

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATKO

Andrej Luznar

Sistem za merjenje temperatur na skakalnici in izvajanje akcij

DIPLOMSKO DELO NA
UNIVERZITETNEM ŠTUDIJU

Ljubljana, 2010



Št. naloge: 01653/2010

Datum: 05.04.2010

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

Kandidat: **ANDREJ LUZNAR**

Naslov: **SISTEM ZA MERJENJE TEMPERATUR NA SKAKALNICI IN
IZVAJANJE AKCIJ**
**A SYSTEM FOR TEMPERATURE MEASUREMENT AND ACTION
PERFORMING ON SKI JUMPS**

Vrsta naloge: Diplomsko delo univerzitetnega študija

Tematika naloge:

Cilj naloge je izdelati sistem za zajem in prenos podatkov s temperaturnih senzorjev vzdolž smučarske skakalnice, obdelava podatkov in predstavitev rezultatov s primernim uporabniškim vmesnikom.

Posvetite se načrtovanju in izdelavi sistema, ki je sposoben zajemati podatke iz okolja, jih ustrezno interpretirati, na podlagi teh rezultatov pa izvajati akcije ter jih prikazati na uporabniškem vmesniku. Opišite osnovne gradnike sistema in podajte razloge za izbiro posameznih elektronskih in programskih elementov. Podajte kritično presojo rezultatov realiziranega sistema in predloge sprememb za izboljšavo sistema.

Mentor:

prof. dr. Saša Divjak



Dekan:

prof. dr. Franc Solina

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATKO

Andrej Luznar

Sistem za merjenje temperatur na skakalnici in izvajanje akcij

DIPLOMSKO DELO NA
UNIVERZITETNEM ŠTUDIJU

Mentor: prof. dr. Saša Divjak

Ljubljana, 2010

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

IZJAVA O AVTORSTVU

diplomskega dela

Spodaj podpisani Andrej Luznar,
z vpisno številko 63040090,

sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Sistem za merjenje temperatur na skakalnici in izvajanje akcij

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom prof. dr. Saše Divjaka
- 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 22.04.2010

Podpis avtorja:

Zahvala

Za pomoč pri izdelavi naloge se zahvaljujem mentorju, prof. dr. Saši Divjaku.

Kazalo

Povzetek	1
Abstract	2
1. Uvod	3
2. Zasnova in načrtovanje	4
2.1 1 - wire protokol.....	4
2.1.1 Princip delovanja.....	5
2.1.2 Vezava.....	6
2.2 Temperaturni senzor Dallas DS18S20.....	8
2.2.1 Pregled.....	8
2.2.2 Proces merjenja temperature.....	9
2.2.3 Napajanje DS18S20.....	9
2.2.4 Pomnilnik.....	9
2.2.5 Ukazi za delo z DS18S20.....	10
2.3 Vmesnik za priklop senzorjev na računalnik.....	12
2.3.1 Preprosto vezje, ki ga izdelamo sami.....	12
2.3.2 Komercialne rešitve.....	12
2.4 Pregled vremenskih postaj, ki so na voljo na trgu.....	13
2.4.1 La Crosse WS-2300.....	14
2.4.2 Oregon Scientific WMR968.....	16
2.4.3 Davis Vantage Pro 2.....	16
2.5 Industrijski kontrolni sistemi.....	17
2.5.1 Računalniško podprta proizvodnja.....	17
2.5.2 Delitev sistemov za nadzor v tri skupine:.....	18
2.5.3 Sistem za nadzor, krmiljenje in zajem podatkov (SCADA).....	19
2.6 Izdelava umetnega snega.....	23
2.6.1 Temperatura vlažnega/suhega termometra.....	25
2.6.2 Dodatki pri izdelovanju snega.....	26
2.6.3 Sistemi za hlajenje vode.....	27
2.6.4 Sistem za avtomatski nadzor zasneževanja.....	27
3. Problemska domena	28
3.1 Opis problema.....	28
3.2 Glavne zahteve.....	28
3.3 Razvoj sistema – začetki.....	29
3.4 Vzpostavitev razvojnega okolja ob upoštevanju ugotovitev.....	30
3.5 Programska oprema.....	32
3.5.1 Digitemp.....	32
3.5.2 Apache, mysql, php.....	33

3.5.3 Temperatura vlažnega termometra.....	33
3.5.4 Razvoj	34
3.6 Okvirna cena sistema.....	35
4. Testiranje in rezultati	36
4.1 Spletna stran in akcije sistema.....	38
4.1.1 Prikaz trenutnih razmer na skakalnici.....	38
4.1.2 Zgodovina meritev.....	40
4.1.3 Nastavitev alarmov.....	40
4.1.4 Urejanje senzorjev.....	42
4.1.5 Dodajanje novega uporabnika.....	42
5. Sklepne ugotovitve	44
Literatura	46

Seznam uporabljenih kratic in simbolov

CRC – Cyclic Redundancy Check

LSB – Least Significant Bit

MSB – Most Significant Bit

VDD – Positive Supply Voltage

GND – Ground

DTR – Data Terminal Ready

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

EPROM – Erasable Programmable Read-Only Memory

SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition

DCS – Distributed Control System

PLC – Programmable Logic Controller

ICS – Industrial Control System

MES – Manufacturing Execution System

CIM – Computer Integrated Manufacturing

MRP – Management Resource Programming

RTU – Remote Terminal Units

PAC – Programmable Automation Controller

Povzetek

Diplomsko delo govori o načrtovanju in izdelavi sistema, ki je sposoben zajemati podatke iz okolja, jih ustrezno interpretirati, na podlagi teh rezultatov izvajati akcije ter jih prikazati na uporabniškem vmesniku. V delu so najprej opisani osnovni gradniki sistema. Predstavljeni so razlogi za izbiro posameznih programskih in elektronskih elementov, njihova vloga v sistemu ter prednosti in slabosti izbranih gradnikov. Opisane so nekatere komercialne rešitve, ki so do določene mere podobne naši, in so proti plačilu dostopne na trgu. Cilj naloge je izdelati podoben sistem, ki je cenejši in prilagojen za našo problemsko domeno.

Celoten sistem je razdeljen na dva dela. Prvi del sestavljajo elektronski elementi, ki so potrebni za zajem in prenos podatkov od temperaturnih senzorjev DS18S20 do strežnika. Drugi del je programska oprema, ki jo sestavljajo odprto-kodna programska oprema s programom Digttemp in lastna programska oprema, ki celoten sistem poveže v zaključeno celoto. Prilagojen program Digttemp preverja razpoložljivost temperaturnih senzorjev, vpisuje podatke v podatkovno bazo in iz bližnje vremenske postaje bere podatke o zunanji vlagi zraka. Lastna programska oprema podatke obdeluje in pretvarja v obliko, ki je potrebna pri umetnem zasneževanju – to je temperatura vlažnega termometra. Slednja oblika služi za nadaljnje akcije, kot je ustrezen prikaz podatkov in na željo uporabnika, obveščanje preko elektronske pošte.

V zadnjem delu so opisani rezultati delovanja sistema in primeri uporabe. Podana je kritična presoja rezultatov in predlogi sprememb, ki bi predvidoma izboljšale delovanje sistema.

Ključne besede:

zajem podatkov, DS18S20, odprto - kodna programska oprema, Digttemp, temperatura vlažnega termometra

Abstract

The thesis is about to present the planning and manufacturing process of a system, capable of recollection of data from the environment, their adequate interpretation, holding actions based on the results and presentation on the user's interface. The first part of the content represents the description of the basic widgets of the system. I presented the reasons for the choice of individual software and electronic elements, their role in the system with advantages and disadvantages of the chosen parts. I described some commercial solutions, up to some extent similar to the presented one and available on the market. The goal of the thesis is to elaborate a similar system, but cheaper and more adjusted to our problem domain.

The entire system is divided into two sections. The first one is formed by electronic elements, required for the recollection and transmission of data from the temperature sensors DS18S20 to the server. The second section is the software, compiled by open code software with the Digitemp program and own software which works as a linking particle of entire system to create a complete entity. The adjusted program Digitemp checks the availability of temperature sensors, inputs the data into the database and from the nearest weather station reads the data of the outside air humidity. Own software processes the data and changes it into a form, required for the situation of snowmaking – this is the temperature of a wet bulb thermometer. That form is used for the upgrading processes, such as suitable data display and, depending on the will of the user, updating and informing by the e-mail.

The last part of the thesis represent working results of the system and examples of usage. I also provided a critical judgement of the results and suggested some changes regarding the potential improvement in the operation of the system.

Key words:

data acquisition, DS18S20, open source software, Digitemp, wet bulb

Poglavje 1

Uvod

V zadnjih letih, z izjemo nekaterih, spremljamo dokaj mile zime, ki ne postrežejo z obilo snega, ki bi zagotavljal dolgotrajno smučarsko dejavnost. Ker je s količino snega in posledično številom smučarskih dni povezana marsikatera dejavnost in delovno mesto, se manjši in večji smučarski, nordijski centri odločajo za uporabo umetnega zasneževanja. Za vzpostavitev celotnega sistema so potrebna visoka sredstva, ki si jih manjši centri težko privoščijo. Prav tako je vprašljiva potreba po takem sistemu, ki je zahteven za upravljanje in vzdrževanje. Zato manjši centri pogosto nimajo izdelanega sistema. Pomagajo si z manjšimi vremenskimi postajami, ki ne zagotavljajo zanesljivih in popolnih meritev.

Zaradi zgoraj naštetih razlogov, pomanjkanje podobnih rešitev in zanimanju manjših nordijskih centrov, sem se odločil izdelati sistem, ki bi zadostil čim več potrebam za nizko ceno.

Značilnost pobočij, kjer so skakalnice je ta, da se, zaradi velikega naklona, temperatura z višino hitro spreminja. Poleg tega je lahko prisoten izrazit temperaturni obrat, ki še dodatno vpliva na temperaturni razpon. Del sistema je izpostavljen zunanjim naravnim procesom, zato je potrebna dodatna pozornost pri načrtovanju postavitve in izbiri materialov. Če želimo dober pregled nad dogajanjem na pobočju, je gosta posejanost s temperaturnimi senzorji več kot dobrodošla. Izmerjene vrednosti se v enakomernih intervalih beležijo zato, da jih lahko predstavimo in na podlagi preteklih meritev izvajamo akcije. Za naš sistem je primeren internetni uporabniški vmesnik, prirejen za osebne računalnike in mobilne naprave, saj omogoča mobilnost operaterja. Slednji se mora v sistem vedno prijaviti, ker si lahko prilagaja sporočila glede na lastne potrebe. Sporočila so ena od lastnosti večjih sistemov, ki operaterje obveščajo o izbranih dogodkih.

Poglavje 2

Zasnova in načrtovanje

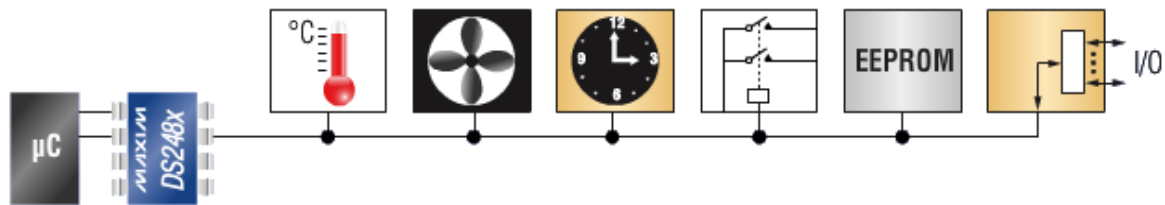
2.1 1 - wire protokol

1-wire [12,13] je blagovna znamka podjetja Dallas Semiconductor Corp. Omogoča komunikacijo več naprav z minimalno uporabo nožic na eni izmed računalniških vrat. 1-wire je ime dobil po tem, ker uporablja samo eno vodilo za prenos podatkov. Je podoben protokolu I^2C , s to razliko, da zanesljivo deluje že pri nižjih prenosnih hitrostih podatkov, zato omogoča priklop in zanesljivo delovanje na daljših dolžinah. Tipično je uporabljen za temperaturne senzorje in ostale vremenske inštrumente. Pri tem se uporablja dva vodila: podatkovno (služi tudi kot napajanje) in zemlja (angl. ground).

1 – wire naprave se pogosto uporabljajo na tiskanih vezjih. Pojavljata se dva primera:

- na vezje je priključena samo ena 1-wire naprava. Tiskano vezje v tem primeru izvaja prenos podatkov med notranjo in zunanjo napravo.
- 1-wire naprava je samo eden od delov vezja, ki opravlja še več ostalih nalog. Ta rešitev je pogosteje uporabljena. Primer je senzor za nadzor napetosti na osnovni plošči računalnika.

Poleg priklopa ene vrste naprav na podatkovno vodilo lahko uporabimo več različnih, ki vsebujejo logiko, potrebno za komuniciranje po tem protokolu. Na primer: temperaturne senzorje, časovnike, nadzornike napetosti, pomnilne module, itd. (Slika 1). V primeru uporabe več različnih naprav, ali skupin le teh pravimo, da imamo 1-wire mrežo (pri Dallas jo poimenujejo kot MicroLan). Da lahko naprave ločimo med seboj, ima vsaka unikatno, 64-bitno serijsko številko. 8 najmanj pomembnih bitov nam pove, za katero vrsto naprave gre. Tipično samostojne naprave ali sisteme na računalnik priključujemo preko: USB, RS-232 in tiskalniških vrat.



Slika 1: Primer sistema z več napravami: 1-wire mreža

2.1.1 Princip delovanja

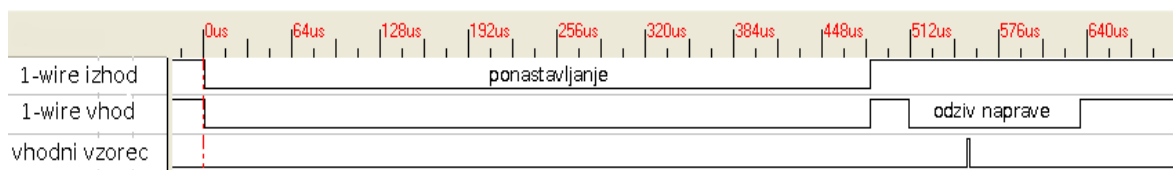
Deluje v razponu električne napetosti med 2.8 in 6 voltov. Vedno imamo enega gospodarja in enega ali več sužnjev. Vsi lahko pošiljajo in sprejemajo podatke, vendar se hkrati na vodilu lahko izvaja le ena akcija (branja ali pisanja). Gospodar je lahko računalnik ali mikrokontroler. Ta sproži akcije na vodilu.

Prenos začne tako, da najprej naredi ponastavljanje vseh sužnjev (angl. reset). To pomeni, da drži vodilo najmanj 480us v nizkem stanju (vrednost 0). Po preteku tega časa pošljejo vse priključene naprave signal prisotnosti (angl. presence pulse). S pomočjo tega signala gospodar ugotovi katere naprave so priključene na vodilo.

Podatki se obravnavajo vedno tako, da se najprej upošteva najmanj pomemben bit (angl. LSB). Pošiljajo se po časovnih rezinah – za pošiljanje logične 1 pošlje gospodar 15us dolg signal v nizkem stanju; za logično 0 pa 60us prav tako v nizkem stanju. Prehod vodila iz visokega v nizko stanje, sproži na priključenih sužnjih preklopno digitalno vezje, ki po preteku 30us bere stanje vodila. Med posameznimi časovnimi rezinami mora biti najmanj 1us premora. Sprejem podatkov poteka tako, da gospodar pošlje 15us dolg signal v nizkem stanju za vsak bit posebej. Če želi suženj poslati logično 1, ne naredi ničesar – vodilo se avtomatično postavi v visoko stanje. Če želi poslati logično 0, potem postavi vodilo v nizko stanje za 60us.

Celoten postopek lahko strnimo v nekaj točkah:

- a) gospodar naredi ponastavitev (reset) vseh sužnjev (Slika 2)



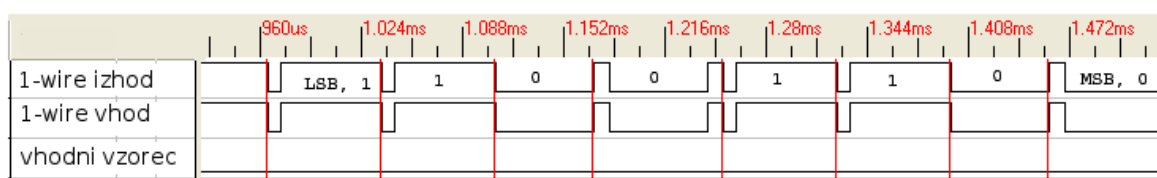
Slika 2: Primer ponastavitve

b) pošlje 8-bitni ukaz (Tabela 1)

Operacijska koda	Pomen
33	Read ROM
44	Convert temperature
55	Match ROM
B4	Power
CC	Skip ROM
F0	Search ROM

Tabela 1: Primer ukazov senzorja DS18S20

c) pošiljanje/prejemanje podatkov v skupinah po 8 bitov (Slika 3)

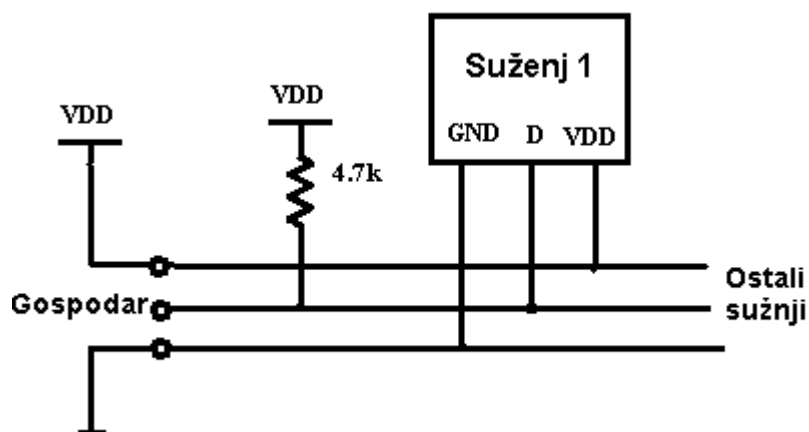


Slika 3: Primer pošiljanja 00110011

Če pride do napake, jo zaznajo vgrajeni mehanizmi, ki morajo biti implementirani v programski opremi. Po odkriti napaki, gospodar ponovno poizkuša izvesti željeno akcijo.

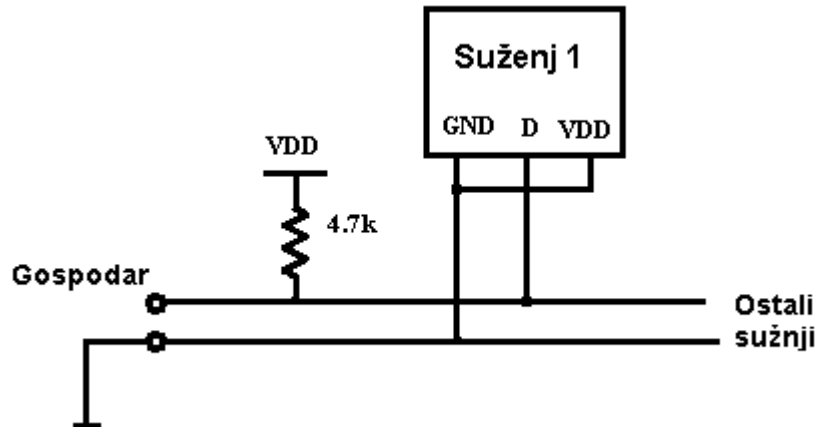
2.1.2 Vezava

a) Pogosto so 1-wire naprave povezane tako, da uporabljajo 3 povezave (napajanje, podatkovno vodilo, zemlja) (Slika 4)



Slika 4: Vezava 1-wire naprave s tremi vodili

b) Druga možnost (uporabljena v našem primeru) je upoštevanje, da lahko 1-wire naprave delujejo v tako imenovanem parazitskem načinu (Slika 5)



Slika 5: Vezava 1-wire naprave z dvema vodiloma

V drugem primeru prejme čip napajanje preko podatkovne povezave. Tako lahko povezavo za napajanje preprosto odstranimo. Ostaneta nam samo dva. To prinese nekaj nezaželenih posledic:

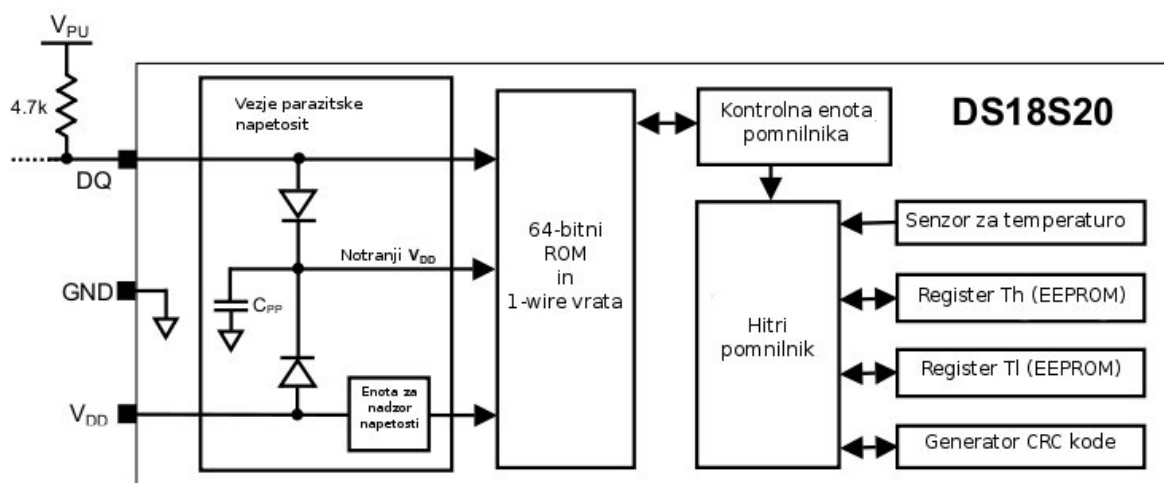
- povečajo se zakasnitve
- nekatere naprave lahko izgubijo podatke, če nimajo stalnega vira napajanja, zato morajo biti vedno znova ponovno nastavljeni
- maksimalna oddaljenost najbolj oddaljenega sužnja od gospodarja je manjša, če želimo zanesljivo delovanje

Včasih uporabimo baterijsko napajanje za naprave, ki potrebujejo stalno napajanje (na primer števec). Parazitski način je primeren za sisteme, kjer imamo velike razdalje med napravami, ker lahko naenkrat ponovno nastavimo vse naprave hkrati na enostaven način (podatkovno vodilo postavimo v nizko stanje).

2.2 Temperaturni senzor Dallas DS18S20

Temperaturni senzor DS18S20 zagotavlja 9-bitne vrednosti meritev temperature. Za komunikacijo z računalnikom ali mikroprocesorjem mu zadošča 1-wire protokol, ker lahko deluje v parazitskem načinu. V tem primeru ne potrebuje dodatnega zunanje napajanja. Deluje v temperaturnem razponu od -55°C do 125°C . V razponu -10°C do 85°C ima zagotovljeno natančnost $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

Da lahko senzorje ločimo med seboj, ima, tako kot ostale 1-wire naprave, unikatno 64-bitno serijsko številko.



Slika 6: Blok diagram senzorja DS18S20

2.2.1 Pregled

Slika 6 prikazuje blok diagram senzorja DS18S20. V 64-bitnem ROM-u je shranjena unikatna serijska številka naprave. Zadnjih 8 bitov številke predstavlja družino senzorjev. Pri DS18S20 je označena kot 10h. Naslednjih 48 bitov je unikatnih.

Hiter pomnilnik se uporablja za dva namena:

- shranjevanje digitalnega izhoda iz temperaturnega senzorja
- omogoča dostop alarmnih registrov T_H in T_L , kjer ima vsak po 1-bajt spomina

Oba registra hranita vrednost tudi, ko je odsoten vir napetosti (EEPROM).

Dobra lastnost DS18S20 je v tem, da za svoje delovanje ne potrebuje dodatnega zunanje napajanja. Zagotavlja ga preko DQ nožice, ko je na vodilu visoko stanje. V tem času se tudi napolni notranji kondenzator (C_{PP}), ki zagotavlja potrebno energijo za delovanje senzorja v času, ko je na vodilu nizko stanje. Tej metodi zagotavljanja energije rečemo parazitska energija. Alternativa omenjeni metodi je uporaba zunanje napajanja preko vrat V_{DD} .

2.2.2 Proces merjenja temperature

Temperaturni senzor ima 9-bitno ločljivost, kar omogoča 0.5°C velike korake med posameznimi meritvami. Z dodatnimi tehnikami je mogoče doseči tudi manjše korake.

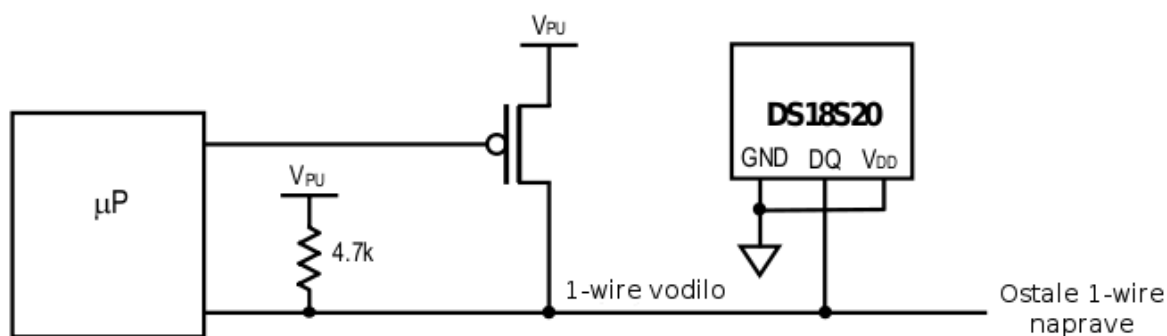
Za začetek merjenja in pretvorbo izmerjene vrednosti iz analogne v digitalno predstavitev, mora gospodar vodila dati na vodilo operacijsko kodo ukaza „Convert T“. Po pretvorbi v digitalno obliko se izmerjena vrednost shrani v hiter „scratchpad“ pomnilnik, senzor pa preide v fazo mirovanja (angl. idle state). To pomeni, da je senzor izvedel zahtevano meritev.

DS18S20 vrača temperaturne vrednosti v stopinjah Celzija ($^{\circ}\text{C}$). Za pretvorbo v enoto Fahrenheit mora poskrbeti programer na nivoju aplikacije.

2.2.3 Napajanje DS18S20

Zaradi zanimivosti parazitskega načina delovanja, bomo podrobneje opisali napajanje senzorja.

Kot že omenjeno, je lahko prisotno zunanje napajanje, lahko pa tudi ne. V tem primeru govorimo o parazitskem napajanju. Ta način je uporaben takrat, kadar imamo malo prostora za fizično umestitev senzorja. Slika 7 prikazuje vezavo senzorja v omenjenem načinu. Energijo za delovanje senzor prejema preko podatkovnega vodila, ko je v visokem stanju. Nekaj energije se shrani v parazitski kondenzator (C_{PP}), ki zagotavlja energijo, ko je na vodilu prisotno nizko stanje. Za pravilno delovanje v parazitskem načinu, mora biti nožica V_{DD} povezana na zemljo.



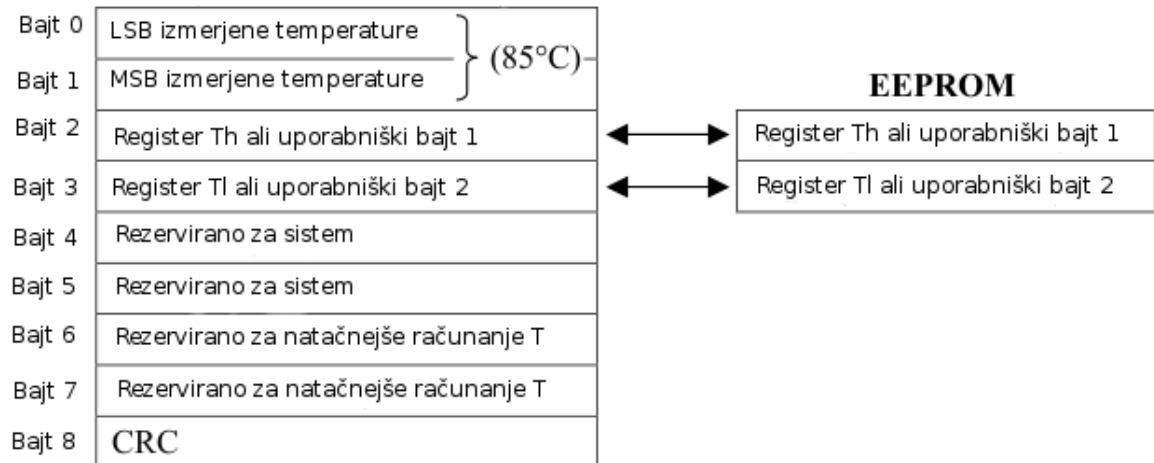
Slika 7: Vezava senzorja DS18S20 na gospodarja v parazitskem načinu

Če želimo meriti temperature višje od 100°C , potem parazitski način delovanja ni priporočljiv, ker prihaja do težav v komunikaciji. Z dodatnim zunanjim napajanjem te težave izginejo.

2.2.4 Pomnilnik

Sestavljen je iz hitrega SRAM („strachpad“) in EEPROM pomnilnika (registra T_H in T_L). Slika 8 prikazuje shemo pomnilnika pri DS18S20. Bajt 0 in 1 sta namenjena hranjenju

izmerjene vrednosti. Dovoljeno je le branje. Bajta 2 in 3 služita za dostop do T_H in T_L registrov. Za lastno delovanje sistem uporablja bajta 4 in 5. Ni možno ne branje in ne pisanje le teh. 6. in 7. bajt sta namenjena uporabi pri računanju večje ločljivosti temperature na izhodu. Bajt 8 vsebuje kodo CRC.



Slika 8: Shema pomnilnika DS18S20

2.2.5 Ukazi za delo z DS18S20

Kadarkoli želimo opraviti dostop do senzorja DS18S20, moramo upoštevati naslednje 3 korake:

- Inicializacija: vsaka akcija se mora začeti v tej točki. Sestavljena je iz signala za ponovno nastavitev, ki ga pošlje gospodar in signala prisotnosti sužnjev.
- Ukaz za delo z ROM (Tabela 2): ko gospodar vodila prejme signal prisotnosti, mora izstaviti enega od ukazov za delo z ROM. Njihova glavna značilnost je, da uporabljajo informacijo o unikatni 64-bitni kodi priključenih naprav. To je pomembno zato, da ločimo posamezne senzorje in/ali družine senzorjev med seboj. Obstaja pet različnih ukazov za delo z ROM.
- Funkcijski ukazi (Tabela 3): ko gospodar zaključi z ROM ukazi, preide na funkcijske ukaze. Z njimi lahko: piše in bere iz hitrega pomnilnika, sproži pretvorbo temperature in ugotavlja kakšno napajanje uporablja naprava. Ukazov te vrste je šest.

Ukaz	Opis
Search ROM	Ko je sistem inicializiran, mora gospodar ugotoviti vse ROM kode na vodilo priključenih naprav.
Read ROM	Ukaz je uporaben, kadar je na vodilu le ena naprava. V tem primeru ga uporabimo namesto Search ROM ukaza. Če je prisotnih več naprav, pride ob uporabi tega ukaza do kolizije podatkov, saj se vse naprave hkrati odzivajo na ukaz.
Match ROM	Služi za to, da gospodar naslovi točno določeno napravo – to je tisto napravo, katere naslov se ujema s 64-bitno ROM kodo, ki jo poda gospodar.
Skip ROM	S tem ukazom gospodar sistematično naslovi vse naprave priključene na vodilo. Pri tem ne uporablja 64-bitne ROM kode. Primer uporabe ukaza: gospodar lahko vsem senzorjem DS18S20 ukaže pretvorbo temperature tako, da najprej izvede ta ukaz, takoj za njim pa še ukaz Convert T.
Alarm search	Enak ukazu Search ROM, s to razliko, da se nanj odzovejo zgolj sužnji, ki imajo postavljeno zastavico za alarm.

Tabela 2: ukazi ROM

Ukaz	Opis
Convert T	Sproži pretvorbo temperature. Po končanem ukazu se vrednost shrani v 2-bajtni prostor v hitrem pomnilniku.
Write Scratchpad	Omogoča gospodarju, da v hiter pomnilnik piše podatek velikosti 2 bajta. Prvi bajt se shrani v register T_H , drugi bajt pa v register T_L . Oba bajta morata biti zapisana preden gospodar naredi ponovno nastavitev (reset).
Read Stratchpad	Nudi način za zaporedno branje hitrega pomnilnika. Najprej se prebere bajt 0, nato 1,... do bajta 8.
Copy Strachpad	Sproži kopiranje podatkov iz T_H in T_L v EEPROM.
Recall E^2	Prepiše vrednosti T_H in T_L iz EEPROMA nazaj v hiter pomnilnik. Ta ukaz lahko opravi gospodar, avtomatično pa je klicana, ko dobi DS18S20 ponovno vir napajanja.
Read Power Supply	S tem ukazom gospodar ugotovi, ali uporablja senzor parazitski vir napajanja.

Tabela 3: funkcijski ukazi

2.3 Vmesnik za priklop senzorjev na računalnik

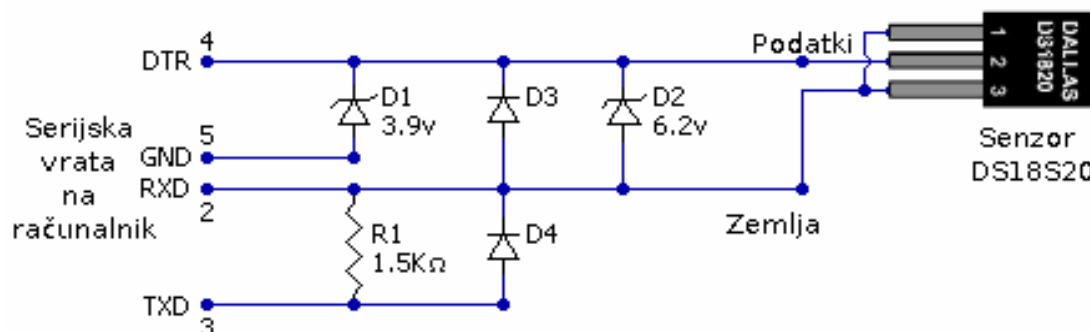
Če nimamo mikrokrmilnika, moramo naprave priključiti na računalnik, ki je v tem primeru opravlja vlogo gospodarja. Obstaja več komercialnih različic, lahko pa ga, z malo truda, izdelamo sami.

2.3.1 Preprosto vezje, ki ga izdelamo sami

Slika 9 prikazuje tako vezje. Na računalnik je povezan preko zaporednih vrat (angl. COM port), na katerih uporabimo štiri nožice. Sestavni elementi vezja so:

- Zener dioda 1N5228 3.9v
- Zener dioda 1N5234 6.2v
- dve Schottky diode 1N5818
- upor 1.5 kOhm
- ženski priključek za priklop na zaporedna vrata računalnika

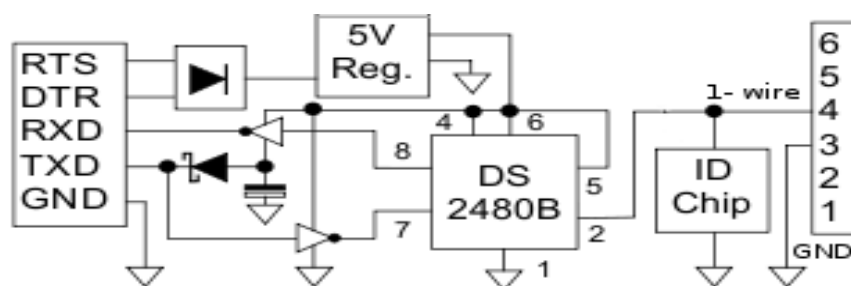
Kot vidimo, je vezje preprosto in poceni. Delovanje je zanesljivo. Omejitev je le to, da deluje zgolj za omejeno število družin senzorjev. Ena od družin, ki je podprta, je družina temperaturnega senzorja DS18S20. Druga slabost je, da moramo gonilnik napisati sami. Izkaže se, da to ne predstavlja težav, saj obstajajo odprto-kodne rešitve na spletu (na primer program digitemp).



Slika 9: Vezje za priklop 1-wire naprav preko zaporednih vrat

2.3.2 Komercialne rešitve

Eden od možnih načinov je nakup vmesnika DS9097U (Slika 10). Namenjen je priklopu na zaporedna vrata. Njegova prednost je napisan gonilnik. Ne omogoča pisanja na naprave, ki uporabljajo EPROM pomnilnik, ker bi potrebovali dodatno zunanje napajanje. Zato pa lahko pišemo na naprave, ki uporabljajo EEPROM pomnilnik. Ta lastnost, v primeru našega sistema, povsem zadošča.



Slika 10: Shema vmesnika DS9097U

2.4 Pregled vremenskih postaj, ki so na voljo na trgu

Na trgu je veliko naprav, ki bi jih lahko poimenovali „vremenska postaja“. Najcenejše so tiste, ki jih prodajajo za nekaj evrov v trgovskih centrih. Njihova značilnost je predvsem slaba kvaliteta izdelave in zelo omejeno območje meritev (merjenje notranje in zunanje temperature), da o nadgradnjah ne govorimo. Za nekaj več denarja (okvirno 100€), so na voljo prvi bolj resni vremenski inštrumenti, ki omogočajo več meritev (temperatura, vlaga, veter, tlak, padavine). Njihova kvaliteta je zelo vprašljiva. V območje med 200€ in 1000€ spadajo naprave, ki so bolj kvalitetne, zanesljive in natančne. Poleg tega omogočajo nadgradnje (dodajanje omejenega števila senzorjev, merjenje UV sevanja,...). V tem razredu so še vedno samo amaterske naprave. Za uradne meritve meteoroloških služb se uporabljajo profesionalni inštrumenti, ki so zelo natančni, vendar zelo dragi. Primer je dežemer proizvajalca Hellman (Slika 11). Njegova cena je podobna ceni zelo dobre amaterske vremenske postaje.



Slika 11: Profesionalni dežemer Hellman

Za diplomsko nalogo so zanimive postaje, ki omogočajo priklop dodatnih temperaturnih senzorjev, saj jih potrebujemo več (vsaj pet). Ob nakupu ima večina postaj le en zunanji senzor za temperaturo. Skoraj samoumevno je, da morajo imeti podporo za priklop na računalnik. Cenejši izdelki te možnosti nimajo.

Za postaje, ki jih lahko povežemo z osebnim računalnikom, potrebujemo tudi programsko opremo. Nekateri programi so pogosto vključeni v ceno naprave (na primer program HeavyWeather), vendar ponavadi ne zadošča. Zato uporabniki [1] kupujejo programe (WsWin) in podobne, kar poviša ceno nakupa. Ob tem naj poudarim, da so ti programi dokaj nezanesljivi, saj imajo precej hroščev. Zato se, ob pomanjkljivem računalniškem znanju uporabnikov, pojavljajo nepredvidene težave in izgube podatkov. Velik minus te programske opreme je tudi v tem, da večina ne podpira operacijskega sistema Linux, saj določen delež uporabnikov prisega le na ta operacijski sistem.

Poleg plačljivih so na medmrežju dostopni zastonski in odprto-kodni programi. Eden izmed njih je Wview [2]. Program, ki deluje na večini današnjih platformah, podpira vse vremenske postaje, ki pridejo v ožji izbor za diplomsko nalogo. Katere so te postaje, pa bomo pogledali v nadaljevanju.

2.4.1 La Crosse WS-2300

Prva postaja, vredna omembe, je La Crosse WS-2300 (Slika 12). Je ena od predstavnic podjetja LaCrosse Technology. V amaterski meteorologiji je, predvsem zaradi dobrega razmerja med ceno in ponujenim, med najbolj razširjenimi.

Gre za napravo, ki ima vse osnovne senzorje, ki jih premorejo dražje vremenske postaje. To so:

- zunanji in notranji senzor za temperaturo
- zunanji in notranji senzor vlage
- dežemer
- anemometer
- barometer

Prenos podatkov med zunanjo in notranjo postajo lahko poteka preko kablov ali preko brezžične povezave. Slednja ima nekaj slabosti:

- zanesljivost delovanja je zelo omejena. Po podatki proizvajalca [3], deluje do 24 metrov, če ni vmes fizičnih preprek. To je v praksi težko dosegljivo.
- prenos podatkov pogosto motijo zunanji dejavniki, kot so radioamaterske antene
- ker zunanja enota nima možnosti priklopa na električno napajanje in ne vsebuje solarnih celic za napajanje, je potrebno menjati baterije. Na težko dostopnih terenih se izkaže za veliko pomanjkljivost. Zaradi avtomatskega sistema varčevanja z baterijami, se podaljša interval oddajanja podatkov.

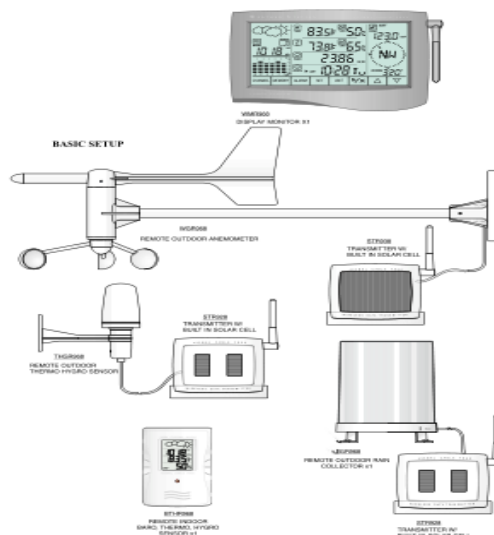
Potrebno je poudariti, da ne omogoča priklopa dodatnih senzorjev. Iz tega sledi, da bi potrebovali za vsako višino svojo vremensko postajo. Kljub nizki ceni posamezne postaje, bi

se skupaj seštelo toliko nevšečnosti, da bi bil projekt zelo težko izvedljiv – zanesljivost sistema pa primerno vprašljiva. Taka postaja ne nudi prave rešitve.

Dobra lastnost postaje je njena cena (okoli 110€). Slednje za seboj potegne precej nevšečnosti. Nekaj jih je bilo naštetih zgoraj, nekaj jih še ostaja, vendar za našo problemsko domeno niso pomembne.



Slika 12: La Crosse WS-2300



Slika 14: Oregon Scientific WMR968



Slika 13: Davis Vantage Pro 2

2.4.2 Oregon Scientific WMR968

Ta vremenska postaja (Slika 14) je, v primerjavi s prejšnjo, precejšen korak naprej. Njena cena se giblje od 200€ naprej, odvisno od prodajalca. Ponaša se z enakim številom senzorjev, kot pred tem predstavljena postaja, s to razliko, da je kvaliteta izdelave na precej višjem nivoju. Izpostavimo prednosti:

- vsak zunanji senzor ima svoj vir napajanja – solarno enoto, ki je ob enem tudi oddajnik signala. To omogoča neodvisno postavitvev in odpravo težav z menjavo baterij na težko dostopnih mestih.
- večji domet brezžične povezave. Ta znaša po podatkih proizvajalca do 100 metrov na odprtem prostoru, brez ovir. Če to ni dovolj, lahko razdalje povečamo s pomočjo obnavljalnika (angl. Repeater).
- uporabniki [1] imajo veliko manj okvar, ki bi bile posledica slabe izdelave

Razlog, zaradi katerega bi bila postaja zanimiva v okviru diplomske naloge, je ta, da omogoča dodajanje senzorjev, med drugim tudi temperaturnih.

Sprejemna enota ima na voljo sedem kanalov za priklop senzorjev. Pri nakupu postaje so vključeni: senzor za temperaturo/vlago, veter, padavine. V tem primeru ostanejo prosti še štirje kanali. Na njih lahko preko brezžične povezave povežemo dodatne senzorje. Za nas so zanimivi temperaturni. Okvirna cena enega senzorja, skupaj s sončnimi celicami, je 40 evrov.

Sedaj naredimo izračun. Če bi dodali 4 dodatne temperaturne senzorje, bi imeli skupaj 5 senzorjev. Zaradi pričakovanega razgibanega terena in dokaj veliki razdalji (100 metrov in več, fizične pregrade) bi potrebovali vsaj en ojačevalec dometa brezžičnega signala. Njegova okvirna cena je 70 evrov. Skupna cena za postajo, 4 dodatne senzorje in ojačevalec dometa brezžičnega signala, bi okvirno znašala 430 evrov, bolj verjetno pa nekaj več. S takim sistemom bi imeli dokaj gosto mrežo senzorjev.

Namesto senzorjev za dež in veter bi lahko namestili še 2 dodatna senzorja za temperaturo. V takem primeru bi bila cena celotnega sistema 490 evrov. Mreža senzorjev, s sedmimi senzorji, bi bila temu primerno bolj gosta in meritve natančnejše.

Vidimo, da bi lahko z uporabo te postaje naredili sistem z dokaj gosto mrežo senzorjev in visoko stopnjo mobilnosti. Ob tem je potrebno upoštevati, da je ob nakupu dodana le osnovna programska oprema.

2.4.3 Davis Vantage Pro 2

Pregled vremenskih postaj bomo zaključili pri napravi (Slika 13), ki je v primerjavi s prvima dvema še bolj izpopolnjena, kvalitetna in vedno bolj zaželena med uporabniki [1] v Sloveniji. Ker kvaliteta ni zastoj, je temu primerna tudi njena cena. Preko raznih zastopnikov v tujini je dostopna po ceni nad 600 evrov. V Sloveniji je pod 1000 evri praktično nedosegljiva. Kljub njeni visoki ceni, se v Sloveniji zanjo odloča vedno več uporabnikov, ki raje vložijo denar v napravo, ki jih ne bo pustila na cedilu vsaj nekaj let, kot v pred tem omenjene naprave.

Zgornji dve postaji prekaša praktično v vseh pogledih. Kvaliteta izdelave je na zelo visokem

nivoju, senzorji so bolj natančni. Če se odločimo za nakup brezžične naprave, ne bomo imeli težav s postavitvijo, saj po podatkih proizvajalca ponuja doomet do 300 metrov. Ta preverjeno deluje odlično. V primeru, da signal ne bi bil dovolj močan, lahko vključimo v sistem ojačevalnik brezžičnega signala.

Poleg standardnih, lahko dokupimo še druge senzorje, kot so: UV senzor, senzor za merjenje dolžine in moči sončnega obsevanja, merilec slanosti, itd.

V osnovni izvedenki je priložen še zaklon sončnega obsevanja, ki ga prvi dve postaji ne vsebujeta. Ta poskrbi za podobno natančne meritve, kot so pri vremenskih hiškah, katerih cena presega 1000 evrov. Za naš sistem, ki bo deloval v senčnih predelih, je ta prednost v končni fazi zanemarljiva.

Naprava omogoča sprejem osmih dodatnih senzorjev. Da bi lažje primerjali to in predhodno postajo, jih bomo vzeli enako število le teh – 6. Cena posameznega je okoli 170 evrov. Minimalna cena postaje in šest dodatnih senzorjev bi tako znašala 1600 evrov. To je kljub veliki mobilnosti in zanesljivosti odločno previsoka cena za sistem, da bi ga uporabili v naši rešitvi.

2.5 Industrijski kontrolni sistemi

Zaradi kompleksnosti današnjih industrijskih procesov, so bile razvite različne metode za čim lažje pridobivanje, obdelovanje, analiziranje podatkov in na podlagi teh ugotovitev, sprejemanje odločitev. Odločitve lahko sprejema sistem ali človek (skupina ljudi) – odvisno od sistema. Tipično se uporabljajo v električni, naftni industriji, sistemih, kjer je glavni medij voda (elektrarne, zapornice na rekah in prekopih, oskrba s pitno vodo, itd.) in seveda elektronskih sistemih - npr. računalniška omrežja.

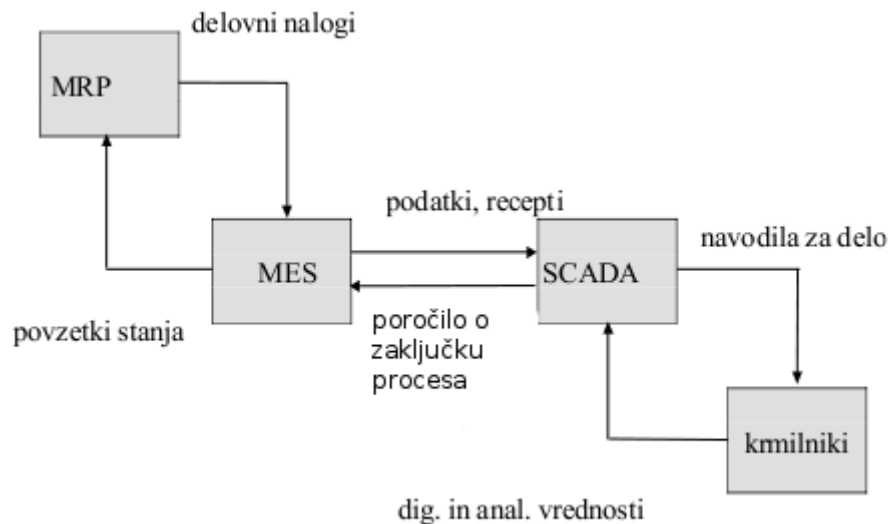
2.5.1 Računalniško podprta proizvodnja

Ker bomo v nadaljevanju opisali sistem SCADA[7], je prav, da omenimo celoten sistem, del katerega je pogosto omenjeni sistem. Gre za sistem CIM [8], ki je najmodnejši model v vodenju proizvodnje. Njegov koncept se dandanes uporablja v vseh razvitih industrijskih panogah. V osnovi predstavlja vodenje proizvodnih procesov s pomočjo računalniške opreme. Razdeljen je na štiri plasti: MRP, MES, SCADA, PLC.

MRP sistemi predstavljajo vrh celotnega CIM modela (Slika 15). Vodi odločanje o vseh funkcijah proizvodnje glede na podatke iz poslovnega, ki ga predstavlja sistem MES in industrijskega okolja, kjer srečamo sistem SCADA. Sistemi MRP so najkompleksnejši zgrajeni deli celotnega modela CIM, saj je njihova vloga odločanje in vodenje celotnih sistemov. Imajo nalogo priprave podatkov o teku proizvodnje. Na osnovi vseh razpoložljivih podatkov tvorijo t.i. delovne naloge, ki se nato prenesejo v MES in dalje v proizvodnjo. Povratne informacije so povzetki stanj, ki služijo za analizo celotnega procesa. Omogočajo vodenje celotne proizvodnje v zaključeni celoti, ki predstavlja tovarno ali obrat.

Nadzorne sisteme in sistem SCADA bomo podrobneje spoznali v naslednjih točkah. Med MRP in SCADA je še ena plast – sistem MES [8]. Sistemi MES tvorijo most med

proizvodnim okoljem in poslovnim svetom. Ta povezava poteka preko računalniških sistemov. SCADA upravlja vse informacije o stanju proizvodnje, MES pa vse informacije iz poslovnega vidika proizvodnje. Sistem MES sporoča procesna navodila za proizvodnjo, sekvenčne ukaze in najrazličnejše recepture, ki so potrebne za proizvodnjo. Iz sistema SCADA prihajajo poročila o zaključku proizvodnje z vsemi potrebnimi podatki. Moderna računalniška tehnika omogoča popolnoma avtomatiziran prenos podatkov po računalniških omrežjih tako, da so podatki vedno na voljo.



Slika 15: CIM - računalniško podprta proizvodnja

2.5.2 Delitev sistemov za nadzor v tri skupine:

- a) sistem za nadzor, krmiljenje in zajem podatkov (SCADA)
 - je bil razvit za porazdeljene sisteme, kot so plinovodi, vodovodi, itd., ki so med seboj povezani preko potencialno nezanesljivih in počasnih povezav.
 - ponavadi vsebujejo lokalne podsisteme, z omejenimi možnostmi upravljanja, ki so potem povezani v osrednji nadzorni center.
 - ta sistem bomo podrobneje spoznali kasneje
- b) porazdeljen nadzorni sistem (DCS)
 - združuje module, ki pridobivajo podatke o nekem procesu in so lahko geografsko močno porazdeljeni. Ločimo vhodne module, ki pošiljajo podatke v procesor in izhodne module, ki dobivajo podatke iz procesorja. Tretji del je uporabniški vmesnik.
 - uporabljajo se v neprekinjenih industrijskih procesih (naftna industrija, farmacija, proizvodnja električne energije, prehrabeni obrati, itd)
 - razlika s sistemom SCADA je v tem, da SCADA ne nadzoruje procesa v realnem času, temveč koordinira akcije v sistemu. Pogosto je razlika med njima zelo

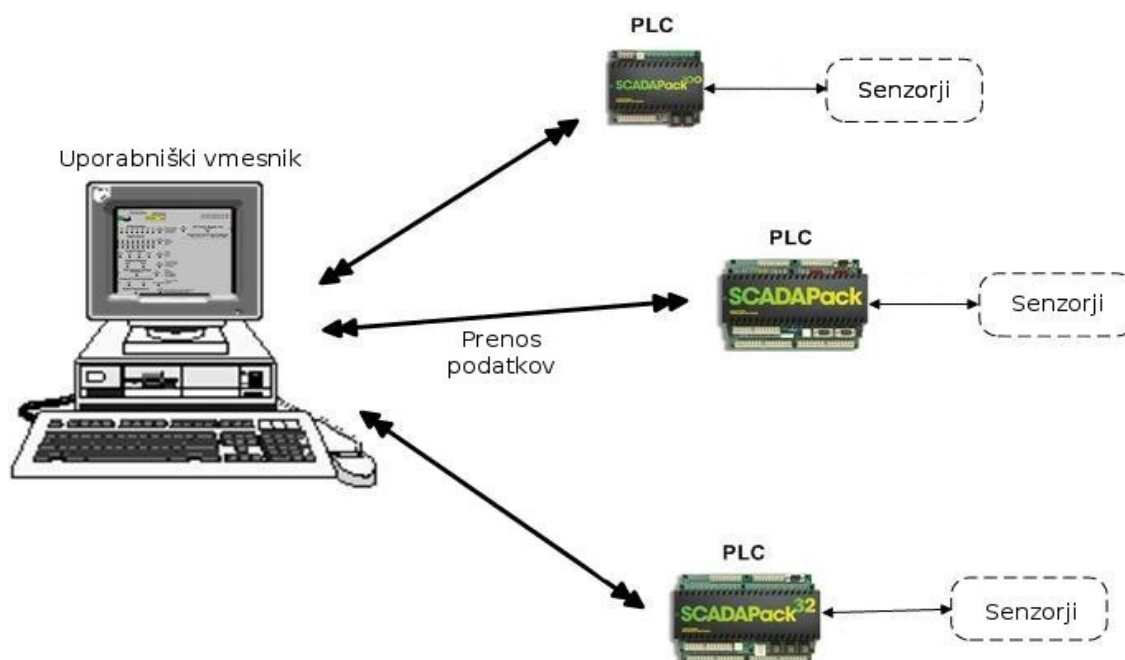
zamegljena, ki bo mogoče v prihodnosti odstranjena.

- c) programirljiv logični krmilnik (PLC)
- računalniki, ki nadzorujejo industrijsko opremo in procese. V primerjavi z navadnimi računalniki, je razlika v tem, da imajo veliko več vhodnih in izhodnih enot.
 - uporabljajo se v večini industrijskih procesov in so pogosto del sistemov SCADA ali DCS. Samostojno se uporabljajo pri manjših sistemih.
 - so sistemi v realnem času. Izhod mora biti ustrezen odziv na vhod in izstavljen do določenega časovnega roka.
 - omogočati morajo 100% zanesljivost delovanja, saj so krmilniki najnižji člen odločanja celotnega sistema

2.5.3 Sistem za nadzor, krmiljenje in zajem podatkov (SCADA)

Ponavadi jih srečujemo kot sisteme za nadzor proizvodnih procesov. Sistemi SCADA [7,8] nadzorujejo delovanje krmilnih enot in preko tega nadzora vplivajo na proizvodni proces. Naloga SCADA sistemov je nadzor, spremljava in vodenje proizvodnje. Omogočajo veliko odprtost sistema, saj se lahko podatki zajemajo iz različnih virov, ustrezno obdelajo. Procesni so lahko:

- a) industrijski: proizvodni proces (avtomobilska proizvodnja), pridobivanje nečesa (premog), pridobivanje energije (elektrarne), itd. Za vse naštetе procese velja ena ali več naslednjih lastnosti: neprekinjeni, paketni, ponavljajoči, itd..
- b) procesi povezani z nadzorom infrastrukture, ki so lahko javni ali zasebni: zagotavljanje pitne vode (vodovodi), sistem odvajanja in prečiščevanja odpadnih voda, distribucija električne energije (Elektro Slovenije), razni opozorilni sistemi (na primer: opozorilni sistem pred plazom, ki je bil postavljen nad Logom pod Mangartom) in veliki komunikacijski sistemi (telefonsko omrežje Telekom Slovenije).
- c) procesi omejeni na velike objekte, kot so letališča, ladje, vesoljske postaje. Nadzorujejo vse procese kot so prezračevanje, zagotavljanje električne energije, ogrevanje objektov, požarna varnost, itd..



Slika 16: Primer sistema SCADA druge generacije

Sistem SCADA je ponavadi sestavljen iz več podsistemov (Slika 16):

- uporabniški vmesnik preko katerega operater spremlja in nadzoruje delovanje sistema
- nadzorni podsistem, ki na podlagi pridobljenih podatkov o procesih sistema, izvršuje potrebne ukaze za pravilno delovanje celotnega sistema
- oddaljenih terminalov (RTUs), ki iz senzorjev pridobljene podatke pretvarjajo v digitalno obliko, in nato pošiljajo sistemu za nadzor
- programirljivih logičnih krmilnikov (PLCs), katerih značilnost je, da so fleksibilnejši, prilagodljivi, bolj vsestranski in ekonomični od specializiranih oddaljenih terminalov
- komunikacijskega podsistema, ki povezuje nadzorni sistem z oddaljenimi terminali

Pod imenom SCADA si ponavadi predstavljamo centraliziran sistem, ki spremlja in nadzoruje bolj ali manj kompleksne sisteme, porazdeljene po velikem območju. Večino akcij se izvede avtomatično preko oddaljenih terminalov, lahko pa direktno preko programirljivih logičnih krmilnikov. Ti imajo navadno omejene pravice akcij. Najbolje, da demonstriramo na primeru: eden od PLC nadzira pretok vode za hlajenje v proizvodnem procesu. SCADA mu določi pravico spreminjanja pretoka; v primeru previsoke temperature naj javi alarm. Povratni podatki se prenašajo preko PLC ali RTU, medtem ko SCADA nadzoruje celoten sistem. Ti so potem prikazani na uporabniškem vmesniku v nadzorni sobi, kjer operater nadzoruje delovanje. Ponavadi se podatki tudi skladiščijo za analizo in napovedovanje delovanja sistema v prihodnosti. V bazi so shranjeni v obliki parov podatkov – časovni zaznamek. Pogosto se zraven shranjujejo še razni metapodatki (podatki o poti do naprave, informacije o alarmih).

Uporabniški vmesnik pri teh sistemih služi za to, da lahko operater nadzoruje dogajanje v določenem procesu. Podatki, kot so trenutno stanje, trendi, shema sistema, se ponavadi najprej zapišejo v podatkovno bazo, nato pa se s preko priložene programske opreme

prikažejo na uporabniškem vmesniku. Gre za grafične prikaze, razne tabele in diagrame. Tipično za prikaze je, da lahko uporabnik poljubno spreminja podrobnosti prikaza podatkov. Tako lahko spremlja sistem kot celoto, ali delovanje le določenega, majhnega dela, na primer RTU enote.

Pomemben del vsakega SCADA sistema so alarmi. Gre za zastavico, ki ima lahko vrednost „normal“ ali „alarm“. Sprožijo se takrat, kadar so doseženi vnaprej določeni pogoji. Primer takega alarma bi bila opozorilna luč pri avtomobilu, ko je nivo goriva dovolj nizek. Pogosto se poleg vnaprej določenih mestih, opozorila javijo tudi preko elektronske pošte in kratkih sporočil.

Pomemben del, ki spada pod uporabniški vmesnik, je ekspertni sistem za pomoč. S pomočjo tega dela operater dobi dodatna navodila v primeru, če v dani situaciji potrebuje pomoč.

Sistemi SCADA imajo pogosto porazdeljen kontrolni sistem. Med drugim so sestavljeni iz pametnih RTU in PLC naprav, ki lahko samostojno izvajajo določene akcije, ne da bi pri tem potrebovali dovoljenje višjega nivoja sistema. Za programiranje le teh, se uporablja bločni programski jezik, ki temelji na odprtem standardu IEC 61131-3 [9]. Dobra lastnost je, da programerji teh naprav, v primerjavi s programskim jezikom C ali Fortranom, potrebujejo veliko manj časa, da se naučijo programiranja naprav. Pogosta je uporaba programirljivega krmilnika za avtomatizacijo (PAC). Ta združuje dobre lastnosti in sposobnosti kontrolnega sistema, ki temelji na osebnem računalniku in PLC. Tako zagotavlja zanesljivost PLC in fleksibilnost, računska moč, ki jo nudi računalnik.

Pod nadzorno enoto prištevamo strežnike in programsko opremo, ki skrbi za komunikacijo med RTU, PLC, itd. in enoto, ki nudi programski vmesnik. V primeru manjših sistemov gre samo za en računalnik, ki poskrbi za vse. Kadar imamo opravka z večjimi sistemi, potem je sestavljena iz več strežnikov, porazdeljene programske opreme in sisteme za ukrepanje po neljubem dogodku, kot so vdori, izpad napajanja, nesreče. V nekaterih primerih je cena izpada sistema tako visoka, da moramo uporabiti dodatne ukrepe. Poleg zaščite pred zunanjimi vplivi, kot je nihanje temperature, vibracije, nihanje električne napetosti, se je potrebno zaščititi tudi pred nepredvidljivimi dogodki, na primer naravne nesreče, vojne. V takih primerih se uporabi pristop podvajanja komunikacijskih poti in uporaba več kontrolnih centrov, ki so geografsko ločeni med seboj. Značilnost tega pristopa je, da kljub padcu enega od centrov, proces nedotaknjeno teče naprej.

Za komunikacijo znotraj sistema se tradicionalno uporabljajo kombinacije brezžičnega in žičnega povezovanja. Poleg intraneta, se pri sistemih z velikimi razdaljami med posameznimi enotami, uporablja tudi internetne povezave (primer je železniško omrežje). Protokoli za komuniciranje znotraj sistema so zelo kompaktni, kar pogosto pomeni, da oddaljene naprave pošiljajo podatke nadzornemu sistemu le v primeru, da jih ta želi. S tem se zniža količina prometa. V ta namen je bilo razvitih nekaj protokolov [7], ki se pogosto uporabljajo.



Slika 17: Primer sistema SCADA tretje generacije

Razvoj sistema SCADA je potekal preko treh generacij:

- a) Prva generacija, t.i. Monolitska (angl. Monolithic)
 - razvita v času superračunalnikov
 - računalniška omrežja še niso obstajala
 - sistemi so bili neodvisni med seboj
 - uporabljeno je bilo varnostno kopiranje. Shranjevanje je potekalo na drugem računalniku, ki je bil z glavnim povezan preko vodil.
- b) Druga generacija, t.i. Porazdeljena (angl. Distributed)
 - delo je bilo porazdeljeno preko več postaj, ki so bile med seboj povezane preko lokalnega omrežja
 - informacije med njimi so se prenašale v realnem času
 - vsaka postaja je bila zadolžena za točno določeno nalogo, kar je te sisteme, v primerjavi s prejšnjo generacijo, pocenilo
 - mrežni protokoli niso bili standardizirani, kar je povzročalo specifične težave zaradi vdorov v sistem
- c) Tretja generacija, t.i. Mrežna (angl. Networked) (Slika 17)
 - zadnja verzija sistemov
 - večinoma uporabljajo odprto arhitekturo sistema
 - podatki se prenašajo preko internetnih povezav
 - ker je arhitektura sistema odprta, je dodajanje novih naprav (tiskalnik, disk, itd.) lažje, saj so protokoli javno dostopni
 - za prenos podatkov med nadzorno enoto in komunikacijsko opremo se uporablja

protokol IP

- ker sistem deluje preko interneta, je zaradi tega bolj ranljiv s strani spletnih napadalcev. Po drugi strani pa je uporaba standardnih protokolov in varnostnih tehnik prednost, ker so pod stalnim nadzorom. Posledično je, primeru odkrite luknje (ni rečeno, da na našem sistemu), napaka hitro odpravljena.

Zaradi težav, ki so jih prinašale omejitve zaprtih sistemov, se je trend sistemov SCADA v sredini devetdesetih let prejšnjega stoletja obrnil proti odprtim sistemom. To so sistemi, ki uporabljajo odprte komunikacijske protokole. Posledica je, da ima stranka na izbiro komponente več proizvajalcev in ne samo enega, kot se je dogajalo v preteklosti. Leta 2000 je večina ponudnikov opreme podpirala odprte protokole. Tako so proizvajalci v svoje produkte uvedli podporo in standardnim mrežnim protokolom, kar je postalo standard v SCADA sistemih.

Nekateri proizvajalci so naredili korak več. Specifično programsko opremo gostijo kar na svojih strežnikih, do katerih stranka dostopa preko interneta. S tem je odpravljena potreba po nameščanju sistema pri naročniku.

Posledica prevzemanja odprtih standardov in predvsem uporaba internetnih tehnologij ima poleg pozitivnih tudi negativne lastnosti – varnostne težave, saj so sistemi ranljivi s strani internetnih napadalcev. Strokovnjaki za varnost so zaskrbljeni predvsem glede naslednjih točk:

- pomanjkanje pozornosti razvijalcev sistemov SCADA varnosti
- prepričanje, da so sistemi SCADA manj ranljivi zaradi uporabe specifičnih protokolov
- sistemi SCADA so varni, ker imajo dodatno fizično zaščito
- varni zato, ker so domnevno brez internetne povezave

Pomen varnosti teh sistemov je posebej velik takrat, kadar bi bilo zaradi varnostnih težav ogroženih veliko ljudi. Primer je izpad električne energije ali ukaz za nenadno odprtje zapornic na hidroelektrarni. Ločimo dve nevarnosti. Prva je nepooblaščen dostop fizične osebe ali virusa do kontrolnega središča. Druga je dostop do mrežnih segmentov preko mrežnih paketov. Zato so bili v zadnjih letih razviti specifični industrijski požarni zidovi za sisteme SCADA, ki temeljijo na TCP/IP protokolu. Sprejeti so bili tudi standardi za varnost, ki naj bi prešli v uporabo leta 2011.

2.6 Izdelava umetnega snega

Izdelavo umetnega snega si lahko poenostavljeno predstavljamo kot potiskanje vode in zraka, ki sta pod visokim pritiskom, skozi majhne odprtine – šobe, ob primerni temperaturi, ki omogoča zmrzovanje vode. Ta proces izkoriščajo snežni topovi in snežne žirafe. Večinoma jih uporabljajo na smučiščih, v zadnjem času pa tudi na skakalnicah, saj želijo imeti dobre snežne pogoje preko cele zimske sezone. Pri izdelavi snega ima odločilno vlogo temperatura. Poleg tega ne smemo zanemariti zračnega tlaka, tlaka in temperature procesne vode in predvsem

vlage.

Pri procesu izdelave snega [10] je pomembna kvaliteta nastalega snega, ki je odvisna od velikega števila dejavnikov, zato gre za neke vrste umetnost. Razpon seže od suhega do mokrega snega, odvisno od terena, kjer bo sneg uporabljen. Prav tako lahko potrebujemo določeno količino mokrega snega za podlago (na primer na skakalnici), preko katere izdelamo še plast suhega snega.

Celoten sistem zasneževanja (Slika 18) je dokaj komplicirana celota. Omenimo le nekaj glavnih sestavnih delov, brez podrobnosti. Prvi sestavni del je vodni vir, ki je ponavadi reka, ali neko drugo zajetje. Voda se nato potiska preko vodnega omrežja na smučišču s pomočjo močnih črpalnih enot. Naslednji korak je dodajanje procesnega zraka v sistem. To se pogosto dogaja v prostorih z zračnimi kompresorji, ki dosegajo velikosti tovarnjakov.

Sistemi za izdelovanje snega poskušajo posnemati naravni proces nastajanja snežnega kristala. Kristal postopoma nastane iz vodne pare, ki pri temperaturi nižji od 0°C , ob združevanju posameznih molekul vode, spremeni agregatno stanje iz tekočega v trdno. Temu procesu pravimo homogena nukleacija. Če so v vodi prisotne nečistoče, potem procesu nastajanja kristala pravimo heterogena nukleacija. Zanj velja, da lahko voda spremeni stanje pri višji temperaturi od 0°C . Iz zapisanega sledi, da točki, kjer voda spremeni agregatno stanje iz tekočega v trdno, pravimo nukleacijska temperatura.



Slika 18: Shema sistema zasneževanja [11]

Poznamo tri sisteme za izdelovanje snega:

- a) Sistem z notranjim mešanjem:
 - stisnjen zrak in voda se mešata v notranjosti šobe, ki je del snežne pištole
 - ko mešanica zapusti šobo, se razširi in s tem ohladi (pod 0°C) majhne vodne

kapljice zmrznejo v snežne kristale, ki postanejo nukleacijska jedra, ki se združijo z drugimi. Posledično nastanejo večje strukture.

- b) Sistem z zunanjim mešanjem:
 - do mešanja zraka in vode pride izven snežne pištole
 - stisnjen zrak po izhodu iz šobe zadane in ohladi posamezne kapljice vode, ki služijo kot nukleacijska jedra kasneje v procesu
 - izstreljena voda in zrak imata ob izhodu manjšo hitrost kot pri prejšnjem sistemu
 - zaradi tega morajo biti šobe locirane dovolj visoko od tal, da imajo kapljice vode dovolj časa za zmrzovanje
- c) Sistem z ventilatorjem:
 - uporablja ventilator, ki da delcem dovolj visoko hitrost, da imajo dovolj časa za zmrzovanje
 - prejšnja značilnost eliminira potrebo po stisnjenem zraku za ohlajanje delcev, kar pa še ne pomeni, da ga ne potrebuje
 - tipičen primer so propellerski snežni topovi

Prva dva sistema ne potrebujeta dodatnega električnega napajanja za svoje delovanje. Dovolj energije zagotavljajo vodne črpalke in kompresorji na oddaljenem mestu. Nasprotno velja za sistem z ventilatorjem, saj potrebuje električno energijo za poganjanje ventilatorja in kompresorja zraka. Prvi in tretji sistem omogočata večji temperaturni razpon, pri katerem lahko izdelujeta sneg, zaradi stisnjenega zraka in/ali ventilatorja. Dobra lastnost sistemov z zunanjim mešanjem je nizka poraba energije, vendar ima tudi precej ožji temperaturni razpon.

2.6.1 Temperatura vlažnega/suhega termometra

Temperatura suhega termometra je temperatura okolice. Vlaga je količina vodne pare v atmosferi, ki ima pomembno vlogo pri umetnem zasneževanju. Večja kot je vlaga, manj nukleacijskih jeder bo nastalo. Voda se v procesu izdelovanja snega ohlaja tako, da oddaja energijo z izhlapevanjem. Iz tega sledi, da višja vlaga pomeni počasnejše ohlajanje vode. Zaradi omenjenih fizikalnih zakonitostih, želimo imeti čim nižjo temperaturo in čim bolj suh zrak.

Temperatura vlažnega termometra (Slika 18) povezuje zunanjo temperaturo, oziroma temperaturo okolice z vlago. Ko voda vstopa v napravo za izdelavo snega, ima tipično temperaturo med 2 in 12°C. Potem, ko kapljice zapustijo šobo, se, s pomočjo širjenja in izhlapevanja, ohladijo. Najnižja temperatura, katero kapljice dosežejo, je temperatura mokrega termometra. Ta temperatura je pri izdelavi snega, zaradi prej opisanih fizikalnih procesov, postala standard pri izdelavi snega. Do sedaj ni nikomur, brez dodajanja raznih dodatkov vodi, uspelo začeti izdelovati sneg pri višji temperaturi vlažnega termometra od -2.3°C.

Primer: V Ameriki je bila leta 1999 izvedena študija [10] vpliva temperature na izdelavo umetnega snega. Izvedli so naslednji poskus: v osmih primerih so sneg delali pri temperaturi suhega termometra, višji od 0°C; v sedmih pa nižji od 0°C. V primerih, ko je bila temperatura višja od 0°C so pridelali 17 % snega, vsega ostalega pa pri nižji temperaturi. Iz tega sledi, da se stroškovno ne izplača izdelovanje snega pri temperaturi mokrega termometra, višji od 0°C.

Vlaga / temp C	10.00 %	20.00 %	30.00 %	40.00 %	50.00 %	60.00 %	70.00 %	80.00 %	90.00 %	100.00 %
-9°C	-12	-12	-12	-12	-11	-11	-11	-10	-10	-9
-8°C	-12	-11	-11	-11	-10	-10	-9	-9	-9	-8
-7°C	-10	-10	-9	-9	-9	-8	-8	-7	-7	-7
-6°C	-10	-9	-9	-8	-8	-8	-7	-7	-7	-6
-5°C	-9	-8	-8	-8	-7	-7	-6	-6	-6	-5
-4°C	-8	-8	-8	-7	-7	-6	-6	-6	-5	-4
-3°C	-7	-7	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3
-2°C	-7	-7	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2
-1°C	-6	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1
0°C	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0
1°C	-5	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1
2°C	-4	-3	-2	-2	-1	-1	1	1	2	2
3°C	-3	-3	-2	-1	-1	0	1	2	2	3
4°C	-2	-1	-1	0	1	2	2	3	4	4
Dobra kvaliteta snega			Slaba kvaliteta snega				Izdelava snega ni mogoča			

Tabela 4: Temperatura vlažnega termometra v odvisnosti od vlage in temperature suhega termometra

Odčitavanje temperature vlažnega termometra se najlažje izvaja preko podanega grafičnega diagrama. Izračun preko formul je bolj zakompliciran, saj nastajajo napake. Temperatura je le aproksimirana. Koda, uporabljena v naši rešitvi, je podana v nadaljevanju.

2.6.2 Dodatki pri izdelovanju snega

Dodatki, ki zvišujejo temperaturo pri kateri kapljice zmrzujejo v kristale, so pri izdelovanju snega naravnega izvora. Ponavadi gre za bakterije. Temu pravimo heterogena nukleacija. Proces je podoben tistemu v oblaku, saj so tam prav tako prisotne nečistoče, ki spodbujajo kondenzacijo. Z večjim številom nukleatorjev izboljšamo izrabo vode (Ker kapljice hitreje zmrzujejo v kristale, jih manjše število nezmrznjenih pade na tla. Posledično je tudi boljša kvaliteta snega – bolj kot je sneg suh, boljša je kvaliteta in obratno: bolj kot je sneg moker, slabša je njegova kvaliteta). V praksi se dodatke uporablja redko, saj zelo podraži že tako visoko ceno zasneževanja.

2.6.3 Sistemi za hlajenje vode

Njihov namen je znižati temperaturo vode, ki vstopa v naprave za izdelovanje snega. Nižja temperatura vode pomeni njeno manjšo izgubo pri izhlapevanju. Posledica je boljši izkoristek v procesu izdelave snega. Nižja kot je temperatura vode, manj energije je potrebno odvesti, da kapljice zmrznejo v kristale. Posledica vsega naštetega je, da je kvaliteta snega, pri isti zunanji temperaturi, višja. V praksi se pojavljata dva različna načina hlajenja vode. Prvi je tak, da je voda shranjena v velikem bazenu. Zaželeno je, da je na čim višji točki smučišča, ker tako prispeva k višjemu tlaku vode. Ta sistem je cenejši. Drugi način je hladilni stolp, katerega pozitivna lastnost je ta, da hitreje ohladi vodo. Pozitivna posledica je, da je zasneževanje možno prej, kot pri prejšnjem sistemu, ali načinu brez hlajenja vode.

2.6.4 Sistem za avtomatski nadzor zasneževanja

Zvišuje izkoristek sistema za zasneževanje in povečuje prilagodljivost sistema. Ob podatkih s senzorjev, proces izdelave snega, prilagodijo vremenskim razmeram s pomočjo programske opreme. Tako znižamo tudi obratovalne stroške. Primer je, ko zaradi višjih temperatur naprave za izdelovanje snega potrebujejo manj vode. Takrat črpalni sistemi iz zajetij ali bazenov delujejo z manjšo močjo. Razmere na različnih delih smučišča se lahko zelo hitro spreminjajo. Če ne bi imeli avtomatiziranega sistema, potem bi potrebovali veliko več zaposlenih. Poleg tega bi bil izkoristek precej manjši.

Za sisteme z notranjim mešanjem se izkoristek poveča za 30 do 50 % ob uporabi avtomatskega nadzora. Pri sistemih z zunanjim mešanjem je prihranek manjši, saj zaradi narave procesa ne potrebujejo stalnega prilagajanja vremenskim razmeram.

Sistemom za avtomatski nadzor zasneževanja bi lahko rekli tudi SCADA sistemi, saj imajo veliko takih lastnosti. Med drugim zbirajo podatke o pretoku vode, temperaturi vode, pretoku zraka in zračnem pritisku. Na podlagi tega, na primer, spreminjajo moč motorjev na črpalki in s tem pretok. Poleg tega je dobra lastnost javljanje morebitnih napak v sistemu, saj ob kopici podatkov brez težav ugotovi nastalo napako.

Avtomatski sistemi poleg vsega naštetega zmanjšajo čas, potreben za ponoven zagon zasneževanja po ustavitvi. Pri ročnih sistemih znaša čas za zaustavitev od 1 do 3 ure, za ponovni zagon pa od 1 do 4 ure. Pri zasneževanju v začetku zimske sezone, so okna, ko je proces mogoč, pogosto zelo ozka – tipično od 6 do 8 ur. Tukaj prednost avtomatskega sistema še toliko bolj pride do izraza, saj je izklop in ponoven zagon možno izvesti v časovni rezini dolgi do 15 minut.

Na koncu omenimo še poročila, ki jih sistem opravi po določenem obdobju. V njih so podatki o porabi električne energije, vode, količini izdelanega snega in izkoriščenosti. Na podlagi takih poročil lahko naredimo natančno analizo delovanja sistema in načrt zasneževanja v prihodnosti, da bi dosegli še boljše rezultate.

Poglavje 3

Problemska domena

3.1 Opis problema

Kot smo videli v prejšnjih poglavjih, obstaja precej možnih rešitev glede zajemanja temperatur, obdelave podatkov in kasnejšega ukrepanja. Spoznali smo cenejše naprave, ki imajo svoje pozitivne in negativne lastnosti. Poleg njih smo spoznali dražje, ki so boljše, vendar je ravno njihova cena omejitev. Poleg tega nimamo specializirane programske opreme. Pri sistemih za zasneževanje smo videli, da obstaja namenska programska oprema, ki odlično služi namenu. Poleg tega je lahko proces izdelave snega pretežno avtomatiziran. Zakaj se potem ne bi odločili za tak sistem? Problem je visoka cena, ki jo zahteva popolna avtomatizacija. Pri manjših nordijskih centrih se pojavi vprašanje smiselnosti take naložbe, saj so prihodki primerni velikosti centra. Poleg tega je območje, ki ga želimo zasnežiti, proporcionalno manjše. Zaradi tega ne potrebujemo tako izpopolnjenega sistema, kot ga premore marsikatero smučišče v Sloveniji, predvsem pa v tujini.

Naš namen je torej izdelati sistem za čim nižjo ceno, ki naj bo kolikor toliko robusten. Želimo imeti natančne meritve temperature na različnih višinah skakalnice. Značilnost smučarskih skakalnic je, da se zaradi velikih naklonov višina hitro spreminja. Poleg tega želimo, da sistem opravlja določene odločitve namesto nas. Izvedba akcij naj ne bo avtomatizirana, ker nimamo na voljo naprav za zasneževanje, ki omogočajo avtomatski vklop in izklop. Sistem naj le prikaže primernost akcije, ki jo potem izvede operater. Aplikacija naj teče na strežniku, ki poleg tega zagotavlja spletni uporabniški vmesnik.

3.2 Glavne zahteve

Iz zgoraj naštetih problemov in zahtev lahko naredimo krajši povzetek:

- meritve temperatur na različnih višinah pobočja

- shranjevanje podatkov in določanje akcij na njihovi podlagi
- internetni grafični vmesnik: navadna spletna stran in stran prilagojena manjšim napravam (mobilni telefoni)
- nižja cena v primerjavi s podobnimi sistemi

3.3 Razvoj sistema – začetki

Razvoj se je pravzaprav začel že nekaj let pred diplomsko nalogo s spoznavanjem zakonitosti meritev vremenskih pojavov in ugotavljanjem primernosti vremenskih inštrumentov. Prva pomembna ugotovitev je bila, da je pogosto pomembnejša pravilna postavitve inštrumentov, kot pa njihova cena. Kot primer naj navedem uporabo senzorja Dallas DS18S20 (senzor, ki je uporabljen v sistemu). Glede na njegovo ceno (3€), bi sklepali, da je kvaliteta meritev izvedenih s pomočjo tega senzorja slaba. Proizvajalec zagotavlja napako meritev znotraj meje $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Torej je ta napaka podobna kot pri dražjih vremenskih postajah. Seveda upoštevamo samo digitalne termometre in ne analognih, ki so praviloma natančnejši, vendar jih ne moremo uporabljati. Senzor je bil postavljen na severno stran objekta, kjer naj ne bi bilo velike osončenosti in podatki posledično zadovoljivo točni. Toda, na moje presenečenje, so bile izmerjene vrednosti podnevi in prav tako ponoči daleč od pričakovanih, kaj šele pravilne. V čem je težava? Izkaže se, da je težava v nepravilni postavitvi senzorja. Negativni vplivi na (ne)pravilnost meritev:

- bližina betonske stene, ki podnevi oddaja hlad, ponoči pa akumulirano toploto
- odbijanje svetlobe od drugih objektov: kljub temu, da sonce ne posije direktno na senzor, so izmerjene dnevne vrednosti previsoke. Vzrok je indirektno sevanje.
- zaklon iz neprimernih materialov. Najprimerneje je, če je iz posebne umetne mase in pravilne oblike (Slika 20) ali vremenska hišica (Slika 19). V večini drugih primerov meritve niso točne.
- neprimerna oddaljenost od tal. Standardna višina je 2 metra.
- specifična oblika reliefa – na primer vrtače v kraškem svetu



Slika 19: Vremenska hišica



Slika 20: Zaklon

3.4 Vzpostavitev razvojnega okolja ob upoštevanju ugotovitev

Prejšnje ugotovitve so bile deloma upoštevane tudi pri našem sistemu. Deloma zato, ker je narava postavitve taka, da vseh ni potrebno upoštevati, nekatere pa so izpolnjene že same po sebi. Kršena je bila uporaba zaklona. Razlog tiči v tem, da je narava postavitve skakalnic taka, da ležijo na severni strani hriba, pogosto obkrožene z gozdom. Posledično pobočje skakalnice v zimskem času prejme malo ali nič sončnega obsevanja. Kljub temu smo uporabili preproste pokrove, bele barve, ki zadovoljivo opravljajo svojo vlogo in preprečujejo direkten dostop dežnim kapljicam.

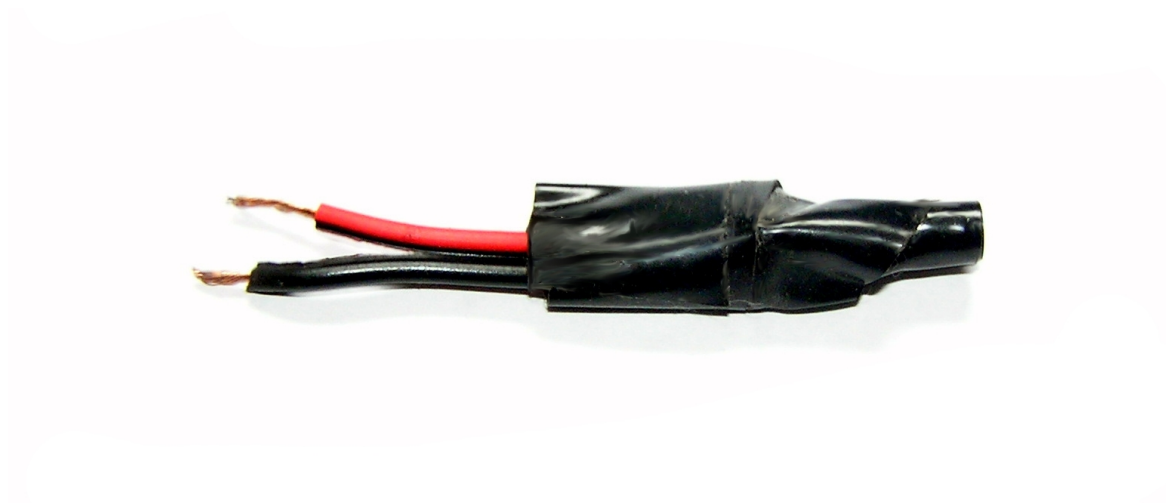
Druga kršitev je bila višina postavitve senzorjev. Morala bi biti 2 metra, vendar je le 1 meter. V našem primeru s tem ni nič narobe. Prvič, podatki niso uradnega značaja, zato ni potrebno, da so senzorji oddaljeni 2 metra od tal. Drugič, ker z vsakim senzorjem nadmorska višina hitro raste, ne pride do izraza pojav nižje temperature, pri oddaljenosti manjši od dveh metrov (na ravni tleh je blizu tal temperatura okoli 1°C nižja kot pa na višini 2 metra). Hkrati pomeni nižja višina manjšo verjetnost, da sončno obsevanje doseže površino senzorja.

V primeru večje obsevanosti, bi lahko dodali tudi zaklon sončnega obsevanja za vsak senzor. Njihova cena se giblje okoli 100€/kos. S tem neodvisnost postavitve precej poveča.

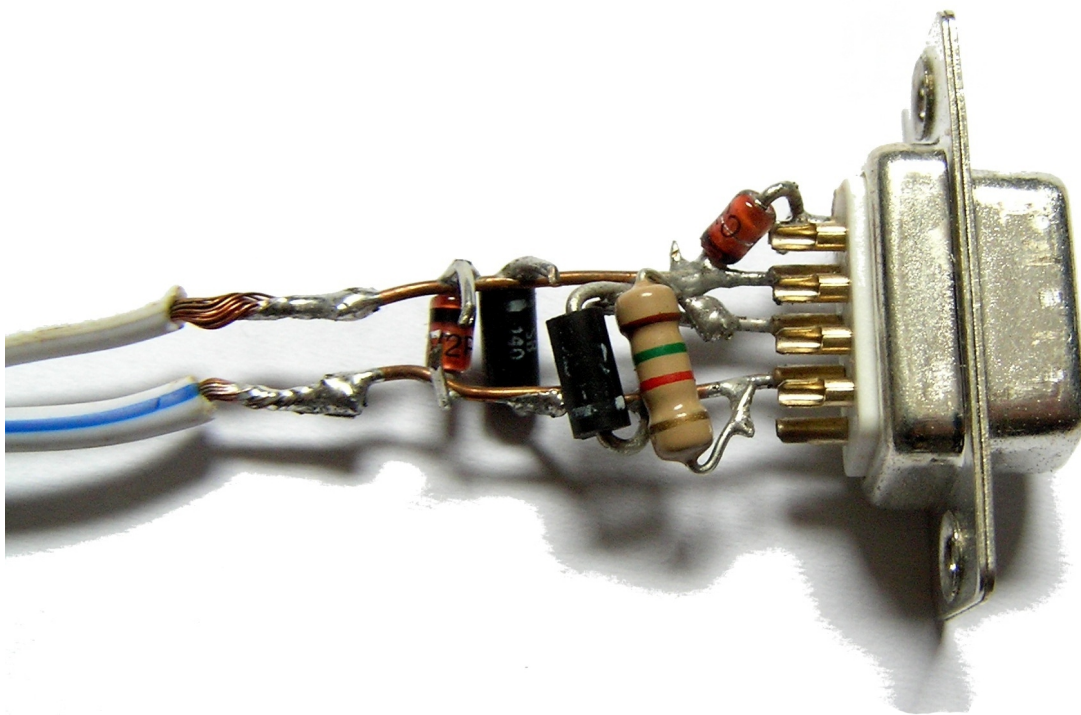
Senzorji (Slika 21) so preko kabla povezani v računalnik. V našem primeru je bil uporabljen kabel, ki vsebuje dva vodnika, ker uporabljamo zmožnost senzorjev, da delujejo v t.i. parazitskem načinu. Ta zmožnost senzorjev je opisana v prvih poglavjih. Do prvega senzorja je okoli 70 metrov kabla, nato pa je med vsakim posebej 9 metrov le tega. Ker imamo v našem razvojnem okolju 8 senzorjev, je do zadnjega skupna dolžina vodnika okoli 130 metrov. To v primeru uporabe parazitskega načina delovanja lahko pripelje do nezaželenega nezanesljivega delovanja. Kako se je izkazalo v praksi, bomo opisali pozneje. Velja omeniti, da bi s prestavitvijo računalnika lahko razdaljo do prvega senzorja precej zmanjšali. Tudi za 50 metrov. Če bi želeli uporabiti navaden način delovanja senzorjev, bi uporabili kabel s tremi vodniki. Na enega izmed njih priključili 5V napajanje.

Vmesnik (Slika 22) med kablom in računalnikom je domače izdelave po načrtu na sliki 5. Izdelava je preprosta in ne zahteva posebnega znanja iz elektrotehnike. Priključen je na serijska vrata (angl. com port). Delovanje takega vmesnika je iz lastnih izkušenj zanesljivo.

Računalnik, ki opravlja vlogo gospodarja in hkrati strežnika je starejšega letnika. Uporablja procesor Intel Celeron 700 MHz in 384 MB RAM. Za poganjanje programov, ki jih potrebujemo za delovanje sistema, ni potrebe po močnejšem stroju. Lahko bi bil tudi počasnejši. Seveda ni nič narobe, če je močnejši, saj se s tem skrajša čas, ki potreben za prikaz grafičnega vmesnika. Edini pogoj je, da ima serijska vrata, ki jih potrebujemo za priklop vmesnika.



Slika 21: Primer uporabljenega senzorja



Slika 22: Vmesnik za priklop na serijska vrata

3.5 Programska oprema

Vodilo pri izbiri programske opreme je bila zastonjska programska oprema, ki zagotavlja želene funkcionalnosti in zanesljivost. Ob tem so mi bile v pomoč izkušnje iz preteklosti.

Najprej je bila potrebna odločitev med operacijskim sistemom Windows ali Linux. Ker je naše vodilo izdelati sistem za čim nižjo ceno, je bila odločitev v korist operacijskega sistema Linux skoraj samoumevna. V prid tej odločitvi govorita vsaj dva razloga. Prvi je v tem, da je večina distribucij operacijskega sistema Linux prosto dostopnih preko interneta brez plačila. Drugi razlog je v izkušnjah, da na uporabljeni strojni opremi delujejo procesi hitreje in bolj zanesljivo pod sistemom Linux, kot pod sistemom Windows.

Izbrana je bila distribucija Debian. Če bi v prihodnosti prešli na drugo distribucijo sistema Linux, pri tem ne bi bilo težav. Zagotoviti je potrebno le vse knjižnice, ki so potrebne za delovanje sistema.

3.5.1 Digitemp

Digitemp [4] je odprto-kodni program za branje 1-wire naprav. Tipično se uporablja za branje temperaturnih senzorjev. Poleg tega podpira branje števec, vlagomera in nekaterih vmesnikov. Napisan je v programskem jeziku C, namenjen sistemom Linux. Starejše verzije so delovale tudi na operacijskih sistemih Windows. V diplomski nalogi je uporabljena verzija 3.4.0. Zadnja dostopna verzija v času pisanja je 3.6.0. Slednja verzija ni uporabljena zato, ker je bila 3.4.0 deležna predelave z moje strani v preteklosti in funkcionalno povsem zadošča diplomski nalogi.

V osnovi program implementira 1-wire protokol za zajem podatkov iz priključenih naprav. Opravlja nalogo gospodarja, senzorji (v našem primeru temperaturni) pa vlogo sužnjev. Ker je odprto-kodni, ga lahko svobodno spreminjamo. Tako je bilo tudi v našem primeru, saj mu je bilo potrebno dodati določene funkcionalnosti:

- dodana je neskončna zanka, ki po vsaki meritvi zaspi program za deset minut. S tem dosežemo meritve temperature v intervalu 10 minut za vsak senzor. Taka gostota meritev povsem zadošča, ker se temperatura zraka spreminja razmeroma počasi.
- dodana podpora za podatkovno bazo Mysql [5] pri prevajanju programa, saj prej te funkcionalnosti ni imel na razpolago
- ob vsakem zagonu programa iz tabele sensors v relacijski bazi prebere razpoložljive temperaturne senzorje, ki jih potem zapiše v konfiguracijsko datoteko
- dodana funkcija, ki ob vsaki meritvi temperature zapiše podatke v podatkovno bazo, če je senzor na voljo. Če senzor ni na voljo, se v tabelo sensors zapiše vrednost -1, drugače 0.

Program je ob priloženih navodilih preprost za uporabo. Razvijalci so se pri razvoju potrudili z dobrimi komentarji kode, zato spreminjanje in dodajanje funkcij ne predstavlja večjih težav.

3.5.2 Apache, mysql, php

Poleg prevajalnikov, ki so na sistemu Linux nameščeni avtomatsko, ali pa jih prenesemo po potrebi, so za delovanje potrebni naslednji programski paketi:

- Apache: zagotavlja spletni strežnik za spletni vmesnik naše aplikacije. Njegovo delovanje je preverjeno zanesljivo, v kar nas lahko prepriča njegova široka razširjenost med uporabniki. Na voljo je brez plačila. V času pisanja diplomske naloge je bila nameščena različica 2.2.3.
- Mysql: zagotavlja podatkovno skladišče. Podobno kot Apache je na voljo brez plačila. Nameščena verzija je bila 5.0.32.
- Mysql WorkBench: zastojnski načrtovalec podatkovne baze, ki zadostuje za naš sistem.
- PHP: široko uporabljen skriptni programski jezik, za izdelavo spletnih strani. Podobno, kot pri prejšnjih programskih paketih velja, da je široko uporabljen in prosto dostopen. Uporabljena verzija je bila 5.2.5.

3.5.3 Temperatura vlažnega termometra

Ker natančna formula za izračun temperature vlažnega termometra ne obstaja, je bila uporabljena aproksimacija. Lahko bi uporabili posebne senzorje, ki merijo ravno to vrsto temperature, vendar ta rešitev v tem primeru ni bila uporabljena, saj bi bilo potrebno veliko sprememb pri zasnovi celotnega sistema (na internetu nisem zasledil 1-wire elementa za merjenje temperature vlažnega termometra). Ob tem naj poudarim, da naša uporabljena rešitev ni nič slabša od tiste z uporabo posebnega senzorja. Primerjave vrednosti, ki jih vrne formula, so identične vrednostim na tabeli 4.

Vhodne vrednosti so naslednje:

- temperatura okolice
- zračni pritisk
- vlaga

Temperaturo okolice pridobimo iz vsakega senzorja posebej. Zračni pritisk in vlago pa iz vremenske postaje v bližini. Za ti dve vrednosti velja, da se na manjšem geografskem območju ne spreminjata veliko, zato je taka rešitev sprejemljiva. V primeru, da ta dva podatka nista na voljo, jih moramo pridobiti sami. Problem bi lahko rešili z nakupom najcenejše vremenske postaje WS-2300 [3], ki nekoliko podraži celotno rešitev. Podatek o zračnem tlaku ima majhen vpliv na izračunano temperaturo vlažnega termometra, tipično okoli desetinke stopinje Celzija, zato bi ta podatek lahko izpustili.

Psevdokoda programa za izračun temperature vlažnega termometra:

```
=====
// Ctemp je temperatura podana v stopinjah Celzija
// MBpressure je tlak podan v milibarih
// E je tlak vodne pare
procedure calcwetbulb(Ctemp,MBpressure,E)
Twguess <- 0
```

```

incr <- 10
previoussign <- 1
Edifference <- 1

while( absolute Edifference > 0.05 )
  Ewguess <- 6.112^( (17.67 * Twguess) / (Twguess + 243.5) )
  Eguess <- Ewguess - MBpressure * (Ctemp - Twguess) * 0.00066 * (1 + (0.00115 *
Twguess) )
  Edifference <- E - Eguess

  if( Edifference = 0 ) then
    break
  else
    if ( Edifference < 0 ) then
      cursign <- -1
      if ( cursign <> previoussign ) then
        previoussign <- cursign
        incr <- incr / 10
      else
        incr <- incr
    else
      cursign <- 1
      if ( cursign <> previoussign )
        previoussign = cursign
        incr <- incr / 10
      else
        incr <- incr

  Twguess <- Twguess + incr * previoussign

wetbulb <- Twguess
return wetbulb

```

3.5.4 Razvoj

Že ob zamisli sistema je bilo predvideno, da bodo podatki iz sistema predstavljeni preko internetnega grafičnega vmesnika. Razlogi so:

- operater sistema ni celoten čas prisoten na prizorišču, tako da lahko podatke spremlja od drugod
- internetne tehnologije omogočajo vse želene funkcionalnosti
- vmesnik naj bo, ob dostopu preko mobilnega telefona, prilagojen le temu

Ker se vsebine v intervalih deset minut spreminjajo, je smiselna uporaba avtomatskega osveževanja. Uporabnik ima tako podatke na voljo v realnem času. Takšno funkcionalnost

omogoča tehnologija AJAX, ki združuje skriptni jezik JavaScript in opisni jezik XML (Extensible Markup Language). Zahtevki lahko v ozadju samodejno pridobivajo aktualne podatke s strežnika in jih prikazujejo, ne da bi bilo pri tem treba prenašati celotno stran. Osnovna stran je zgrajena iz HTML-ja, oblika je določena s predlogo CSS (Cascading Style Sheets), vsa logika za prenos, obdelavo in prikaz podatkov pa je napisana v JavaScriptu.

3.6 Okvirna cena sistema

Ker je eden od naših ciljev izdelava cenejšega sistema, kot so dostopni na trgu, je pravilno, da izvedemo krajši izračun stroškov sistema. Pri računanju ne bomo upoštevali cene razvite programske opreme in števila ur, porabljenih pri razvoju od zamisli do uresničitve. Upoštevali bomo le ceno strojne opreme, ki je bila uporabljena.

Komponente sistema:

Komponenta	Cena	Opombe
Starejši računalnik	50€	Cena je maksimalna. Odslužene, vendar delujoče računalnike, dobimo tudi zastonj.
Vmesnik za priklop senzorjev na računalnik	5€	
Kabel, 2-žilni, 150 m	$0.19 * 150 = 28.5€$	Ob uporabi kabla s tremi vodniki, je cena nekoliko višja
Senzor temperature	$8 * 3.2 = 25.6€$	Ob nakupu večje količine senzorjev je cena na senzor ustrezno nižja
Potrošni material	20€	
Skupna cena	129 €	

Tabela 5: Okvirna cena sistema

Tabela 5 prikazuje okvirno ceno delujočega sistema. Vidimo, da je cena primerljiva s ceno vremenske postaje nižjega cenovnega razreda – to je postaje, ki že omogoča priklop na računalnik. Kakšne so lastnosti in kvalitete takih postaj smo opisali pred tem. Iz tega lahko izhajamo, da je cilj nizke cene in zadovoljive kvalitete ter funkcionalnosti sistema dosežen. Seveda so možne izboljšave in vgradnje dražjih in kvalitetnejših komponent ali celo dodatnih. Nekaj več besed o tej temi bomo namenili v nadaljevanju.

Poglavje 4

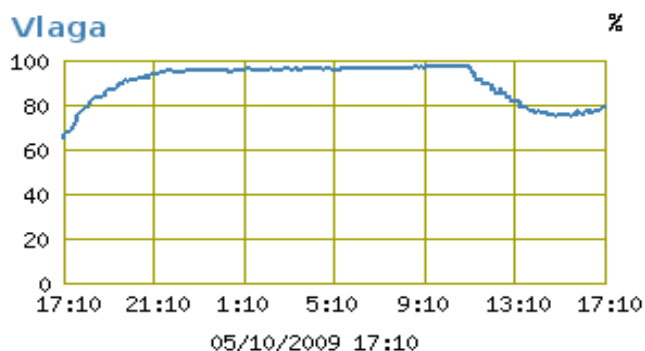
Testiranje in rezultati

Za testno območje je bil izbran bližnji hrib, ki je podobne konfiguracije kot skakalnica. Poleg tega je v bližini obstoječe infrastrukture (strežnik, postavljeno del omrežja kablov,...). To je pomenilo hitrejšo vzpostavitev sistema, manjše stroške in manj dela z dejavnostmi, ki niso neposredno povezane s samo nalogo.

Zaradi naštetih dejavnikov so se lahko meritve začele izvajati razmeroma hitro. Najprej je bilo izvedeno testiranje napak senzorjev tako, da so bili vsi na isti lokaciji. Izkazalo se je, da je bilo odstopanje nižje od navedenega v tovarniški dokumentaciji. Težava je bila le v tem, da senzorji niso imeli standardne napake, vendar se je le ta spreminjala. Če bi bila standardna, bi jih lahko programsko umerili.

Po vzpostavitvi osnovnih pogojev za meritve, so najprej potekale brez zapletov. Programska oprema je delovala po pričakovanjih. Branje senzorjev je, kljub daljši dolžini kabla od priporočene, delovalo brez težav. Pokazale so se že prve značilnosti poteka temperature – pri tleh najnižja temperatura (prvi senzor), pri drugem senzorju najvišja, potem pa padanje temperature z višino in pri zadnjem senzorju najnižja. Nadvse zadovoljivi in pričakovani rezultati.

Po dobrem začetku je sledilo nepričakovano slabše delovanje. Ker je del sistema postavljen v naravi, je posledično izpostavljen bolj ali manj predvidljivim zunanjim procesom. Prvi, ki je nepričakovano vplival na slabše delovanje, je bil dež. Kljub temu, da so senzorji s preprostim zaklonom neposredno zaščiteni proti dežnim kapljicam, ima le ta slab vpliv na meritve. Zaznati je bilo, da kmalu po pojavitvi padavin, meritve pričnejo izostajati. Podobno se dogaja v nočnem času, ko se relativna vlažnost zraka pogosto približa 100% (Slika 23 [14]). Dopoldan, ko relativna vlažnost pade, se meritve ponovno začnejo izvajati.



Slika 23: Potek dnevne vrednosti relativne vlažnosti

S preizkušanjem je bilo ugotovljeno, da je verjetno največji problem v dolžini kabla, ki je nad priporočljivim pri uporabi parazitskega načina delovanja senzorjev. Ko so bili odklopljeni bolj oddaljeni senzorji, so meritve na obstoječih senzorjih potekale zanesljivo, kljub povečani vlagi. Rešitev za problem, ki se ponuja kar sama, je uporaba zunanega napajanja na vsakem senzorju posebej. S tem bi zagotovili zanesljivo delovanje v dolžini kabla do 300 metrov. To je ob postavitvi novega sistema trivialno rešljivo z uporabo kabla s tremi vodniki, kjer eden služi za zagotavljanje napajanja senzorjem.

Ko so bile ugotovljene zgornje slabosti, je bilo pričakovati, da bo sistem ob nižji vlagi deloval zanesljivo. Toda ni bilo tako. Pokazale so se nove ranljivosti. To so kabli nizke kvalitete in njihova umestitev v okolje. Meritve temperatur so potekale le pri prvih treh senzorjih od osmih. Ob natančnejšem pregledu na terenu, se je izkazalo, da se je kabel pri stiku dveh preprosto strgal. To je verjetno posledica živali na katere je v naravnem okolju potrebno računati. Možni rešitvi sta dve. Prva je, da kable vkopljemo v zemljo in dodatno zavarujemo, ko le ti pridejo iz nje do senzorja. Druga pa, da uporabimo kvalitetnejše. Slednja rešitev je dražja, vendar zahteva manj dela, medtem ko je prva cenejša, zahteva več dela in verjetno kljub vsemu zanesljivejša.

Kot je bilo že v prejšnjih poglavjih omenjeno, je pri merjenju temperatur pomembno, da poleg pravilne višine senzorja, pri postavitvi, upoštevamo tudi vpliv sonca. Njegov vpliv želimo čim bolj izničiti, saj le tako dobimo verodostojne in med seboj primerljive podatke. Mi smo to do določene mere kršili, kot je bilo omenjeno pred tem. V poletnih mesecih, ko je sonce višje in doseže večja območja, so bili določeni senzorji kljub temu, da so bili v gozdu in na severni strani, občasno obsijani s soncem. Zaradi preprostega zaklona, so se temperature v tistem času povzpele nekaj stopinj višje od temperatur na senzorjih, ki niso bili neposredno izpostavljeni soncu. To dejstvo bi nas lahko skrbelo, saj bi v takem primeru postal sistem neuporaben. Toda ne pozabimo. Sistem je namenjen predvsem delovanju v zimskem času, ko so pogoji, za zasneževanje in tekme v smučarskih skokih, ugodni. Predvidevanje, da bodo naši preprosti zakloni uspešni, se je kmalu izkazalo resnično – v prvem jesenskem mesecu. Takrat zaradi manjše obsijanosti težav s soncem ni bilo. Pozimi bi jih moralo biti še manj.

4.1 Spletna stran in akcije sistema

Spletna stran je zgrajena tako, da je prikaz prilagojen pogledu na brskalniku navadnega računalnika, kot tudi naprav z manjšim zaslonom (prenosni telefoni). V slednjem primeru je spletna stran poenostavljena zaradi počasnejših internetnih povezav na prenosnem telefonu. Poleg tega so prenosi podatkov pogosto plačljivi.

Pri navadni spletni strani je najprej potrebna prijava v sistem. To je potrebno zato, ker imamo dva uporabniška nivoja. Pri navadnem uporabniškem nivoju je na voljo več podatkov in nastavitev:

- Podatki (osnovni in podrobnejši pogled)
- Zgodovina meritev za posamezen senzor po dnevih
- Nastavitev alarmov

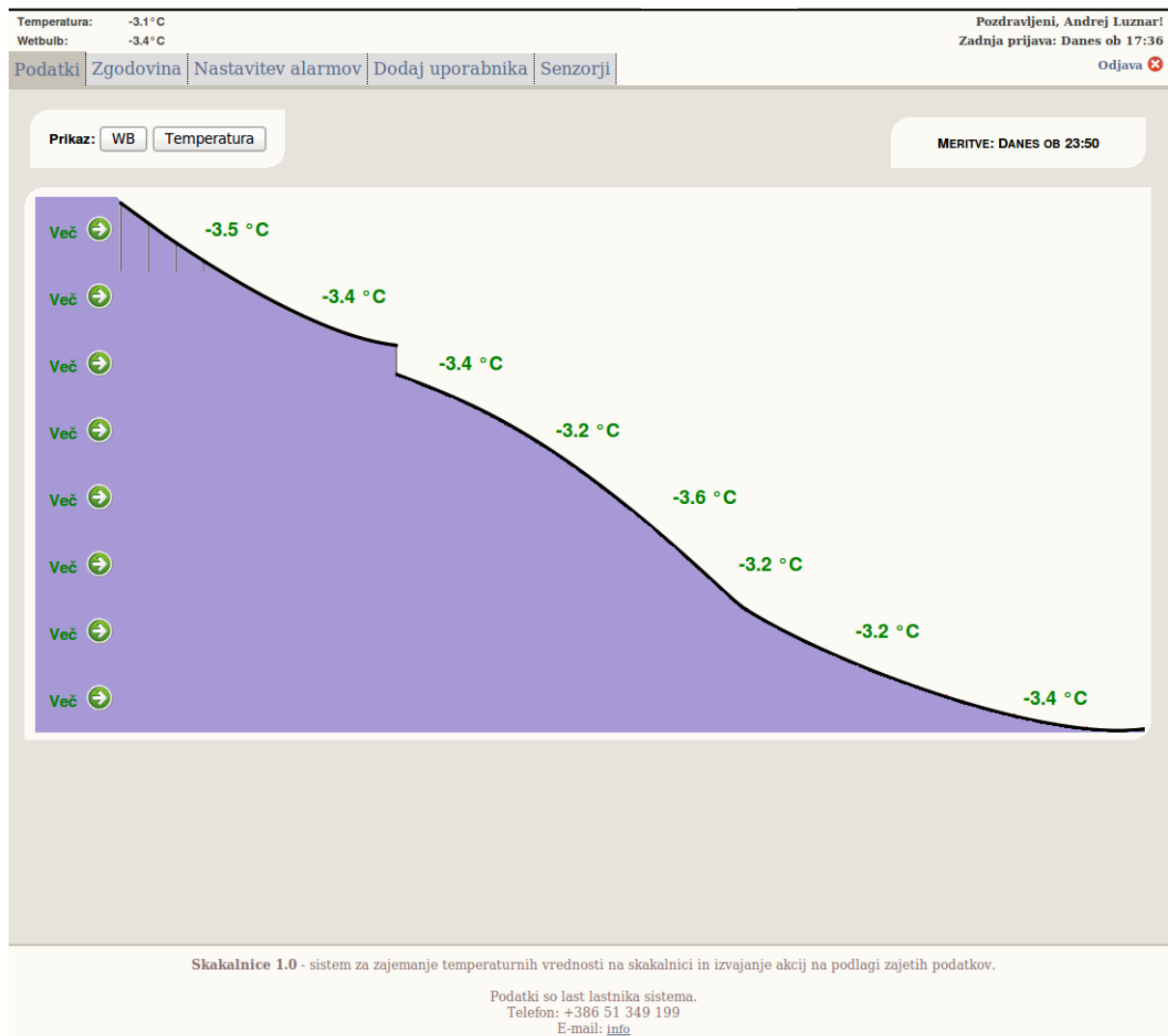
Poleg navadnega, je v sistemu super uporabniški nivo, oziroma nivo administratorja. Ta nivo ima dodatna pooblastila za ravnanje s sistemom. Dodatni funkciji sta:

- Dodajanje novega uporabnika
- Urejanje senzorjev

4.1.1 Prikaz trenutnih razmer na skakalnici

Ob prijavi v sistem se prikažejo zadnji podatki meritev. Na voljo je temperatura okolja in temperatura vlažnega termometra, ki je pridobljena s pomočjo programske pretvorbe podatkov. Grafični vmesnik je zasnovan tako, da ima uporabnik vizualno predstavitev, kakšne so razmere na določenem delu skakalnice (Slika 24). Pobočje je razdeljeno na več delov. V testnem okolju je bilo na voljo osem senzorjev – takšno je zato število območij meritev. Glede na vrednost temperature vlažnega termometra, se spreminja obarvanost posameznega dela. V uporabi so tri barve. Barvni odtenki so zaradi ponazoritve podobni odtenkom v tabeli 4.

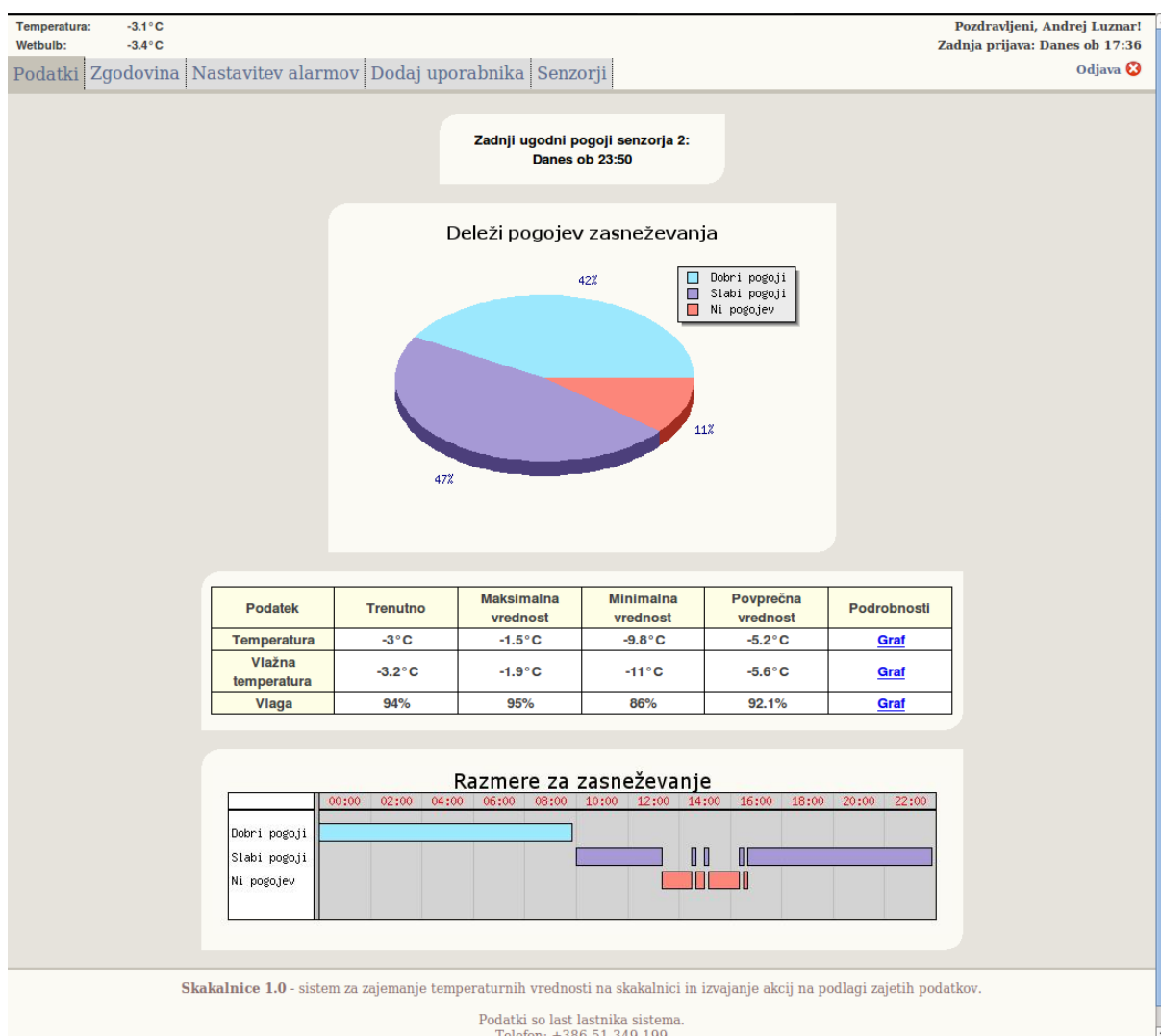
- rdeča barva: na območju temperatura vlažnega termometra ni primerna za zasneževanje
- vijolična barva: zadovoljivi pogoji za zasneževanje
- modra barva: pogoji za zasneževanje so odlični



Slika 24: Osnovni pregled podatkov

Na levem robu vsakega območja je povezava do podrobnejših podatkov tekočega dne. Ob kliku se prikaže nova stran (Slika 25):

- zadnji pogoji zasneževanja izbranega območja skakalnice
- tortni grafikon: delež pogojev zasneževanja na območju
- tabela vrednosti: v tabeli so maksimalna, minimalna in povprečna vrednost temperature, temperature vlažnega termometra in vlage. Ob kliku na podrobnosti se prikaže graf posamezne spremenljivke tekočega dneva.
- Ganttov diagram: nazorno prikazuje dnevno spreminjanje pogojev zasneževanja. Z njim uporabnik dobi pregled nad preteklimi razmerami. Na podlagi videnege je preprosto sklepati, kdaj je zasneževanje najbolj ekonomično (izkaže se, da so razmere večinoma najbolj primerne ponoči).



Slika 25: Podroben prikaz podatkov posameznega senzorja

4.1.2 Zgodovina meritev

Hranjenje meritev omogoča pregled arhivskih podatkov preteklih dni. Zasnova prikaza je podobna podrobnejšemu pogledu trenutnih podatkov (Slika 25).

4.1.3 Nastavitev alarmov

Ena od zahtev je bila, da sistem obvešča uporabnika o spremembi pogojev zasneževanja. Za ta namen je bila izdelana rešitev, ki naslovnika obvešča preko elektronskih sporočil. Obvestila lahko vklopimo ali izklopimo – odvisno od želja posameznika (Slika 26).

Pri trenutnem sistemu so na voljo štiri vrste obvestil:

- Ponovno ugodni pogoji zasneževanja: če pred tem ni bilo pogojev, prejme uporabnik sporočilo takoj, ko na nekem območju temperatura vlažnega termometra pade pod -2.3°C . Ob tem prejme podatek, katera območja zadostujejo omenjenemu pogoju.
- Konec pogojev zasneževanja: če temperatura vlažnega termometra na vseh senzorjih pade pod zgoraj omenjeno vrednost, potem se sproži to sporočilo. Prvo in drugo obvestilo sta si torej obratno sorazmerna.
- Dnevni povzetek pogojev. Čeprav lahko operater te podatke vidi preko spletne strani, jih sistem, na operaterjevo željo, pošlje tudi na njegov elektronski naslov. Sporočilo je poslano ob koncu dneva.
- Mesečni povzetek pogojev. Na podlagi arhiviranih meritev, pošlje sistem uporabniku mesečni povzetek pogojev na njegovo elektronsko pošto.

Temperatura: -3.1°C

Wetbulb: -3.4°C

Pozdravljeni, Andrej Luznar!

Zadnja prijava: Danes ob 17:36

Podatki

Zgodovina

Nastavitev alarmov

Dodaj uporabnika

Senzorji

Odjava

Obvestila	E-mail
Ponovno ugodni pogoji zasneževanja	☒
Konec pogojev zasneževanja	☐
Dnevni povzetek pogojev	☒
Mesečni povzetek pogojev	☐

Skakalnice 1.0 - sistem za zajemanje temperaturnih vrednosti na skakalnici in izvajanje akcij na podlagi zajetih podatkov.

Podatki so last lastnika sistema.

Telefon: +386 51 349 199

E-mail: [info](#)

Slika 26: Nastavitev alarmov

4.1.4 Urejanje senzorjev

Urejanje senzorjev (Slika 27) lahko opravlja le uporabnik z najvišjim nivojem pravic. Namen je, da v primeru, da določen senzor preneha delovati, le tega odstranimo in nadomestimo z novim.

Ob vsaki številki senzorja je podano njegovo unikatno ROM število in stanje. Slednje uporabniku sporoča, ali senzor deluje ali ne. V primeru, da zamenjamo enega izmed njih, uporabimo urejanje. V polje za ROM vpišemo število novega temperaturnega senzorja. S tem je nameščanje končano.

Temperatura: -3.1°C

Wetbulb: -3.4°C

Pozdravljeni, Andrej Luznar!

Zadnja prijava: Danes ob 17:36

Odjava

Podatki

Zgodovina

Nastavitev alarmov

Dodaj uporabnika

Senzorji

PREGLED TRENUTNO DODANIH SENZORJEV

0: ROM: 10C9F3980108003A		URED
1: ROM: 10ED3799010800E2		URED
2: ROM: 1061ED9801080019		URED
3: ROM: 102B07990108004B		URED
4: ROM: 10F3F39801080018		URED
5: ROM: 10FB159901080070		URED
6: ROM: 10F7F898010800B4		URED
7: ROM: 107B039901080023		URED

Skakalnice 1.0 - sistem za zajemanje temperaturnih vrednosti na skakalnici in izvajanje akcij na podlagi zajetih podatkov.

Podatki so last lastnika sistema.

Telefon: +386 51 349 199

E-mail: [info](#)

Slika 27: Urejanje senzorjev

4.1.5 Dodajanje novega uporabnika

Administrator sistema ima možnost dodajanja novih uporabnikov (Slika 28). Vsak nov ima identične možnosti dostopa, kot obstoječi operaterji. Poleg osnovnih osebnih podatkov, so

potrebni elektronski naslov za pošiljanje obvestil, telefon in uporabniški nivo. S slednjim podatkom lahko administrator določi novega administratorja, ki ima enake lastnosti kot on sam.

Temperatura: -3.1° C
Wetbulb: -3.4° C

Pozdravljeni, Andrej Luznar!
Zadnja prijava: Danes ob 17:36
Odjava 

Podatki | Zgodovina | Nastavitev alarmov | Dodaj uporabnika | Senzorji

DODAJANJE UPORABNIKA

IME:

PRIIMEK:

UPORABNIŠKO IME:

GESLO:

POTRDI GESLO:

E-MAIL:

TELEFON:

UPORABNIŠKI NIVO:

OK

Skakalnice 1.0 - sistem za zajemanje temperaturnih vrednosti na skakalnici in izvajanje akcij na podlagi zajetih podatkov.

Podatki so last lastnika sistema.
Telefon: +386 51 349 199
E-mail: [info](#)

Slika 28: Dodajanje uporabnikov

Poglavje 5

Sklepne ugotovitve

V prejšnjem razdelku je bilo opisano, kakšni so bili rezultati testiranj. Bile so podane nekatere smernice za izboljšanje sistema:

- uporaba zunanega napajanja za senzorje. Namesto kabla z dvema vodnikoma je potrebno namestiti kabel s tremi, če se pri načrtovanju izkaže, da bo skupna dolžina kablov daljša od sto metrov. Ob tem omenimo, da je senzorje potrebno vezati drugače kot do sedaj. Pri našem sistemu sta dve nožici povezani skupaj na eno vodilo, druga pa na preostalo vodilo. Pri uporabi s tremi vodniki, je vsaka nožica povezana na svoje vodilo.
- dodatna zaščita proti vlagi. Stike med kabli in med kabli ter senzorji bi bilo potrebno dodatno zaščiti z umetno maso. V tem primeru bi imela vlaga precej manjši vpliv na izvajanje meritev.
- boljši kabli (CAT 5) in vkop kablov. Ti dve izboljšavi sta skoraj nujni, če želimo zanesljivo delovanje v daljšem obdobju. To sicer nekoliko podraži ceno celotnega sistema, vendar bi imeli kasneje predvidoma manj težav.
- kvalitetnejši zaklon za senzorje. Njegova uporaba bi bila smiselna, če bi bila skakalnica na bolj osončenem delu ali, če bi potrebovali verodostojne meritve tudi v času večje osončenosti (poletje).
- velika izboljšava bi bila uporaba brezžičnega sistema pošiljanja podatkov od vsakega senzorja do bazne naprave. V takem primeru bi odpadlo precej prejšnjih težav, oziroma potreb po izboljšavah. Poleg številnih pozitivnih posledic take rešitve, bi bilo tudi precej negativnih. Najprej bi bilo potrebno razviti vezje, ki bi vsebovalo temperaturni senzor in element za brezžično komunikacijo. To bi bilo potrebno vstaviti v primerno embalažo, ki bi hkrati zagotavljala zaščito pred nezaželenimi vremenskimi pojavi, kot sta sonce in vlaga. Po razvoju bi bilo potrebno vsak senzor nadomestiti s takim modulom. Lahko si predstavljamo, da bi bila s tako rešitvijo cena sistema precej višja. Poleg tega bi se verjetno pojavile nekatere dodatne, nepredvidene težave.

Namesto senzorjev DS18S20 bi lahko uporabili senzorje za merjenje temperature vlažnega termometra, ker se pri zasneževanju uporablja ta temperatura. S tako spremembo bi bilo

potrebno precej spremeniti sistem, saj je prilagojen navadnim senzorjem. Ker je formula za aproksimacijo temperature vlažnega termometra zadovoljivo natančna, bi s tako spremembo pridobili bore malo.

Velik korak naprej bi bila avtomatizacija celotnega sistema. Namesto, da sistem le javlja akcije, ki jih fizično izvede operater, bi imeli možnost, da sam izvaja akcije. Tako bi na primer ob primernih pogojih vključeval topove, dovajal primerne količine vode in zraka do topov. V tem primeru bi lahko govorili že o pravem sistemu SCADA.

Literatura

- [1] Uporabniške izkušnje vremenskih postaj. Dostopno na: <http://forum.zevs.si/>
- [2] Programski paket Wview. Dostopno na: <http://www.wviewweather.com/>
- [3] Podatki vremenske postaje La Crosse ws2300. Dostopno na:
<http://www.lacrossetechnology.com/2310/>
- [4] Programski paket Digttemp. Dostopno na: <http://www.digitemp.com/>
- [5] Programski paket Mysql. Dostopno na: <http://www.mysql.com/>
- [6] Wikipedia: Industrial Control System. Dostopno na:
http://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_Control_Systems
- [7] Wikipedia: SCADA. Dostopno na: <http://en.wikipedia.org/wiki/SCADA>
- [8] Snovanje sistemov vodenja. Dostopno na:
http://lpa.feri.uni-mb.si/Pedagosko_delo/Snovanje_sistemov_vodenja/2teden.pdf
- [9] IEC 61131-3 International Standard. Dostopno na:
http://en.wikipedia.org/wiki/IEC_61131-3
- [10] Snowmaking. Dostopno na: <http://peakstoprairies.org/p2bande/skigreen/Ch%2011%20Snowmaking.pdf>
- [11] Shema sistema zasneževanja Techno Alpin. Dostopno na: <http://www.technoalpin.com/>
- [12] Protokol 1-wire. Dostopno na: <http://en.wikipedia.org/wiki/1-Wire>
- [13] Kode 1-wire ukazov. Dostopno na: http://owfs.sourceforge.net/simple_commands.html
- [14] Podatki o dnevnem poteku vlage. Dostopno na: <http://vodek.info/davis>