

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Oton Žlindra

Avtomatizacija ogrevanja hiše

DIPLOMSKO DELO

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM RAČUNALNIŠTVO
IN INFORMATIKA

MENTOR: izr. prof. dr. Uroš Lotrič

Ljubljana 2013

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

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil $\text{\LaTeX}$.



Št. naloge: 01943/2013

Datum: 02.09.2013

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

Kandidat: **OTON ŽLINDRA**

Naslov: **AVTOMATIZACIJA OGREVANJA HIŠE**
AUTOMATION OF HOUSE HEATING SYSTEM

Vrsta naloge: Diplomsko delo univerzitetnega študija

Tematika naloge:

Z zamenjavo sistema za vodenje starejših ogrevalnih naprav lahko celostno izboljšamo njihovo delovanje in poskrbimo za večjo energijsko učinkovitost. Predlagajte in izdelajte rešitev za izboljšanje ogrevanja stanovanjskega objekta. Obstoječe elemente v kotlovnici nadgradite z ustreznimi senzorji in aktuatorji, ki bodo omogočali boljšo regulacijo. Izberite krmilnik in ga sprogramirajte ter pripravite enostaven uporabniški vmesnik.

Mentor:


izr. prof. dr. Uroš Lotrič



Dekan:


prof. dr. Nikolaj Zimic

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisani Oton Žlindra, z vpisno številko **63080210**, sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Automatizacija ogrevanja hiše

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom izr.prof. dr. Uroša Lotriča,
- 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 18. septembra 2013

Podpis avtorja:

Zahvalil bi se celotni družini za vso podporo v času študija, še posebej Niki, zaradi katere sem se odločil za študij. Pri izdelavi diplomske naloge pa bi se za pomoč zahvalil mentorju prof. dr. Urošu Lotriču.

Sinovoma Eneju in Nejcu.

Kazalo

Povzetek

Abstract

1	Uvod	1
2	Opis obstoječega stanja	3
3	Strojna oprema	7
3.1	Procesni modul	7
3.2	Vodilo	8
3.3	Naprave na vodilu 1-Wire	10
4	Programska oprema	17
4.1	Krmiljenje sprejemnikov sončne energije	20
4.2	Krmiljenje ogrevalne naprave	21
4.3	Krmiljenje ogrevanja prostorov	22
4.4	Programski uporabniški vmesnik	25
4.5	Varnost	29
5	Sklepne ugotovitve	31

Povzetek

Trend rasti cen energentov je prisoten že od nekdaj, vendar ne v takšni meri kot v zadnjem času. Vsled tega smo se temu prilagajali z posodabljanjem ogrevalnih naprav, zamenjavo energentov, uporabo alternativnih načinov ogrevanja, izolacijami stavb. Pri tem smo lahko povsem zamenjali ogrevalne naprave ali pa so nove naprave samo dopolnjevale stare. Nadzor pri slednjem načinu je težaven, kajti vsaka naprava ima nek svoj specifičen način upravljanja. Če želimo učinkovito upravljati z vsemi temi napravami potrebujemo centralni krmilni sistem, ki bo povezal vse te naprave v celoto. Za izvedbo te naloge je uporabljen mikrokrmilnik v povezavi s senzorji in aktuatorji, ki so dopolnili ali popolnoma zamenjali obstoječa krmilja naprav. Nadzor sistema je omogočen s fizičnim uporabniškim vmesnikom, ki omogoča takojšnje prilagoditve sistema, preko spletnega uporabniškega vmesnika namenjenega za popoln nadzor in upravljanje sistema z urniki, ter z uporabo elektronske pošte za oddaljeno interakcijo s sistemom. Zaradi centralnega upravljanja se je zmanjšala poraba energentov, ter izboljšal izkoristek posameznih naprav, več vrst uporabniških vmesnikov, pa omogoča lažji nadzor in upravljanje sistema.

Ključne besede:

avtomatizacija, ogrevanje, pametna hiša

Abstract

Nowadays the energy prices are continuously growing. We can cope with the current trend by replacing or upgrading heating systems, switching to some other energy sources, or by better insulating buildings. Usually it is more cost effective to upgrade the existing system with another device than completely replace it. However, it is difficult to tune-up the upgraded system as each device has its own peculiarities. If we want to effectively manage all devices in a heating system, we must control them centrally. Therefore, we propose a central control system composed of a microcontroller with some sensors and actuators, which has supplemented or completely replaced the existing control devices. A user can operate the central control system via a physical user interface, providing instant adaptations of the system, via a web user interface designed for thorough control of the system, and remotely via e-mail messages. With the proposed central control system we improved the efficiency of heating devices and thus importantly reduced energy consumption of the building. Besides, broad list of user-machine interfaces enables easy control and management of the heating system.

Keywords:

automation, heating, smart house

Poglavje 1

Uvod

Avtomatizacija upravljanja z ogrevalnimi napravami nam omogoča učinkovito rabo energije, še posebej če je teh naprav več in imamo s tem možnost izbire med njimi. Na tržišču obstaja veliko sistemov za avtomatizacijo ogrevanja, vendar z nobenim ni možno upravljati vseh naprav v okviru te diplomske naloge. Pri več stanovanjskih objektih z enim centralnim ogrevanjem želimo uravnavanje temperature omogočiti za vsako stanovanje posebej. Enako je s pripravo sanitarne vode. Zelo pomembni pri učinkoviti rabi energije so urniki. Z njimi uravnavamo čas v katerem želimo nastaviti določeno temperaturo. Za upravljanje s sistemom potrebujemo tudi različne uporabniške vmesnike. Ti pa morajo upoštevati sposobnosti uporabnika, recimo računalniška pismenost, ter kakšen nadzor nad sistemom omogočajo. Tako spletni uporabniški vmesnik omogoča skoraj popoln nadzor nad sistemom, z vnosom urnikov pa delovanje sistema dolgoročno prilagodimo našemu ritmu življenja. To pa je lahko hkrati tudi omejitev, če se tega ritma zaradi različnih dejavnikov ne moremo vedno držati. Zato so potrebni tudi zelo okrnjeni fizični uporabniški vmesniki, ki omogočajo takojšne neposredno upravljanje s sistemom, napriimer enkratno pripravo tople sanitarne vode izven urnika.

S centralno avtomatizacijo je možno obstoječo avtomatiko posamezne naprave povsem odstraniti ali pa jo integrirati v nov sistem. V poglavju 2 je opisano obstoječe stanje, torej same naprave, njihova sedanja avtomatika,

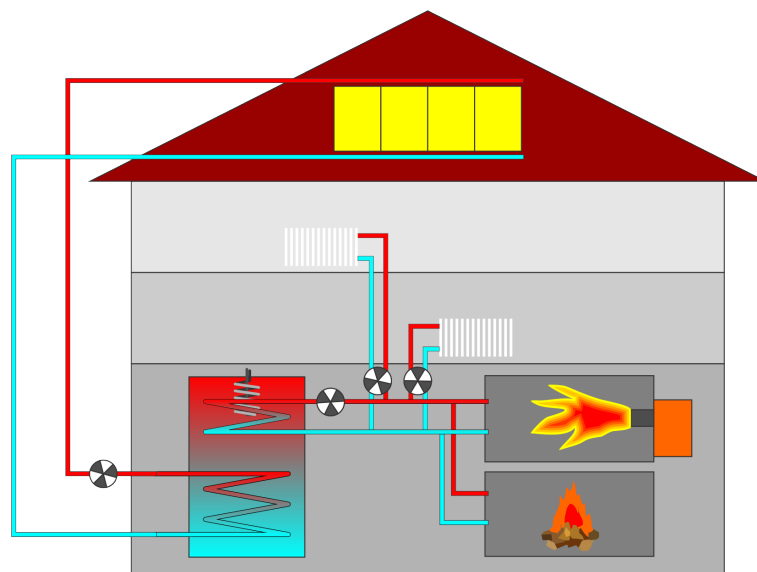
ter težave, ki jih je možno odpraviti z novim krmiljenjem. Večina ogrevalnih naprav uporablja za nadzor zgolj mehansko temperaturno stikalo, ki se z novim krmiljem ohrani in služi kot varnostno stikalo pred pregretjem naprave. Obstoječa avtomatika ogrevanja ne izkorišča lastnosti nizkotemperaturnih kotlov, kot tudi ne izoliranosti objekta, zaradi česar krmiljenje ni optimalno, izkoristek pa je slab. Poglavje 3 opisuje strojno opremo krmilja, to je sam mikrokrmilnik, vodilo za komunikacijo med mikrokrmilnikom in napravami, senzorje, aktuatorje, ter fizične uporabniške vmesnike za upravljanje sistema. Pri senzorjih je potrebno paziti, da jih je fizično možno vgraditi na že obstoječa mesta v ogrevalnih napravah, kajti predelava v večini primerov ni možna. Programska oprema je opisana v poglavju 4 in zajema opis programa in programskega uporabniškega vmesnika.

Poglavje 2

Opis obstoječega stanja

Ogrevalne naprave so se zaradi cen in dobavljivosti energentov skozi čas spreminjale, oziroma posodabljale. Najstarejša energenta sta premog in še vedno aktualen les. Ogrevalne naprave so pri tem načinu ogrevanja lahko delovale tudi brez elektrike, zato je tudi avtomatizacija minimalna. S prehodom ogrevanja na plinsko olje pa je bilo možno ogrevalne naprave povsem avtomatizirati. Alternativni načini ogrevanja so bili običajno povsem samostojni, prav tako njihova avtomatika. Ker je imela vsaka naprava svojo avtomatiko je bil nadzor nad napravami težaven. Takšen primer je priprava tople sanitarne vode v enem zalogovniku z dvema ogrevalnima napravama, ko so sprejemniki sončne energije dovolj ogreli vodo, vendar se je zaradi nastavitve urnika kljub temu vklopil kotel na plinsko olje. Trenutno stanje naprav za katere je bila izdelana nova avtomatika v okviru te diplomske naloge, prikazuje shema na sliki 2.1.

Najstarejša ogrevalna naprava je lito železna peč in je namenjena več vrstam energentov, to so premog, les in plinsko olje. Ima 50 litrski zalogovnik v katerem se sanitarna voda segreje brez uporabe črpalk. Pri ogrevanju s premogom ali lesom je regulacija temperature izvedena mehansko, to je z regulacijo količine zraka, ki ga dovedemo v kurišče. Pri ogrevanju z gorilnikom na plinsko olje se uporabi vgrajeno termostatsko stikalo, ki ob doseženi nastavljeni temperaturi izklopi gorilnik. Izkoristek pri slednjem načinu ogre-



Slika 2.1: Shema ogrevanja

vanja je izredno nizek, pod 50 %, ker kurišče ni primerno za uporabo gorilca na plinsko olje.

Naslednji je solarni sistem, ki je povsem ločen od prejšnjega. Vsebuje zalogovnik z dvema ločenima izmenjevalnikoma toplote, električnim grelcem, ter štiri sprejemnike sončne energije. Vgrajeni sta ločeni avtomatiki (slika 2.2) za ogrevanje z električnim grelcem in sprejemniki sončne energije. Električni grelec se vklaplja s termostatskim stikalom kadar je temperatura v zalogovniku nižja od nastavljene. Avtomatika za vklop črpalke sprejemnikov sončne energije je analogna, deluje pa tako, da primerja temperaturo v sprejemnikih sončne energije in zalogovniku. Pri razliki večji od nastavljene, se vklopi črpalka. Slabost tega načina je, da je senzor temperature v zalogovniku postavljen višje od samega izmenjevalca toplote s tem pa se črpalka sprejemnikov sončne energije vklopi samo kadar je temperatura vode v zgornji tretjini zalogovnika nižja od temperature v sprejemnikih sončne energije.

Tretja ogrevalna naprava je namenski nizkotemperaturni kotlo na plinsko olje opremljen z gorilcem s predgretjem plinskega olja. S tem kotlom se dosega izkoristek med 93 % do 96 %, tudi pri nižjih temperaturah delovanja [2].



Slika 2.2: Avtomatika sprejemnikov sončne energije

Vgrajeno je samo mehansko termostatsko stikalo slika 2.3 za vklop gorilca ob nastavljeni temperaturi. Ta sistem nima lastnega zalogovnika za sanitarno vodo in je zato povezan s solarnim sistemom, ki ima za ta namen še en prost izmenjevalnik.

Naknadno je bila vgrajena analogna avtomatika slika 2.4, ki je na podlagi zunanje in notranje temperature določila zahtevano temperaturo dvžnega voda, ta pa se regulira z motornim pogonom na mešalnem ventilu. Problemi pri tem sistemu so bili naslednji:

- možnost neodvisnega upravljanja temperature samo ene stanovanjske enote,
- počasna odzivnost pri vzdrževanju temperature, z izolacijo fasade objekta pa se je ta napaka povečala, kajti odvisnost notranje temperature od



Slika 2.3: Avtomatika kotla na plinsko olje

zunanje se z izolacijo objekta zmanjšuje,

- neupoštevanje specifičnih lastnosti ogrevalnih naprav.



Slika 2.4: Analogna avtomatika Seltron

Poglavje 3

Strojna oprema

Strojne opreme za izvedbo tega projekta je na tržišču veliko, zato je bila izbira težavna. Za osnovo sistema lahko uporabimo različne mikrokrmilnike ali pa mikrokrmilniške platforme. Prvi so cenejši, a zahtevajo še dodatne elektronske elemente, ter izdelavo tiskanih vezij, tako da se cenovno približajo platformam, ki so že sestavljene in preizkušene. Zaradi lokacijske oddaljenosti krmiljenih naprav in števila temperaturnih senzorjev, je bila zahteva po uporabi vodila za komunikacijo s senzorji in aktuatorji skoraj nujna. Kriterijev za izbiro strojne opreme je bilo več. Tehnični kriteriji so opisani v nadaljevanju tega poglavja, na izbiro pa so vplivali še naslednji: cenovno naj bi bila strojna oprema cenejša od tržno primerljivih sistemov, možnost nadgradnje, tako programske kot tudi strojne, ter zanesljivost neprekinjenega delovanja.

3.1 Procesni modul

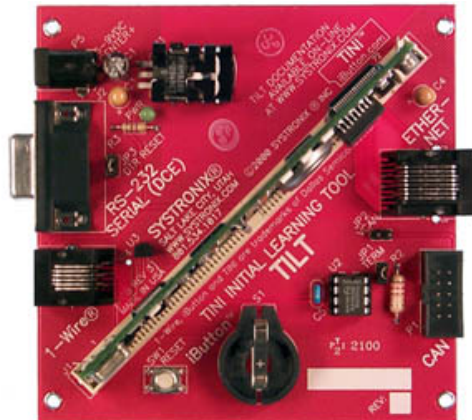
Osnova sistema je platforma SNAP [3] (slika 3.1) podjetja Imsys. Ta platforma je zamenjava za platformo TINI390 podjetja Dallas semiconductors oziroma Maxim Integrated Products s katerim je fizično povsem združljiv, programsko pa ne. Za sistemske in uporabniške programe je na voljo 2 Mb spomina flash in 8 MB spomina DRAM. Platformo SNAP je moč programi-

rati v treh programskih jezikih JavaME-CLDC [5] podjetja Sun Microsystems,



Slika 3.1: SNAP platforma

jeziku C in v zbirnem jeziku. Slednja dva sta podprta samo ob dokupu razvojnega okolja. Komunikacija je možna preko številnih vodil: omrežno 10/100 Mb/s Ethernet, trojno RS-232, dvojno 1-Wire, I²C in CAN. Strojni elementi platforme SNAP se nahajajo na 72-pinskem modulu SIMM, zato je potrebna še vtičnica, katera omogoča fizičen dostop do vseh priključkov, za kar je uporabljena razširitvena plošča TILT390 [4] podjetja Systronix (slika 3.2).



Slika 3.2: TILT390 razširitvena plošča

3.2 Vodilo

Od komunikacijskih vodil, ki jih ima platforma SNAP so za ta projekt najprimernejša tri. To so vodila 1-Wire, I²C in CAN. Kriteriji za izbiro so bili

naslednji: mogoča topologija zvezde, dolžina vodila vsaj 100 m, odpornost na motnje, cena tako kabla kot tudi naprav. V Tabeli 3.1 je prikazanih nekaj lastnosti posameznih vodil. Te vrednosti so teoretične, kajti dejanske vrednosti so odvisne od več dejavnikov, ki pa se jih ne da posplošiti.

Tabela 3.1 Primerjava vodil

Ime vodila	Največje število naprav	Največja dolžina vodila	Največja hitrost	Topologija zvezde
I ² C	2 ¹⁰	kapacitivnost = 400 pF ^a	5 Mb/s	izogibati
CAN	2 ¹¹	1000 m ^b	4 Mb/s	izogibati
1-Wire	2 ⁴⁸	300 m	125 Kb/s	da

^adolžina je odvisna od kapacitivnosti vodnika in nanj priključenih naprav

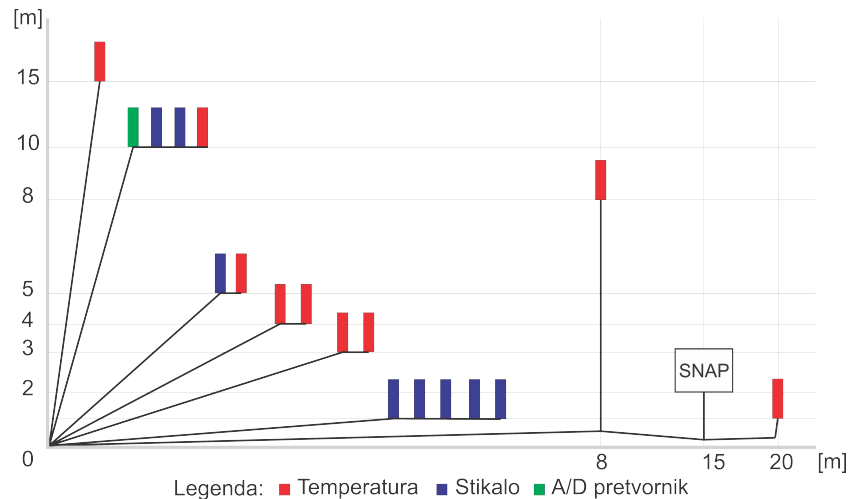
^bdolžina in hitrost po standardu ISO 11898-2 high speed [7]

Vodilo I²C [6] so razvili v podjetju Philips - NXP in je bilo prvotno namenjeno povezovanju perifernih naprav s centralno procesno enoto (CPE). Dolžina vodila in nanj priključenih naprav je odvisna od različnih dejavnikov. Največja omejitev je kapacitivnost vodnika in nanj priključenih naprav, ki je 400 pF, vendar se ta omejitev z uporabo gonilnikov da preseči. Naslednja omejitev tega vodila je število enakih naprav na istem vodilu, ki je običajno osem. Razlog temu je da ima vsaka naprava prednastavljenih osem možnih naslovov, ki jih nastavimo fizično ali programsko.

Vodilo CAN [7] pa je razvilo podjetje Bosch za namen povezovanja raznih naprav v vozilih, vendar se je zaradi popularnosti razširilo še na ostala področja. Naprave na tem vodilu niso neposredno povezane na vodilo, temveč preko krmilnika s sposobnostjo komunikacije z vodilom CAN.

Vodilo 1-Wire [8] podjetja Dallas - Maxim je bilo prvotno namenjeno komunikaciji procesorja s perifernimi napravami. Za komunikacijo potrebuje to vodilo samo en vodnik ter skupnega povratnega. Vsaka naprava ima že tovarniško določeno unikatno številko kar teoretično pomeni poljubno število enakih ali različnih naprav na enem vodilu.

Zaradi že zgoraj omenjenih kriterijev sem se odločil za vodilo 1-Wire. Največja težava je topologija zvezde, ki povzroča veliko odbojev. Posamezne veje so dolge od 1 m do 20 m (slika 3.3). Zaradi tega realna hitrost ni 125 Kb/s

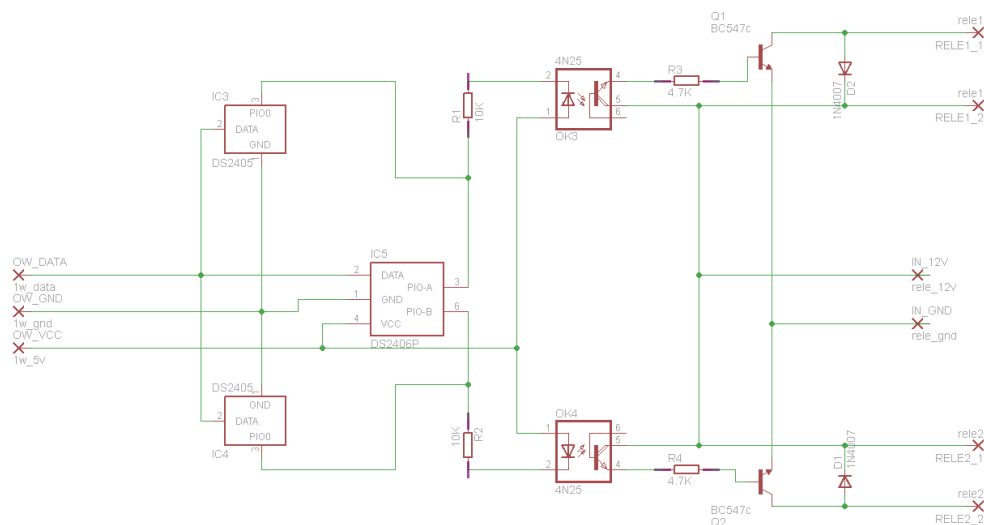


Slika 3.3: Topologija

temveč 15,4 Kb/s. Tako majhna hitrost ne predstavlja težave, kajti noben del sistema ne potrebuje krmiljenja v realnem času. Uporabljen jel CAT-5 kabel, ki je priporočen tudi s strani proizvajalca naprav 1-Wire. Čeprav vodilo potrebuje samo dva vodnika, kar je tudi dovolj za večino priključenih naprav, ki se napajajo kar iz podatkovnega vodnika, nekatere naprave potrebujejo še dodatno napajanje. To pomeni da sta dva vodnika uporabljena za komunikacijo, dva za dodatno napajanje naprav, ostali štirje pa za napajanje elektromagnetnih stikal, s katerimi se krmili naprave priključene na omrežno napetost. Za napajanje naprav po Ethernet kablu obstaja standard IEEE 802.3af [18] ki predpisuje največjo dovoljeno moč 12 W. V primeru da so vklopljeni vsa elektromagnetna stikala je njihova skupna moč 1 W.

3.3 Naprave na vodilu 1-Wire

Za vodilo 1-Wire obstaja veliko naprav [9], ki jih lahko priključimo neposredno. Uporabljeni pa so samo trije tipi teh naprav in sicer stikalo, tempera-



Slika 3.4: Shema vezja stikala

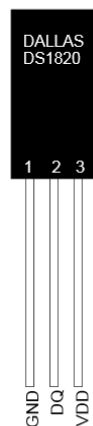
turni senzor in analogno digitalni pretvornik.

3.3.1 Stikalo

Uporabljeni sta dve vrsti naprav DS2405 [10], ki ima ena vhodno izhodna vrata in DS2406 [11] z dvema. Za upravljanje obeh naprav so že pripravljeni javanski razredi za poln dostop do vseh funkcij. Čeprav obe napravi lahko neposredno priklopimo na vodilo, za krmiljenje naprav na omrežno napetost potrebujemo dodatno vezje. Za izdelavo sheme in nadalje tiskanega vezja je bila uporabljena prosta verzija programa Eagle [12]. Shema vezja na sliki 3.3.1 je narejena za dve stikali DS2405 ali eno DS2406 kajti slednje ima na voljo dvojne vhodno izhodnih vrat. Tokokroga vodila 1-Wire in napajanje elektromagnetnih stikal sta z uporabo optosklopnika povsem ločena. To vezje krmili elektromagnetno stikalo s katerim lahko krmilimo porabnike z največjim tokom 5 A na omrežni napetosti 250 V, kar ne preseže nobena naprava.

3.3.2 Temperaturni senzor

Tudi uporabljeni temperaturni senzorji so dveh vrst in sicer DS1820 [13] ter DS18B20 [14]. Razlika med njima je v ločljivosti. DS1820 meri temperaturo po korakih $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperaturni senzor DS18B20 pa ima programsko nastavljive korake od $0,0625\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pri obeh pa je natančnost $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Napajanje teh dveh senzorjev je možno neposredno iz podatkovnega vodnika ali pa s priklopom na dodatni vodnik, ki služi le za napajanje, s čimer pridobimo na hitrosti branja temperature. Tiskanega vezja ti senzorji ne potrebujejo ker so v TO-92 pakiranju in se samo prispajkajo na kabel (slika 3.5), ter zaščitijo s termoskrčljivo cevko za izolacijo.



Slika 3.5: Temperaturni senzor DS1820/DS18B20

3.3.3 Analogno digitalni pretvornik

Naprava DS2450 [15] ima štiri vhodno izhodna vrata. Če so vrata uporabljena kot vhod delujejo kot 16 bitni analogno digitalni pretvornik napetosti, sicer pa delujejo kot stikalo opisano v razdelku 3.3.1. Ta naprava služi kot del fizičnega uporabniškega vmesnika. Programsko lahko izbiramo tako refe-

renčno napetost 2,56 V in 5,12 V, kot tudi ločljivost in sicer od 1 bita do 16 bitov. Napravo je moč sprogramirati da ob prehodu merjene vrednosti preko nekega določenega pragu sproži alarm.

3.3.4 Uporabniški vmesnik

Uporabniških vmesnikov pri tem sistemu je več. Razlikujejo se glede uporabnika oziroma kakšen nivo dostopa, katere funkcije sistema mu dovolimo spreminjati. Vmesnik na sliki 3.6 je namenjen starejšim uporabnikom vaje-



Slika 3.6: Uporabniški vmesnik

nih enostavnih analognih elementov. Z dvema linearnima potenciometroma določimo časovni interval v katerem naj bo temperatura prostora enaka nastavitvi tretjega potenciometra. Temperatura izven tega časa se določi s programskim uporabniškim vmesnikom. Dve svetleči diodi kažeta na katero temperaturo je segreta sanitarna voda. V primeru, da ta ni segreta, jo tudi izven urnika lahko segrejemo s pritiskom na ustrezno stikalo poleg svetleče diode. Ob dosegu te temperature pa se sistem zopet preklopi na avtomatski način. Z drsnim stikalom pa lahko izklopimo celoten sistem, na primer ob odsotnosti. Shema vezja je prikazana na sliki 3.7. K temu vezju je potrebno dodati še napetostni delilnik, katerega shema je prikazana na sliki 3.8, služi pa zmanjšanju napetosti in toka po specifikacijah analogno digitalnega pre-

tvornika. Glede na upornost uporabljenih potenciometrov se s formulo 3.1 izračuna vrednost upora R_1 , ki je enaka nadomestni vrednosti upora vseh treh potenciometrov.

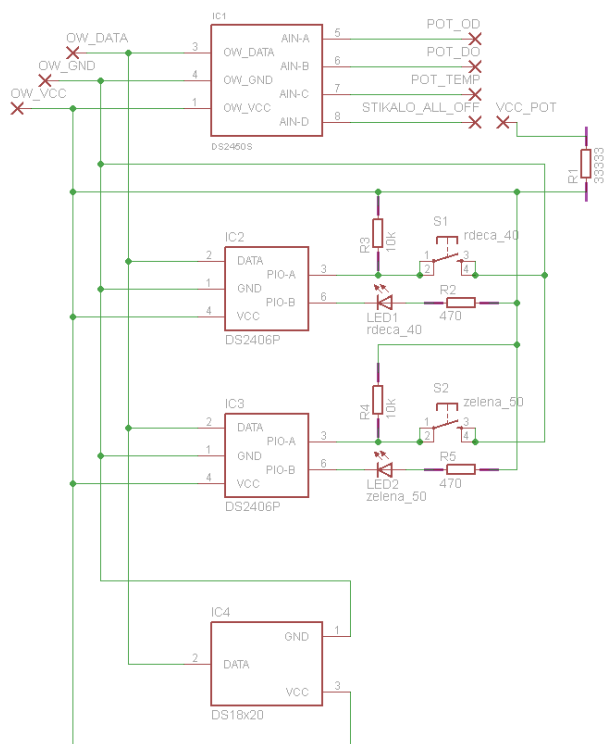
$$R_1 = \frac{1}{3 * \frac{1}{100 \text{ k}\Omega}} = 33 \text{ k}\Omega \quad (3.1)$$

Za izračun referenčne napetosti s formulo 3.3 je potrebno določiti še stalen tok skozi napetostni delilnik, izračun tega pa je prikazan s formulo 3.2.

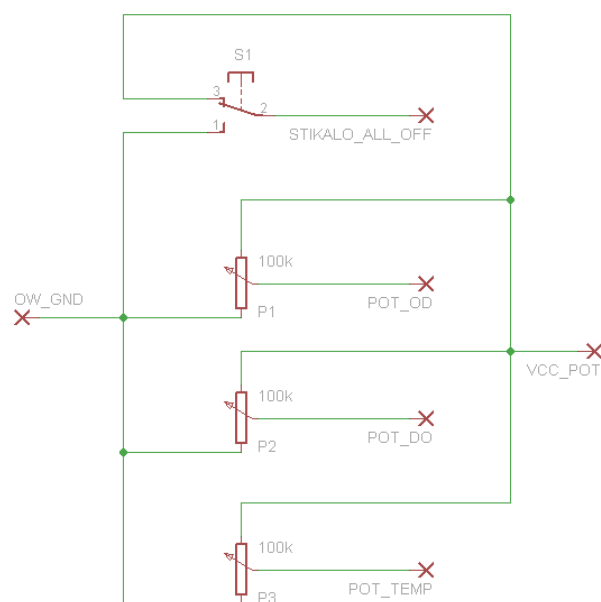
$$I = \frac{5 \text{ V}}{2 * 33 \text{ k}\Omega} = 75 \text{ }\mu\text{A} \quad (3.2)$$

$$U = 75 \text{ }\mu\text{A} * 33 \text{ k}\Omega = 2,5 \text{ V} \quad (3.3)$$

Analogno digitalni pretvornik je torej potrebno nastaviti na referenčno napetost 2,56 V, kar pomeni da bodo izmerjene vrednosti na intervalu od 0 V do 2,5 V.



Slika 3.7: Shema vezja uporabniškega vmesnika



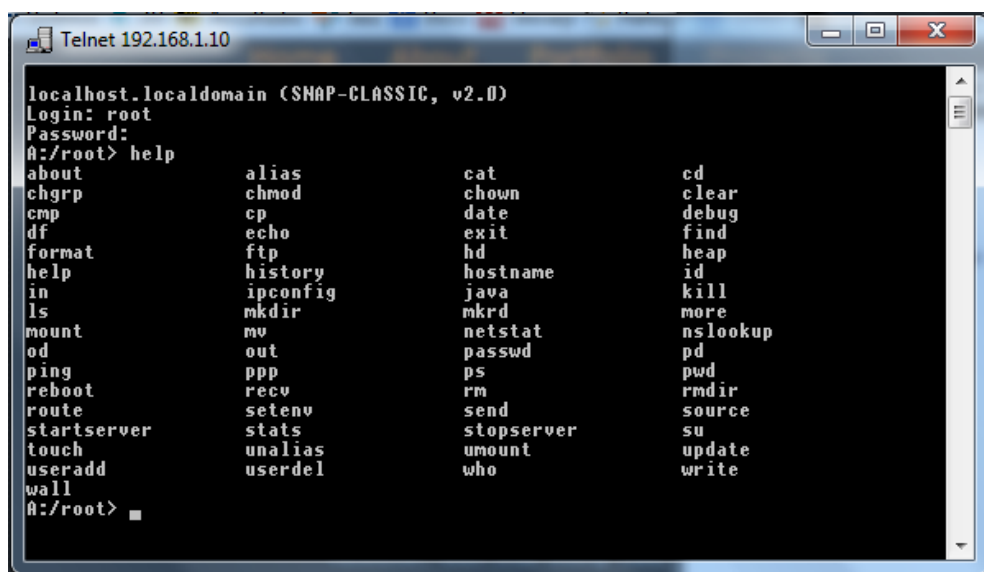
Slika 3.8: Shema vezja napetostnega delilnika s potenciometri

Poglavje 4

Programska oprema

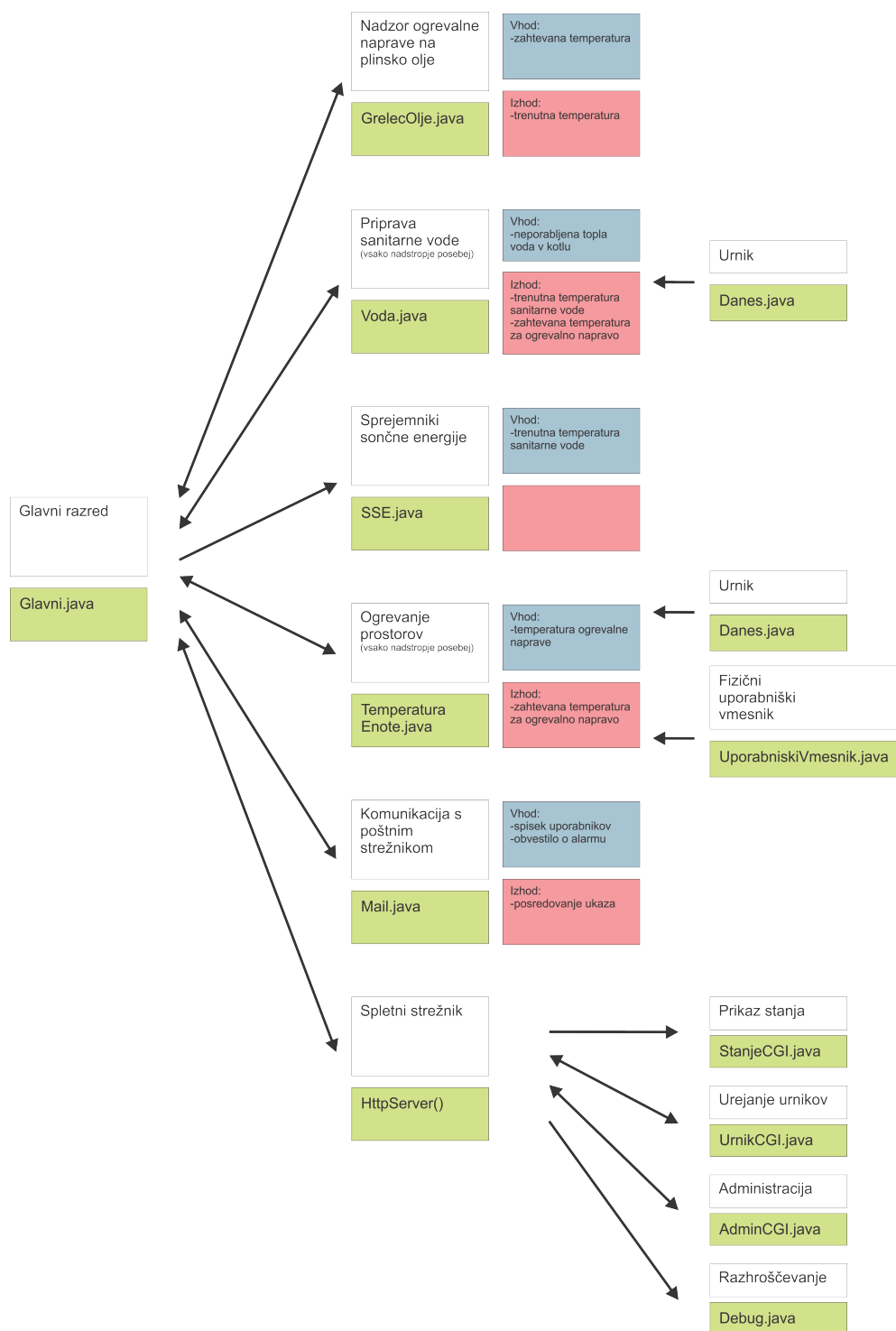
Med že omenjenimi programskimi jeziki v razdelku 3.1 s katerimi je možno programirati platformo SNAP sem izbral jezik Java paketa JavaME-CLDC, ki je namenjen napravam z omejenimi viri kot so majhen spomin, nizka procesorska moč ter manjša možnost grafičnega prikazovanja. Tudi nabor paketov je zelo omejen. Vključena sta posebna paketa `com.dallsemi.*`, namenjen podpori vodila in napravam 1-Wire, `se.imsys.*`, namenjen neposrednemu dostopu strojnih virov na platformi SNAP, ter osnovni javanski paketi: `io`, `lang`, `net`, `util`, `comm` in `microedition.io`. Za programiranje sem uporabil razvojno okolje Eclipse [16], bolj zaradi odprave sintaktičnih napak, kajti sami programi zaradi specifičnosti platforme SNAP ne delujejo drugače kot na sami platformi. Čeprav platforma SNAP podpira večnitnost tega pri programu ni mogoče izkoristiti, saj komunikacija z vodilom 1-Wire ne deluje pravilno, če do njega hkratno dostopa več niti. Razlog je v počasnosti senzorja temperature ki porabi po podatkih proizvajalca tudi do 750 μ s za izračun temperature. Z uporabo dodatnega napajanja senzorjev se ta čas bistveno skrajša, vendar omenjena težava ostane. Zaradi tega se program izvaja serijsko, kar za sam program ni nikakršna omejitev, saj je s tem samo izvajanje celotnega programa bolj pregledno. Večnitnost pa se uporabi pri vgrajenem internetnem strežniku. Ta podpira način programiranja CGI [17], ki omogoča dinamično izgradnjo spletnih strani. Interakcija s platformo SNAP je možna na več

načinov, to je preko serijskega vodila RS232 z uporabo priloženega programa ali z mrežnim dostopom Telnet in FTP. Protokol FTP služi za neposreden dostop do datotek ter upravljanje z njimi, protokol Telnet pa omogoča dostop do ukazne lupine, ki je podobna lupini Linux z naborom ukazov prikazanimi na sliki 4.1 in omogoča delo z operacijskim sistemom na platformi SNAP. Krmiljenje sistema je razdeljeno na logične enote, to pa se preslika tudi v



Slika 4.1: Ukazna lupina platforme SNAP

zgradbo samega programa, kjer vsaki od teh enot ustreza en razred. Z diagrama na sliki 4.2 je razvidna ta delitev skupaj z vhodnimi in izhodnimi informacijami, ki jih posamezne enote potrebujejo za delovanje. Še dva dodatna razreda sta skupna vsem. Razred ID.java v katerem je vsakemu naslovu 1-Wire naprave prirejen niz z opisom vloge naprave, ter razred OneWireDeviceCom.java, ki omogoča komunikacijo z vodilom in napravami. Zaradi morebitnih napak v programiranju je uporabljen tudi varnostni časovnik (ang. watchdog timer), ki služi kot varovalo, njegova naloga pa je resetiranje platforme SNAP ob nedelovanju aplikacije.



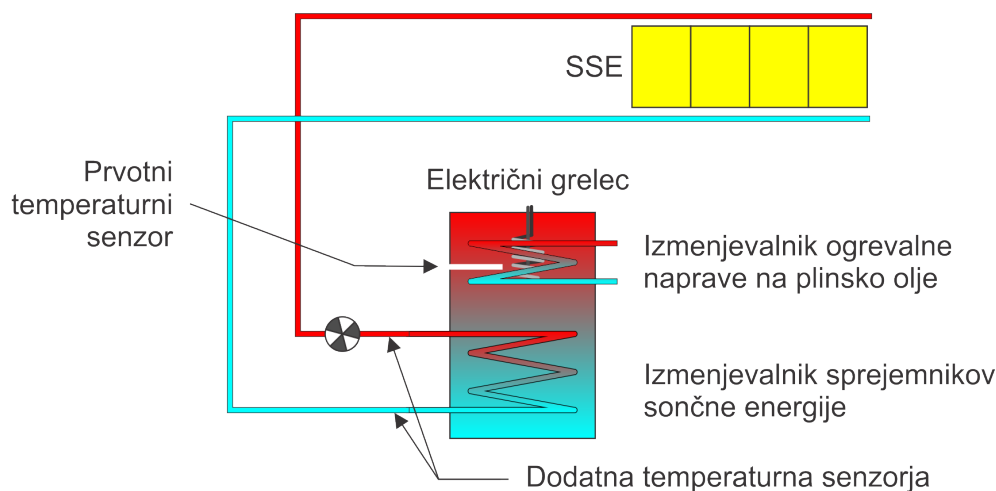
Slika 4.2: Zgradba programa

Implementacija celotne avtomatike je potekala v več fazah. Najprej je bilo napeljavno vodilo 1-Wire, ter vgrajeni temperaturni senzorji. S tem je bilo možno preizkusiti vodilo in predvsem testirati topologijo zvezde, ki je najbolj tvegan del sistema. Aplikacija za testiranje je neprekinjeno odčitavala temperaturo iz vseh senzorjev, ter beležila morebitne napake pri komunikaciji s senzorji, vendar do teh ni prišlo. Naslednja faza je bila vgradnja ročnih stikal (slika 4.10), ter nadalje priklop aktuatorjev na vodilo 1-Wire, to je stikal za upravljanje naprav. Naslednje faze so zajemale postopno pisanje aplikacije z vmesnimi testiranjmi, ter izgradnjo in priklop fizičnega uporabniškega vmesnika.

4.1 Krmiljenje sprejemnikov sončne energije

Princip delovanja tega sistema je precej enostaven. Ko se voda v sprejemnikih sončne energije ogreje nad temperaturo vode v zalogovniku se vklopi črpalka, ki povzroči kroženje vode skozi izmenjevalnik. Težava nastane ker je prostor za senzorje temperature previsoko glede na višino izmenjevalnika sprejemnikov sončne energije. Shema je prikazana na sliki 4.3. Po vklopu črpalke se temperatura v sprejemnikih sončne energije zelo hitro zniža, kajti temperatura vode v spodnjem delu zalogovnika kjer je izmenjevalnik za sprejemnike sončne energije je približno 7 °C. Prvotna avtomatika je zaradi napačne postavitev senzorja upoštevala temperaturo vode v zgornjem delu zalogovnika ki pa je vedno višja od spodnje, običajno pa je bila celo ogreta. Zaradi tega je bil tudi izkoristek sistema zelo slab kajti kapaciteta zalogovnika je 300 l, od tega je razmerje velikosti izmenjevalnikov 1/3 proti 2/3. To pomeni, da lahko izmenjevalnik ogrevalne naprave ogreje približno 100 l vode v zgornjem delu zalogovnika recimo na 50 °C, ostalih 200 l pa ima še vedno samo na 7 °C. Potreben je še en temperaturni senzor v spodnjem delu zalogovnika. Kakršna koli predelava obstoječega zalogovnika je nesprejemljiva, zato je uporabljena naslednja rešitev. Z dodatnima dvema senzorjema temperature na vstopu vode v izmenjevalnik in izstopu vode iz njega se izračuna razlika. Ta razlika

temperature pa je podatek, ki pove koliko toplote je še lahko oddal izmenjevalnik, torej je pogoj za izklop padec te razlike pod določeno mejo, pogoj za vklop pa ostaja enak, to je temperatura v sprejemnikih sončne energije večja kot je temperatura vode v zgornjem delu zalogovnika. S to spremembo se ogreva celoten volumen vode in četudi se ne ogreje na zahtevano temperaturo, je za dodatno ogrevanje potrebno veliko manj energije.



Slika 4.3: Postavitev temperaturnih senzorjev na SSE

4.2 Krmiljenje ogrevalne naprave

Ogrevalna naprava ima obstoječe nastavljivo termostatsko stikalo za določanje delovanja gorilnika. Sprememba krmilja te naprave je, da je to stikalo nastavljeno na 70 °C, programsko pa je določena največja temperatura naprave 60 °C, torej je termostatsko stikalo uporabljeno kot varovalo. Vsi porabniki priključeni na ogrevalno napravo sporočijo svojo zahtevano temperaturo, izbere pa se najvišja med njimi. Nastavljiv je tudi najkrajši čas delovanja gorilca, s čimer se preprečijo prekratki vklopi. V primeru, da v ogrevalni napravi ostane še topla voda, ki pa je nihče od porabnikov ne potrebuje več, se ta prečrpa v zalogovnik sanitarne vode.

4.3 Krmiljenje ogrevanja prostorov

Pri starem krmilju je bila zelo moteča počasna odzivnost sistema na hitre spremembe temperature v prostoru. Dnevni prostori imajo prisojno lego in približno 6 m² oken zato ob sončnem dnevu temperatura zelo hitro naraste. Toliko večja težava nastane ko sonce izmenično zakrivajo in odkrivajo oblaki. Prav tako različni gospodinjski aparati prispevajo k dvigu temperature, vendar ne v takšni meri kot sonce. Zahteve za algoritem so bile naslednje:

- ob veliko nižji temperaturi od nastavljene je potrebno slednjo kar najhitreje doseči,
- če je nastavljena temperatura presežena takojšen izklop ogrevanja,
- sicer ohranjanje nastavljene temperature.

Zgled pri pisanju algoritma 1 za določanje temperature dviznega voda, oziroma temperature ogrevalnih teles, je bil algoritem PID [1]. Formula za izračun temperature je sestavljena iz treh členov:

- prvi člen ostaja vseskozi konstanten in je odvisen od samih lastnosti objekta, predvsem izoliranosti, velikosti in vrste ogrevalnih teles,
- drugi člen izpolnjuje zahtevo po kar najhitrejšem doseganju nastavljene temperature in je kvadrat razlike med trenutno in nastavljenno temperaturo. Torej ima vpliv na končno vrednost le takrat, ko je razlika med nastavljenno in trenutno temperaturo velika, sicer pa je njegov vpliv zanemarljiv,
- tretji člen je kumulativen in je namenjen korekciji temperature ogrevalnih teles glede na spremembe notranje in zunanje temperature.

Vrednost, za katero se bo spremenil tretji člen, izračuna funkcija `IzracunKumulativniClen` v algoritmu 1 na podlagi razlike med nastavljenno in trenutno temperaturo, trenda zunanje in notranje temperature in uteži. Trend je razmerje med povprečjem predzadnjih in povprečjem zadnjih trideset meritev

Algoritem 1 Pseudo koda algoritma za izračun zahtevane temperature ogrevalne naprave.

```

function IzracunZahtevaneTemperature
    if (temperaturaTrenutna > temperaturaZahtevana) or (temperaturaZahtevanaStara ≠
temperaturaZahtevana) then
        temperaturaZahtevana = 0
        kumulativniClen = 0
    else
        razlikaTemperature = temperaturaZahtevana – temperaturaTrenutna
        kvadratRazlike = razlikaTemperature2
        kumulativniClen+ = IzracunKumulativniClen(razlikaTemperature)
        temperaturaZahtevana = konstantniClen + kvadratRazlike +
kumulativniClen
    end if
end function

function IzracunKumulativniClen(razlikaTemperature)
    trendNotranji = IzracunTrenda(notranjeTemperatureN30, razlikaTemperature)
    trendZunanji = IzracunTrenda(zunanjeTemperatureN30, razlikaTemperature)
    return (utez * trendNotranji) + ((1 – utez) * trendZunanji)
end function

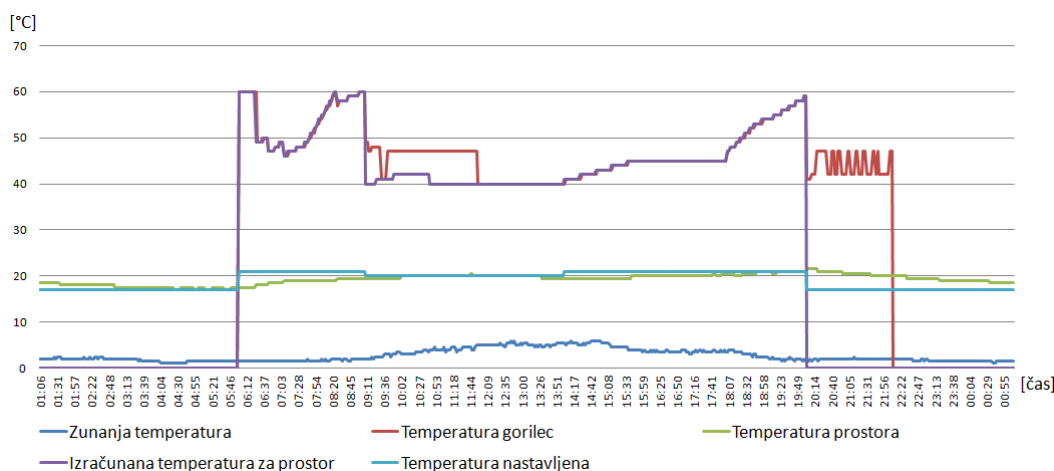
function IzracunTrenda(temperatureN30, razlikaTemperature)
    trend = temperaturaN30.povprecjeStaro / temperaturaN30.povprecje
    if trend > 1 then                                     ▷ temperatura pada
        return (trend – 1) * razlikaTemperature
    else if trend < 1 then                                   ▷ temperatura narašča
        return ((1 – trend) * razlikaTemperature) * (–1)
    else                                                     ▷ temperatura se ne spreminja
        return 0
    end if
end function

```

temperatur in ima tri vrednosti:

$$\frac{\text{staroPovprecje}}{\text{novoPovprecje}} \Rightarrow \begin{cases} > 1, & \text{temperatura pada} \\ < 1, & \text{temperatura narašča} \\ = 1, & \text{temperatura se ne spreminja.} \end{cases} \quad (4.1)$$

S trendom določimo korekcijo temperature, ki je lahko pozitivna, negativna, ali pa je ni. Razmerje med vplivom trenda notranje in trenda zunanje temperature na tretji člen je določen z utežjo, ki ima lahko vrednost med 0 in 1, vendar v praksi nad 0,5. Ta vrednost je odvisna od samih lastnosti objekta. Tretji člen se ponastavi v primeru spremembe ali prekoračitve nastavljene temperature, slednjo pa lahko spremenimo z uporabniškimi vmesniki, oziroma urniki. Ostaja še težava hitrih padcev temperature, naprimer zračenja, ko ne želimo, da ta sprememba povzroči nezaželen odziv sistema. Zato se uporabi namesto trenutne temperature povprečna temperatura zadnjih 30 minut to je 30 meritev, kar je dovolj da je pri do deset minutnem padcu temperature, kolikor naj bi v zimskem času trajalo zračenje, odziv sistema minimalen. Nasprotno, pri višji temperaturi od nastavljene potrebujemo čim hitrejši odziv, to je izklop sistema, zato povprečje pol urnih meritev ni primerno. Težava nastane tudi če vzamemo samo zadnjo meritev, kajti ločljivost senzorjev je $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ in če merjena temperatura minimalno niha ravno na tem $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pragu, nihajo tudi odčitki senzorja za $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Če se to dogaja ravno na pragu nastavljene temperature, pride do nezaželenih več zaporednih vklopov in izklopov ogrevanja. S povprečno temperaturo samo štirih zadnjih meritev pa se izognemo tudi tej težavi. Meritve delovanja algoritma so prikazane na sliki 4.4. Ker je porabnikov več se lahko zgodi da izračunana temperatura ne bo tista, ki jo bo privzela ogrevalna naprava, kajti privzeta temperatura je od porabnika z najvišjo zahtevano temperaturo. Zato je čas delovanja črpalke vsakega porabnika razdeljen na deset minutne intervale, kar predstavlja 100 % časa. Če je zahtevana temperatura porabnika enaka zahtevani temperaturi ogrevalne naprave je razmerje med temperaturama enako ena, oziroma 100 %, torej je črpalka vklopljena cel deset minutni interval. V primeru, da je zahtevana temperatura porabnika nižja od zahtevane temperature ogrevalne naprave, pa je razmerje med temperaturama manjše od ena, oziroma manjše od 100 %, kar pomeni da bo črpalka porabnika vklopljena samo določen del deset minutnega intervala, sicer pa bo izklopljena.



Slika 4.4: Meritve delovanja algoritma.

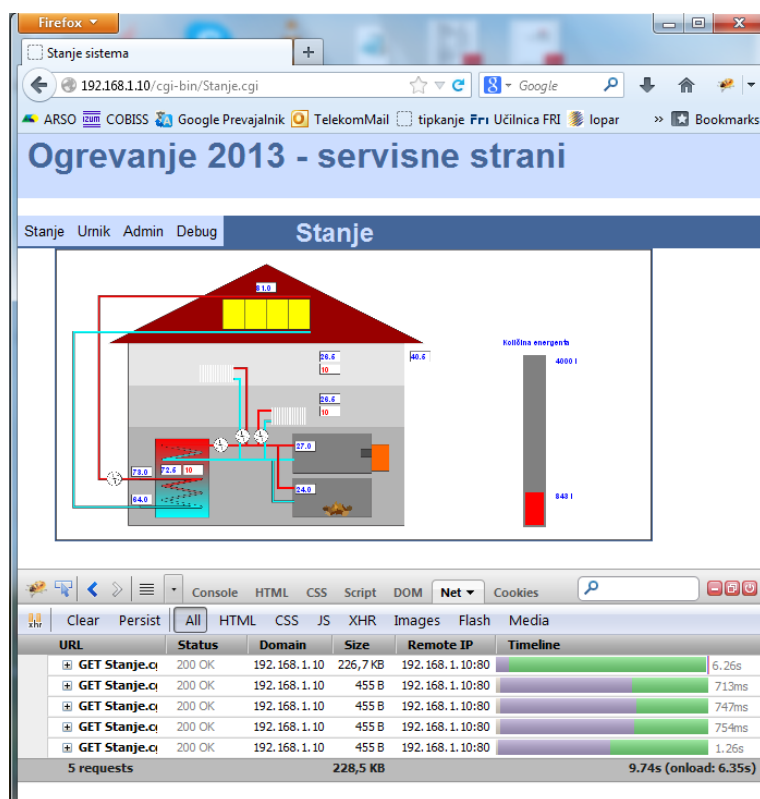
4.4 Programski uporabniški vmesnik

Programski vmesnik nudi popoln nadzor uporabnika nad delovanjem sistema. Za oblikovanje spletnih strani je bil uporabljen program Microsoft Expression Web 4, grafična predstavitev podatkov in preverjanje pravilnosti vnesenih parametrov pa je izvedena z uporabo programskega jezika Javascript. Interakcija je možna lokalno preko spletnega brskalnika ali globalno z uporabo elektronske pošte. Razlogov za takšno odločitev je več:

- večina uporabnikov nima statičnega IP naslova, ki je potreben za dostopanje do strežnika,
- na istem naslovu kot je strežnik HTTP sta tudi strežnik Telnet in strežnik FTP, ki za dostop uporabljata geslo, vendar brez uporabe šifriranja. Strežnik Telnet in strežnik FTP skupaj omogočata popoln nadzor nad delovanjem platforme SNAP,
- dostop preko elektronske pošte je manj zahteven tako glede strojne in programske opreme, kot tudi glede količine prenesenih podatkov.

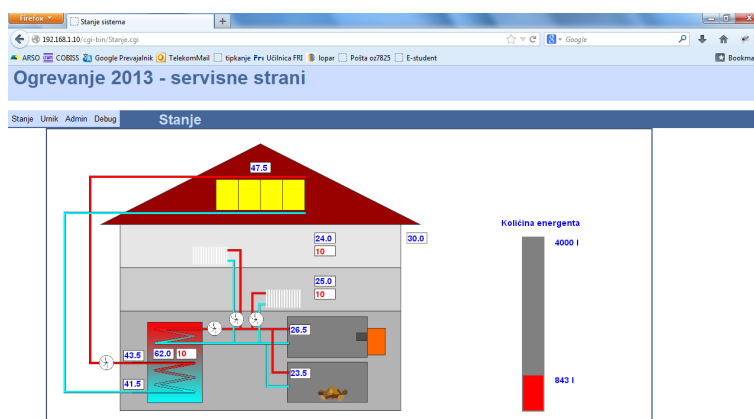
Interakcija preko spletnega brskalnika je razdeljena na štiri dele: prikaz stanja sistema, nastavitve urnikov, nastavitve parametrov sistema in podroben

prikaz parametrov sistema. Platforma SNAP strojno podpira 100 Mb/s internetno povezavo, vendar programska oprema te hitrosti ne doseže. Zaradi tega je uporabljena tehnologija AJAX [19], ki omogoča samo osveževanje podatkov ne pa celotne spletne strani. Na sliki 4.5 je prikazan čas prvega nalaganja strani, ki je 6,26 s za 226,7 KB, ter nadaljnjih osveževanj podatkov, ki so približno 750 ms za 455 B.



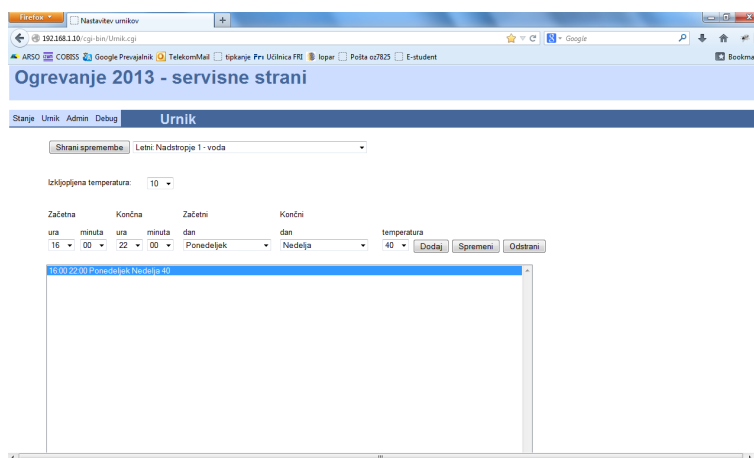
Slika 4.5: Meritve hitrosti prvega nalaganja spletne strani, ter nadaljnjih osveževanj podatkov.

V prvem zavihku spletnega vmesnika, prikazan na sliki 4.6, je grafično in numerično prikazano stanje sistema. Numerično so prikazane trenutne in nastavljene temperature, grafično pa delovanje črpalk in obeh kotlov.



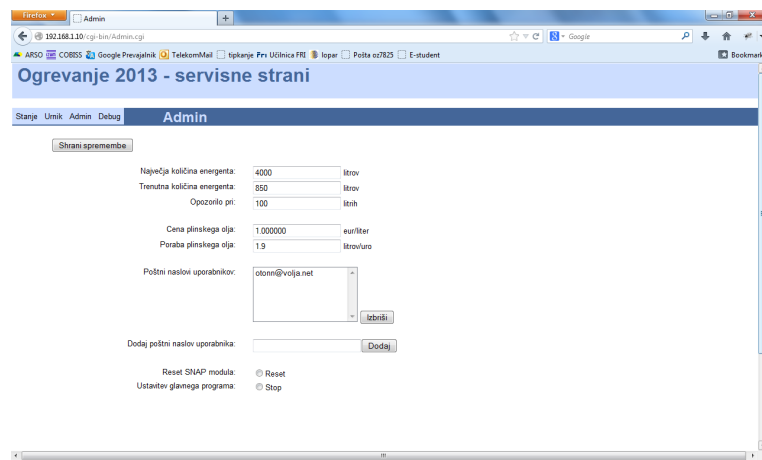
Slika 4.6: Prikaz stanja sistema.

Drugi zavihek, prikazan na sliki 4.7, omogoča nastavitve vseh urnikov.



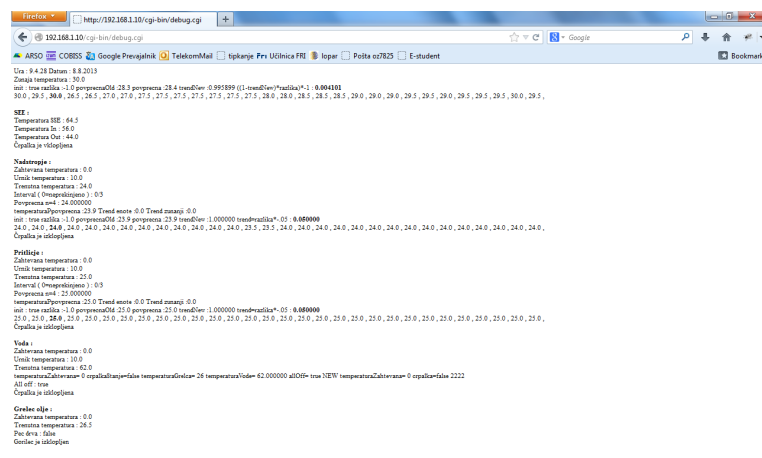
Slika 4.7: Nastavitve urnikov.

Tretji zavihek, prikazan na sliki 4.8, omogoča nastavitve sistemskih parametrov in ustavitve izvajanja programa, ter resetiranje platforme SNAP. Ustavitev programa na ta način je potrebna pri posodobitvi programske opreme, kajti samo na ta način se izklopijo vse 1-Wire naprave, ki sicer obdržijo svoje stanje dokler imajo napajanje.



Slika 4.8: Nastavitve sistemskih parametrov.

Zadnji zavihek, prikazan na sliki 4.9, pa omogoča podroben pregled nad delovanjem programa in je predvsem namenjen razhroščevanju.



Slika 4.9: Prikaz stanja, za namen razhroščevanja.

Upravljanje sistema z uporabo elektronske pošte ne uporablja šifriranja, vendar je z uporabo samo osnovnih ukazov onemogočeno škodljivo upravljanje s sistemom. Za izvedbo interakcije preko elektronske pošte, je uporabljen že implementiran razred za pošiljanje elektronske pošte po standardu

RFC822 [20], za prejemanje pa ga je bilo potrebno implementirati, za kar je bil uporabljen standard RFC1939 [21]. S spiskom poštnih naslovov uporabnikov, katerim je dovoljeno komunicirati, se upravlja v administratorskem zavihku. Za nadzor sistema je uporabljeno šest ukazov: pošlji spisec ukazov, pošlji stanje sistema, nastavitev trenutne temperature vode ali prostora in nastavitev temperature vode ali prostora v časovnem intervalu. Sprememba temperature na ta način velja samo do prve spremembe temperature z urniki, pri intervalu pa za trenutni dan. Nastavitev temperature s fizičnim uporabniškim vmesnikom ima višjo prioriteto kot nastavitev temperature preko elektronske pošte. Alarmi in opozorila sistema pa se pošljejo vsem uporabnikom.

4.5 Varnost

Pri vseh krmiljenih napravah je ohranjena obstoječa varnostna avtomatika, kar so večinoma temperaturna stikala oziroma varovalke, ki ob večji temperaturi od 85 °C izklopijo električno napetost. Dodatno je spremenjena vezava pri kotlu na trda goriva, kjer termostatsko stikalo ob večji temperaturi od 85 °C vklopi vse porabnike z razlogom zaščite pred pregretjem kotla. Programsko je tudi določena najnižja dovoljena temperatura prostorov, to je 5 °C zaradi preprečitve zmrzali. Vgrajena so bila tudi ročna stikala, ki so prikazana na sliki 4.10, za izbiro načina delovanja vsake naprave, to je izklopljeno, ročno ali avtomatsko.



Slika 4.10: Ročno upravljanje

Poglavje 5

Sklepne ugotovitve

Največje tveganje pri projektu je predstavljalo vodilo, vendar se je izkazalo da je to zelo robustno, kajti klub neugodni topologiji in napeljavi, napeljano je skupaj z močnostnimi kabli v neoplaščenem CAT-5 kablu, deluje brez težav.

Pri izdelavi aplikacije je bilo razhroščevanje v začetnih fazah težavno in je bilo možno samo z vmesnimi izpisi v ukazni lupini platforme SNAP, kasneje pa z implementacijo spletnega vmesnika teh težav ni bilo več.

Glavne prednosti novega sistema so naslednje:

- pri vzdrževanju nastavljene temperature prostora se avtomatika hitreje odziva na hitre dvige temperature v prostoru zaradi sonca,
- zaradi vgraditve dodatnih temperaturnih senzorjev se v sistemu sprejemnikov sončne energije sedaj ogreva celoten volumen zalogovnika,
- vedno, ko v kotlu na plinsko olje ostane neporabljena toplota, se ta prečrpa v zalogovnik,
- temperatura, na katero se ogreva kotel na plinsko olje, določi eden od porabnikov (ogrevanje prostorov ali sanitarne vode), kar v splošnem prinese nižjo temperaturo delovanja,
- z različnimi uporabniškimi vmesniki se sistem lažje upravlja, tudi na daljavo.

Primerjava porabe energenta za pripravo sanitarne vode in ogrevanje prostorov pred in po vgradnji nove avtomatizacije je nemogoča zaradi različnih zunanjih temperatur in različnih nastavitev željene temperature prostora in sanitarne vode. Približna ocena prihrankov naj bi znašala, na podlagi strokovnega članka [22] 10 % zaradi avtomatizacije ogrevanja z upoštevanjem zunanje temperature in dodatnih 10 % zaradi nočnega zmanjševanja temperature. Glede na priporočila tega članka bi bila nadaljnja nadgradnja avtomatizacije, upravljanje temperature vsakega prostora posebej, kar naj bi znašalo še dodatnih 10 % prihranka. V vsakem prostoru bi morali vgraditi temperaturni senzor in elektromotorni pogon ventila ogrevalnega telesa, ter določiti urnik, prav tako za vsak prostor posebej.

Z novo avtomatiko se vse naprave upravljajo organizirano, odpravljene so napake starejših krmiljenj in upoštevane lastnosti novih naprav, kar prispeva k manjši porabi energentov. S sistemom se upravlja z različnimi uporabniškimi vmesniki, ki omogočajo uporabniku hitre prilagoditve delovanja sistema. Možna je nadgradnja avtomatike, tako programska, kot tudi strojna, s čimer je omogočeno upravljanje novo vgrajenih naprav tudi v prihodnosti.

Pomisleki glede izdelane avtomatike so predvsem v izbiri programskega jezika Java. Platformo SNAP je sicer možno programirati tudi v jeziku C, vendar je potrebno razvojno okolje dokupiti posebej. S programiranjem v jeziku C namesto v jeziku Java bi bila dosežena veliko večja neodvisnost programov od strojne opreme.

Literatura

- [1] Antonio Visioli, "Practical PID Control", London : Springer, cop., 2006
- [2] "Prihranki energije pri posodobitvi ogrevanja in energetske obnovi ovoja stavbe", Dostopno na:
<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT120.htm> (september 2013)
- [3] "SNAP - Simple Network Application Platform", Dostopno na:
http://www.imsystech.com/documentation/manuals/snap_spec.pdf
(maj 2013)
- [4] "TILT390 razširitvena plošča", Dostopno na:
<http://www.systronix.com/tini/tilt.htm> (junij 2013)
- [5] "Java ME Technology - CLDC", Dostopno na:
<http://www.oracle.com/technetwork/java/javame/tech/cldc-jsp-141864.html> (maj 2013)
- [6] "I²C Manual", Dostopno na:
http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10216.pdf
(maj 2013)
- [7] "CAN physical layer", Dostopno na:
<http://www.can-cia.de/index.php?id=systemdesign-can-physicallayer>
(maj 2013)

-
- [8] “Guidelines for Reliable Long Line 1-Wire® Networks”, Dostopno na:
<http://www.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/148>
(maj 2013)
- [9] “1-Wire Devices”, Dostopno na:
<http://www.maximintegrated.com/products/1-wire/> (maj 2013)
- [10] “DS2405 Addressable Switch”, Dostopno na:
<http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/2906>
(maj 2013)
- [11] “DS2406 Dual Addressable Switch Plus 1Kb Memory”, Dostopno na:
<http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/2907>
(maj 2013)
- [12] “EAGLE PCB Software”, Dostopno na:
<http://www.cadsoftusa.com/eagle-pcb-design-software/product-overview/?language=en> (maj 2013)
- [13] “DS1820 1-Wire Digital Thermometer”, Dostopno na:
<http://www.systronix.com/Resource/ds1820.pdf> (maj 2013)
- [14] “DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer”,
Dostopno na: <http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/2812> (maj 2013)
- [15] “DS2450 1-Wire Quad A/D Converter”, Dostopno na:
<http://www.maximintegrated.com/datasheet/index.mvp/id/2921>
(maj 2013)
- [16] “Eclipse Classic 4.2.2 ”, Dostopno na:
<http://www.eclipse.org/downloads/packages/eclipse-classic-422/junosr2> (junij 2013)
- [17] “The Common Gateway Interface (CGI) Version 1.1 ”,
Dostopno na: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3875> (junij 2013)

-
- [18] "Introduction to PoE and the IEEE802.3af and 802.3at Standards ",
Dostopno na: http://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/introduction_to_poe_ieee802.3af_802.3at.pdf (junij 2013)
- [19] "XMLHttpRequest", Dostopno na:
<http://xhr.spec.whatwg.org/> (avgust 2013)
- [20] "STANDARD FOR THE FORMAT OF ARPA INTERNET TEXT
MESSAGES, Dostopno na:
<http://www.ietf.org/rfc/rfc0822.txt> (avgust 2013)
- [21] "Post Office Protocol - Version 3", Dostopno na:
<http://www.ietf.org/rfc/rfc1939.txt> (avgust 2013)
- [22] "Kako energijsko varčno hišo imamo?", Dostopno na:
<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT13.htm>
(avgust 2013)