

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Rožle Meseč

Avtomatizacija vodnega črpališča

DIPLOMSKO DELO

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM RAČUNALNIŠTVO
IN INFORMATIKA

MENTOR: izr. prof. dr. Uroš Lotrič

Ljubljana 2014

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

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil \LaTeX .



Št. naloge: 01981 / 2014
Datum: 10.2.2014

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

Kandidat: **ROŽLE MESEC**

Naslov: **AVTOMATIZACIJA VODNEGA ČRPALIŠČA
AUTOMATION OF A WATER PUMPING STATION**

Vrsta naloge: DIPLOMSKO DELO UNIVERZITETNEGA ŠTUDIJA

Tematika naloge:

Izdelajte celostno rešitev za računalniško podprto vodno črpališče, namenjeno za oskrbo manjšega naselja s pitno vodo. Rešitev naj vključuje zasnovo sistema, avtomatizacijo procesa, izdelavo nadzornega sistema in povezavo s podatkovno bazo. Delovanje sistema ovrednotite s simulacijo tipične porabe pitne vode v manjšem naselju. Za izvedbo prototipa uporabite strojno in programsko opremo proizvajalca Rockwell Automation.

Mentor:

izr. prof. dr. Uroš Lotrič



Dekan:

prof. dr. Nikolaj Zimic

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisani Rožle Mesec, z vpisno številko **63060179**, sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Avtomatizacija vodnega črpališča

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 25. februarja 2014

Podpis avtorja:

Zahvaljujem se podjetjema Strix sistemi in Tehna za strokovno in tehnično pomoč pri izvedbi naloge, družini za potrpežljivost in podporo ter prijateljem za druženje in zabavo tekom študija.

Lani

Kazalo

Povzetek

Abstract

1	Uvod	1
2	Opis tipičnega avtomatiziranega sistema	5
2.1	Programirljivi logični krmilniki	6
2.2	Standardi OPC in nadzorni sistemi	9
2.3	Podatkovne baze in poročila o obratovanju	10
3	Uporabljena strojna in programska oprema	13
3.1	Strojna oprema	13
3.2	Programska oprema	14
4	Vodno črpališče	19
4.1	Fizikalni model črpališča	20
4.2	Bazen	22
4.3	Črpalka	22
4.4	Odtok	26
4.5	Alarmi, dogodki in dnevnik obratovanja	28
4.6	Nadzorni sistem	30
4.7	Parametri in podatkovna baza	33
4.8	Sistem poročil	34

KAZALO

5	Enodnevna simulacija črpališča in analiza rezultatov	39
5.1	Simulacija	39
5.2	Analiza rezultatov	42
6	Sklepne ugotovitve	45

Povzetek

V diplomski nalogi smo prikazali avtomatizacijo industrijskega objekta na primeru vodnega črpališča. Opisali smo zgradbo tipičnega avtomatiziranega sistema in predstavili njegove ključne sestavne dele. Zasnovali smo enostavno vodno črpališče s tremi glavnimi komponentami – vodno črpalko, bazenom in odtokom. Predlagano vodno črpališče bi lahko uporabili za vodno oskrbo manjšega naselja, v kolikor ima naselje v bližini zagotovljen vodni vir s primerno kapaciteto. V sklopu diplomske naloge smo razvili program za krmilnik CompactLogix 5370 podjetja Allen-Bradley, ki upravlja s črpališčem. Zgradili smo nadzorni sistem, ki se s krmilnikom povezuje prek standardov OPC, ključne parametre črpališča pa zapisuje v podatkovno bazo. Izdelali smo še sistem poročil o obratovanju, ki prikazuje delovanje vodnega črpališča v izbranem časovnem intervalu. Razvito črpališče smo preizkusili z enodnevno simulacijo in na koncu analizirali njene rezultate.

Ključne besede: avtomatizacija, vodno črpališče, programirljiv logični krmilnik, nadzorni sistem

Abstract

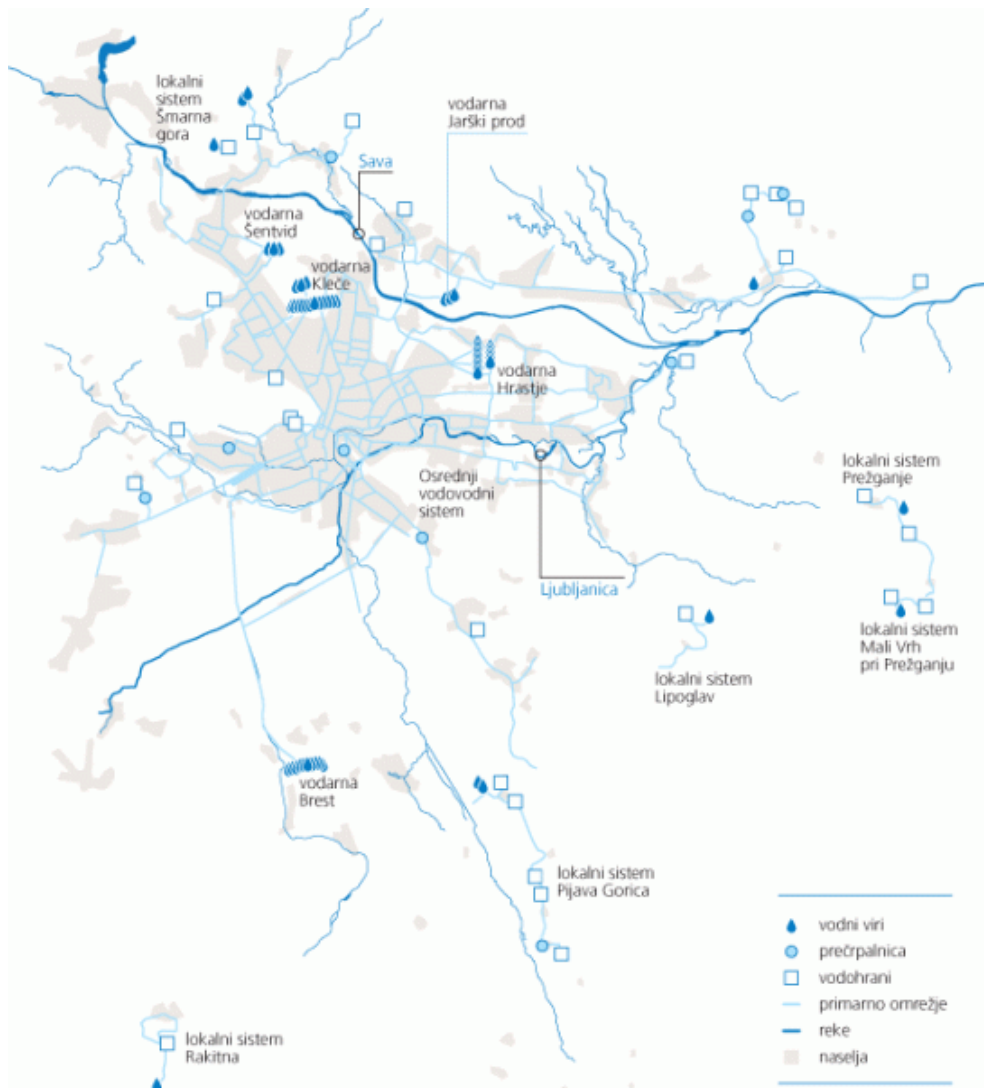
In the thesis we displayed an automation of an industrial facility on an example of a water pumping station. We described the structure of a typical automated system and presented its key components. We designed a water pumping station with three main components – a water pump, a reservoir and a drain. The proposed water pumping station could be used for supplying water to a small settlement, in case the settlement had access to a water source with adequate capacity in its vicinity. As part of the thesis we developed a programme for Allen-Bradley's CompactLogix 5370 controller, which operates the pumping station. We built a supervisory system, which communicates with the controller through OPC standards and records the key parameters of the pumping station to the database. Finally we created a report system that shows the operation of the water pumping station within a selected time frame. We tested the pumping station with an all-day simulation and analysed its results at the end of it.

Key words: automation, water pumping station, programmable logical controller, supervisory system

Poglavje 1

Uvod

Sodobnega sveta si brez pomoči avtomatizacije ne predstavljamo več. Prisotna je v vseh sferah življenja, od industrijske proizvodnje do sodobnih energetsko varčnih hiš in tudi pri zagotavljanju osnovnih človeških potreb, kamor spada oskrba prebivalstva z vodo. Čeprav v literaturi ne najdemo enoznačne definicije avtomatizacije, jo za naš namen lahko posplošimo na uporabo mehanskih, električnih in računalniških tehnologij pri zmanjšanju človeške vpletenosti v proces. Cilji avtomatizacije so najpogosteje večja produktivnost, večja varnost in izboljšanje kakovosti produkta [2]. Zaradi omenjenih prednosti pred ročnim delom in zaradi človekove nepremostljive povezanosti z vodo ima avtomatizacija oskrbe človeških naselbin z vodo že zelo dolgo zgodovino. Spomnimo se le na rimske akvadukte, ki so vodo v mesta samodejno prinašala tudi iz več deset kilometrov oddaljenih krajev. Prva prava avtomatizirana črpališča pa so se pojavila po uvedbi parnega stroja, v začetku 19. stoletja [6]. Od tistih časov je preteklo že kar nekaj vode in danes so vodovodni sistemi v razvitih državah že povsem avtomatizirani in izjemno zapleteni. Za primer vzemimo ljubljanski vodovodni sistem, ki z vodo oskrbuje prebivalce mestne občine Ljubljana in nekaterih sosednjih občin (slika 1.1). Sestavljen je iz petih vodarn s 44 vodnjaki in osmih manjših lokalnih črpališč, poleg tega pa vsebuje še številne prečrpalnice, vodohrane, rezervoarje, hidropostaje in podobne objekte [8].



Slika 1.1: Ljubljanski vodovodni sistem

Načrtovanje in realizacija tako obširnega sistema presega obseg diplomske naloge, zato smo se odločili, da bomo predstavili le enega od kamenčkov v mozaiku takega vodovodnega sistema. Za potrebe diplomske naloge smo zasnovali poenostavljeno vodno črpališče, ki iz vodnega vira črpa vodo v bazen, iz tega pa voda odteka proti porabnikom. Predstavljeno vodno črpališče bi lahko uporabili za oskrbo s pitno vodo dela prebivalstva, ki ima v bližini vir neoporečne vode, a ni priklopljeno na obstoječe vodno omrežje. Na tak način bi lahko zadostili potrebi po vodi od počitniške hiše ali samotne kmetije vse tja do majhnega naselja, v kolikor bi imeli na razpolago vodni vir s primerno kapaciteto. V slednjem primeru bi najbrž morali naš projekt še nekoliko razširiti, morda z uporabo vodohrana, večjega bazena ali močnejše črpalke oziroma ustrezne kombinacije teh in podobnih elementov.

Projekta nismo mogli preizkusiti na konkretnem objektu, saj je bila uporabljena oprema izposojena. Črpališče smo realizirali v sodelovanju s podjetjem Strix d.o.o., posledično sta bili vsa strojna kot tudi programska oprema izbrani tako, da se vključujeta v njihov sistem poslovanja. V projektu smo uporabljali izdelke ameriškega podjetja Rockwell Automation (Allen-Bradley) in njihove programske rešitve Rockwell Software. Strojno opremo nam je posodilo podjetje Tehna d.o.o., s katerim sodelujejo tudi na drugih projektih. Ker črpališča nismo mogli preizkusiti na terenu, smo ga testirali z enodnevno simulacijo, s katero smo preverili delovanje vseh realiziranih elementov sistema.

V nadaljevanju diplomske naloge sledi v poglavju 2 teoretičen opis tipičnega avtomatiziranega sistema. V podpoglavjih se bomo najprej spoznali s programirljivimi logičnimi krmilniki, nato si bomo pogledali povezovanje krmilnikov z nadzornimi sistemi prek standardov OPC, zadnje podpoglavje pa nam bo predstavilo vlogo poročil v avtomatiziranih sistemih. V poglavju 3 je predstavljena vsa strojna in programska oprema, ki smo jo potrebovali za izdelavo projekta. Sledi poglavje 4, v katerem je predstavljeno vodno črpališče, ki smo ga realizirali na podlagi prej predstavljenih teoretičnih osnov. Začeli bomo s predstavitevijo fizikalnega modela črpališča, nato pa sledijo tri podpoglavja, v

katerih se bomo seznanili s pomembnejšimi gradniki, ki sestavljajo črpališče: bazen, vodna črpalka in odtok. V podpoglavju 4.5 si bomo podrobneje pogledali alarme, dogodke in dnevnik obratovanja, nato pa sledijo še podpoglavja o nadzornem sistemu, o podatkovnih bazah in nazadnje o sistemu poročil o obratovanju. V poglavju 5 bomo predstavili simulacijo razvitega črpališča in pregledali rezultate njene analize, za konec pa sledijo sklepne ugotovitve v poglavju 6.

Poglavje 2

Opis tipičnega avtomatiziranega sistema

Že v uvodu smo zapisali, da je avtomatizacija vseh vrst procesov v današnjem času prisotna povsod, kjer je to mogoče, še posebej pa je to vidno v industriji. Avtomatizacija namreč omogoča hitrejšo in zanesljivejšo izvajanje ponavljajočih se nalog, kar za podjetje pogosto pomeni cenejše končne produkte in s tem zagotavlja konkurenčnejše delovanje na trgu. Med drugimi pozitivnimi lastnostmi avtomatizacije lahko izpostavimo večjo varnost pri delu, mnoge panoge pa so od nje celo popolnoma odvisne. Za primer lahko vzamemo obratovanje nuklearne elektrarne, kjer je večina procesov povsem neprimernih za ročno delo, tako z vidika varnosti, kot tudi z vidika povsem fizičnih človeških omejitev. Glavna slabost avtomatizacije določenega procesa je visoka začetna cena, saj je strojna oprema razmeroma draga, prav tako drag pa je lahko tudi razvoj programov, ki proces krmilijo. Omeniti moramo še sociološke vidike procesa avtomatizacije, saj je potrebno prilagoditi tudi delovna mesta. Pogosto se izkaže, da je po novem potrebnih manj delovnih mest, vendar imajo preostala delovna mesta višjo dodano vrednost – pokaže se potreba po boljši izobraženosti kadrov. Kljub izjemni raznovrstnosti procesov, ki jih je mogoče avtomatizirati, imajo avtomatizirani objekti med seboj pravzaprav veliko skupnega, saj so v grobem vsi sestavljeni iz

podobnih elementov. V naslednjih podpoglavjih bomo te ključne elemente podrobneje opisali in predstavili njihovo vlogo v sistemu.

2.1 Programirljivi logični krmilniki

Srce vsakega avtomatiziranega procesa je programirljiv logični krmilnik. V nalogi bomo od tu dalje zanj uporabljali besedo krmilnik. To je poseben, močno specializiran računalnik, ki je namenjen industrijski rabi in je temu primerno tudi zgrajen. Ena glavnih zahtev za delovanje v industrijskem okolju je zahteva po zanesljivem in neprekinjenem delovanju kljub težavnim okoliščinam (temperaturne razlike, elektromagnetne motnje, prah, vlaga, vibracije...). Krmilniki so pogosto izpostavljeni zahtevnim električnim pogojem, zato morajo zagotavljati varno zaustavitev sistema in ohranitev zadnjega stanja v primeru prekinitve ali nepričakovanega nihanja električnega toka [1]. Zaradi zahteve po zanesljivosti in robustnosti so krmilniki sestavljeni iz treh delov, ki so med seboj galvansko ločeni – vhodni modul, izhodni modul in osrednji del, kjer se nahajata centralna procesna enota in pomnilnik. V primerjavi z osebnimi računalniki sta procesor in pomnilnik manj zmogljiva, vendar povsem zadostujeta za delovanje, saj krmilniki niso večopravilni sistemi. Vhodno-izhodna modula omogočata priključitev zelo velikega števila perifernih naprav na krmilnik. Na vhodni modul so priključeni merilni sistemi (senzorji), izhodni modul pa je namenjen izvršnim sistemom (aktuatorjem), ki naprave krmilijo. Prav V/I del sistema je najbolj zaslužen za to, da je mogoče s krmilniki reševati zelo raznovrstne probleme. Izbor perifernih naprav, ki jih lahko priključimo na krmilnik je namreč izredno pester: podprte so analogne in digitalne naprave, priklop naprave pa je neodvisen od tokovnih in napetostnih stopenj, ki jih naprava potrebuje za delovanje. Primer družine krmilnikov je prikazan na sliki 2.1.

Procesor krmilnika ciklično izvršuje program, pri čemer je trajanje enega cikla tipično v rangi od 10 do 100 milisekund. Posamezen cikel je sestavljen iz naslednjih operacij [1]:

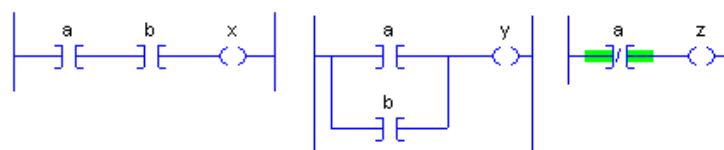


Slika 2.1: Rockwell-ova družina krmilnikov Logix

- samodiagnoza, v kateri se preveri delovanje vseh delov sistema in po potrebi ustrezno reagira,
- pisanje v registre vhodno-izhodnih naprav,
- izvajanje uporabniškega programa,
- branje registrov vseh vhodno-izhodnih naprav,
- obdelava komunikacijskih zahtev.

Povezovanje naprav poteka prek različnih vodil (Profibus, DeviceNet, ControlNet, CAN...), v zadnjem času pa je vedno bolj prisoten tudi industrijski Ethernet [3].

Programski jeziki, namenjeni programiranju krmilnikov, se precej razlikujejo od običajnih programskih jezikov. Pravzaprav je večina teh jezikov grafičnih in so bolj ali manj podobni električnim shemam iz elektrotehnike. Glavni razlog za to je zgodovinske narave, saj so bili prvi krmilniki nadomestek za trdo ožičeno relejsko logiko, ki je na tem področju prevladovala pred prihodom krmilnikov. Prvi krmilnik je razvilo podjetje Modicon leta 1968, uporabljali pa so ga v avtomobilski industriji, točneje v ameriškem podjetju GM. Sisteme, realizirane z relejsko logiko, so načrtovali in vzdrževali elektrotehniki. Njim so prilagodili tudi prve programske jezike za krmilnike, saj



Slika 2.2: Osnovne logične funkcije v jeziku lestvičnih diagramov: levo vrata AND, v sredini vrata OR, desno negacija

je to pomenilo lažje in krajše usposabljanje za obstoječo delovno silo. To-vrstna notacija, imenovana tudi lestvični diagram (Ladder Diagram – LD), je še vedno najbolj uporabljen jezik pri pisanju avtomatiziranih procesov, kombinira pa se jih lahko še z drugimi programskimi jeziki, ki so definirani v standardu IEC 61131-3 – funkcijski načrt (Function Block Diagram – FBD), strukturiran tekst (Structured Text – ST), lista ukazov (Instruction List – IL) in diagram poteka (Sequential Function Chart – SFC) [3].

Osnova lestvičnih diagramov sta dve navpični tirnici, ki predstavljata logično enico (leva tirnica) in logično ničlo (desna tirnica). Med njiju postavljamo vodoravne povezave, na njih pa gradnike, s katerimi sestavljamo logične funkcije. Gradniki so bodisi vklopljeni (prepuščajo električni tok), ali izklopljeni (električnega toka ne prepuščajo), vodoravna povezava pa prenaša njihovo vrednost z leve strani elementa na desno stran. Tako sestavljene funkcije sestavljamo v rutine in jih uporabljamo v programu. Gradnikov je veliko, od zelo enostavnih, kot so stikala in tuljave do bolj zapletenih števec, časovnikov, seštevalnikov, primerjalnikov, skokov v programu, klicev funkcij itd. Današnji krmilniki podpirajo veliko število tipov podatkov, ki jih si- cer najdemo v običajnih programskih jezikih. Na voljo imamo na primer logični podatkovni tip (boolean), celo število (integer), število v plavajoči vejici (float), niz (string), podatkovni tip datum in čas (date and time), pri-redimo pa jim lahko tudi fizične vhode in izhode vhodno-izhodnih naprav. Primeri osnovnih logičnih funkcij, realiziranih v jeziku lestvičnih diagramov, so prikazani na sliki 2.2.

2.2 Standardi OPC in nadzorni sistemi

Medtem ko krmilnik skrbi za izvajanje procesa na najnižjem nivoju, za širše upravljanje avtomatiziranega objekta skrbijo nadzorni sistemi SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) in proizvodni informacijski sistemi MES (Manufacturing Execution Systems). Ti sistemi so pogosto nameščeni na običajnih osebnih računalnikih ali delovnih postajah, zato za komunikacijo s krmilniki potrebujejo posebne vmesnike. Še nedavno je na tem področju vladala velika razdrobljenost, saj je vsako podjetje zasnovalo svoj sistem, ti pa med seboj niso bili kompatibilni. Šele v devetdesetih letih prejšnjega stoletja se je oblikovala skupina podjetij, ki je ustanovila fundacijo OPC (Object Linking And Embedding For Process Control) in uveljavila odprt standard za komunikacijo krmilnikov z nadzornimi sistemi različnih proizvajalcev na platformi Microsoft Windows. Novi standard OPC je predvidel tri vmesnike za komunikacijo: OPC DA (OPC Data Access), ki obsega prenos procesnih podatkov v realnem času, OPC A&E (OPC Alarms and Events), ki obravnava alarme in dogodke ter OPC HDA (OPC Historical Data Access), ki skrbi za prenos zgodovinskih procesnih podatkov. Kasneje so razvili še več standardov, vendar se s podrobnostmi v tej diplomski nalogi ne bomo ukvarjali. Vsi naštetih vmesniki delujejo na principu strežnik – odjemalec. Strežnik OPC je zadolžen za komunikacijo s krmilnikom, izbrane procesne spremenljivke (imenovane tudi točke) pa ponudi odjemalcem OPC. Odjemalci OPC te točke sprejemajo in jih uporabljajo za različne namene. Tipični odjemalci OPC so na primer nadzorni sistemi SCADA, ki vsebujejo tudi vmesnik človek-stroj oziroma HMI (Human Machine Interface), ki v realnem času prikazuje vrednosti procesnih spremenljivk. Ti programi so namenjeni operaterjem, ki z njimi nadzorujejo in upravljajo s procesi. Tipičen sistem SCADA je zgrajen iz več zaslonov. Vsak od zaslonov je sestavljen iz množice grafičnih elementov, ki čim bolj nazorno prikazujejo dele avtomatiziranega procesa. Elementi so lahko enostavni, na primer prikazna polja (labele), vnosna polja, gumbi, tekst, črte, puščice in podobno, ali pa zapleteni, kot so grafikoni, slike, alarmi, sheme, dodatna okna itd.

Že v uvodu smo poudarili, da je glavni namen avtomatizacije procesa zmanjševanje človeške vpletenosti v proces. Kljub temu avtomatizirani sistemi občasno potrebujejo tudi vodenje s strani človeka – operaterja. Ročno vodenje je navadno potrebno, ko sistem preide v nenormalno oziroma nezaželeno stanje. To stanje je lahko posledica vnaprej predvidenih (načrtovanih) dejavnikov (vzdrževalna dela, pregledi, posodobitve sistema...) ali pa nepredvidenih dejavnikov (okvara, primanjkovanje zalog surovin, naravne nesreče...). Zaradi tega je nujno potrebna tudi komunikacija v obratni smeri, od operaterja proti krmilniku, in vmesniki OPC seveda omogočajo tudi to. Operater lahko določenim procesnim spremenljivkam spreminja vrednosti, kar vpliva na izvajanje programa v krmilniku. Operater s tem zagotovi nadzor nad procesom. Pogosta praksa je, da ima sistem dva načina delovanja, avtomatski in ročni, med katerima operater enostavno prehaja s pritiskom na gumb.

Vsak avtomatiziran proces torej lahko preide v nezaželeno stanje, kar pogosto privede do zaustavitve procesa ali vsaj dela procesa. V tem primeru se sproži alarm, ki operaterja obvesti o napaki, ki jo mora čim prej odpraviti. Alarmi so lahko svetlobni (rdeča luč) ali zvočni (hupa), skoraj vedno pa jim je namenjeno tudi okno na nadzornem sistemu. Operaterjeva naloga je, da ugotovi vzrok za nastanek alarma, ga odpravi, nato pa alarm potrdi, kar sistem vrne v normalno delovanje. Proces ima lahko veliko število alarmov, ki so razvrščeni po prioriteti, vsak od njih pa lahko sproži drugačen odziv sistema. Vsi alarmi se vpišejo v dnevnik obratovanja, ki je prav tako viden v nadzornem sistemu.

2.3 Podatkovne baze in poročila o obratovanju

Sistemi, ki smo jih opisali v prejšnjih podpoglavjih, zadostujejo za obratovanje tipičnega avtomatiziranega procesa. V realnosti pa so ti sistemi vedno del podjetja, ki se na takšen ali drugačen način udeležuje na trgu, zato morajo sodobni avtomatizirani objekti zagotavljati tudi podlago za ekonomske

izračune in strateške odločitve vodilnim v podjetju. Eden od predpogojev za kvalitetne strateške odločitve je čim boljše poznavanje obratovanja in zmogljivosti procesov. Za ta namen ima vsak nadzorni sistem vgrajene možnosti shranjevanja zgodovine obratovanja v podatkovnih bazah. Načrtovalec avtomatiziranega sistema mora iz množice procesnih spremenljivk, ki jih vsebuje krmilnik, izbrati tiste, na podlagi katerih je kasneje mogoče čim bolj pregledno in nedvoumno prikazati delovanje procesa. Izbranim spremenljivkam pravimo parametri in jih je potrebno zapisovati v podatkovno bazo. Zapisovanje lahko poteka periodično ali pa se zapisi vnašajo po drugačnem ključu, na primer le ob spremembah vrednosti parametra. Na trgu je več programskih vmesnikov za povezovanje podatkovnimi bazami, tako da ima načrtovalec sistema proste roke pri izbiri določenega sistema za upravljanje s podatkovnimi bazami (DBMS – Database Management System).

Poročila o obratovanju so namenjena lastnikom oziroma upravljalcem avtomatiziranih objektov in so končni produkt vseh prej omenjenih podsistemov. Njihova naloga je čim preglednejši in čim bolj informativen pregled nad delovanjem objekta. Vse predstavljene informacije se črpajo neposredno iz parametrov, ki se nahajajo v podatkovni bazi, zato je izbor parametrov ključnega pomena, saj se napačno izbrani parametri kmalu pokažejo v obliki slabih ali nepreglednih končnih poročil. Poročila o obratovanju so sestavljena predvsem iz tabel in grafov, ki strnjeno predstavijo obratovanje določenega procesa v izbranem časovnem obdobju. Pogosto so dodani še razni preprosti izračuni, na primer povprečne, maksimalne in minimalne vrednosti parametrov, vsote, razlike in podobno. Pomemben pokazatelj stanja sistema je tudi dnevnik obratovanja, ki vsebuje podrobnosti o aktivnosti alarmov in drugih posebnih dogodkov. V navadi podjetij je, da se tovrstna poročila, pogosto na mesečni bazi, natisne in hrani kot arhivsko gradivo, na podlagi katerega je možno strateško odločanje. Tovrstna poročila pa niso uporabna zgolj za upravljalce objektov. Zelo koristna so tudi za analizo delovanja procesa v krajšem časovnem obdobju, kar lahko s pridom izkoriščajo operaterji za diagnozo ali preventivne ukrepe pred nezaželenimi ali nevarnimi situacijami na

12 POGLAVJE 2. OPIS TIPIČNEGA AVTOMATIZIRANEGA SISTEMA

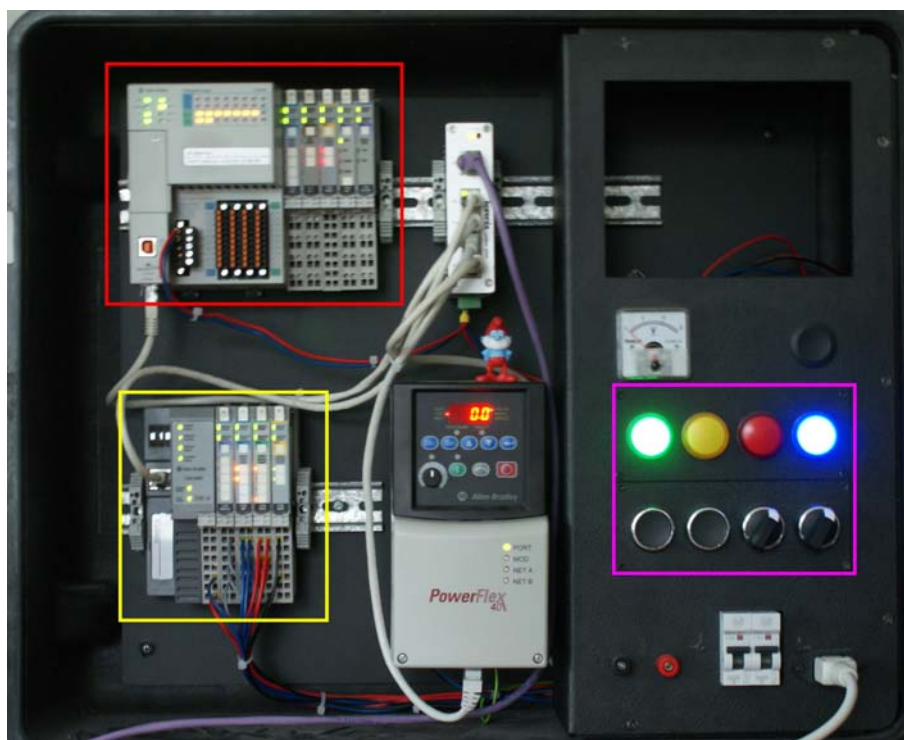
objektu.

Poglavje 3

Uporabljena strojna in programska oprema

3.1 Strojna oprema

Projekt smo realizirali na krmilniku iz serije CompactLogix 5370, model 1769-L18ERM-BB1B, proizvajalca Allen-Bradley. Ima 512 kB pomnilnika, uporablja SD kartico kot vir obstojnega pomnilnika in podpira 8 dodatnih vhodno-izhodnih modulov, kar je povsem zadoščalo za vse naše potrebe [9]. Krmilnik je na sliki 3.1 označen z rdečo barvo. Potrebovali smo vhodno-izhodni modul 1734 Point IO, na katerega smo priključili 4-točkovni vhodni modul 1734-IB4, ki je priklopljen na dva gumba in dve stikali. Poleg tega smo potrebovali še 4-točkovni izhodni modul 1734-OB4E, ki krmili štiri opozorilne luči [10]. Za delovanje črpališča ta dva modula sicer nista nujno potrebna, vendar sta nam bila v pomoč pri programiranju in razhroščevanju, prav tako pa imata vlogo tudi v končni implementaciji, in sicer kot pomožno upravljanje in hiter pregled nad črpališčem brez nadzornega sistema. Vhodno-izhodni modul je na sliki 3.1 označen z rumeno barvo, opozorilne luči, stikali in gumba pa so v vijoličnem okvirčku. Poleg dveh zgoraj opisanih modulov so bili v konfiguraciji tudi nekateri drugi, ki pa jih nismo uporabljali. Sprva smo želeli uporabiti tudi frekvenčni pretvornik Powerflex 40, ki je viden na



Slika 3.1: Uporabljena strojna oprema

sredi slike 3.1, a to zaradi okvare ni bilo mogoče.

Senzorji in aktuatorji so pomemben del avtomatiziranih sistemov na realnih objektih. Naše črpališče teh elementov nima, ker projekta nismo uspeli preizkusiti na realnem objektu. Zato smo delovanje merilnih in izvršnih sistemov poskusili čim boljše posnemati s programsko implementacijo, njihovo delovanje pa predstavlja pomemben del končne simulacije.

3.2 Programska oprema

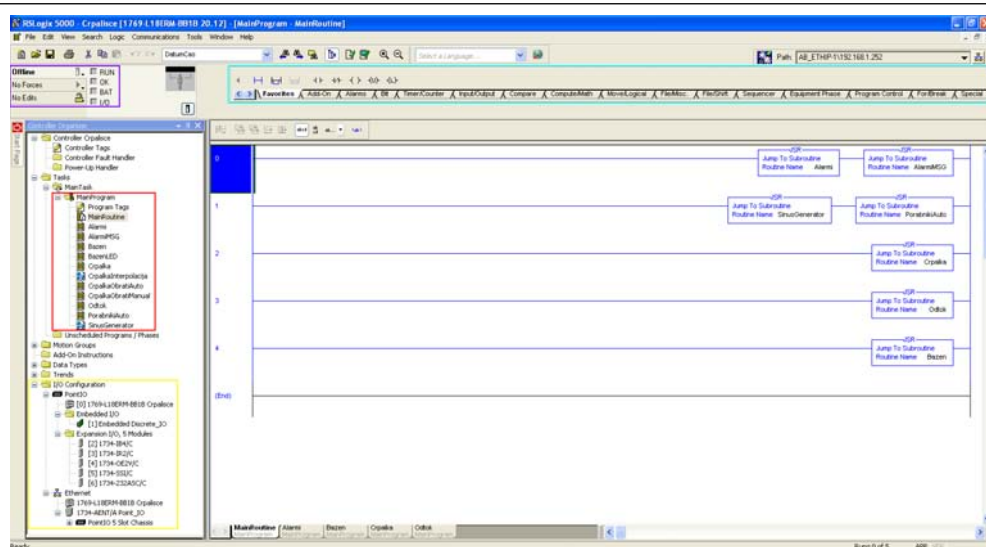
3.2.1 RSLinx Classic in RSLogix 5000

Tako kot pri strojni opremi smo tudi pri programski uporabljali predvsem rešitve podjetja Rockwell Automation. Osnovno konfiguracijo sistema smo

opravili s programom RSLinx Classic, ki je skladen s standardom OPC [7]. S pomočjo RSLinx-a smo nastavili osnovne mrežne nastavitve, ter izbrali gonilnike in vmesnike za povezovanje. S tem vzpostavili delujočo povezavo med krmilnikom, vhodno-izhodnimi moduli in osebnim računalnikom, na katerem teče nadzorni sistem. Zalomilo se je le pri povezovanju frekvenčnega pretvornika, s katerim zaradi okvare nismo uspeli vzpostaviti povezave. RSLinx ima poleg zmožnosti osnovne konfiguracije tudi vlogo strežnika OPC in tako predstavlja most med krmilnikom in nadzornim sistemom SCADA, ki se nahaja na osebnem računalniku.

Rockwell-ova programska rešitev za programiranje krmilnikov CompactLogix se imenuje RSLogix 5000. Podpira štiri programske jezike: lestvične diagrame, funkcijske načrte, diagrame poteka in strukturiran tekst. Velika večina našega projekta je napisanega v jeziku lestvičnih diagramov, dve rutini pa smo napisali s pomočjo funkcijskih načrtov. Ostalih jezikov nismo potrebovali. Preden smo začeli s programiranjem, smo morali v programu natančno nastaviti strojno opremo, ki smo jo želeli uporabljati v projektu. Osnovno povezljivost smo zagotovili že s programom RSLinx, z RSLogix-om pa smo nastavili še podrobnosti – revizijo krmilnika, število in točno konfiguracijo razširitvenih modulov itd.

Programsko okolje RSLogix 5000 je prikazano na sliki 3.2. V levem oknu je spodaj v rumenem okvirju prikazana trenutna konfiguracija strojne opreme, nekoliko višje, označene z rdečim okvirjem, pa so programske rutine, ki smo jih napisali. V zavihkih zgornje opravilne vrstice, označene s svetlo modrim okvirjem, najdemo vse gradnike, ki so na voljo za programiranje v trenutno izbranem programskem jeziku. Osrednji del programa zavzema prostor, kamor te gradnike postavljamo in jih postopoma sestavljamo v smiselno celoto. V zgornjem levem kotu, označenem z vijoličnim okvirjem, se nahaja opravilna vrstica za komunikacijo s krmilnikom. Prek nje program naložimo na krmilnik, kjer se le-ta začne izvajati. Trenutno stanje krmilnika lahko razberemo iz štirih opozorilnih luči, ki se nahajajo poleg.

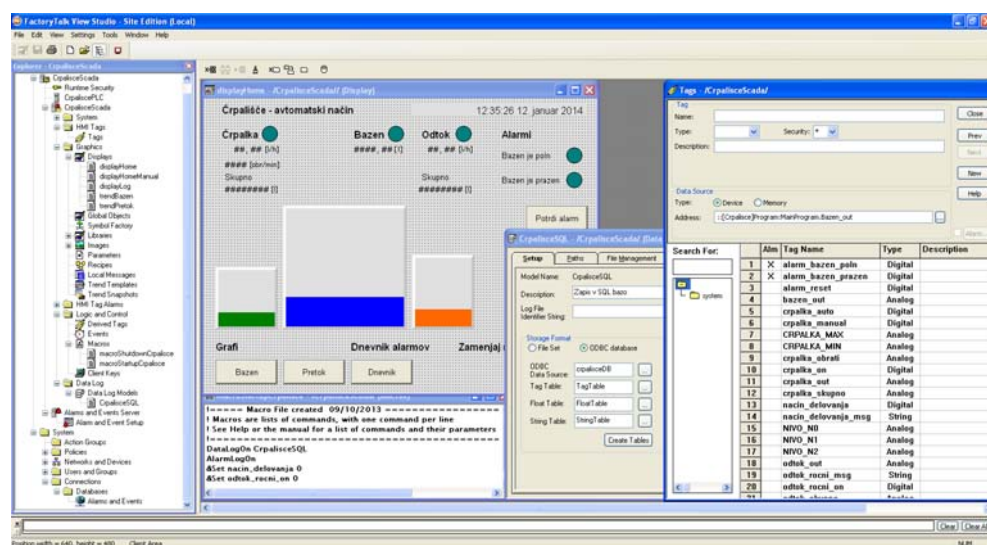


Slika 3.2: Programsko okolje RSLogix 5000

3.2.2 FactoryTalk View

Vmesnik človek-stroj (Human-Machine Interface – HMI) in nadzorni sistem SCADA smo zgradili z Rockwell-ovim programskim paketom FactoryTalk View. Paket vsebuje več zaključenih rešitev, od katerih smo potrebovali dve: FactoryTalk View Studio, ki je namenjen zasnovi nadzornega sistema, in odjemalec OPC FactoryTalk View Site Edition Client, ki ta nadzorni sistem poganja.

FactoryTalk View Studio nam omogoča enostavno definiranje povezave proti strežniku OPC, ki zagotavlja vse potrebne procesne spremenljivke in povezave s podatkovnimi bazami, kamor se zapisujejo ključni parametri procesa. Program podpira Microsoftov vmesnik ODBC (Open Database Connectivity), ki je neodvisen od operacijskega sistema in že vključuje gonilnike za povezljivost z vsemi popularnimi sistemi za upravljanje z bazami [5]. FactoryTalk View omogoča hitro in kar se da enostavno izgradnjo nadzornega sistema. Na voljo imamo množico tekstovnih in grafičnih elementov, ki jih umestimo na ustrezen zaslon, povežemo z eno od definiranih procesnih spremenljivk in nastavimo želeno delovanje. Nabor elementov je zelo pester,



Slika 3.3: Programsko okolje FactoryTalk View Studio

poleg osnovnih, enostavnih elementov, program vsebuje še knjižnico z izbranimi simboli iz mnogih industrijskih panog, kjer je avtomatizacija prisotna, na primer kemične, računalniške, prehranske, avtomobilske industrije, logistike itd. Poleg običajnih procesnih spremenljivk je enostavno tudi operiranje z alarmi, saj program omogoča popoln pregled nad njihovim stanjem. Potrebno je le označiti, katera procesna spremenljivka sproži določen alarm, in kakšni pogoji so potrebni, da se alarm potrdi. Na voljo imamo že vnaprej pripravljen standarden zaslon, ki pregledno prikazuje zgodovino vseh definiranih alarmov in dogodkov.

Program, ki razviti nadzorni sistem poganja, je odjemalec OPC FactoryTalk View Site Edition Client. Zmožen je dvosmerne komunikacije s strežnikom OPC, kar operaterju omogoča vpogled in poseganje v avtomatiziran proces. V kolikor so definirane povezave do podatkovnih baz, vrši tudi zapisovanje v njih na podlagi nastavitve programa FactoryTalk View Studio. Poleg pisanja je možno tudi branje zapisov iz podatkovne baze in vstavljanje tako pridobljenih podatkov v graf.

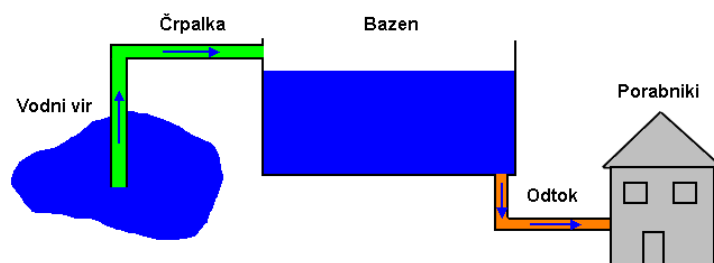
3.2.3 Microsoft SQL server 2008 in Visual studio 2008

Za shranjevanje ključnih parametrov črpališča smo izbrali podatkovno bazo MySQL, ki je ena izmed najbolj razširjenih relacijskih podatkovnih baz na svetu. Za inicializacijo in nastavitve baze smo uporabljali orodje Microsoft SQL Server 2008 R2, za izgradnjo sistema poročil pa modul programa Microsoft Visual Studio 2008, imenovan Business Intelligence Development Studio. Težav s komunikacijo med Rockwell-ovimi in Microsoftovimi programskimi okolji ni bilo, saj so vse nastavitve, ki smo jih uporabljali, precej enostavne in standardne. Z orodjem SQL Server smo kreirali vse potrebne baze, zapis v njih pa vrši FactoryTalk View Client. Tudi povezava podatkovne baze s programom Visual Studio je precej enostavna, saj prihajata od istega proizvajalca. Business Intelligence Development Studio je namenjen oblikovanju poročil, zato ima vsa orodja, ki smo jih potrebovali, že vključena. Omogoča, da z uporabo jezika MySQL iz podatkovne baze prenesemo zelene zapise, nato pa jih predstavimo v obliki razpredelnic, grafov in statističnih podatkov. Končno poročilo lahko natisnemo ali pa izvozimo v različne formate, na primer popularni PDF, XML, TIFF ali pa Microsoftove domače formate za uporabo s programoma Word ali Excel.

Poglavje 4

Vodno črpališče

Realizirano vodno črpališče je sestavljeno iz treh glavnih komponent. Osrednji del črpališča je bazen z vodo, ki zagotavlja neprekinjeno dobavo vode porabnikom. Druga komponenta črpališča je vodna črpalka, ki glede na nivo vode v bazenu črpa vodo iz vodnega vira v bazen. Vodnega vira v nalogi nismo točneje definirali, v realnosti pa je to običajno vodno zajetje, potok, ali podtalnica. Zaradi enostavnosti smo predpostavili, da je količina vodnega vira neomejena in da je voda pitna brez dodatnega čiščenja, filtriranja ali drugih postopkov. Tretja komponenta vodnega črpališča je odtok, ki zmanjšuje količino vode v bazenu. Odtok ponazarja porabnike vode in smo ga nastavili tako, da čim boljše posnema dnevno porabo vode ljudi. Zgradba črpališča je razvidna s slike 4.1.

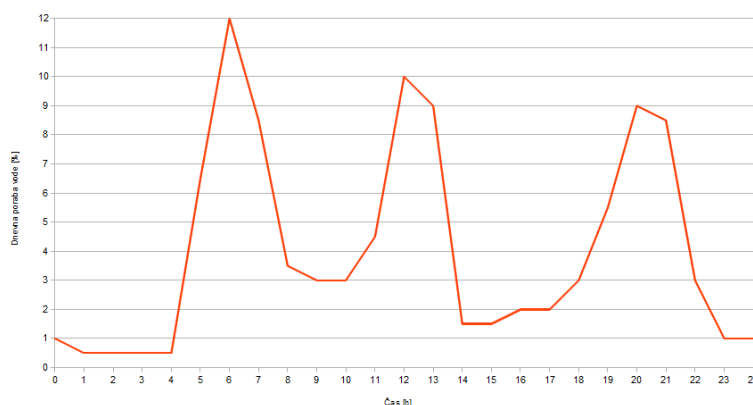


Slika 4.1: Shema realiziranega črpališča

4.1 Fizikalni model črpališča

Izhodišče za fizikalni model realiziranega vodnega črpališča je bila želja, da bi črpališče oskrbovalo z vodo majhno stanovanjsko naselje. Odločili smo se, da bomo sistem zasnovali tako, da bo z vodo preskrbljenih deset hiš s povprečno po petimi prebivalci na hišo, kar znesse oskrbo z vodo za 50 ljudi. Na internetnih straneh javnega podjetja Vodovod-Kanalizacija [8] smo našli podatek, da povprečen slovenski državljan porabi od 120 do 150 litrov vode dnevno. Za vsak primer smo vzeli zgornjo vrednost, kar skupno nanese 7500 litrov pretočene vode vsak dan. Poraba vode prek dneva ni enakomerna, zato smo upoštevali časovno krivuljo iz raziskave avtorjev Mutschmann in Stimmelmayer, ki prikazuje dnevno razporeditev porabe vode v majhnem naselju [4]. Z grafa na sliki 4.2 lahko jasno vidimo, da se poraba vode izrazito poveča zgodaj zjutraj, v zgodnjem popoldnevu in še enkrat zvečer. Vmes je potreba po vodi precej nižja, ponoči pa je poraba razumljivo najnižja. Ta časovna krivulja za naše črpališče pomeni, da bodo porabniki ob jutranjem višku potrebovali približno 900 litrov vode na uro, sicer pa bo večino časa poraba precej nižja. Potreba po vodi je odvisna tudi od meseca oziroma letnega časa, več vode se praviloma porabi poleti, ko so temperature najvišje, pozimi pa je porabimo manj. Te odvisnosti v nalogi nismo upoštevali, vsekakor pa bi bilo pametno rezultate tega pojava upoštevati, v kolikor bi se odločili črpališče zgraditi na realnem objektu.

Ko smo preučili obnašanje sistema na odhodni strani, smo se osredotočili še na zmogljivost črpalke. Na trgu je ogromno število vodnih črpalk z najrazličnejšimi karakteristikami in za vse vrste namenov. Glavna lastnost vsake vodne črpalke je njen maksimalen prostorninski pretok, ki nam pove, koliko vode je možna prečrpati na časovno enoto. Zaradi pestre izbire na trgu smo se odločili, da ne bomo simulirali delovanja konkretne črpalke, temveč bomo njene zmogljivosti povsem prilagodili našim željam. Glede na to, da je največji predvideni pretok vode na odtoku 900 l/h, smo maksimalno zmogljivost naše črpalke nastavili na 1000 l/h, kar naj bi zagotavljalo, da prebivalci ob normalnih okoliščinah ne bi ostali brez vode. Naj omenimo, da je



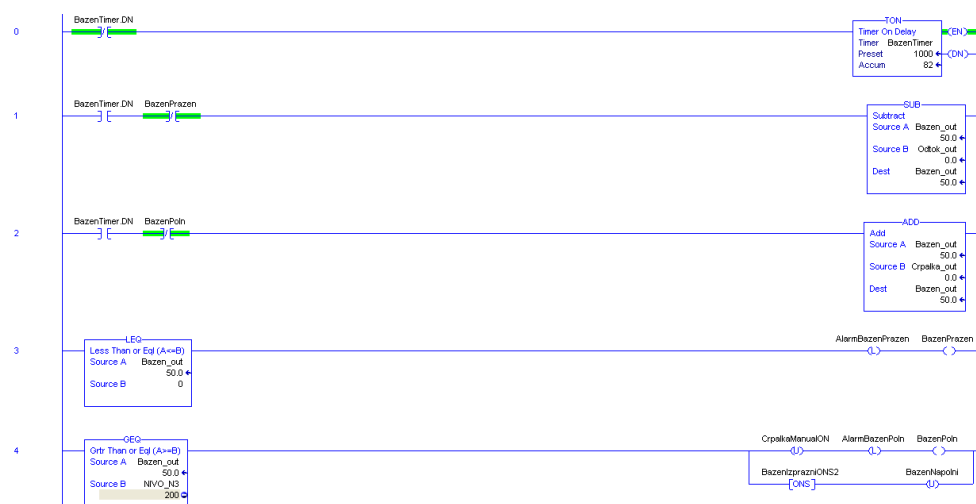
Slika 4.2: Razporeditev porabe vode prek dneva

predvidena zmogljivost naše črpalke povsem v skladu z razmerami na trgu, pravzaprav bi po zmogljivosti spadala celo med podpovprečne. Črpalčko smo zasnovali tako, da je zmožna obratovanja s spremenljivim pretokom, s spodnjo mejo na 200 l/h. Operater lahko v ročnem načinu sam določa pretok vode z nastavitvijo njenih obratov, v razponu med 600 obrati na minuto, kjer črpalka obratuje z najnižjo zmogljivostjo, do 3000 obratov na minuto, kar pomeni delovanje z maksimalnim pretokom. Naša želja je bila, da bi obrate črpalke prikazovali s pomočjo frekvenčnega pretvornika, vendar nam to ni uspelo, saj je bil le-ta okvarjen in nam ga ni uspelo popraviti v ustreznem času.

Zadnja spremenljivka fizikalnega modela je prostornina bazena. Večji bazen pomeni več manevrskega prostora pri morebitnih izjemnih situacijah, na primer ko je črpalka pri največji zmogljivosti prešibka za potrebe prebivalcev, ali pa v primeru, ko je črpanje iz vodnega vira onemogočeno (onesnažena voda, okvara črpalke...). V nalogi smo prostornino bazena namenoma nastavili nekoliko nižje, in sicer na 200 litrov, saj smo s tem dobili nekoliko bolj aktiven končni sistem črpališča, kar nam je olajšalo demonstracijo delovanja v kratki simulaciji. V kolikor bi črpališče realizirali na realnem objektu, bi prostornino bazena ustrezno povečali.

4.2 Bazen

Najenostavnejši element črpališča je vodni bazen s prostornino 200 litrov. Del njegove programske implementacije je prikazan na sliki 4.3. Glavna naloga programske implementacije bazena je, da vsako sekundo izračuna novo vrednost količine vode v njem. Prostornina vode v bazenu se spreminja v odvisnosti od trenutnega pretoka vode, ki jo iz njega odvajajo porabniki in trenutnega pretoka vode, ki se vanj dovaja s črpalko. V bazenu so definirana tudi štiri možna stanja nivoja gladine vode, ki vplivajo na delovanje črpalke – nizek, srednji, visok in previsok nivo. Če programska logika ugotovi, da je vode v bazenu zmanjkalo, ali pa je bazen poln, se prižge eden od obeh alarmov, ki takoj ustavi bodisi delovanje odtoka bodisi črpalke. Podrobnosti o alarmih bomo obravnavali nekoliko kasneje, v podpoglavju 4.5.



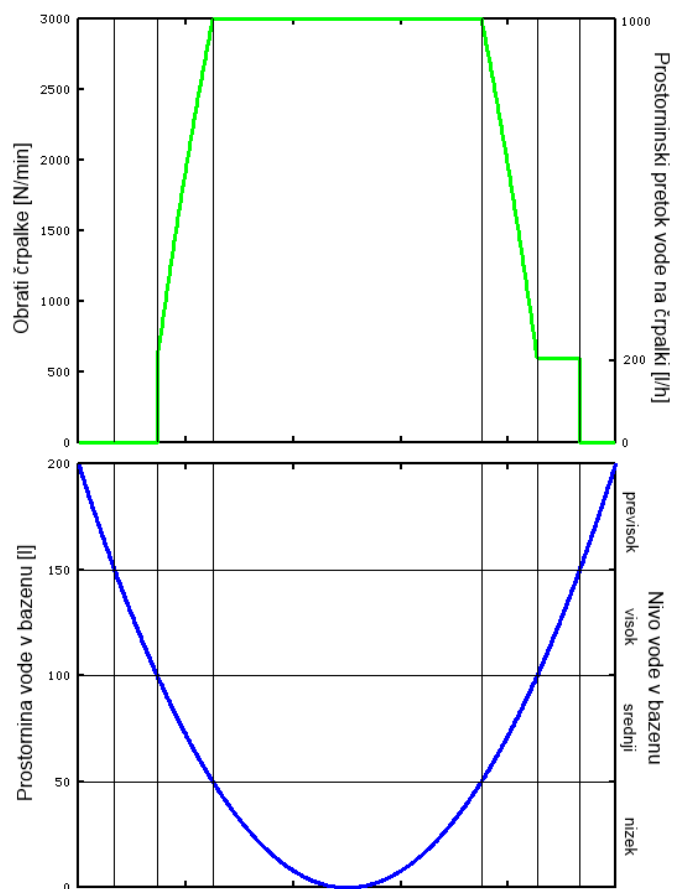
Slika 4.3: Del programske implementacije bazena

4.3 Črpalka

Programska implementacija vodne črpalke je ključna za pravilno obratovanje črpališča. Naloga črpalke je regulacija celotnega sistema, saj s črpanjem vode

v bazen uravnava nivo vode v njem. Skrbi torej za to, da v bazenu nikoli ne zmanjka vode, kot tudi da se zaradi prevelike količine vode v bazenu le-ta ne bi začela razlivati. Črpalka ima dva načina delovanja – privzet je avtomatski način, mogoč pa je še ročni način, pri katerem za ustrezno regulacijo sistema skrbi operater. Slednji način delovanja je namenjen le za izjemne primere, saj je črpalka zasnovana tako, da ob normalnih okoliščinah posredovanje operaterja ni potrebno. Dodali smo števec skupnega pretoka, ki sešteva količino pretočene vode v bazen, ta vrednost pa je kasneje pomemben parameter končnega poročila. Stanje trenutnega obratovanja črpalke je mogoče videti na krmilniku, in sicer je za to namenjena zelena luč, ki je prižgana le v primeru, da črpalka obratuje. Črpalko je možno v vsakem trenutku izklopiti s stikalom na krmilniku, tudi če je sistem v avtomatskem načinu delovanja.

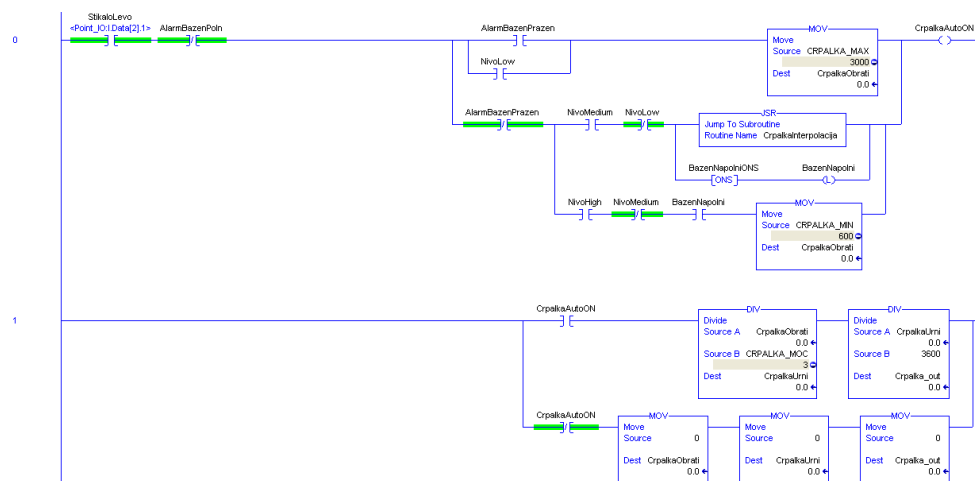
V avtomatskem načinu delovanja sistem samodejno določa aktivnost črpalke (vklop in izklop), ob obratovanju pa uravnava tudi obrate črpalke, kar se neposredno odraža v količini pretočene vode na črpalke. Algoritem, po katerem krmilnik izračunava ta dva parametra, je razviden z diagrama na sliki 4.4. Tu pridejo v poštev štirje nivoji vode v bazenu, ki smo jih omenili že v prejšnjem poglavju. Če je nivo vode v bazenu nizek, je črpalka vključena, obrati črpalke so nastavljeni na maksimalno vrednost, s tem pa je pretok vode v bazen največji možen. Če je gladina vode v bazenu v srednjem nivoju, se obrati črpalke prilagajajo količini vode v bazenu. Za ta namen smo uporabili linearno interpolacijo med minimalnim in maksimalnim številom obratov črpalke, kar izvaja ena od dveh rutin, ki smo ju napisali v jeziku funkcijskih blokov. Ta rutina je v celoti predstavljena na sliki 4.6. Ko količina vode v bazenu naraste na visok nivo, je črpalka še vedno vklopljena, a deluje z minimalnimi obrati. V kolikor voda preseže visok nivo, se črpalka izklopi, nato pa miruje, dokler količina vode v bazenu ne pade do srednjega nivoja. Osrednji del programa, ki upravlja s črpalko v avtomatskem načinu delovanja, je razviden s slike 4.5. V avtomatskem načinu delovanja je možen le alarm, ki označuje prazen bazen. To pomeni, da črpalka kljub maksimalnim obratom ni zmoгла v bazen prečrpati več vode, kot je je na drugi strani iztekalo za-



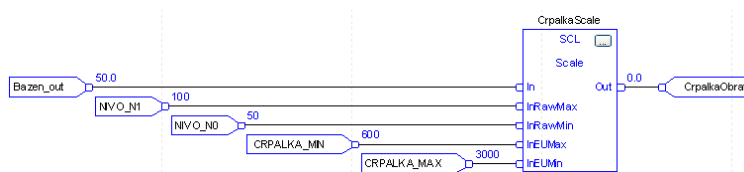
Slika 4.4: Diagram obratovanja črpalke v avtomatskem načinu delovanja

radi porabnikov. V tem primeru se odtok za nekaj časa izklopi, podrobnejše delovanje sistema v taki situaciji pa je opisano v poglavju o alarmih.

V ročni način delovanja operator preide s pritiskom na ustrezen gumb v nadzornem sistemu. Ta način delovanja je razmeroma enostaven, saj ima operator možnost vklopa in izklopa črpalke po svoji volji. Ob obratovanju lahko nastavlja tudi njene obrate, seveda v okviru zmožnosti črpalke, in s tem neposredno vpliva na pretok vode na črpalke. V ročnem načinu delovanja je poleg alarma praznega bazena možen tudi drugi alarm, ki signalizira previsok nivo vode v bazenu. Ta nemudoma ustavi delovanje črpalke, da ne bi prišlo do izlivanja vode iz bazena.



Slika 4.5: Del programske implementacije črpalke

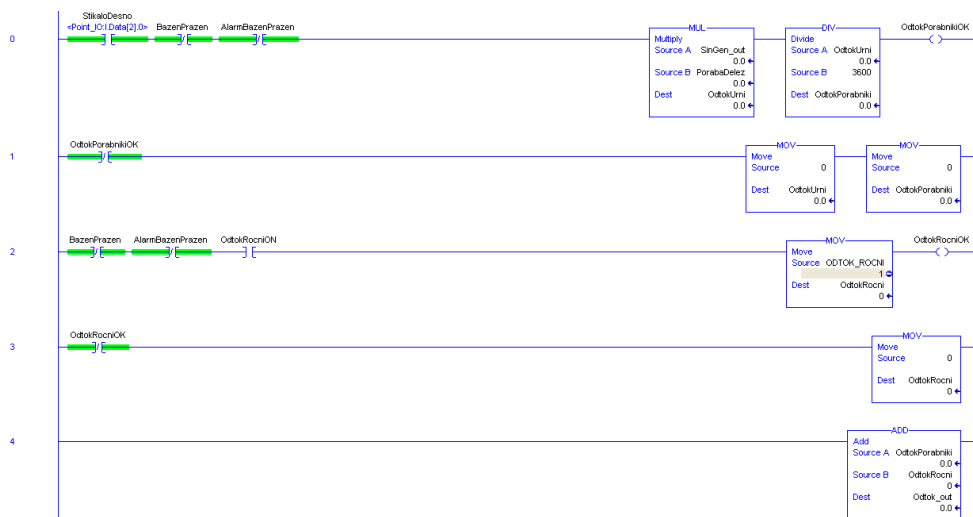


Slika 4.6: Rutina, ki skrbi za samodejno nastavljanje števila obratov črpalke v avtomatskem načinu delovanja

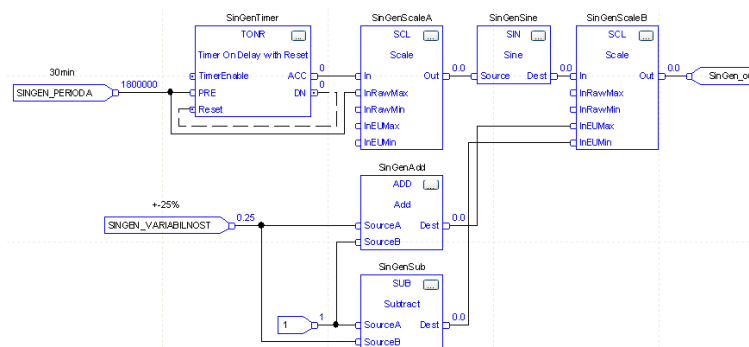
4.4 Odtok

Že v prejšnjih poglavjih smo poudarili, da smo pretok vode na odtoku poskušali čim bolj približati realnim potrebam po vodi prebivalstva. Zaradi dnevne variabilnosti porabe vode smo za osnovo izračuna prostorninskega pretoka odtoka ustvarili dolgoročno časovno odvisnost odtoka. To smo dosegli z utežmi, ki smo jih povzeli po časovni krivulji avtorjev Mutschmann in Stimmelmayer in jih prilagajali vsako uro. Ob spremembi uteži je sprememba pretoka nezvezna, kar je jasno razvidno iz grafov v poročilu, vendar to na simulacijo in končne rezultate bistveno ne vpliva. Poleg opisanega dolgoročnega spreminjanja odtoka smo ustvarili tudi kratkoročno variabilnost, ki ponazarja hitrejšo, a manjše spremembe v porabi vode, ki so bolj ali manj naključne narave. Kratkoročno časovno odvisnost smo simulirali s preprosto sinusno krivuljo s periodo 30 minut. Amplitudo sinusoide smo nastavili tako, da vrednost pretoka odtoka variira za $\pm 25\%$. To pomeni, da ob jutranji konici porabe vode, ki je v povprečju 900 l/h, vrednost pretoka doseže vrh pri 1125 l/h. Rutina, ki izračunava kratkoročno odvisnost je druga rutina, ki smo jo napisali v jeziku funkcijskih blokov, saj je z lestvični diagrami to težje izvedljivo. Prikazana je na sliki 4.8. Vgradili smo tudi možnost dodatnega ročnega iztekanja vode iz bazena, s katerim razpolaga operater in je namenjen predvsem izjemnim primerom, na primer pri vzdrževalnih delih. Ročni odtok ima ob aktivnosti konstanten pretok, ki je precej večji od ostalih pretokov sistema. Znaša 1 l/s, oziroma 3600 l/h, kar operaterju omogoča hitro izpraznitev bazena. Vrednost ročnega iztekanja vode se prišteje pretoku ostalih porabnikov. Osrednji del programske implementacije odtoka je razviden s slike 4.7.

Točna vrednost pretoka odtoka v danem trenutku je torej odvisna od treh vhodnih spremenljivk: trenutne vrednosti sinusoide, vrednosti uteži dolgoročne variabilnosti, ki se spreminja v odvisnosti od lokalnega časa in od vrednosti pretoka ročnega odtoka. Tudi pri odtoku smo dodali števec skupnega pretoka na odtoku, ki seštevava vso količino vode, ki je bila odvedena iz sistema. Delovanje odtoka je razvidno tudi na krmilniku, saj modra luč na



Slika 4.7: Del programske implementacije odtoka



Slika 4.8: Rutina kratkoročne variabilnosti odtoka

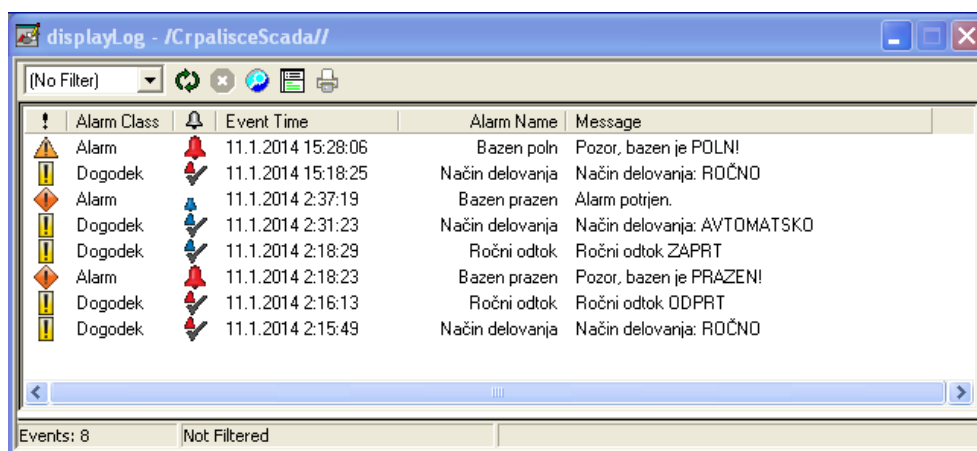
krmilniku sveti, če je pretok odtoka večji od nič, sicer pa je ugasnjena.

4.5 Alarmi, dogodki in dnevnik obratovanja

Na črpališču sta realizirana dva alarma, to sta alarm praznega bazena in alarm previsokega nivoja vode v bazenu. Oba alarma imata dva načina za potrjevanje: če je vzrok za nastanek alarma odpravljen, ga lahko potrdi operater, lahko pa se izključita tudi samodejno, ko črpališče preide v stanje, ki zagotavlja normalno delovanje. Katerikoli od obeh alarmov ob aktivnosti prižge rdečo luč na krmilniku, podobna luč pa začne utripati tudi na glavnem zaslonu nadzornega sistema SCADA. V kolikor poskuša operater potrditi alarm, čeprav vzrok za alarm še ni odpravljen, se alarm ne potrdi, ustrezna komponenta sistema pa ostane onemogočena.

Alarm praznega bazena je mogoč v obeh načinih delovanja in ob aktivnosti takoj prekine odtok, medtem ko črpalka deluje nespremenjeno. Če je sistem v avtomatskem načinu delovanja, to vedno pomeni maksimalne obrate in s tem največji možen pretok vode na črpalki, ki poskuša sistem čim prej povrniti do zadovoljivega nivoja vode v bazenu. V primeru ročnega načina delovanja črpalka prav tako deluje brez sprememb, kar lahko povzroči daljše trajanje aktivnosti alarma, če črpalka ne obratuje pri najvišjih obratih, ob izklopljeni črpalki pa se alarm ne bo nikoli samodejno potrdil. Tako stanje je ob normalnem obratovanju črpališča sicer nezaželeno, vendar pa nam lahko pride prav ob izjemnih primerih, na primer ob rednih vzdrževalnih delih na črpališču. Alarm praznega bazena lahko operater potrdi šele, ko količina vode v bazenu naraste vsaj do srednjega nivoja. V primeru, da ga operater ne potrdi, se alarm samodejno izklopi, če voda v bazenu doseže visok nivo. Ob potrditvi alarma sistem preide v normalno stanje, kar pomeni, da začne voda zopet iztekati iz bazena. Prazen bazen za črpališče torej pomeni, da se porabnikom dobava vode prekine, zato se je temu ob normalnem obratovanju črpališča potrebno izogibati. Alarm praznega bazena smo klasificirali kot alarm z najvišjo prioriteto.

Drugi alarm signalizira poln bazen in se lahko sproži samo, ko je črpališče v ročnem načinu delovanja. V avtomatskem načinu delovanja se črpalka namreč izključi takoj, ko voda v bazenu preseže visok nivo. Alarm polnega bazena se aktivira, če je operater nepazljiv pri upravljanju s črpalko in je ne izklopi preden gladina vode doseže vrh bazena. V tem primeru se črpalka kljub ročnemu načinu delovanja samodejno izklopi, vrednost pretoka na odtoku pa ostane nespremenjena. Alarm lahko potrdi operater, ko količina vode v bazenu pade na visok nivo, sicer pa se izklopi samodejno, ko gladina vode doseže srednji nivo. Ta alarm ni tako kritičen kot prvi, saj ob njem v resnici ne pride do nikakršne škode na črpališču, niti pri porabnikih. Alarmu polnega bazena smo zato namenili nižjo prioriteto, še vedno pa se v dnevnik obratovanja zapiše kot alarm in ne kot dogodek. Ob koncu naj omenimo le še sicer povsem logičen zaključek, da oba alarma hkrati ne moreta biti aktivna, saj se vsak od njiju samodejno potrdi, še preden obstaja možnost, da bi se aktiviral drugi. Povedano drugače, bazen ne more biti hkrati prazen in poln.



Alarm Class	Event Time	Alarm Name	Message
Alarm	11.1.2014 15:28:06	Bazen poln	Pozor, bazen je POLN!
Dogodek	11.1.2014 15:18:25	Način delovanja	Način delovanja: ROČNO
Alarm	11.1.2014 2:37:19	Bazen prazen	Alarm potrjen.
Dogodek	11.1.2014 2:31:23	Način delovanja	Način delovanja: AVTOMATSKO
Dogodek	11.1.2014 2:18:29	Ročni odtok	Ročni odtok ZAPRT
Alarm	11.1.2014 2:18:23	Bazen prazen	Pozor, bazen je PRAZEN!
Dogodek	11.1.2014 2:16:13	Ročni odtok	Ročni odtok ODPRT
Dogodek	11.1.2014 2:15:49	Način delovanja	Način delovanja: ROČNO

Slika 4.9: Dnevnik obratovanja

Aktivacija alarma ali njegova potrditev se vedno vpiše tudi v dnevnik obratovanja, iz katerega je kasneje možno razbrati delovanje celotnega črpališča. Primer dnevnika obratovanja je na sliki 4.9. Zapisi se kreirajo samodejno (za to je zadolžen strežnik OPC), dnevnik pa je vključen tudi v končnem

poročilu. Vsak zapis poleg točnega časa vsebuje še prioriteto, tip zapisa, ime in sporočilo. V dnevnik se vpisujejo tudi nekateri drugi dogodki, ki za črpališče niso tako kritični, a so vseeno koristni pri kasnejšem vpogledu v obratovanje črpališča. Realizirali smo dva taka dogodka, in sicer smo kot dogodek označili spremembo načina delovanja črpališča in vklop oziroma izklop ročnega odtoka. Za razliko od obeh alarmov, ki se aktivirata samodejno, je za spremembo pri obeh dogodkih vedno odgovoren operater. Dogodka imata najnižjo prioriteto, služita pa le za večji pregled nad obratovanjem črpališča, zato ne potrebujeta nikakršne potrditve, kot je potrebno pri alarmih. Dnevnik vsebuje tudi enostaven filter, ki omogoča grupiranje po tipu zapisa, kar pomeni, da lahko prikaže le alarme, le dogodke, ali pa vse zapise obenem.

4.6 Nadzorni sistem

Operater za potrebe upravljanja s črpališčem uporablja nadzorni sistem SCADA, ki v realnem času prikazuje vse ključne informacije sistema, obenem pa omogoča tudi ukrepanje v primeru nezaželene ali nevarne situacije. Sestavljen je iz petih različnih zaslonov, med katerimi operater preklaplja s pritiski na gumbе. Nadzorni sistem smo izdelali tako, da je čim bolj pregleden, intuitiven in enostaven za uporabo, naenkrat pa lahko prikazuje tri od petih zaslonov. Glavni zaslon se nahaja v zgornjem levem kotu in je vedno prisoten. To je eden od obeh zaslonov načina delovanja, odvisno v katerem od načinov se sistem trenutno nahaja. Primerjava obeh glavnih zaslonov je na sliki 4.10. Pod glavnim zaslonom je prostor za zaslon dnevnika obratovanja, desna stran nadzornega sistema pa je rezervirana za enega od dveh zaslonov, ki prikazujeta graf delovanja črpališča – prvi prikazuje trenutno količino vode v bazenu, drugi pa prostorninski pretok vode na črpalki in odtoku. Oba zaslona sta vidna na sliki 4.11.

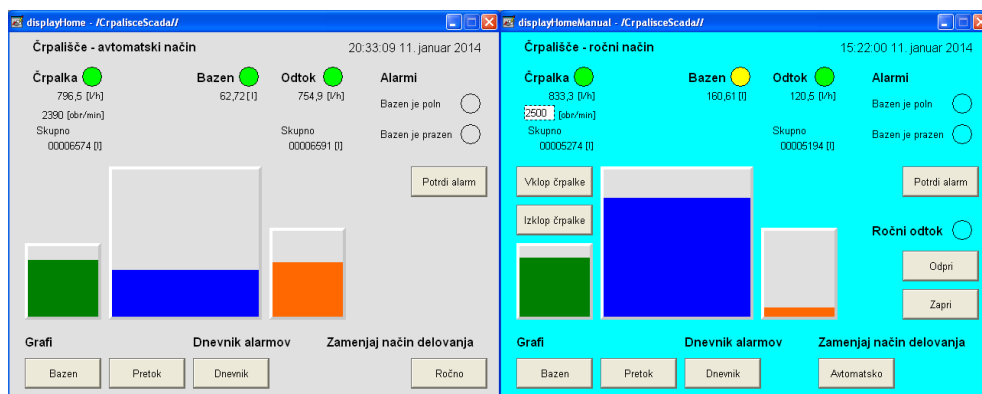
Ob vstopu v nadzorni sistem se odpre zaslon avtomatskega načina delovanja, saj ročni način delovanja brez nadzornega sistema ni mogoč. Na njem so pregledno prikazani vsi parametri črpališča, ki jih operater potrebuje za

pregled nad obratovanjem črpališča. Osrednji del zaslona zavzemajo trije stolpični grafi, ki prikazujejo pretok vode na črpalki (levo), količino vode v bazenu (na sredini) in pretok vode na odtoku (desno). Zaradi preglednosti se grafi polnijo z različnimi barvami: pretok vode na črpalki je obarvan s temno zeleno, količina vode v bazenu s temno modro, pretok vode na odtoku pa z oranžno barvo. Nad stolpičnimi grafi so omenjene količine prikazane tudi v numerični obliki, pri črpalki pa so navedeni tudi njeni obrati. Tukaj sta še števec skupne količine pretočene vode v bazen in iz njega. Nekoliko višje se nahajajo tri opozorilne luči, ki se prižigajo in ugašajo skladno z delovanjem črpališča, povsem pri vrhu pa je prikazno polje s točnim datumom in časom. Na desnem delu zaslona sta dve opozorilni luči, ki prikazujeta aktivnost obeh alarmov in gumb za njuno potrditev. Ob aktivnosti alarma začne ustrezna luč utripati rdeče, ugasne pa šele ob potrditvi alarma.

Spodnji del zaslona avtomatskega načina delovanja je namenjen gumbom, ki odpirajo druge zaslone. Skrajno leva gumba prikazeta vsak svoj zaslon z grafom, ki se odpre desno od glavnega zaslona – prvi prikazuje graf trenutne količine vode v bazenu, drugi pa trenutni pretok vode na črpalki in odtoku. Tretji gumb z leve pod glavnim oknom prikaže dnevnik obratovanja, s pritiskom na skrajno desni gumb pa operater spremeni način delovanja črpališča v ročno vodenje.

Ob spremembi načina delovanja nas pričaka tudi nov zaslon. Ta zaslon je zelo podoben zaslonu avtomatskega načina delovanja, a z nekaj ključnimi razlikami. Barva ozadja je, za razliko od nevtralne sive, ki jo vidimo pri prejšnjem zaslonu, tukaj svetlo modra, kar naj bi operaterja opozorilo, da je sedaj on zadolžen za obratovanje črpalke in tako odgovoren za delovanje celotnega črpališča.

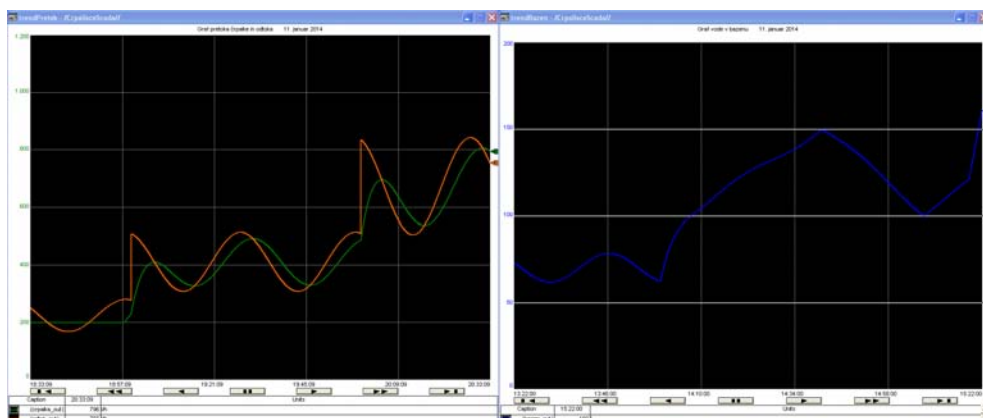
Nad stolpičnim grafom pretoka vode na črpalki sta dva nova gumba, s katerima operater skrbi za vklop in izklop črpalke. Namesto prikaznega polja za prikaz obratov črpalke je sedaj vnosno polje, kamor lahko vnese poljubno število znotraj omejitev obratov. Tako operater določi obrate pri katerih deluje črpalka. Druga funkcionalnost, ki je dodana zaslonu ročnega načina



Slika 4.10: Primerjava glavnega zaslona v avtomatskem (levo) in ročnem načinu (desno)

delovanja, sta gumba za vklop in izklop ročnega odtoka, s katerima ima operater možnost nadzorovanega iztekanja vode iz bazena. Gumba spremlja tudi zelena opozorilna luč, ki se prižge ob vklopu ročnega odtoka. Ti elementi se nahajajo na desni strani zaslona, tik pod elementi, ki so namenjeni upravljanju z alarmi. Vsi ostali deli zaslona so enaki predhodnemu zaslonu, z izjemo gumba v desnem spodnjem kotu, ki nas v tem primeru vrne nazaj na avtomatski način delovanja.

Oblikovali smo dva zaslona, na katerih se sprti izrisuje grafikon. Na prvem zaslonu se izrisuje graf trenutne količine vode v bazenu, označeni pa so tudi trije nivoji vode – visok, srednji in nizek, ki so pomembni za delovanje črpalke v avtomatskem načinu. Graf na drugem zaslonu nam hkrati prikazuje oba prostorninska pretoka: pretok vode na črpalke in pretok vode na odtoku. Zaradi preglednosti smo tudi pri izrisovanju grafov pazili na barve, ki so enake kot barve istih parametrov na glavnem zaslonu. Grafa prikazujeta vrednosti zadnjih dveh ur obratovanja črpališča, po želji pa lahko prikažemo tudi zgodnejše podatke.



Slika 4.11: Primer obeh zaslonov z grafikonomi: levo graf pretoka na črpalki in odtoku, desno graf količine vode v bazenu

4.7 Parametri in podatkovna baza

Črpalnice ob obratovanju proizvede množico procesnih podatkov, nekateri od njih so bolj pomembni, drugi manj. Iz množice spremenljivk smo izbrali tiste, ki so ključni za kvaliteten vpogled v delovanje sistema skozi čas in predstavljajo osnovo za generiranje poročil o obratovanju. Izbrali smo naslednjih šest spremenljivk oziroma parametrov:

- prostornina vode v bazenu,
- prostorninski pretok vode na črpalki,
- število obratov črpalke,
- prostorninski pretok vode na odtoku,
- skupna količina prečrpane vode v bazen,
- skupna količina porabljene vode iz bazena.

Najprej smo ustvarili model za zapisovanje parametrov v bazo. Odločili smo se, da se parametri v bazo zapišejo vsakih 10 sekund, saj osrednji del

kratkoročnega poročila sestavljata grafa, za katera je pomembna čim večja gostota meritev. Pri šestih parametrih to nanese približno 50000 vnosov na dan, oziroma skoraj 19 milijonov vnosov letno. Zato smo nastavili, da se podatki po šestih mesecih brišejo iz podatkovne baze. Orodje FactoryTalk View Studio nam v izbrani podatkovni bazi samodejno ustvari tri tabele. Tabela točk (Tag table) vsebuje imena parametrov, kot smo jih definirali v programu FactoryTalk View Studio in vsakemu parametru priredi svoj indeks. Tabela vrednosti (Float table) je sprva prazna, ob obratovanju pa se vanjo zapisujejo vrednosti parametrov, skupaj s točnim podatkom o času in indeksom iz tabele označb. Tretje tabele, t.i. tabele nizov (String table), nismo uporabljali.

Poleg zgornjih šestih parametrov je potrebno hraniti tudi alarme in dogodke. Ti se zapisujejo v ločeno podatkovno bazo, za razliko od zgornjih parametrov pa se alarmi in dogodki v bazo ne vnašajo periodično, temveč le ob nastanku dogodka oziroma ob sprožitvi ali potrditvi alarma. Število vnosov v bazo alarmov in dogodkov je običajno veliko nižje, zato nismo nastavili sprotnega brisanja, temveč mora operater za to poskrbeti sam, če je potrebno. Tudi tu za inicializacijo štirih tabel poskrbi program FactoryTalk View, vendar je bila za nas uporabna le ena. Tabela alarmov ima veliko število stolpcev, iz katerih je mogoče razbrati zelo natančen opis za razlog vnosa. To je pri alarmih zelo pomembno, saj nam omogoča zelo podrobno diagnosticiranje posameznega zapisa. Vsak zapis v bazi ima edinstven identifikator, točen čas, vir (alarme lahko zapisujemo v isto bazo iz različnih virov), kategorijo, prioriteto, sporočilo, tip in še nekatere druge lastnosti.

4.8 Sistem poročil

Vodno črpališče smo opremili z dvema različicama poročil o obratovanju. Dolgoročno poročilo je namenjeno upravljalcem črpališča in je primerno za izdelavo mesečnih poročil. Druga različica je kratkoročno poročilo, ki je namenjeno operaterjem in ga sestavljajo podrobnejši podatki o obratovanju

Začetek: 11.01.2014 od: 00:00

Konec: 12.01.2014 do: 00:00

Interval: 10 minut

Črpališče - dolgoročno poročilo

Datum	Čas	Tip alarma	Ime alarma	Sporočilo
11.01.2014	02:15:49	Dogodek	Način delovanja	Način delovanja: ROČNO
11.01.2014	02:16:13	Dogodek	Ročni odtok	Ročni odtok ODPRT
11.01.2014	02:18:23	Alarm	Bazen prazen	Pozor, bazen je PRAZEN!
11.01.2014	02:18:29	Dogodek	Ročni odtok	Ročni odtok ZAPRT
11.01.2014	02:31:23	Dogodek	Način delovanja	Način delovanja: AVTOMATSKO
11.01.2014	02:37:19	Potrditev alarma	Bazen prazen	Alarm potrjen.
11.01.2014	15:18:25	Dogodek	Način delovanja	Način delovanja: ROČNO
11.01.2014	15:28:06	Alarm	Bazen poln	Pozor, bazen je POLN!
11.01.2014	15:29:29	Dogodek	Način delovanja	Način delovanja: AVTOMATSKO
11.01.2014	16:05:58	Potrditev alarma	Bazen poln	Alarm potrjen.

Skupna prostornina iztočene vode preko ročnega odtoka: 136 l

Slika 4.12: Primer glave poročila s tabelo dnevnika obratovanja

črpališča na krajši rok.

Pri uporabi obeh poročil je najprej potrebno vnesti datum in čas začetka ter konca obsega poročila. Ta podatek nam poizvedbo iz podatkovne baze omeji na vse zapise, ki so bili vneseni znotraj izbranega časovnega obdobja in se pri obeh vrstah poročil obravnava enako. Tretji vhodni parameter je interval zapisov, ki nam še dodatno omeji število prikazanih zapisov v poročilu. Tu se poročila razlikujeta, saj je pri kratkoročnem poročilu mogoče izbrati eno od petih možnosti, ki se raztezajo od 10 sekund do 10 minut, pri dolgoročnem poročilu pa je minimalen interval zajetih vnosov 10 minut, maksimalen pa 4 ure. Ti trije vneseni podatki so v poročilu izpisani povsem pri vrhu. Sledi naslov poročila, pod njim pa tabela dnevnika obratovanja. Ta prikazuje vse vnose iz podatkovne baze o alarmih in dogodkih, ki so se zgodili v izbranem časovnem obdobju in je pri obeh različicah poročila enaka. Pod tabelo dnevnika obratovanja najdemo informacijo o seštevku prostornine vse iztočene vode, ki ni šla k porabnikom, temveč jo je operater iz bazena iztočil z ročnim odtokom. Opisani del poročila je na sliki 4.12.

Drugi del poročila se pri obeh različicah nekoliko razlikuje zaradi drugačnih

Datum	Čas	Črpalka - obrati [N/min]	Črpalka - pretok [l/h]	Odtok - pretok [l/h]	Voda v bazenu [l]	Bazen - razlika [l]
11.01.2014	02:37:01	3000	1000	0	90.56	2.78
11.01.2014	02:37:11	3000	1000	0	93.61	3.06
11.01.2014	02:37:21	3000	1000	0	96.39	2.78
11.01.2014	02:37:31	3000	1000	0	99.17	2.78
11.01.2014	02:37:41	600	200	34.49	100.27	1.1
11.01.2014	02:37:51	600	200	34.18	100.73	0.46

Slika 4.13: Primer osrednje tabele kratkoročnega poročila

potreb uporabnikov poročil, to je operaterjev oziroma upravljalcev objekta. Kratkoročno poročilo se nadaljuje s tabelo trenutnih vrednosti treh glavnih sestavnih delov črpališča. Vsebuje trenutne obrate črpalke, prostorninski pretok vode na črpalki, prostorninski pretok vode, ki se dobavlja porabnikom (ročni odtok je tu izvzet, saj je podatek prikazan že prej), trenutno količino vode v bazenu ter razliko količine vode v bazenu od prejšnje meritve. Kratek izsek tabele je na sliki 4.13. Kratkoročno poročilo se konča z dvema grafoma, ki sta nam že poznana, saj smo enaka grafikona videli že na nadzornem sistemu. Prvi prikazuje prostorninska pretoka vode na črpalki in odtoku, drugi pa količino vode v bazenu.

Osrednja tabela dolgoročnega poročila vsebuje podatke, ki so namenjeni širšemu vpogledu v obratovanje črpališča. Tu najdemo skupna števca pretočene vode na črpalki in odtoku, razliki njunih vrednosti od prejšnje meritve, zopet se pojavi tudi količina vode v bazenu. Izsek iz osrednje tabele dolgoročnega poročila je prikazan na sliki 4.14. Pod tabelo najdemo še nekaj statističnih podatkov, ki se izračunajo na podlagi druge tabele. Najpomembnejša podatka v statistiki sta skupna števca prostornine pretočene vode na črpalki in odtoku v izbranem časovnem obdobju. Ta informacija namreč najhitreje povzame splošno oceno o delovanju vodnega črpališča, zato je nepogrešljiva pri pregledu mesečnih poročil o obratovanju. Skupna števca sta zato pod statistiko prikazana tudi grafično.

Datum	Čas	Črpalka - skupno [l]	Črpalka - razlika [l]	Voda v bazenu [l]	Odtok - skupno [l]	Odtok - razlika [l]
11.01.2014	19:04:51	5840	46	86.98	5833	63
11.01.2014	19:14:52	5903	63	91.8	5891	58
11.01.2014	19:24:54	5964	61	85.57	5959	68
11.01.2014	19:34:55	6043	79	82.95	6040	81
11.01.2014	19:44:57	6110	67	91.56	6098	58
11.01.2014	19:54:58	6170	60	85.56	6165	67

Slika 4.14: Primer osrednje tabele dolgoročnega poročila

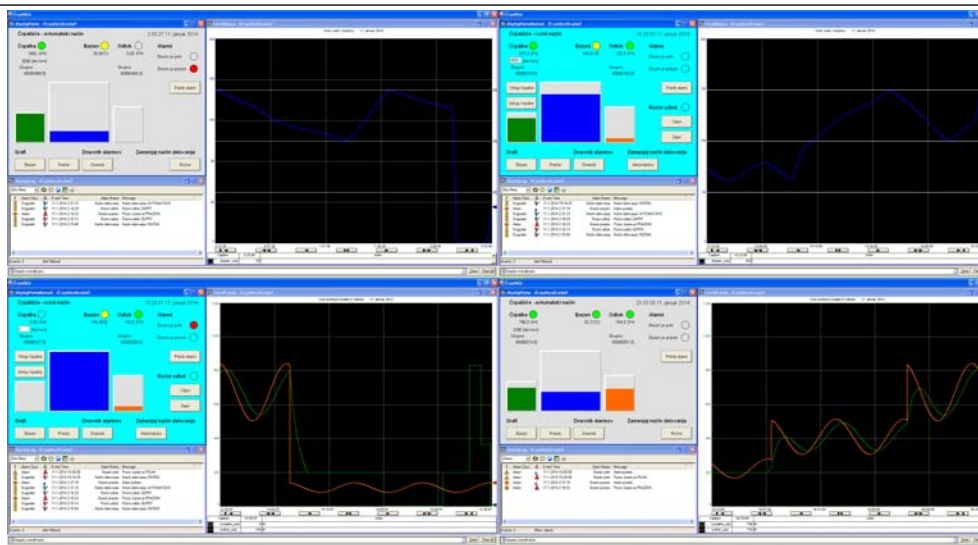
Poglavje 5

Enodnevna simulacija črpališča in analiza rezultatov

Projekta na žalost nismo mogli realizirati na resničnem objektu, ker smo si uporabljeno strojno opremo izposodili le za krajši čas. Kljub temu smo razvito vodno črpališče želeli preizkusiti, zato smo za preizkus delovanja sistema izvedli 24-urno neprekinjeno simulacijo. S simulacijo smo prikazali obnašanje celotnega sistema na daljši rok in pokazali pravilnost predstavljenega matematičnega modela. Demonstrirali smo uporabo vseh vzvodov, ki so na voljo operaterju za upravljanje s črpališčem, sicer pa je simulacija večino časa potekala v avtomatskem načinu delovanja, kot je to v navadi za tovrstne objekte. Črpališče je simulacijo prestalo brez težav, njeni rezultati pa so bili v skladu s pričakovanji. Po končanem testiranju smo izdelali še nekaj primerov poročil o obratovanju, ki prikazujejo delovanje vodnega črpališča v času simulacije. Na sliki 5.1 je prikazanih nekaj primerov nadzornega sistema v obratovanju.

5.1 Simulacija

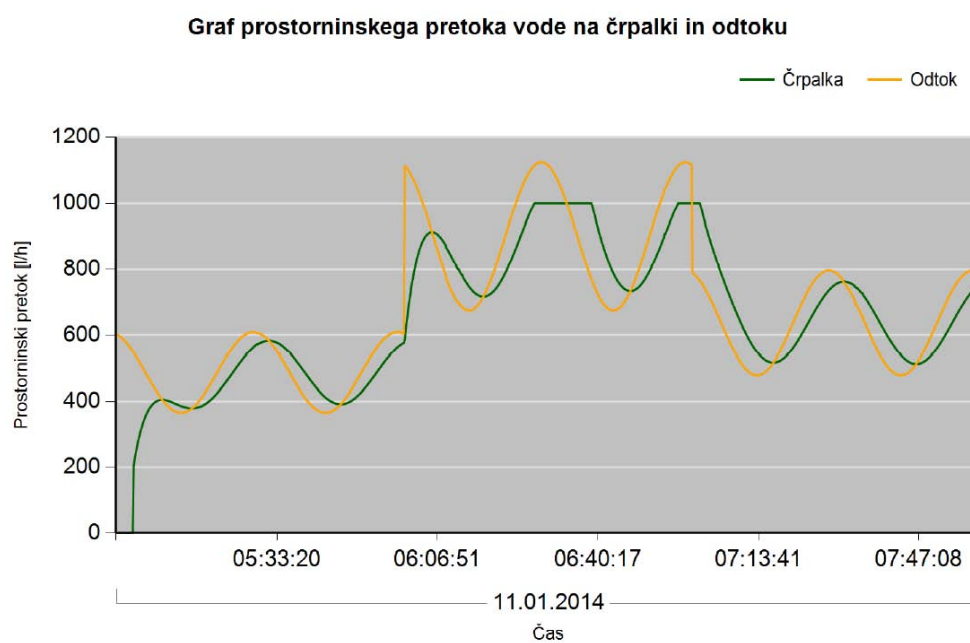
Simulacijo smo zagnali ob polnoči in jo prvi dve uri pustili, da se nemoteno izvaja. Nekaj minut po drugi uri smo prvič preizkusili ročni način delovanja. Odprli smo ročni odtok in v nekaj minutah izpraznili bazen. Po pričakovanjih



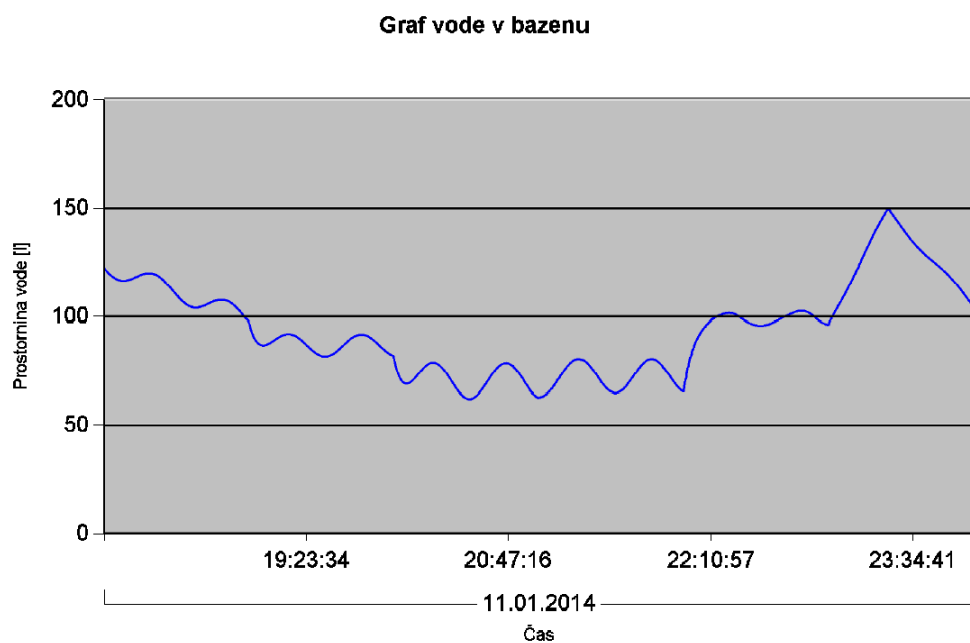
Slika 5.1: Štirje primeri nadzornega sistema med simulacijo

se je aktiviral alarm praznega bazena, ki je onemogočil odvajanje vode proti porabnikom. Bazeni smo nekaj minut pustili prazen, nato pa smo črpališče vrnili v avtomatski način delovanja. Črpalka je pričela obratovati s polno zmogljivostjo in v dobrih petih minutah bazen napolnila do visokega nivoja, kar je povzročilo samodejno potrditev alarma praznega bazena. Do pete ure zjutraj je črpališče obratovalo brez večjih sprememb, poraba vode je bila zelo nizka, zato črpalka ni imela težkega dela. Količina vode v bazenu je bila vseskozi na visokem nivoju. Ob peti uri se je začela poraba vode strmo vzpenjati in dosegla vrh med šesto in sedmo uro. Kot je razvidno s slike 5.2, je bila črpalka ves ta čas aktivna. Ob jutranjem višku porabe je delovala z maksimalnimi obrati, saj je nivo vode v bazenu padel na nizko vrednost, kljub temu pa dobava vode ni bila prekinjena. Nato se je poraba vode za nekaj ur umirila, opoldne pa je sledil še drugi višek porabe vode, ki je prav tako minil brez nevšečnosti.

V popoldanskem času, ko je bila poraba vode relativno nizka, smo zopet izbrali ročni način delovanja, da bi preizkusili alarm polnega bazena. Vključili smo črpalko in najprej nastavili število obratov na 2500 obr/min, nekoliko



Slika 5.2: Prostorninska pretoka vode med jutranjim viškom porabe



Slika 5.3: Količina vode v bazenu med večernim viškom porabe

kasneje pa še na 1100 obr/min. Bazen se je kmalu napolnil in sprožil alarm. Črpališče smo vrnili v avtomatski način delovanja, ko se je nivo vode v bazenu spustil na zadovoljivo raven, smo alarm ročno potrdili. Proti večeru se je poraba vode začela zviševati in dosegla vrh med osmo in deveto uro. Nivo vode v bazenu je bil takrat na srednjem nivoju, kar pomeni, da je črpalka uravnavala pretok vode v bazen v skladu s trenutno porabo vode. Stanje v bazenu med večernim viškom je razvidno s slike 5.3. Približno pol ure pred zaključkom simulacije se je poraba vode dovolj umirila, da je črpalka prenehala s črpanjem vode v bazen.

5.2 Analiza rezultatov

Črpališče smo zasnovali z idejo, da bi zmoglo zadostiti potrebi po vodi skupine hiš ali majhnega naselja. V fizikalnem modelu smo predvideli oskrbo z vodo petdesetih prebivalcev, ki v povprečju porabijo okoli 150 litrov vode dnevno. S simulacijo smo dokazali, da bi črpalka z razmeroma nizko maksimalno zmogljivostjo pretoka, ki je v našem primeru znašal 1000 l/h, zmogla obremenitve, ki bi jih zahteval takšen projekt. Končna statistika simulacije je vseeno pokazala, da obstajajo možnosti za izboljšavo našega črpališča. Priказana je na sliki 5.4. Najprej zbode v oči podatek, da je bila črpalka aktivna več kot tri četrtine časa, kar znaša dobrih 18 ur dnevno, v povprečju pa je obratovala pri manj kot polovični zmogljivosti. Glede na to, da je ponoči poraba vode zelo nizka, bi morda pričakovali nekoliko nižji delež aktivnosti črpalke. Če predpostavimo, da mora dnevno pretočiti približno 7500 litrov vode, bi to ob maksimalnem pretoku nanese manj kot 8 ur obratovanja. Tega problema bi se lahko lotili z dveh strani. Črpalko bi lahko nastavili tako, da ob obratovanju vedno deluje ob polni zmogljivosti. To bi pomenilo, da bi črpalka v bazen hitreje prečrpala potrebno količino vode in posledično dlje časa mirovala. Drug način reševanja istega problema je izgradnja večjega bazena. V tem primeru bi črpalka v bazen v enem aktivnem ciklu prečrpala večjo količino vode, kar bi se zopet izrazilo v daljšem obdobju mirovanja.

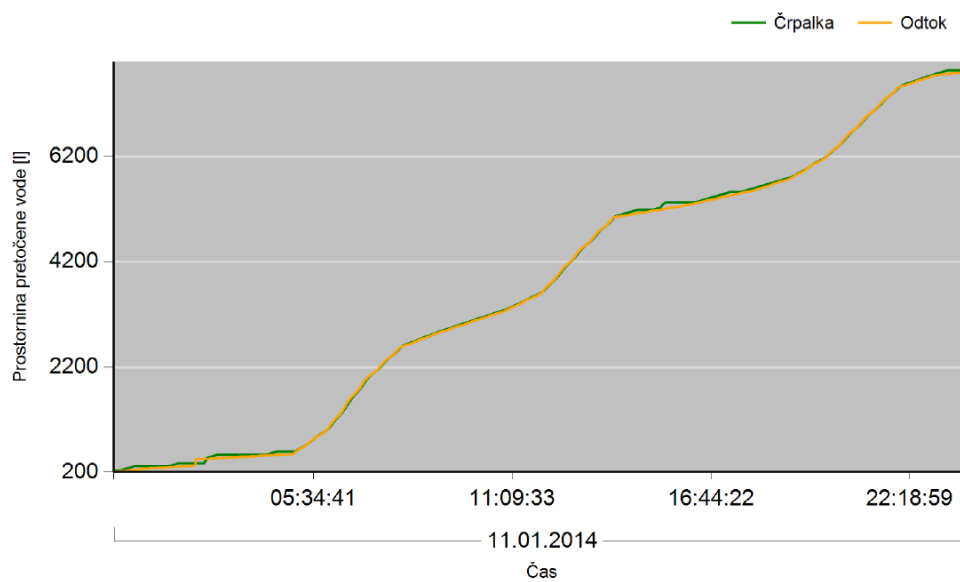
Statistika obratovanja črpališča	
Delež časa obratovanja črpalke:	75.93 %
Povprečno število obratov črpalke ob obratovanju:	1253 /min
Povprečen prostorninski pretok vode na črpalki ob obratovanju:	417.6 l/h
Povprečen prostorninski pretok vode na aktivnem odtoku:	316.09 l/h
Delež časa nizkega nivoja vode v bazenu:	2.32 %
Povprečna prostornina vode v bazenu:	100.59 l
Skupna prostornina pretočene vode na črpalki:	7609 l
Skupna prostornina pretočene vode na odtoku:	7616 l

Slika 5.4: Statistika obratovanja črpališča med simulacijo

Iz statistike lahko opazimo, da je bil delež časa nizkega nivoja vode v bazenu zelo nizek, le nekaj več kot 2%. To je dober znak, saj pomeni, da je bila črpalka večino časa povsem dovolj zmogljiva za potrebe porabnikov. Če natančneje pogledamo graf prostorninskega pretoka na črpalki, vidimo, da je črpalka delovala s polno zmogljivostjo le nekaj minut ob jutranjem višku porabe in okrog pol tretje ure zjutraj, ko smo načrtno izpraznili bazen. Z izjemo teh dveh primerov je bila količina vode v bazenu vedno zadostna.

Zadnji podatek v statistiki je skupna prostornina pretočene vode na črpalki in odtoku. V obeh primerih je vrednost zelo podobna, kar je povsem logično, saj mora črpalka v bazen prečrpati enako količino vode, kot jo na drugi strani iztočijo porabniki. Nekaj več kot 7600 litrov v 24 urah tudi potrjuje pravilnost našega fizikalnega modela, kjer smo predvideli 7500 litrov porabljene vode na dan. Če prištejemo še iztočeno vodo prek ročnega odtoka, ki znaša nekaj več kot 100 litrov, dobimo zelo dober približek začetni oceni. Poglejmo si še zadnji grafikon s slike 5.5, ki kaže skupno prostornino pretočene vode na črpalki in odtoku skozi čas. Jasno so razvidni trije dnevni viški, ki se kažejo kot nekoliko strmejši naklon funkcije ob teh urah. Kjer je funkcija položnejša, je prostorninski pretok vode manjši.

Graf skupne prostornine pretočene vode na črpalki in odtoku



Slika 5.5: Naraščanje skupne količine pretočene vode prek dneva

Poglavje 6

Sklepne ugotovitve

V diplomski nalogi smo skušali predstaviti celosten vpogled v zgradbo in delovanje sodobnih avtomatiziranih objektov. Na kratko smo opisali programirljive logične krmilnike, ki so glavni nosilci avtomatiziranih procesov v industriji. Pogledali smo si, kakšno je stanje pri standardih za povezovanje krmilnikov z nadzornimi sistemi in kako z nadzorni sistemi zagotovimo pregled nad avtomatiziranim procesom.

V vlogi načrtovalca avtomatiziranega objekta smo se preizkusili tudi sami, in s sodobnim Rockwell-ovim krmilnikom razvili vodno črpališče, ki bi z vodo lahko preskrbovalo manjše naselje. Izdelali smo preprost fizikalni model, ki združuje tri glavne komponente vodnega črpališča – črpalko, bazen in porabnike vode. Ker projekta nismo mogli udejaniti na realnem objektu, smo te tri komponente implementirali programsko, preizkusili pa smo jih s celodnevno simulacijo. Predstavljen fizikalni model se je izkazal za uspešnega, saj je simulacija potekala v skladu s pričakovanji, njena analiza pa je pokazala željene rezultate. Poleg implementacije črpališča na krmilniku smo vzporedno razvili tudi enostaven nadzorni sistem, ki se s krmilnikom poveže prek standardov OPC in operaterju omogoča vpogled v tekoče stanje sistema. Vsi ključni parametri sistema so jasno razvidni iz petih zaslonov, med katerimi preklapljam s pritiski na gumbe. Možna je tudi interakcija z avtomatiziranim procesom, saj lahko prek nadzornega sistema upravljamo

s črpalko in dodatnim ročnim odtokom. Realizirali smo dva alarma, ki ju lahko potrди operater, pod določenimi pogoji pa se lahko potrdita tudi samodejno. Aktivnost obeh alarmov je razvidna iz dnevnika obratovanja, ki se generira samodejno. Izbrali smo šest parametrov, ki so ključni za vpogled v obratovanje črpališča in se periodično zapisujejo v podatkovno bazo. Na koncu smo razvili še sistem poročil, ki iz teh parametrov izdelata dve različici poročila o obratovanju, ki so nam v veliko pomoč pri kasnejšem pregledovanju obratovanja črpališča.

Med izdelavo vodnega črpališča smo spoznali, da je za uspešno izvedbo tovrstnega projekta ključna uskladitev vseh predstavljenih komponent, tako strojnih kot programskih, v smiselno celoto, tako da med seboj pravilno komunicirajo in s tem zagotavljajo zelene rezultate. Največ težav pri delu nam je povzročal frekvenčni pretvornik, s katerim smo želeli prikazovati število obratov črpalke. Kljub dolgotrajnemu odpravljanju težav nam ni uspelo zagotoviti delujoče povezave z njim. Na srečo frekvenčni pretvornik ni bil ključen sestavni del hipotetičnega črpališča, zato smo ga na koncu izvzeli iz projekta.

Naloga je primerna za nadgradnjo v več smereh. Na podlagi razvitega hipotetičnega črpališča bi se lahko odločili za razširitev sistema, ki bi lahko oskrboval več kot le majhno naselje. V tem primeru bi lahko v sistem vključili tudi nekatere dodatne elemente, na primer vodohran, prečrpalnico ali pa objekt za čiščenje oziroma pripravo vode. Mogoče še bolj zanimiva bi bila izvedba realnega objekta na podlagi našega modela. Če bi hoteli predlagano črpališče vključiti v pravo stanovanjsko naselje, bi najbrž potrebovali še kar nekaj dela. Celotni sistemi za oskrbo z vodo so namreč sestavljeni iz velikega števila objektov, kar bi presegalo okvire diplomske naloge, po vsej verjetnosti pa bi bila potrebna tudi strokovna pomoč s področja vodarstva.

Priloge

Dodatek A

Primer kratkoročnega poročila o obratovanju

Začetek: 11.01.2014 od: 05:00

Konec: 11.01.2014 do: 08:00

Interval: 1 minuta

Črpališče - kratkoročno poročilo

Datum	Čas	Tip alarma	Ime alarma	Sporočilo
-------	-----	------------	------------	-----------

Skupna prostornina iztočene vode preko ročnega odtoka: 0 l

Datum	Čas	Črpalika - obrati [N/min]	Črpalika - pretok [l/h]	Odtok - pretok [l/h]	Voda v bazenu [l]	Bazen - razlika [l]
11.01.2014	05:00:11	0	0	601.34	131.53	0
11.01.2014	05:01:12	0	0	589.71	121.43	-10.1
11.01.2014	05:02:12	0	0	573.88	111.89	-9.54
11.01.2014	05:03:12	0	0	554.02	102.49	-9.4
11.01.2014	05:04:13	782.08	260.69	531.22	96.21	-6.28
11.01.2014	05:05:13	963.57	321.19	506.89	92.43	-3.78
11.01.2014	05:06:13	1084.81	361.6	481.28	89.9	-2.53
11.01.2014	05:07:13	1159.73	386.58	455.99	88.34	-1.56
11.01.2014	05:08:14	1200.23	400.08	432.09	87.5	-0.84
11.01.2014	05:09:14	1214.63	404.88	410.62	87.2	-0.3
11.01.2014	05:10:14	1211.82	403.94	392.54	87.25	0.06
11.01.2014	05:11:14	1198.49	399.5	378.68	87.53	0.28
11.01.2014	05:12:14	1179.96	393.32	369.61	87.92	0.39
11.01.2014	05:13:15	1161.54	387.18	365.76	88.3	0.38
11.01.2014	05:14:15	1146.51	382.17	367.29	88.61	0.31
11.01.2014	05:15:15	1138.28	379.43	374.12	88.79	0.17
11.01.2014	05:16:16	1138.55	379.52	385.73	88.78	-0.01
11.01.2014	05:17:16	1148.63	382.88	401.97	88.57	-0.21
11.01.2014	05:18:16	1169.59	389.86	422.09	88.13	-0.44
11.01.2014	05:19:17	1200	400	444.58	87.5	-0.63
11.01.2014	05:20:17	1240.4	413.47	469.29	86.66	-0.84
11.01.2014	05:21:17	1288.98	429.66	494.51	85.65	-1.01
11.01.2014	05:22:17	1343.89	447.96	519.71	84.5	-1.14
11.01.2014	05:23:17	1403.17	467.72	543.54	83.27	-1.23
11.01.2014	05:24:17	1464.42	488.14	564.57	81.99	-1.28
11.01.2014	05:25:18	1525.1	508.37	582.6	80.73	-1.26
11.01.2014	05:26:18	1582.68	527.56	596.48	79.53	-1.2
11.01.2014	05:27:18	1635.52	545.17	605.47	78.43	-1.1
11.01.2014	05:28:19	1679	559.67	609.24	77.52	-0.91
11.01.2014	05:29:19	1718.38	572.79	606.98	76.7	-0.82
11.01.2014	05:30:19	1739.94	579.98	599.31	76.25	-0.45
11.01.2014	05:31:19	1749.32	583.11	586.71	76.06	-0.2
11.01.2014	05:32:20	1745.99	582	570.1	76.13	0.07
11.01.2014	05:33:20	1730.24	576.75	549.6	76.45	0.33
11.01.2014	05:34:20	1702.74	567.58	526.39	77.03	0.57

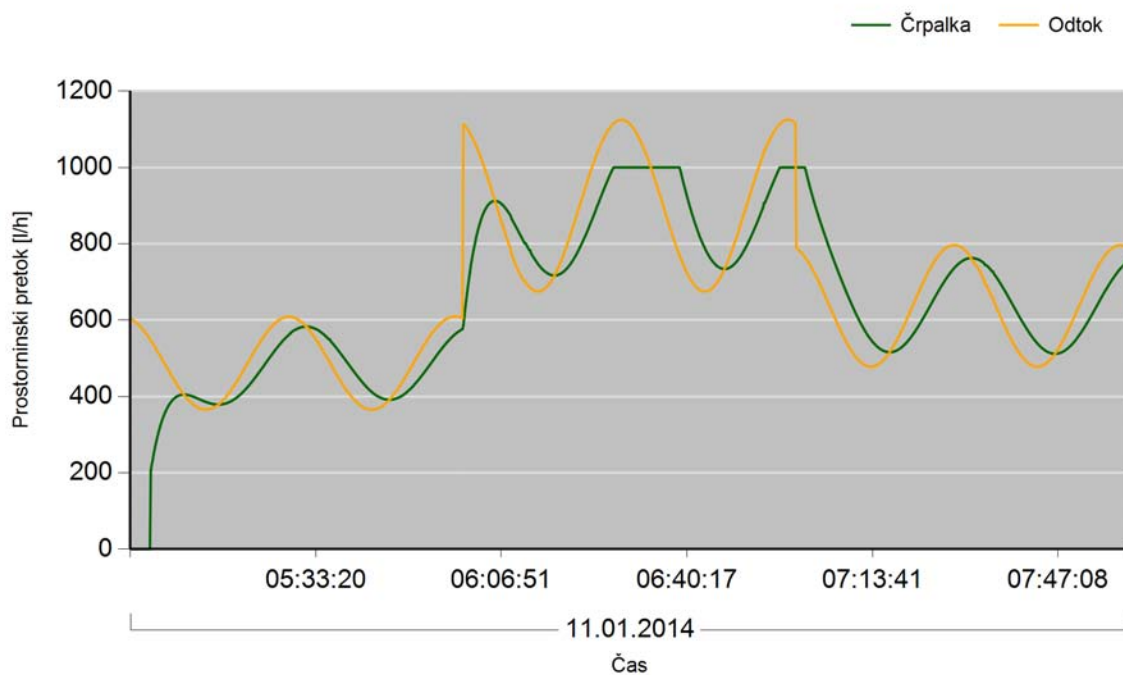
Datum	Čas	Črpalka - obrati [N/min]	Črpalka - pretok [l/h]	Odtok - pretok [l/h]	Voda v bazenu [l]	Bazen - razlika [l]
11.01.2014	05:35:21	1663.97	554.66	501.04	77.83	0.81
11.01.2014	05:36:21	1617.77	539.26	475.87	78.8	0.96
11.01.2014	05:37:21	1563.09	521.03	450.81	79.94	1.14
11.01.2014	05:38:22	1504.85	501.62	427.24	81.15	1.21
11.01.2014	05:39:22	1445.74	481.91	406.79	82.38	1.23
11.01.2014	05:40:23	1386.37	462.12	389.51	83.62	1.24
11.01.2014	05:41:23	1330.32	443.44	376.74	84.79	1.17
11.01.2014	05:42:23	1279.27	426.42	368.47	85.85	1.06
11.01.2014	05:43:23	1237.13	412.38	365.63	86.73	0.88
11.01.2014	05:44:24	1204.85	401.62	368.16	87.4	0.67
11.01.2014	05:45:24	1184.1	394.7	375.75	87.83	0.43
11.01.2014	05:46:24	1175.07	391.69	388.41	88.02	0.19
11.01.2014	05:47:25	1178.79	392.93	405.35	87.94	-0.08
11.01.2014	05:48:25	1194.61	398.2	425.6	87.61	-0.33
11.01.2014	05:49:25	1222.86	407.62	449.25	87.02	-0.59
11.01.2014	05:50:26	1261.24	420.41	474.31	86.22	-0.8
11.01.2014	05:51:26	1309.16	436.39	499.61	85.23	-1
11.01.2014	05:52:26	1362.99	454.33	524.65	84.1	-1.12
11.01.2014	05:53:27	1421.22	473.74	548.18	82.89	-1.21
11.01.2014	05:54:27	1481.29	493.76	568.88	81.64	-1.25
11.01.2014	05:55:27	1541.54	513.85	586	80.38	-1.26
11.01.2014	05:56:27	1597.33	532.44	598.86	79.22	-1.16
11.01.2014	05:57:28	1647.25	549.08	606.75	78.18	-1.04
11.01.2014	05:58:28	1689.71	563.24	609.37	77.3	-0.88
11.01.2014	05:59:28	1721.46	573.82	606.59	76.64	-0.66
11.01.2014	06:00:29	1956.39	652.13	1105.05	71.74	-4.89
11.01.2014	06:01:29	2271.25	757.08	1081.11	65.18	-6.56
11.01.2014	06:02:29	2487.88	829.29	1049.27	60.67	-4.51
11.01.2014	06:03:30	2630.64	876.88	1010.51	57.69	-2.97
11.01.2014	06:04:30	2708.79	902.93	967.1	56.07	-1.63
11.01.2014	06:05:31	2737.01	912.34	920.77	55.48	-0.59
11.01.2014	06:06:31	2725.68	908.56	873.45	55.71	0.24
11.01.2014	06:07:31	2683.3	894.43	827.43	56.6	0.88
11.01.2014	06:08:31	2619.99	873.33	784.68	57.92	1.32
11.01.2014	06:09:31	2529.68	843.23	741.17	59.8	1.88
11.01.2014	06:10:32	2446.48	815.49	711.32	61.53	1.73
11.01.2014	06:11:32	2376.79	792.26	692.82	62.98	1.45
11.01.2014	06:12:32	2301.15	767.05	679.06	64.56	1.58
11.01.2014	06:13:33	2236.24	745.41	675.06	65.91	1.35
11.01.2014	06:14:33	2188.38	729.46	681.15	66.91	1
11.01.2014	06:15:33	2159.86	719.95	696.52	67.5	0.59
11.01.2014	06:16:33	2151.77	717.26	721.1	67.67	0.17
11.01.2014	06:17:33	2166.02	722.01	753.53	67.37	-0.3
11.01.2014	06:18:34	2202.11	734.04	791.97	66.62	-0.75

Datum	Čas	Črpalka - obrati [N/min]	Črpalka - pretok [l/h]	Odtok - pretok [l/h]	Voda v bazenu [l]	Bazen - razlika [l]
11.01.2014	06:19:34	2258.84	752.95	835.49	65.44	-1.18
11.01.2014	06:20:34	2333.98	777.99	881.79	63.88	-1.57
11.01.2014	06:21:34	2424.22	808.07	928.26	62	-1.88
11.01.2014	06:22:34	2524.15	841.38	973.6	59.91	-2.08
11.01.2014	06:23:34	2633.06	877.69	1016.46	57.64	-2.27
11.01.2014	06:24:34	2746.51	915.5	1054.03	55.28	-2.36
11.01.2014	06:25:35	2855.89	951.96	1084.84	53	-2.28
11.01.2014	06:26:35	2958.3	986.1	1107.55	50.87	-2.13
11.01.2014	06:27:35	3000	1000	1121.11	48.9	-1.97
11.01.2014	06:28:35	3000	1000	1124.93	46.83	-2.06
11.01.2014	06:29:35	3000	1000	1118.82	44.75	-2.08
11.01.2014	06:30:35	3000	1000	1103.36	42.92	-1.83
11.01.2014	06:31:35	3000	1000	1078.78	41.39	-1.53
11.01.2014	06:32:35	3000	1000	1046.23	40.32	-1.07
11.01.2014	06:33:36	3000	1000	1007.92	39.88	-0.45
11.01.2014	06:34:36	3000	1000	964.42	40.1	0.23
11.01.2014	06:35:36	3000	1000	918.87	41.05	0.95
11.01.2014	06:36:36	3000	1000	870.85	42.83	1.78
11.01.2014	06:37:36	3000	1000	824.91	45.41	2.58
11.01.2014	06:38:36	3000	1000	782.96	48.64	3.22
11.01.2014	06:39:37	2885.85	961.95	745.52	52.38	3.74
11.01.2014	06:40:37	2721.82	907.27	714.77	55.8	3.42
11.01.2014	06:41:37	2577.61	859.2	692.18	58.8	3
11.01.2014	06:42:37	2452.81	817.6	678.76	61.4	2.6
11.01.2014	06:43:37	2354.64	784.88	675.07	63.45	2.05
11.01.2014	06:44:37	2279.04	759.68	681.23	65.02	1.57
11.01.2014	06:45:37	2228.39	742.8	697.02	66.08	1.06
11.01.2014	06:46:37	2204.85	734.95	721.71	66.57	0.49
11.01.2014	06:47:38	2206.9	735.63	753.75	66.52	-0.04
11.01.2014	06:48:38	2233.56	744.52	792.52	65.97	-0.56
11.01.2014	06:49:38	2283.07	761.02	836.28	64.94	-1.03
11.01.2014	06:50:38	2354.02	784.67	882.82	63.46	-1.48
11.01.2014	06:51:38	2440.28	813.43	929.55	61.66	-1.8
11.01.2014	06:52:38	2538.91	846.3	975.49	59.61	-2.05
11.01.2014	06:53:38	2649.16	883.05	1018.88	57.31	-2.3
11.01.2014	06:54:39	2757.04	919.01	1055.53	55.06	-2.25
11.01.2014	06:55:39	2864.78	954.93	1085.99	52.82	-2.24
11.01.2014	06:56:39	2965.72	988.57	1108.3	50.71	-2.1
11.01.2014	06:57:39	3000	1000	1121.74	48.68	-2.03
11.01.2014	06:58:39	3000	1000	1124.85	46.65	-2.03
11.01.2014	06:59:39	3000	1000	1118.22	44.61	-2.04
11.01.2014	07:00:40	3000	1000	780.61	46.59	1.98
11.01.2014	07:01:40	2981.44	993.81	762.85	50.39	3.79
11.01.2014	07:02:40	2807.97	935.99	739.17	54	3.61

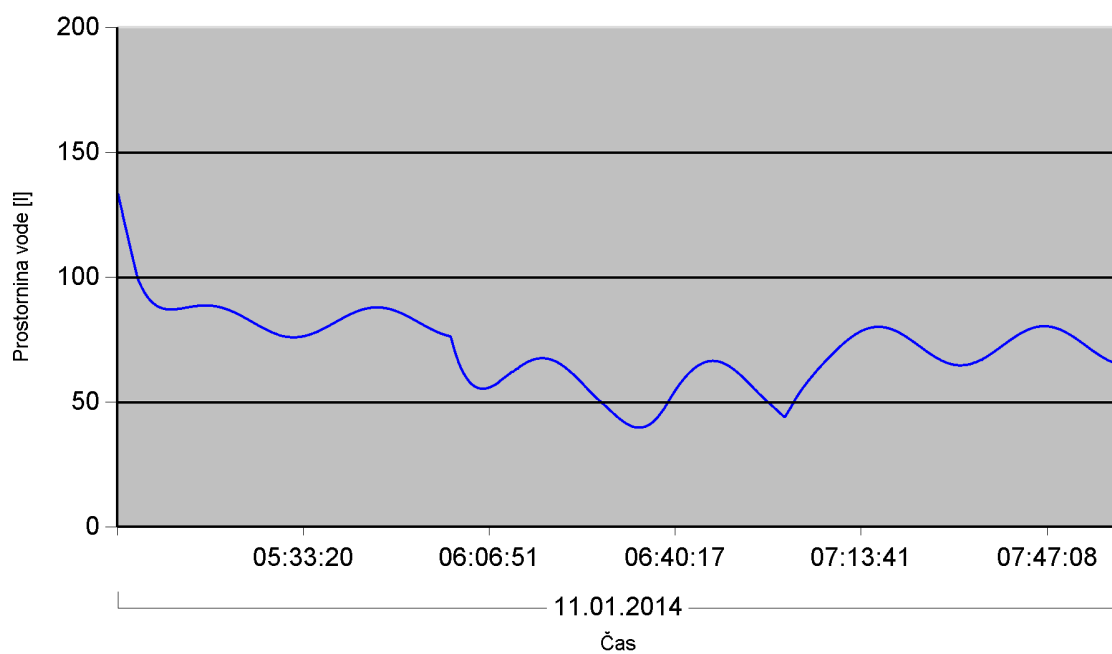
Datum	Čas	Črpalka - obrati [N/min]	Črpalka - pretok [l/h]	Odtok - pretok [l/h]	Voda v bazenu [l]	Bazen - razlika [l]
11.01.2014	07:03:40	2659.42	886.47	711.31	57.1	3.09
11.01.2014	07:04:40	2524.91	841.64	680.05	59.9	2.8
11.01.2014	07:05:40	2397.32	799.11	647.09	62.56	2.66
11.01.2014	07:06:40	2277.93	759.31	613.71	65.04	2.49
11.01.2014	07:07:41	2163.4	721.13	581.39	67.43	2.39
11.01.2014	07:08:41	2053.87	684.62	551.39	69.71	2.28
11.01.2014	07:09:41	1950.37	650.12	525.36	71.87	2.16
11.01.2014	07:10:41	1853.05	617.68	503.88	73.89	2.03
11.01.2014	07:11:41	1767.13	589.04	488.85	75.68	1.79
11.01.2014	07:12:41	1691.9	563.97	480.04	77.25	1.57
11.01.2014	07:13:41	1630.96	543.65	478.38	78.52	1.27
11.01.2014	07:14:42	1587.22	529.07	483.63	79.43	0.91
11.01.2014	07:15:42	1559.29	519.76	495.67	80.01	0.58
11.01.2014	07:16:42	1548.67	516.22	513.94	80.24	0.22
11.01.2014	07:17:42	1555.41	518.47	537.7	80.1	-0.14
11.01.2014	07:18:42	1579.39	526.46	565.89	79.6	-0.5
11.01.2014	07:19:42	1618.53	539.51	597.24	78.78	-0.82
11.01.2014	07:20:42	1671.17	557.06	630.3	77.68	-1.1
11.01.2014	07:21:42	1735.77	578.59	663.32	76.34	-1.35
11.01.2014	07:22:42	1807.5	602.5	695.73	74.84	-1.49
11.01.2014	07:23:43	1884.16	628.05	725.44	73.25	-1.6
11.01.2014	07:24:43	1963.61	654.54	751.28	71.59	-1.66
11.01.2014	07:25:43	2039.73	679.91	772.04	70.01	-1.59
11.01.2014	07:26:44	2110.42	703.47	786.97	68.53	-1.47
11.01.2014	07:27:44	2172.58	724.19	795.23	67.24	-1.29
11.01.2014	07:28:44	2224.18	741.39	796.53	66.16	-1.07
11.01.2014	07:29:44	2261.26	753.75	790.78	65.39	-0.77
11.01.2014	07:30:45	2283.35	761.12	778.02	64.93	-0.46
11.01.2014	07:31:45	2288.07	762.69	755.92	64.83	-0.1
11.01.2014	07:32:45	2277.75	759.25	735.49	65.05	0.22
11.01.2014	07:33:45	2250.77	750.26	707.15	65.61	0.56
11.01.2014	07:34:45	2209	736.33	675.68	66.48	0.87
11.01.2014	07:35:46	2154.27	718.09	642.46	67.62	1.14
11.01.2014	07:36:46	2087.81	695.94	609.15	69	1.38
11.01.2014	07:37:46	2014.69	671.56	577.05	70.53	1.52
11.01.2014	07:38:46	1937.11	645.7	547.67	72.14	1.62
11.01.2014	07:39:46	1858.45	619.48	522.19	73.78	1.64
11.01.2014	07:40:47	1783.4	594.47	502.08	75.35	1.56
11.01.2014	07:41:47	1712.69	570.9	487.54	76.82	1.47
11.01.2014	07:42:47	1650.74	550.25	479.59	78.11	1.29
11.01.2014	07:43:48	1600.24	533.41	478.56	79.16	1.05
11.01.2014	07:44:48	1562.92	520.97	484.68	79.94	0.78
11.01.2014	07:45:48	1541.63	513.88	497.23	80.38	0.44
11.01.2014	07:46:48	1536.52	512.17	515.74	80.49	0.11

Datum	Čas	Črpalka - obrati [N/min]	Črpalka - pretok [l/h]	Odtok - pretok [l/h]	Voda v bazenu [l]	Bazen - razlika [l]
11.01.2014	07:47:48	1547.97	515.99	540.29	80.25	-0.24
11.01.2014	07:48:48	1575.32	525.11	568.81	79.68	-0.57
11.01.2014	07:49:49	1617.42	539.14	600.35	78.8	-0.88
11.01.2014	07:50:49	1673.45	557.82	633.56	77.64	-1.17
11.01.2014	07:51:49	1737.71	579.24	665.99	76.3	-1.34
11.01.2014	07:52:49	1810.66	603.55	698.05	74.78	-1.52
11.01.2014	07:53:49	1888.12	629.37	727.48	73.16	-1.61
11.01.2014	07:54:50	1967.98	655.99	753.04	71.5	-1.66
11.01.2014	07:55:50	2042.91	680.97	773.2	69.94	-1.56
11.01.2014	07:56:51	2113.45	704.48	787.64	68.47	-1.47
11.01.2014	07:57:51	2176.15	725.38	795.5	67.16	-1.31
11.01.2014	07:58:51	2226.23	742.08	796.38	66.12	-1.04
11.01.2014	07:59:51	2262.1	754.03	790.4	65.37	-0.75

Graf prostorninskega pretoka vode na črpalki in odtoku



Graf vode v bazenu



Dodatek B

Primer dolgoročnega poročila o obratovanju

Začetek: 11.01.2014 od: 00:00

Konec: 12.01.2014 do: 00:00

Interval: 10 minut

Črpališče - dolgoročno poročilo

Datum	Čas	Tip alarma	Ime alarma	Sporočilo
11.01.2014	02:15:49	Dogodek	Način delovanja	Način delovanja: ROČNO
11.01.2014	02:16:13	Dogodek	Ročni odtok	Ročni odtok ODPRT
11.01.2014	02:18:23	Alarm	Bazen prazen	Pozor, bazen je PRAZEN!
11.01.2014	02:18:29	Dogodek	Ročni odtok	Ročni odtok ZAPRT
11.01.2014	02:31:23	Dogodek	Način delovanja	Način delovanja: AVTOMATSKO
11.01.2014	02:37:19	Potrditev alarma	Bazen prazen	Alarm potrjen.
11.01.2014	15:18:25	Dogodek	Način delovanja	Način delovanja: ROČNO
11.01.2014	15:28:06	Alarm	Bazen poln	Pozor, bazen je POLN!
11.01.2014	15:29:29	Dogodek	Način delovanja	Način delovanja: AVTOMATSKO
11.01.2014	16:05:58	Potrditev alarma	Bazen poln	Alarm potrjen.

Skupna prostornina iztočene vode preko ročnega odtoka: 136 l

Datum	Čas	Črpalka - skupno [l]	Črpalka - razlika [l]	Voda v bazenu [l]	Odtok - skupno [l]	Odtok - razlika [l]
11.01.2014	00:09:54	232	0	100.64	214	0
11.01.2014	00:19:55	264	32	121.93	224	10
11.01.2014	00:29:57	297	33	141.01	238	14
11.01.2014	00:39:59	313	16	143.91	251	13
11.01.2014	00:50:00	313	0	133.63	262	11
11.01.2014	01:00:03	313	0	119.37	276	14
11.01.2014	01:10:06	313	0	112.81	283	7
11.01.2014	01:20:08	313	0	107.77	288	5
11.01.2014	01:30:11	313	0	100.51	295	7
11.01.2014	01:40:15	345	32	125.27	301	6
11.01.2014	01:50:17	374	29	149.29	306	5
11.01.2014	02:00:20	374	0	142.05	314	8
11.01.2014	02:10:23	374	0	135.57	320	6
11.01.2014	02:20:27	374	0	0	455	135
11.01.2014	02:30:29	374	0	0	455	0
11.01.2014	02:40:32	483	109	108.24	457	2
11.01.2014	02:50:35	517	34	136.97	462	5
11.01.2014	03:00:38	533	16	146.08	469	7
11.01.2014	03:10:41	533	0	139.7	476	7
11.01.2014	03:20:44	533	0	134.57	481	5
11.01.2014	03:30:48	533	0	127.22	488	7
11.01.2014	03:40:50	533	0	120.88	494	6
11.01.2014	03:50:53	533	0	115.73	500	6
11.01.2014	04:00:55	533	0	108.36	507	7
11.01.2014	04:10:57	533	0	102.06	513	6

Datum	Čas	Črpalka - skupno [l]	Črpalka - razlika [l]	Voda v bazenu [l]	Odtok - skupno [l]	Odtok - razlika [l]
11.01.2014	04:21:00	553	20	115.95	518	5
11.01.2014	04:31:03	586	33	142	526	8
11.01.2014	04:41:06	596	10	146.04	532	6
11.01.2014	04:51:09	596	0	140.79	537	5
11.01.2014	05:01:12	596	0	121.43	557	20
11.01.2014	05:11:14	643	47	87.53	637	80
11.01.2014	05:21:17	708	65	85.65	704	67
11.01.2014	05:31:19	797	89	76.06	802	98
11.01.2014	05:41:23	885	88	84.79	882	80
11.01.2014	05:51:26	953	68	85.23	950	68
11.01.2014	06:01:29	1044	91	65.18	1060	110
11.01.2014	06:11:32	1188	144	62.98	1207	147
11.01.2014	06:21:34	1313	125	62	1333	126
11.01.2014	06:31:35	1471	158	41.39	1511	178
11.01.2014	06:41:37	1635	164	58.8	1657	146
11.01.2014	06:51:38	1763	128	61.66	1783	126
11.01.2014	07:01:40	1922	159	50.39	1953	170
11.01.2014	07:11:41	2051	129	75.68	2057	104
11.01.2014	07:21:42	2141	90	76.34	2146	89
11.01.2014	07:31:45	2259	118	64.83	2276	130
11.01.2014	07:41:47	2372	113	76.82	2376	100
11.01.2014	07:51:49	2461	89	76.3	2466	90
11.01.2014	08:01:52	2573	112	76.09	2578	112
11.01.2014	08:11:54	2636	63	96.65	2620	42
11.01.2014	08:21:57	2674	38	97.4	2658	38
11.01.2014	08:32:01	2722	48	92.87	2711	53
11.01.2014	08:42:04	2769	47	97.99	2753	42
11.01.2014	08:52:07	2806	37	97.37	2790	37
11.01.2014	09:02:10	2854	48	94.2	2841	51
11.01.2014	09:12:13	2895	41	100.03	2877	36
11.01.2014	09:22:15	2929	34	101.26	2909	32
11.01.2014	09:32:18	2969	40	95.85	2955	46
11.01.2014	09:42:21	3008	39	100.23	2990	35
11.01.2014	09:52:24	3042	34	101.24	3022	32
11.01.2014	10:02:27	3082	40	95.87	3067	45
11.01.2014	10:12:30	3121	39	100.26	3102	35
11.01.2014	10:22:32	3155	34	101.09	3135	33
11.01.2014	10:32:38	3195	40	95.88	3181	46
11.01.2014	10:42:42	3234	39	100.37	3215	34
11.01.2014	10:52:48	3268	34	101.01	3248	33
11.01.2014	11:02:51	3311	43	91.22	3301	53
11.01.2014	11:12:54	3366	55	94.68	3353	52
11.01.2014	11:22:56	3415	49	92.2	3404	51
11.01.2014	11:32:59	3477	62	87.46	3471	67

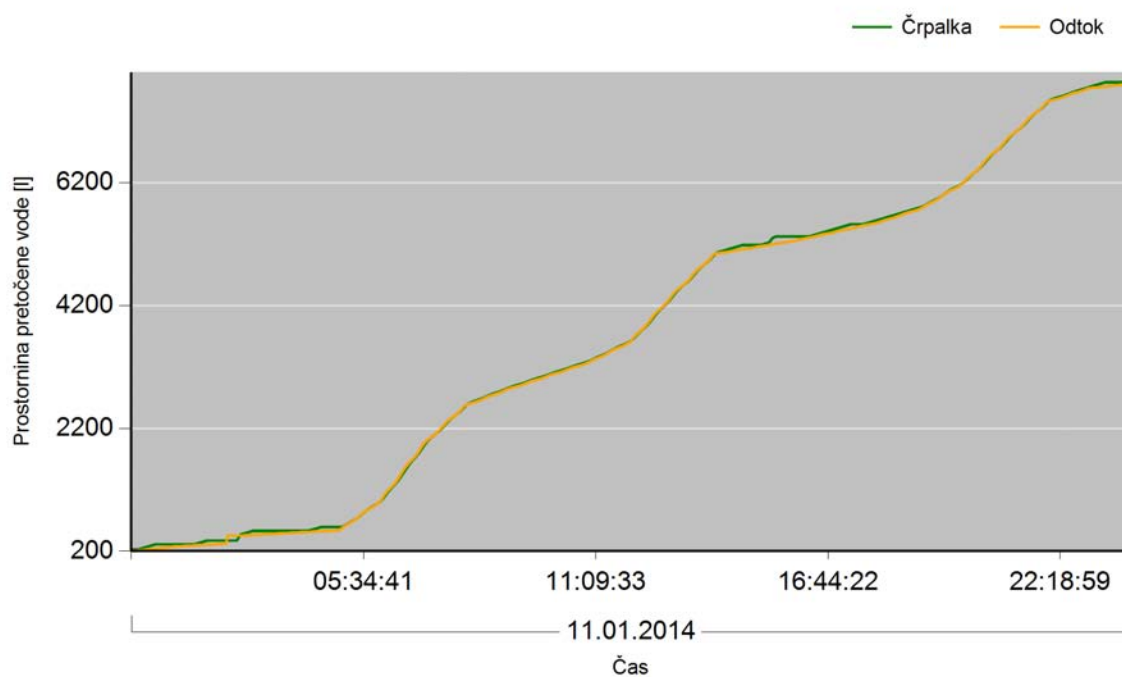
Datum	Čas	Črpalka - skupno [l]	Črpalka - razlika [l]	Voda v bazenu [l]	Odtok - skupno [l]	Odtok - razlika [l]
11.01.2014	11:43:02	3535	58	94.51	3522	51
11.01.2014	11:53:04	3583	48	92.2	3572	50
11.01.2014	12:03:08	3656	73	69.41	3668	96
11.01.2014	12:13:10	3774	118	73.55	3781	113
11.01.2014	12:23:12	3879	105	67.18	3893	112
11.01.2014	12:33:15	4020	141	57.02	4045	152
11.01.2014	12:43:18	4149	129	72.89	4157	112
11.01.2014	12:53:21	4258	109	66.57	4272	115
11.01.2014	13:03:24	4397	139	60.71	4418	146
11.01.2014	13:13:26	4513	116	76.91	4518	100
11.01.2014	13:23:27	4609	96	71.11	4619	101
11.01.2014	13:33:29	4737	128	62.76	4755	136
11.01.2014	13:43:30	4851	114	77.07	4855	100
11.01.2014	13:53:31	4947	96	71.07	4957	102
11.01.2014	14:03:33	5059	112	89	5051	94
11.01.2014	14:13:34	5097	38	110.88	5068	17
11.01.2014	14:23:36	5131	34	127.25	5085	17
11.01.2014	14:33:38	5164	33	138.03	5107	22
11.01.2014	14:43:41	5189	25	146.39	5124	17
11.01.2014	14:53:43	5189	0	128.85	5142	18
11.01.2014	15:03:45	5189	0	106.5	5164	22
11.01.2014	15:13:48	5211	22	112.07	5181	17
11.01.2014	15:23:51	5297	86	180.68	5198	17
11.01.2014	15:33:53	5327	30	187.41	5221	23
11.01.2014	15:43:56	5327	0	170.95	5237	16
11.01.2014	15:53:59	5327	0	153.53	5254	17
11.01.2014	16:04:02	5327	0	127.68	5280	26
11.01.2014	16:14:04	5327	0	105.86	5302	22
11.01.2014	16:24:17	5351	24	106.06	5326	24
11.01.2014	16:34:20	5384	33	109.36	5356	30
11.01.2014	16:44:22	5418	34	121.18	5377	21
11.01.2014	16:54:23	5451	33	131.07	5401	24
11.01.2014	17:04:24	5485	34	134.39	5431	30
11.01.2014	17:14:25	5519	34	146.57	5453	22
11.01.2014	17:24:27	5527	8	131.57	5476	23
11.01.2014	17:34:29	5527	0	101.53	5506	30
11.01.2014	17:44:31	5559	32	111.66	5528	22
11.01.2014	17:54:33	5592	33	121.29	5552	24
11.01.2014	18:04:36	5626	34	117.52	5589	37
11.01.2014	18:14:39	5660	34	119.02	5621	32
11.01.2014	18:24:42	5693	33	116.5	5657	36
11.01.2014	18:34:45	5727	34	104.93	5702	45
11.01.2014	18:44:47	5760	33	106.59	5734	32
11.01.2014	18:54:50	5794	34	103.87	5770	36

Datum	Čas	Črpalka - skupno [l]	Črpalka - razlika [l]	Voda v bazenu [l]	Odtok - skupno [l]	Odtok - razlika [l]
11.01.2014	19:04:51	5840	46	86.98	5833	63
11.01.2014	19:14:52	5903	63	91.8	5891	58
11.01.2014	19:24:54	5964	61	85.57	5959	68
11.01.2014	19:34:55	6043	79	82.95	6040	81
11.01.2014	19:44:57	6110	67	91.56	6098	58
11.01.2014	19:54:58	6170	60	85.56	6165	67
11.01.2014	20:05:00	6263	93	68.96	6274	109
11.01.2014	20:15:04	6367	104	78.62	6369	95
11.01.2014	20:25:07	6469	102	67.98	6481	112
11.01.2014	20:35:13	6600	131	64.69	6615	134
11.01.2014	20:45:15	6707	107	78.41	6708	93
11.01.2014	20:55:18	6805	98	68.08	6817	109
11.01.2014	21:05:21	6934	129	66.61	6948	131
11.01.2014	21:15:23	7038	104	80.3	7038	90
11.01.2014	21:25:26	7135	97	69.78	7146	108
11.01.2014	21:35:28	7255	120	67.41	7268	122
11.01.2014	21:45:31	7356	101	80.34	7356	88
11.01.2014	21:55:33	7454	98	69.85	7464	108
11.01.2014	22:05:35	7552	98	90.22	7542	78
11.01.2014	22:15:38	7594	42	100.94	7573	31
11.01.2014	22:25:41	7629	35	97.75	7611	38
11.01.2014	22:35:44	7672	43	96.8	7656	45
11.01.2014	22:45:46	7708	36	101.99	7686	30
11.01.2014	22:55:50	7742	34	98.23	7724	38
11.01.2014	23:05:52	7780	38	109.04	7751	27
11.01.2014	23:15:55	7813	33	132.3	7761	10
11.01.2014	23:25:58	7841	28	147.5	7774	13
11.01.2014	23:36:01	7841	0	132.8	7789	15
11.01.2014	23:46:03	7841	0	122.61	7799	10
11.01.2014	23:56:07	7841	0	109.87	7811	12

Statistika obratovanja črpališča

Delež časa obratovanja črpalke:	75.93 %
Povprečno število obratov črpalke ob obratovanju:	1253 /min
Povprečen prostorninski pretok vode na črpalki ob obratovanju:	417.6 l/h
Povprečen prostorninski pretok vode na aktivnem odtoku:	316.09 l/h
Delež časa nizkega nivoja vode v bazenu:	2.32 %
Povprečna prostornina vode v bazenu:	100.59 l
Skupna prostornina pretočene vode na črpalki:	7609 l
Skupna prostornina pretočene vode na odtoku:	7616 l

Graf skupne prostornine pretočene vode na črpalki in odtoku



Literatura

- [1] G. A. Graham, R. E. King, "Encyclopedia of industrial automation", Harlow : Longman, 1988
- [2] D. E. Kandray, "Programmable automation technologies : an introduction to CNC, robotics and PLCs", New York : Industrial Press, cop. 2010
- [3] U. Lotrič, "Prosojnice predavanja Procesna avtomatika", Univerza v Ljubljani, 2010
- [4] J. Mutschmann, F. Stimmelmayr, "Taschenbuch der Wasserversorgung", Stuttgart : Franckh-Kosmos Verlag, 2011
- [5] (2014) "ODBC–Open Database Connectivity Overview", Dostopno na: <http://support.microsoft.com/kb/110093>
- [6] (2014) "Water supply system", Dostopno na: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/637296/water-supply-system>
- [7] (2014) "OPC Foundation – Product Details", Dostopno na: <http://www.opcfoundation.org/Products/ProductDetails.aspx?CM=1&RI=391&CU=10>
- [8] (2014) "Oskrba s pitno vodo", Dostopno na: <http://www.vo-ka.si/odruzbi/oskrba-s-pitno-vodo>

- [9] (2013) Rockwell Automation, “CompactLogix Controllers Specifications”, Dostopno na: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1769-td005_-en-p.pdf
- [10] (2013) Rockwell Automation, “1734 POINT I/O”, Dostopno na: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/1734-pp001_-en-p.pdf