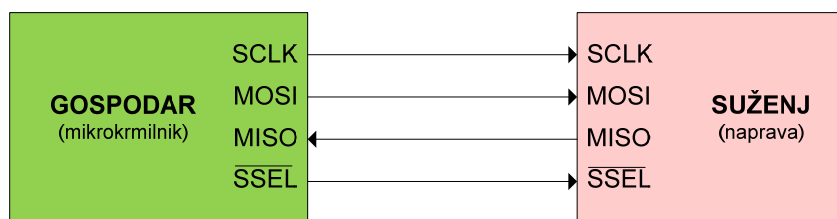
Secure Digital (SD) je pomnilniška kartica, razvita na osnovi starejše kartice MMC in za shranjevanje uporablja flash pomnilnik. Uporablja se predvsem v elektronskih aparatih široke potrošnje (digitalni fotoaparati, mobilni telefoni, dlančniki itd.). Pomnilna kapaciteta kartice se giblje od 8 MB do 2 GB. Novejši standard [37] podpira tudi velikosti, večje od 4 GB, vendar ni kompatibilen za nazaj in tu ni podprt.



Slika 21: Pomnilniška kartica Secure Digital (SD)

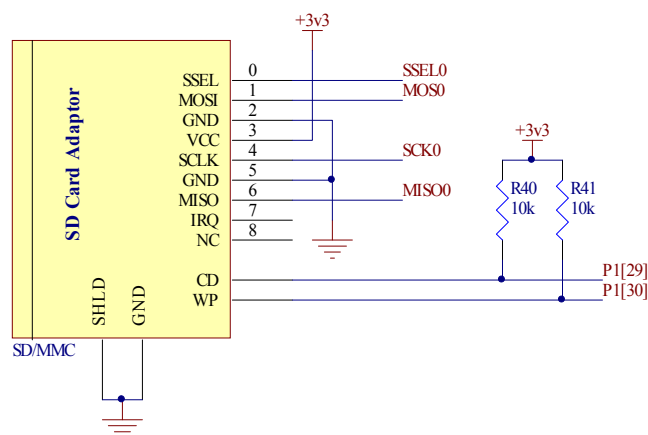
Kartice SD podpirajo tri načine prenosa podatkov:

- enobitni prenos SD;
- štiribitni prenos SD;
- prenos po vmesniku SPI.



Slika 22: Povezava mikrokrmilnika in naprave preko vmesnika SPI.

Za nas je pomemben prenos, ki se vrši z uporabo vmesnika SPI. To je sinhroni serijski vmesnik, ki deluje v načinu gospodar-suženj (na vodilu je vedno natančno en gospodar in vsaj en suženj). Mikrokrmilnik ima vgrajeno enoto SPI, s katero povežemo ustrezne signale vmesnika SPI pomnilniške kartice, kot je prikazano na sliki 22. Poleg tega z mikrokrmilnikom povežemo še signala CD in WP, kot je to prikazano v načrtu na sliki 23. Prvi služi kot detektor prisotnosti kartice in je v visokem stanju, ko je kartica pravilno vstavljena v fizični vmesnik, drugi pa sporoča mikrokrmilniku, če je mogoče pisanje na kartico (signal je v visokem stanju, ko pisanje ni mogoče).



Slika 23: Načrt priklopa pomnilniške kartice SD z mikrokrmilnikom.

### 5.9.2 Zapis podatkov na pomnilniški kartici

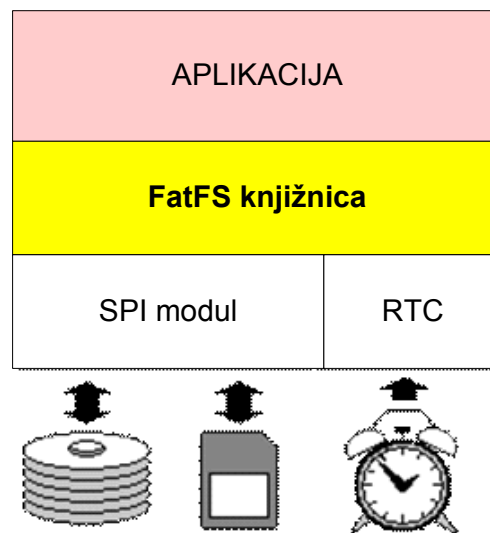
Vodilo SPI nam omogoča direkten dostop do pomnilniških blokov na kartici. Odločiti se moramo, kako bomo podatke fizično zapisovali v bloke, da bodo dobro organizirani:

- vpeljemo lastna pravila zapisovanja podatkov v bloke;
- implementiramo gonilnik nekega že obstoječega datotečnega sistema.

Praviloma je boljša izbira uporaba gonilnika nekega že obstoječega datotečnega sistema, saj s tem veliko pridobimo na prenosljivosti podatkov – do podatkov lahko dostopamo v vseh sistemih, ki podpirajo branje s tega datotečnega sistema. V nasprotnem primeru bi bilo treba uporabiti dodatne programe za pretvarjanje blokov surovih podatkov v bolj razumljivo obliko, primerno za nadaljnjo obdelavo.

Za lažjo prenosljivost podatkov bomo uporabili datotečni sistem FAT, bolj točno njegovo različico FAT16, ki omogoča uporabo medijev do velikosti 2GB. Za podporo dela z datotečnim sistemom FAT je uporabljena knjižnica FatFS [38], napisana v jeziku ANSI C in neodvisna od arhitekture procesorja, ki:

- je optimizirana za uporabo v vgrajenih napravah;
- podpira več pogonov (medijev) in particij;
- podpira različice datotečnega sistema FAT12, FAT16 in FAT32;
- podpira imena datotek v formatu 8.3 (8 znakov za ime in 3 za končnico);
- ne podpira dolgih imen datotek.



Slika 24: Shema uporabe knjižnice FatFS.

Ker je knjižnica prenosljiva med različnimi arhitekturami (podpira arhitekture ARM, PIC, AVR, H8, Z8 itd.), ne vsebuje nobenih funkcij, ki bi bile lahko kakor koli odvisne od uporabljene strojne opreme (tako od mikrokrmilnika kot od pomnilnih naprav). Za to moramo poskrbeti sami in:

- pripraviti programski modul za fizični prenos podatkov med mikrokontrolerjem in pomnilniškim medijem (prenos podatkov z uporabo vmesnika SPI);
- realizirati uro realnega časa (s pomočjo periferne enote RTC).

### 5.9.3 Format zapisa podatkov

Podatke na pomnilniško kartico zapisujemo v obliki map in datotek. Za vsak izvor podatkov, ki je lahko senzor, operacijski sistem ali pa katera koli druga naprava, ki zahteva trajno shranjevanje podatkov, ustvarimo mapo, v katero shranjujemo podatke. Podatke iz posameznega izvora organiziramo v obliki datotek, in sicer za vsak dan ustvarimo novo datoteko, katere ime sestoji iz leta, meseca in dneva (končnica ni obvezna). Pravilo za shranjevanje datotek je torej:

`izvor/yyyymdd[.končnica]`

Posamezne oznake v pravilu pomenijo:

- `izvor`: oznaka izvora podatkov;
- `yyyy`: štirimestna oznaka leta (npr. 2008);
- `mm`: dvomestna številka meseca z vodilno ničlo (npr. 05);
- `dd`: dvomestna številka dneva z vodilno ničlo (npr. 09);
- `končnica`: tročrkovna končnica datoteke (ni obvezna).

Odločiti se moramo za enega izmed dveh možnih tipov zapisov podatkov v datoteke:

- tekstovni format, kjer so podatki zapisani kot zaporedje znakov abecede ASCII in vsak znak zasede natančno 8 bitov;
- lasten format, kjer sami določimo, kako zapišemo podatke.

Tako tekstovni kot lastni format zapisa imata svoje prednosti in slabosti. Največje prednosti prvega so lažja interpretacija in prenosljivost (podatke lahko uvozimo v drug sistem za obdelavo podatkov) na račun večje porabe pomnilniškega prostora. Pri lastnem formatu sami določimo, s koliko biti in kako predstavimo podatke. Na splošno je zapis istega podatka v takšnem formatu krajši od zapisa v tekstovnem formatu, je pa bolj zapleten za interpretacijo (potrebujemo posebne programe za interpretacijo podatkov) in pogojno prenosljiv, saj

potrebujemo pretvornik v nek drug standardni format, ki ga lahko uvozimo v sistem za obdelavo podatkov.

	Zapis v ASCII formatu	Zapis v lastnem formatu
Čas meritve (npr. »10:10:10«)	8 znakov ( $8 \times 8 = 64$ bitov)	17 bitov (vrednosti iz RTC registrov)
Temperatura (npr. »-11,125«)	7 znakov ( $7 \times 8 = 56$ bitov)	10 bitov (prebrano iz temp. senzorja)
Ločevanje zapisov med seboj	2 znaka (CR in LF) ( $2 \times 8 = 16$ bitov)	ni potrebno
<b>Skupaj:</b>	<b>136 bitov</b>	<b>27 bitov</b>

Tabela 6: Primerjava velikosti zapisov v tekstovnem in lastnem formatu.

Ob predpostavki, da izvajamo meritve dvakrat na minuto, v enem dnevu ustvarimo 48.960 bajtov tekstovnih podatkov in 9.720 bajtov podatkov, če zapisujemo v lastnem formatu. Za podaljšanje avtonomije naprave na vsaj en mesec je treba poskrbeti za shranjevanje vsaj 1.468.800 oz. 291.600 bajtov podatkov.

Odločimo se raje za tekstovni zapis podatkov, saj:

- so kapacitete pomnilniških kartic dandanes v rangu nekaj gigabajtov;
- sta interpretacija in prenosljivost tekstovnih podatkov veliko lažja.

## 5.10 Pošiljanje podatkov v omrežje APRS

V omrežje poskušamo pošiljati čim manj podatkov, da po nepotrebem ne zasedamo kapacitet omrežja. Zato se odločimo, da ob vsaki oddaji pošljemo samo eno sporočilo. Izbran tip sporočila je namenjen pošiljanju popolnih meteoroloških informacij; ker mi vseh meteoroloških podatkov nimamo, bomo nekatere vrednosti malce prilagodili. Sporočilo, ki ga bomo poslali, bo vsebovalo informacijo o:

- trenutnem času (prebrano iz ure realnega časa);
- trenutni poziciji (prebrano iz GPS sprejemnika);
- trenutni temperaturi (zadnja prebrana vrednost iz temp. senzorja).

Sporočilo za pošiljanje popolnih meteoroloških informacij										
	Tip	Čas	Zemlj. širina	Oznaka	Zemlj. dolžina	Koda	Veter	Podatki	SW	WXU
Bitov:	8	56	64	8	72	8	56	288	8	32
Privzeto:	@			/		-			Z	EXP
Primer:	@	092345/	4903.50N	/	07201.75W	-	000/000	t-27.35	Z	EXP

Tabela 7: Zgradba sporočila, s katerim pošiljamo v informacije v omrežje APRS.

Razlaga posameznih polj sporočila iz tabele 7:

- tip: določa tip sporočila in je vedno »@«;
- čas: čas oddaje sporočila po pravilu DHM iz [10];
- zemlj. širina: zemljepisna širina lokacije oddajnika, zapisana po pravilih iz [10];
- simbol: vedno je »/«;
- zemlj. dolžina: zemljepisna dolžina lokacije oddajnika, zapisana po pravilih iz [10];
- koda: vedno je »\_«;
- veter: namenjeno sporočanju smeri in hitrosti vetra (ker tega ne merimo, je polje vedno enako »000/000«);
- podatki: v to polje zapišemo podatek o temperaturi, ki mu sledi ustrezno število presledkov, da zapolni polje;
- SW: oznaka programske opreme (vedno nastavljeno na »Z«, kar pomeni eksperimentalno opremo);
- WXU: oznaka meteorološke postaje, ki je izvajala meritve (oznaka ni predpisana, izbrali smo »EXP«).

### 5.10.1 Povezava z radijskim oddajnikom

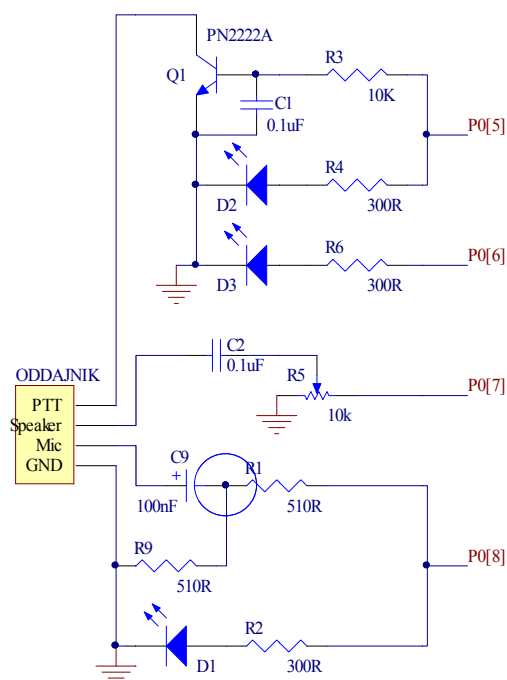
Kot zunanji oddajnik bo uporabljena radijska postaja Puxing PX-777, prednastavljena na frekvenco 144,800 MHz, ki je s pravili regulatornih organov namenjena prometu APRS.

Kot je razvidno iz načrta na sliki 25, je oddajnik s sistemom povezan s signali:

- PTT (izhod): s tem signalom vklopimo oddajanje radijskega oddajnika;
- MIC (izhod): moduliran signal na izhodu pošiljamo kot mikrofonski vhod v radijski oddajnik;
- SPK (vhod): detekcija prostega kanala za oddajo (oddaja se vrši le takrat, ko na kanalu ne poteka noben drug prenos);
- GND: ground.

Diode LED služijo indikaciji posameznih signalov, in sicer:

- D1: indikacija oddajanja v kanal;
- D2: indikacija stanja PTT izhoda;
- D3: prikaz zasedenosti kanala ob oddaji.

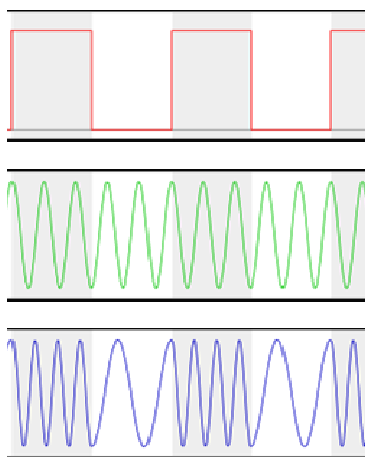


Slika 25: Načrt povezave z zunanjim radijskim oddajnikom.

### 5.10.2 Modulacija AFSK

AFSK je vrsta modulacije, pri kateri je digitalni signal predstavljen s spremembami frekvence tona. Ponavadi signal alternira med dvema frekvencama: frekvenco, ki predstavlja binarno »0«, in frekvenco, ki predstavlja binarno »1«.

Ta modulacija se ne uporablja za hitre prenose podatkov, ker je relativno neučinkovita – slabo izrablja pasovno širino in je energetska potratna. Je pa zelo preprosta in zato kot taka primerna za začetnike in uporabo v amaterskih sistemih.



Slika 26: Primer signala, kodiranega z modulacijo AFSK

Na zgornjem primeru lahko vidimo kodiranje binarnega zaporedja z AFSK modulacijo. Najprej imamo binarno zaporedje, ki ga bomo modulirali, v sredini je nosilec (angl. »carrier«), spodaj pa moduliran binarni signal z modulacijo AFSK.

### 5.10.3 Realizacija modulatorja AFSK

Naloga modulatorja AFSK je spreminjanje binarnih podatkov (kombinacija enk in ničel) v AFSK moduliran signal. Če ima mikrokrmilnik vgrajen pulzno-širinski modulator (angl. »Pulse-Width Modulator«, PWM), je uporaba le-tega za implementacijo takšnega modulatorja idealna izbira. Uporabimo formuli za izračun periode in dolžine cikla:

$$t = \frac{1}{f} \quad (4)$$

$$l = \frac{1}{f} * f_{CPE} = t * f_{CPE} \quad (5)$$

Po formuli (4) izračunamo dolžino periode za oba tona, ki ju moramo generirati:

$$t_{1200} = \frac{1}{1200\text{Hz}} = 0,0008\bar{3} \text{ s} = 0,8\bar{3} \text{ ms}$$

$$t_{2200} = \frac{1}{2200\text{Hz}} = 0,0004\bar{5} \text{ s} = 0,4\bar{5} \text{ ms}$$

Po formuli (5) izračunamo dolžino cikla v urinih periodah:

$$l_{1200} = \frac{1\text{s}}{1200\text{Hz}} * 72\text{MHz} = 60000 \text{ ciklov}$$

$$l_{2200} = \frac{1\text{s}}{2200\text{Hz}} * 72\text{MHz} = 32727 \text{ ciklov}$$

Poleg enote PWM je uporabljen tudi časovnik TIMER1, ki izvaja prekinitve s frekvenco 1200 Hz (vsakih 0,83 ms), da lahko oddajamo podatke s hitrostjo 1200 bps. Podatke, ki jih je treba poslati, podajamo v vhodno vrsto. Vsakič, ko v vrsto dodamo nove podatke, se preveri, če se oddajanje podatkov izvaja. Če se ne izvaja (npr. če je bila pred prihodom novih podatkov vrsta prazna), se vklopi TIMER1. Pri pošiljanju podatkov je treba upoštevati pravila pošiljanja, ki jih določa protokol AX.25 (npr. vrivanje bitov).

Psevdokoda prekinitveno-servisne rutine:

1. Če je medpomnilnik prazen, izklopi TIMER1 in prekinitev.
2. Če smo že oddali bajt, vzemi naslednjega iz medpomnilnika in pošlji prvi bit; če ne, pošlji naslednji bit.
3. Če je bit 1, nastavi PWM na 32727 ciklov, če je 0, nastavi na 60000 ciklov, oboje s 50 % časom izkoristka.
4. Zaključi prekinitveno-servisno rutino.

## 6 Sklepne ugotovitve

Ugotovitev, da z dandanes zelo razširjenimi in za marsikoga že samoumevnimi komunikacijskimi tehnologijami sporočanja podatkov iz mrazišč (oz. odročnih krajev na splošno) ni mogoče realizirati, ni daleč od resnice. Lahko se zatečemo k postavitvi kakšnega od namenskih profesionalnih komunikacijskih sistemov, vendar cene takšnih sistemov segajo v višave. Lahko pa, tako kot v našem primeru, izkoristimo možnosti, ki nam jih ponujajo nekomercialni sistemi – seveda pa moramo v zakup vzeti vse njihove prednosti, še posebej pa slabosti.

V diplomskem delu predstavljena naprava je lahko le vrh ledene gore – če se odločimo, da napravo razvijamo naprej, seveda. Osnovana je namreč na zelo trdnih temeljih: močni procesorski platformi in odprtem komunikacijskem omrežju, ki skupaj omogočata še zelo veliko manevrskega prostora za razširitve v prihodnje:

- Z dodatnimi elektronskimi senzorji za zajem meteoroloških podatkov, kot so npr. barometer, anemometer, ombrometer ipd., lahko izdelamo popolno meteorološko postajo s sposobnostjo zelo pogostega zapisovanja meritev in pošiljanja le-teh po radijskih zvezah.
- Ker vse komponente razen radijskega oddajnika delujejo na napetosti 5 ali 3,3 V, napajanje oddajnika dodelamo tako, da bo mogoče napajanje celotnega sistema (vključno z oddajnikom) iz 6-voltnega akumulatorja.
- Izdelava lastnega radijskega sprejemno-oddajnega dela (znebimo se potrebe po zunanjem radijskem oddajniku).
- Vpeljava lastnih tipov sporočil APRS, namenjenih sporočanju meteoroloških podatkov z visoko natančnostjo.
- Kompresija podatkov, ki se zapisujejo na pomnilni medij.

Če bodo testiranja naprave v realnem okolju dala zadovoljive rezultate, bo le-ta po vsej verjetnosti postavljena v nekaj večjih mraziščih na Snežniški planoti. Kako se bodo stvari odvijale od tu dalje, ni mogoče predvideti. Potencial je velik, le dobro ga je treba izkoristiti.



## **Priloga A: Načrt naprave**



## Priloga B: Kazalo slik

Slika 1: Shematski prikaz nastajanja jezera hladnega zraka.....	7
Slika 2: Shema razširitve omrežja z vmesno postajo. ....	13
Slika 3: Bločna shema zgradbe strojne opreme.....	14
Slika 4: Skica ohišja za zaščito naprave pred zunanjimi vplivi.....	15
Slika 5: Shema zaklona iz aluminijastih "krožnikov". ....	16
Slika 6: Osnovne komponente omrežja APRS.....	19
Slika 7: Sprejemno-oddajna postaja s programskim (levo) in strojnim (desno) modemom. ...	20
Slika 8: Bločna shema procesorjev iz serije LPC23xx.....	27
Slika 9: Bločna shema mikrokrmilnikov iz serije LPC236x. ....	28
Slika 10: Izvajanje opravil v večopravilnem sistemu.....	29
Slika 11: Shema organizacije programske opreme.....	30
Slika 12: Načrt napajalnega dela sistema. ....	31
Slika 13: Načrt vezave generatorja referenčne napetosti.....	32
Slika 14: Bločna shema podsistema za interakcijo sistema z zunanjim svetom. ....	34
Slika 15: Načrt vezja za priklop tipkovnice PS/2.....	35
Slika 16: Načrt vezja za priklop ekrana LCD.....	35
Slika 17: Načrt povezave mikrokrmilnika z vmesnikom RS-232. ....	36
Slika 18: Shema podsistema za sprejem GPS podatkov.....	37
Slika 19: Načrt priklopa GPS modula na mikrokrmilnik. ....	37
Slika 20: Načrt povezave temperaturnega senzorja z mikrokrmilnikom. ....	39
Slika 22: Povezava mikrokrmilnika in naprave preko vmesnika SPI. ....	40
Slika 21: Pomnilniška kartica Secure Digital (SD).....	40
Slika 23: Načrt priklopa pomnilniške kartice SD z mikrokrmilnikom.....	41
Slika 24: Shema uporabe knjižnice FatFS.....	41
Slika 25: Načrt povezave z zunanjim radijskim oddajnikom. ....	45
Slika 26: Primer signala, kodiranega z modulacijo AFSK.....	45



## **Priloga C: Kazalo tabel**

Tabela 1: Zgradba okvirja U in S protokola AX.25. ....	22
Tabela 2: Zgradba okvirja I protokola AX.25. ....	22
Tabela 3: Zgradba okvirja UI protokola AX.25. ....	24
Tabela 4: Zgradba okvirja UI protokola AX.25 za uporabo v omrežju APRS. ....	24
Tabela 5: Zgradba podatkovnega polja okvirja UI pri sprejemu/oddaji sporočil APRS.....	25
Tabela 6: Primerjava velikosti zapisov v tekstovnem in lastnem formatu. ....	43
Tabela 7: Zgradba sporočila, s katerim pošiljamo v informacije v omrežje APRS. ....	43



## Literatura in viri

- [1] M. Ogrin, I. Sinjur, D. Ogrin, "Minimalne temperature v slovenskih mraziščih pozimi 2005/2006," *Geografski obzornik*, št. 2, zv. 53, str. 4–12, 2006.
- [2] D. Ogrin and M. Ogrin, "Predhodno poročilo o raziskovanju minimalnih temperatur v mraziščih pozimi 2004/2005," *Dela*, št. 23, str. 221–223, 2005.
- [3] Slovenski vremenski rekordi. Dostopno na:  
[http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/slo\\_vremenski\\_rekordi.pdf](http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/slo_vremenski_rekordi.pdf).
- [4] (2000) A. McCluskey, "Modularity: upgrading to the next generation design architecture." Dostopno na: <http://www.connected.org/media/modular.html>.
- [5] (2008) Wikipedia: Modular Programming. Dostopno na:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Modular\\_programming](http://en.wikipedia.org/wiki/Modular_programming).
- [6] (2008) Wikipedia: Structured programming. Dostopno na:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Structured\\_programming](http://en.wikipedia.org/wiki/Structured_programming).
- [7] (2008) Wikipedia: Object-oriented programming. Dostopno na:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Object-oriented\\_programming](http://en.wikipedia.org/wiki/Object-oriented_programming).
- [8] (2008) Wikipedia: Radio frequency. Dostopno na:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Radio\\_frequency](http://en.wikipedia.org/wiki/Radio_frequency).
- [9] (2008) Wikipedia: 2 meter amateur radio band. Dostopno na:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/2\\_Meters](http://en.wikipedia.org/wiki/2_Meters).
- [10] I. Wade, *APRS Protocol Reference*. Tucson: Tucson Amateur Packet Radio Corporation, 2000.
- [11] (2008) Wikipedia: Automatic Packet Reporting System. Dostopno na:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic\\_Position\\_Reporting\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_Position_Reporting_System).
- [12] (2008) Wikipedia: Maidenhead Locator System. Dostopno na:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Maidenhead\\_Locator\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Maidenhead_Locator_System).
- [13] (2008) Digipeater. Dostopno na: <http://info.aprs.net/index.php?title=Digipeater>.
- [14] (2008) APRS-IS. Dostopno na: <http://www.aprs-is.net/>.

- [15] (1998) W. A. Beech, D. E. Nielsen, and J. Taylor. AX.25 Link Access Protocol for Amateur Packet Radio, version 2.2. Dostopno na: <http://tapr.org/pdf/AX25.2.2.pdf>.
- [16] (2008) Wikipedia: High-Level Data Link Control. Dostopno na: <http://en.wikipedia.org/wiki/HDLC>.
- [17] (2008) Wikipedia: OSI model. Dostopno na: [http://en.wikipedia.org/wiki/OSI\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/OSI_model).
- [18] International Organization for Standardization, "Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems - High-level data link control (HDLC) procedures - Frame structure," ISO/IEC 3309, 1993.
- [19] (2008) FreeRTOS.org Documentation. Dostopno na: <http://www.freertos.org/>.
- [20] (2005) I. Buchmann. Charging the lead-acid battery. Dostopno na: <http://www.batteryuniversity.com/partone-13.htm>.
- [21] (2008) NXP Semiconductors. LPC2364/65/66/67/68 Product Datasheet. Dostopno na: <http://www.standardics.nxp.com/products/lpc2000/lpc23xx/>.
- [22] (2005) LM336-2.5 Reference Diode. Dostopno na: <http://cache.national.com/ds/LM/LM136-2.5.pdf>.
- [23] (2008) E. Cheever. Representation of Numbers, Positive Binary Fractions. Dostopno na: <http://www.swarthmore.edu/NatSci/echeeve1/Ref/BinaryMath/NumSys.html#posfrac>.
- [24] (2001) Fairchild Semiconductors. SB120 - SB1100 Datasheet. Dostopno na: <http://www.fairchildsemi.com/ds/SB/SB130.pdf>.
- [25] (2008) NXP Semiconductors. LPC23xx User Manual. Dostopno na: [http://www.nxp.com/acrobat\\_download/usermanuals/UM10211\\_1.pdf](http://www.nxp.com/acrobat_download/usermanuals/UM10211_1.pdf).
- [26] (2003) A. Chapweske. The PS/2 Mouse/Keyboard Protocol. Dostopno na: <http://www.computer-engineering.org/ps2protocol>.
- [27] (2003) A. Chapweske. The PS/2 Keyboard Interface. Dostopno na: <http://www.computer-engineering.org/ps2keyboard>.
- [28] (2008) Wikipedia: HD44780 Character LCD. Dostopno na: [http://en.wikipedia.org/wiki/HD44780\\_Character\\_LCD](http://en.wikipedia.org/wiki/HD44780_Character_LCD).

- [29] (2008) HD44780 - Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver. Dostopno na: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/63673/HITACHI/HD44780.html>.
- [30] (2007) Maxim MAX3222-MAX3241 Datasheet. Dostopno na: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX3222-MAX3241.pdf>.
- [31] (2008) Flash Magic Tool. Dostopno na: <http://www.flashmagictool.com/>.
- [32] (2008) Wikipedia: Trilateration. Dostopno na: <http://en.wikipedia.org/wiki/Trilateration>.
- [33] (2008) Wikipedia: Global Positioning System. Dostopno na: [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System).
- [34] (2007) SDT12E Specification. Dostopno na: [http://www.modulestek.com/DOC/SDT12E\\_GPS\\_Module\\_Spec\\_V1.1.pdf](http://www.modulestek.com/DOC/SDT12E_GPS_Module_Spec_V1.1.pdf).
- [35] (2001) G. Baddeley. GPS - NMEA sentence information. Dostopno na: <http://aprs.gids.nl/nmea/>.
- [36] (2006) Maxim MAX665x Datasheet. Dostopno na: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX6657-MAX6659.pdf>.
- [37] (2008) SanDisk. High Capacity for SD Family. Dostopno na: <http://www.sandisk.com/Assets/File/pdf/retail/SDHC1.pdf>.
- [38] (2008) FAT Filesystem Module. Dostopno na: [http://elm-chan.org/fsw/ff/00index\\_e.html](http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_e.html).



## **Izjava o avtorstvu diplomskega dela**

Izjavljam, da sem diplomsko delo izdelal samostojno pod vodstvom mentorja prof. dr. Dušana Kodeka. Izkazano pomoč drugih sodelavcev sem v celoti navedel v zahvali. Soglašam, da je diplomsko delo v elektronski obliki dostopno v zbirki »Dela FRI«.

— Zvonko Boštjančič, Ljubljana, september 2008