

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za elektrotehniko

Roman Perdan

BREZZIČNO OMREŽJE ZA NADZOR IN UPRAVLJANJE
VODOVODNEGA SISTEMA

DIPLOMSKO DELO UNIVERZITETNEGA ŠTUDIJA

Mentor: doc. dr. Boštjan Murovec

Ljubljana, 2010

Zahvala

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Boštjanu Murovcu za pomoč, strokovne nasvete, ter potrpežljivo pregledovanje diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi zaposlenim v podjetju Genera d.o.o., še posebej Damijanu Volfu za sodelovanje in pomoč pri projektu.

Zahvala gre tudi družini za spodbudo in podporo v času mojega šolanja.

Povzetek

V diplomskem delu je opisano načrtovanje nadzora vodovodnega omrežja in postavitve nadzornega sistema za nadziranje in upravljanje delovanja vodovodnega sistema.

Obravnavan vodovodni sistem je sestavljen iz treh črpališč in dveh vodovodnih stolpov. Razdalje med objekti so od enega do petnajst kilometrov, zaradi česar smo za prenos podatkov med njimi uporabili radijsko komunikacijo v UHF frekvenčnemu pasu. Na vsakem objektu je programabilni logični krmilnik (PLK) z vhodnimi in izhodnimi moduli ter radijski modem.

Komunikacija med oddaljenimi lokacijami poteka po sistemu gospodar suženj, pri čemer vlogo gospodarja prevzame PLK na glavnem črpališču, na ostalih lokacijah pa PLK-ji prevzamejo vlogo sužnjev. Gospodar kliče sužnje, jim pošilja ukaze in od njih zahteva podatke. Protokol komunikacije je Modbus RTU.

Nadzorni sistem SCADA je nameščen na osebni računalnik in izmenjuje podatke s PLK-jem gospodar. Nadzorni sistem omogoča nadzor, spremljanje in prikaz delovanja procesov, alarmiranje in prikaz zgodovine podatkov.

Diplomsko delo je vsebinsko razdeljeno na štiri dele. V prvem delu je opisano obstoječe stanje in zahteve naročnika, v drugem delu je opis izbrane strojne opreme in porazdelitev te po objektih, v tretjem delu je opisan način programiranja PLK-jev, nastavitve radijskih modemov in programiranje nadzornega sistema SCADA. V četrtem delu je opisan preizkus komunikacije in zagon sistema.

Ključne besede: centralni nadzorni sistem, vodovodni stolp, črpališče, radijska povezava, programabilni logični krmilnik, Modbus RTU.

Abstract

The thesis presents planning and setting up a wireless monitoring & control system for a water supply network.

The water supply system consists of three pumping stations and two water towers. The distances between these five objects are from one to fifteen kilometres. Because of this reason we have used radio communications in UHF frequency band for transferring the data between the objects. On each location there is a programmable logical controller (PLC) with input and output terminals and a radio modem.

Communication between remote locations is master / slave, the master PLC is located on the main pumping station, on other locations there are slave PLC's. The master is communicating with the slaves by sending them commands and receiving data from them. The communication protocol is Modbus RTU.

The control and supervision system (SCADA) is set up on a personal computer and is communicating with the master PLC. SCADA enables control, supervision and online monitoring of the process, displaying alarms and showing the data history.

The thesis consists of four major parts. The first part presents the existing state and demands of the investor, second part describes selected hardware. The third part is about programming the PLC's, setting radio stations and programming SCADA. In fourth part we describe testing of the radio communication paths and system start up.

Key words: water tower, pumping station, radio communication, SCADA, programmable logical controller, Modbus RTU.

Kazalo

1. Uvod	1
2. Izhodišča in zahteve	3
3. Vodovodni objekti	7
3.1 Vodni stolp	7
4. Signalna lista	9
5. Izbira komunikacijskega vmesnika in protokola	11
6. Opis strojne opreme	13
6.1 Programabilni logični krmilnik	13
6.1.1 Delovanje PLK-ja	14
6.1.2 Programabilni logični krmilniki Beckhoff	15
6.1.3 PLK-ja BX9000 in BC8150	16
6.1.4 Vhodni in izhodni moduli	18
6.2 Brezžične komunikacije	20
6.2.1 Sestavni deli radijske povezave	21
6.2.2 Frekvenčni spekter, pasovi in kanali	22
6.2.3 Radijski modem 455U-D	23
6.2.4 Delovanje radijskega modema Elpro 455U-D	24
6.2.5 Radijsko sporočilo	25
6.2.6 Antene	26
6.3 Merjenje nivoja vode	30
6.4 Merjenje pretoka	31
7. Uporaba strojne opreme	35
7.1 Črpališče Otok	35
7.2 Črpališče Hajndl	35
7.3 Vodni stolp Vičanci	36
7.4 Vodni stolp Rakovci	36
8. Programiranje krmilnikov Beckhoff	39
8.1 Programsko orodje TwinCAT	39
8.1.1 Deklaracija spremenljivk	40
8.1.2 Povezava fizičnih naslovov s programskimi spremenljivkami	42
8.2 Način programiranja	43
9. Opis upravljanja vodovodnega sistema s PLK-jem	47

9.1 Vodna stolpa Vičanci in Rakovci	47
9.2 Črpališče Hajndl	48
9.3 Otok	50
9.3.1 Glavni program Main	50
9.3.2 Podprogram Otok	52
9.3.3 Podprogram Modbus Master	52
9.3.4 Merjenje obratovalnih ur črpalk	56
9.3.5 Podprogram Hajndl	58
10. Nastavitev radijskih modemov ELPRO 455U-D	67
11. Centralni nadzorni sistem (CNS)	69
11.1 Programsko orodje za centralne nadzorne sisteme SCADA	69
11.2 Nadgradnja obstoječega sistema SCADA Movicon 9	70
11.2.1 Vodna stolpa Vičanci in Rakovci	72
11.2.2 Črpališče Križ	72
11.2.3 Črpališče Hajndl	72
11.2.4 Črpališče Otok	73
12. Preizkus komunikacijskih poti	75
13. Zagon in preizkus delovanja sistema	77
14. Zaključek	79
15. Literatura	81

Kazalo slik

Slika 1: Prikaz radijskih zvez med objekti vodovodnega sistema	3
Slika 2: Tehnološka shema vodovodnega omrežja	4
Slika 3: Princip delovanja vodovodnega stolpa [2].....	7
Slika 4: Komunikacije med objekti vodovodnega sistema	12
Slika 5: Funkcionalni deli PLK-ja	13
Slika 6: Modularni PLK Beckhoff [7]	16
Slika 7: PLK Beckhoff BC8150 [7]	16
Slika 8: PLK Beckhoff BX9000 [7]	17
Slika 9: Digitalni vhodni modul KL1408 [7]	19
Slika 10: Digitalni izhodni modul KL2408 [7].....	19
Slika 11: Analogni vhodni modul KL3054 [7]	20
Slika 12: Osnovni elementi radijske povezave.....	21
Slika 13: Porazdelitev frekvenčnega pasu [3]	23
Slika 14: Radijski modem Elpro 455U-D.....	24
Slika 15: Antena AD-23/07-4 [14]	27
Slika 16: Sevalni diagram kolinernega dipola AD-23/07-4 [14]	28
Slika 17: 9 - elementna yagi antena AD-40/07-9 [14]	29
Slika 18: Sevalni diagram 9 – elementne yagi antene AD-40/07-9 [14].....	29
Slika 19: Merilnik nivoja PPI 100 [8]	31
Slika 20: Električna priključitev merilnika nivoja PPI 100 [8]	31
Slika 21: Poenostavljen prikaz elektromagnetnega merilnika pretoka [9]	33
Slika 22: TwinCAT PLC programsko okno	40
Slika 23: Okno programa System Manager	43
Slika 24: Funkcijski blok F_TRIG [13].....	44
Slika 25: Funkcijski blok RS [13].....	45
Slika 26: Števec CTU [13].....	45
Slika 27: Časovni diagram časovnika z zakasnitvijo TOF [13].....	45
Slika 28: Časovnik z zakasnitvijo TOF [13].....	46
Slika 29: Časovni diagram časovnika z zakasnjnim vklopom [13]	46
Slika 30: Časovnik z zakasnjnim vklopom TON [13].....	46
Slika 31: Funkcijski bločni diagram cikel_crp.....	63
Slika 32: Konfiguracija radijskih postaj Elpro 455U-D	67

Slika 33: Nastavitev radijske komunikacije	68
Slika 34: Grafično orodje za prikaz zgodovine.....	70
Slika 35: Procesna slika Vodni stolpi na nadzornem sistemu	71
Slika 36: Pogovorno okno za upravljanje z črpališčem Hanjdl.....	73
Slika 37: Pogovorno okno za upravljanje z črpališčem Otok	73

Kazalo tabel

Tabela 1: Signalna lista	9
Tabela 2: Tehnični podatki PLK-jev BX9000 in BX8150 [5]	17
Tabela 3: Frekvenčni pasovi	23
Tabela 4: Čas, potreben za oddajo enega sporočila	26
Tabela 5: Tehnične podatki kolinearnega dipola AD-23/07-4 [14]	27
Tabela 6: Tehnični podatki 9 - elementne yagi antene AD-40/07-9	29
Tabela 7: Tipi spremenljivk programskega paketa TwinCAT	41
Tabela 8: Oznake za določevanje naslova spremenljivk	41
Tabela 9: Okvir protokola Modbus RTU	52
Tabela 10: Povezava spremenljivk in naslovov med gospodarjem in sužnjem.....	55
Tabela 11: Spremenljivke za opis stanja sistema v črpališču Hajndl	59
Tabela 12: Pretvorba analognega signala modula KL3054	60
Tabela 13: Spremenljivke za določitev nivoja vklopa in izklopa črpalke na Otoku....	61
Tabela 14: Spremenljivka za vklop in izklop črpalke na Otoku	61

1. Uvod

Pitna voda za potrebe občine Ormož se pridobiva iz črpališča Otok že od leta 1963 [1], pri čemer je bila uporabljana samo podtalnica, črpana iz vodnjakov. Kasneje se je poraba vode začela povečevati, povečalo pa se je tudi onesnaženje podtalnice s pesticidi, saj se v neposredni bližini črpališča nahajajo kmetijske površine.

Posledično je bilo leta 1992 uvedeno bogatenje podtalnice. Dvesto metrov nizvodno od vodnjakov so zajezili reko Pesnico, s čimer se je pred jezom dvignil nivo vode, hkrati pa se je dvignil tudi nivo podtalnice. Izkazalo se je, da reka Pesnica ni primerna za bogatenje podtalnice, saj je onesnažena s pesticidi. Na podlagi analiz je bilo ugotovljeno, da je za umetno bogatenje podtalnice najprimernejša voda iz reke Drave.

Od julija 2000 pitno vodo za potrebe občine Ormož pridobivajo s črpanjem podtalnice na območju Mihovci in z njenim umetnim bogatenjem, izvedenim s črpanjem vode iz Drave v ponikovalno jezero. Tu voda ponikne, se pri pronicanju skozi zemljo naravno filtrira, nakar jo iz bližnjih vodnjakov ponovno načrpajo. Dobljeno pitno vodo je kljub ustrezni kakovosti vodnega vira Drave potrebno še dodatno očistiti in dezinficirati. Vodo nato preko cevovoda črpajo v posamezna črpališča in stolpe od kjer se le-ta distribuira uporabnikom.

S pitno vodo iz ormoškega vodovoda je oskrbovanih približno 18 tisoč prebivalcev občine Ormož in del prebivalcev občine Ljutomer. Poraba pitne vode znaša okvirno 800000 m³ na leto, od tega vodna stolpa v Vičancih in Rakovcih predstavljata približno tretjino, ostalo pa prevzame sistem vodnjakov in stolpov v drugih vejah.

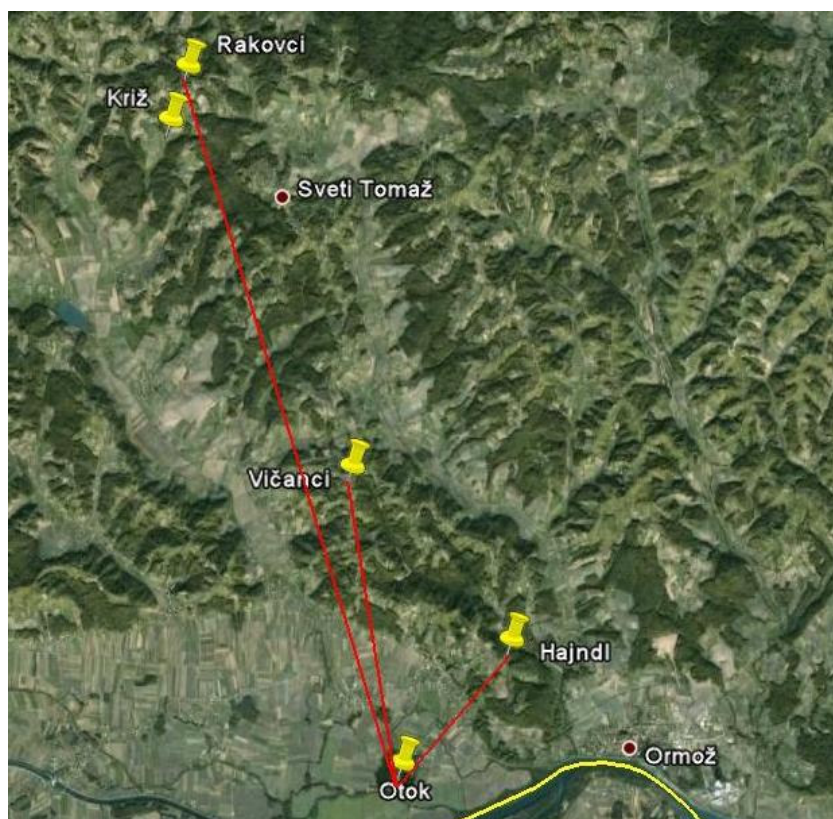
Diplomsko delo opisuje prenovo daljinskega nadzora vodovodnega sistema, ki omogoča lažje upravljanje operaterjev z oddaljenimi objekti infrastrukture pitne vode na lokaciji Otok.

2. Izhodišča in zahteve

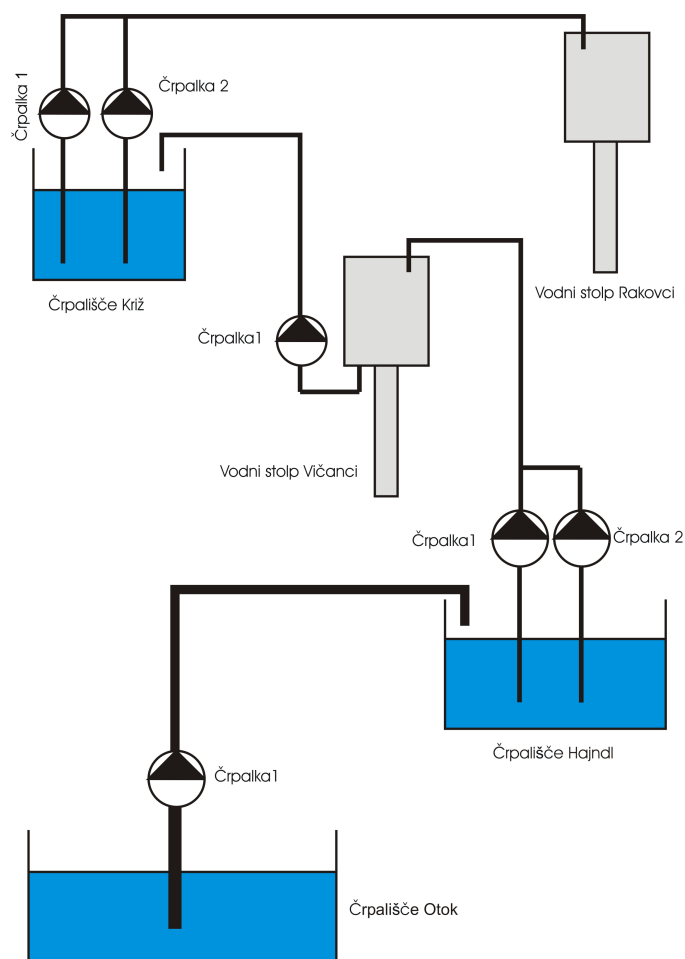
Cilj projekta je obnova daljinskega nadzora vodovodnega omrežja in postavitve nadzornega sistema na lokaciji Otok za nadziranje in upravljanje delovanja vodovodnega sistema. Povezava nadzornega sistema z oddaljenimi enotami poteka preko radijskih zvez. Sistem kontrole in nadzora mora delovati povsem samostojno brez operaterjeve prisotnosti, pri čemer mora biti poskrbljeno za nemoteno in usklajeno delovanje vseh elementov omrežja.

V nadzorni sistem so vključeni naslednji objekti, katerih lokacija in pot radijske zveze je prikazana na sliki 1:

- črpališče Otok,
- črpališče Hanjdl,
- vodni stolp Vičanci,
- vodni stolp Rakovci in
- črpališče Križ.



Slika 1: Prikaz radijskih zvez med objekti vodovodnega sistema



Slika 2: Tehnološka shema vodovodnega sistema

Slika 2 predstavlja tehnološko shemo obravnavanega vodovodnega sistema. Ta je zgrajen na naslednji način: cevovod poteka iz črpališča Otok do črpališča Hajndl, od tod do vodnega stolpa Vičanci, iz vodnega stolpa preko podzemnega rezervoarja do črpališča Križ, od koder poteka do vodnega stolpa v Rakovcih. Nadmorska višina objektov je v skladu z prikazom na sliki. Črpalke črpajo vodo iz nižje ležečega črpališča Otok po cevovodu v višje ležeča črpališča in stolpa.

Zaradi pogostih napak na obstoječem nadzornem sistemu, nepraktične uporabnosti in zastarele komunikacijske opreme se je naročnik odločil za celovito prenovu nadzornega sistema vodnih stolpov in črpališč. Naša naloga je postaviti centralni nadzorni sistem (v nadaljevanju CNS), ki opravlja naslednje funkcije:

- merjenje in prikazovanje nivoja vode v črpališču Hajndl,
- vklopjanje črpalke na lokaciji Otok glede na nivo vode v črpališču Hajndl,
- merjenje in prikazovanje nivoja vode v vodnem stolpu Vičanci,

- izmenično vklapljanje črpalk 1 in 2 v črpališču Hajndl, glede na nivo vode v vodnem stolpu Vičanci,
- merjenje in prikazovanje nivoja v vodnem stolpu Rakovci,
- merjenje in prikazovanje pretoka na relaciji črpališče Hajndl – vodni stolp Vičanci,
- ročen vklop črpalk,
- na vsaki oddaljeni lokaciji prikazovanje delovanja in napak črpalk, prisotnost omrežne napetosti, napake na komunikaciji in vstopa v objekt,
- izpisovanje alarmov v primeru napak v sistemu in
- omogočanje vpogleda v zgodovino delovanja sistema.

3. Vodovodni objekti

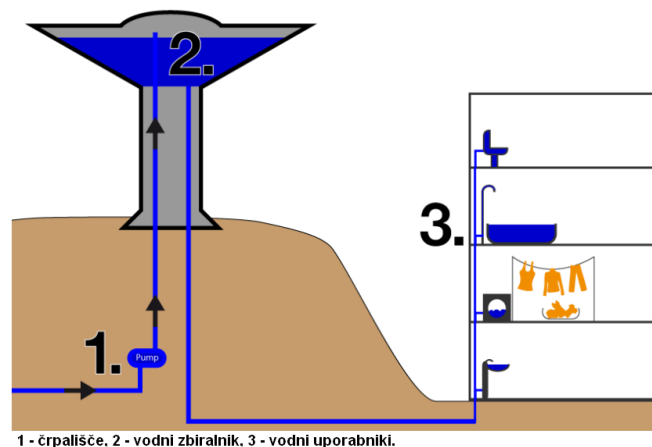
V nadaljevanju definirajmo naslednje objekte vodovodnega sistema:

- zajetje je objekt za zajemanje vode,
- vodni vir je splošen izraz za možnost zajemanja vode,
- črpališče je objekt, v katerem so nameščene črpalke za črpanje vode in dezinfekcijo vode,
- cevovod je objekt za transport vode in
- vodovodno omrežje je sistem cevovodov, ki ga delimo na magistralno, primarno in sekundarno omrežje.

3.1 Vodni stolp

Vodovodni stolp je visoko dvignjen vodni zbiralnik za zagotavljanje ustreznega tlaka in konstantno dobavo vode do uporabnikov; tlak je posledica potencialne energije vode. Zbiralnik je zgrajen iz armirane betonske vodotesne konstrukcije.

Na sliki 3 je prikazano delovanje vodovodnega stolpa. Voda se iz črpališča s črpalko črpa v vodni zbiralnik. Črpanje je regulirano v odvisnosti od nivoja vode, kar preprečuje pomanjkanje ali presežek vode v zbiralniku. Voda nato pod tlakom po ceveh teče do uporabnikov. Najvišji uporabnik mora biti nižji od nivoja vode v vodnem stolpu.



Slika 3: Princip delovanja vodovodnega stolpa [2]

4. Signalna lista

Signalna lista je pomemben del načrtovanja vsakega sistema procesnega vodenja, saj so iz nje razvidni obseg sistema in potrebni vhodni in izhodni moduli za zajem signalov. V tabeli 1 so prikazani signali sistema, ločeno za vsak objekt posebej, ter ustrezni uporabljeni vhodni ali izhodni moduli za zajem teh signalov.

Ker se cena modula z osmimi digitalnimi vhodi bistveno ne razlikuje od modula z dvema digitalnima vhodoma, smo uporabljali izključno prve. Podobno je pri digitalnih izhodih in pri analognih signalih z razliko, da je največje število analognih signalov na en modul 4.

OBJEKT	VRSTA SIGNALA	OPIS	USTREZNI MODUL
OTOK	digitalni izhod	vklop črpalke	8 kanalni digitalni izhodni modul
HAJNDL	digitalni vhodi	črpalka 1 deluje	8 kanalni digitalni vhodni modul
		črpalka 1 napaka	
		črpalka 2 deluje	
		črpalka 2 napaka	
		prisotnost napetosti	
		vstop v objekt	
		vklop črpalke 1	
		vklop črpalke 2	
	analogna vhoda	meritev pretoka	4 kanalni digitalni vhodni modul
		meritev nivoja	
VIČANCI	digitalna vhoda	prisotnost napetosti	8 kanalni digitalni izhodni modul
		vstop v objekt	
	analogni vhod	meritev nivoja	4 kanalni analogni vhodni modul
RAKOVCI in KRIŽ	digitalni vhodi	črpalka 1 deluje	8 kanalni digitalni vhodni modul
		črpalka 1 napaka	
		črpalka 2 deluje	
		črpalka 2 napaka	
		prisotnost napetosti Rakovci	
		vstop v objekt Rakovci	
		prisotnost napetosti Križ	
		vstop v objekt Križ	
	analogni vhod	meritev nivoja	4 kanalni analogni vhodni modul

Tabela 1: Signalna lista

5. Izbira komunikacijskega vmesnika in protokola

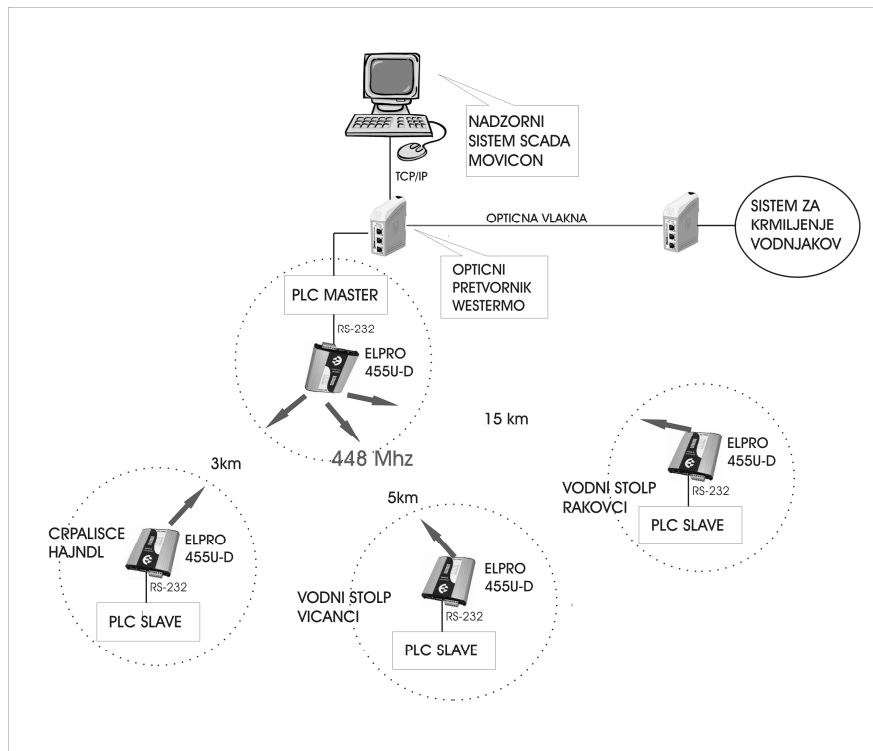
Komunikacijski vmesnik prenaša podatke med različnimi elementi procesnega vodenja. Prenosi potekajo zanesljivo, preneseni podatki pa pridejo od oddajnika k sprejemniku absolutno točni (če je nivo motenj zmeren). Komunikacijski protokol določa, kdaj, kako in s kom lahko v določenem trenutku naprava komunicira [12].

Pred izbiro strojne opreme smo izbrali komunikacijski protokol in komunikacijski vmesnik za prenos podatkov. Ker je sistem na lokaciji Otok že predhodno podpiral komunikacijo Ethernet, smo se temu prilagodili in na tej lokaciji izbrali programabilni logični krmilnik s komunikacijskim vmesnikom Ethernet in podporo komunikacijskega protokola Modbus TCP za povezavo s CNS.

Poleg komunikacije s CNS–om smo na tej stopnji določili tip komunikacije med PLK-jem na lokaciji Otok, s PLK-ji na ostalih lokacijah.

Za povezavo med posameznim PLK-jem in radijskim modemom smo izbrali serijski komunikacijski vmesnik RS232, za prenos podatkov med oddaljenimi lokacijami pa komunikacijski protokol Modbus RTU (poglavje 9 /sekcija 3.2).

Na sliki 4 je prikazana komunikacija med objekti vodnega sistema. Na Lokaciji Otok je PLK preko vmesnika Ethernet povezan s CNS-om, ter preko vmesnika RS232 z radijskim modemom. Na ostalih lokacijah so radijski modemi povezani z PLK-ji preko vmesnika RS232. Prenos podatkov med oddaljenimi PLK-ji poteka po protokolu Modbus RTU, PLK na lokaciji Otok ima vlogo Modbus gospodarja, na ostalih treh lokacijah pa PLK-ji prevzamejo vlogo Modbus sužnjev.



Slika 4: Komunikacije med objekti vodovodnega sistema

6. Opis strojne opreme

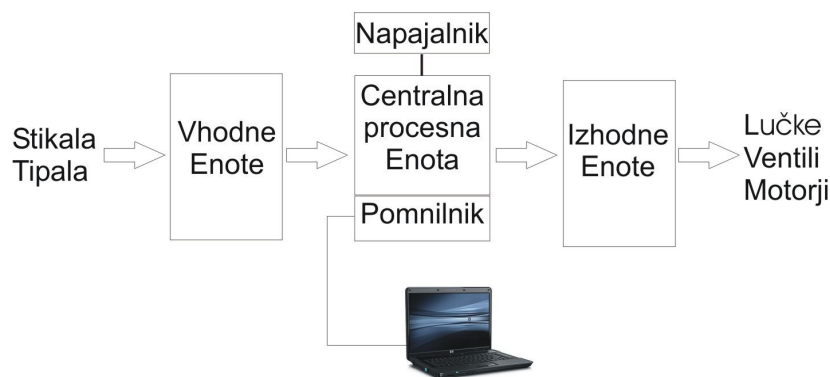
Ob dobrem poznavanju sistema, izdelani signalni listi in izbranem načinu komunikacije, smo v tej fazi določili uporabljeno strojno opremo. Sledil splošen opis izbrane opreme. Točna porazdelitev opreme po objektih in število uporabljenih kosov bosta opisana v nadaljevanju.

6.1 Programabilni logični krmilnik

Programabilni logični krmilnik (v nadaljevanju PLK) je osnovno orodje, ki je danes na razpolago za avtomatizacijo industrijskih procesov in naprav. Pred njihovo uporabo, so bile za krmiljenje procesov potrebne velike električne omare s fiksno ožičeno logiko in množico elektromehanskih relejev.

Prednost uporabe PLK-jev pred starejšimi sistemi krmiljenja je možnost programirnega delovanja, kar pomeni, da se s pomočjo programiranja z računalniškim programom določi delovanje PLK-ja. S tem je omogočena velika fleksibilnost sistema, saj so možnosti programiranja zelo velike. Klasična krmilja so vsebovala fiksno zgrajeno logiko, ki jo je bilo zelo zapleteno, predvsem pa zelo drago in zamudno spreminjati oziroma popravljati. Zelo pogoste so bile tudi okvare relejev zaradi mehanskih enot z gibljivimi deli kontaktov, medtem ko je PLK naprava brez gibljivih delov. PLK je dejansko mikroračunalnik, katerega strojna in programska oprema sta prilagojeni za delo v industrijskem okolju [12].

Slika 5 prikazuje funkcionalne dele PLK-ja.



Slika 5: Funkcionalni deli PLK-ja

Centralna procesna enota (CPU): to so možgani PLK-ja. Vsebuje enega ali več mikroprocesorjev, ki krmilijo delovanje PLK-ja in izvajajo uporabniški program. CPU tudi krmili komunikacije in povezave z drugimi enotami sistema. Sistemski program je shranjen v ROM pomnilniku, spremenljivke in uporabniški program pa v RAM ali EEPROM pomnilniku. Spremenljivkam, zapisanim v EEPROM pomnilniku, pravimo vztrajnostne (angleško: retain ali persistent) spremenljivke, njihova lastnost je, da se jim vrednost po izpadu napetosti ohrani.

Napajalnik: PLK običajno napajamo z napetostjo 220 V AC ali 24 V DC. Napajalnik skrbi za potrebe nižje DC napetosti za delovanje CPU in vhodno izhodnih enot. Za napajanje zunanjih enot (relejev, kontaktorjev, sond) običajno potrebujemo ločen napajalnik.

Vhodne enote: skrbijo za sprejem zunanjih signalov (digitalnih in analognih), pretvorbo signalov v nivoje, potrebne za nadaljnjo obdelavo in za zaščito CPU pred motnjami iz okolja (običajno optična izolacija in filtri). Stanje digitalnih vhodov se običajno prikazuje z LED diodami z namenom diagnostike PLK-ja.

Izhodne enote: skrbijo za prenos rezultatov izvedbe uporabniškega programa na izhodne signale (digitalne, analogne) in za zaščito CPU pred motnjami okolja (običajno optična izolacija). Stanje digitalnih izhodov se običajno prikazuje z LED diodami.

6.1.1 Delovanje PLK-ja

Princip delovanja se precej razlikuje od delovanja programov v klasičnih računalnikih. Upoštevati moramo, da je osnovna funkcija PLK-ja krmiljenje izhodov na osnovi stanja vhodov.

Potek delovanja je naslednji:

1. odbiranje signalov iz fizičnih vhodnih modulov in preslikava v pomnilnik (v sliko vhodov),
2. izvedba oz. vrednotenje celotnega uporabniškega programa,
3. preslikava iz pomnilnika (iz slike izhodov) na fizične izhodne module.

Rezultati izhodov se med vrednotenjem shranjujejo v sliko izhodov, in le ti se uporabljajo v naslednjih vrsticah programa za nadaljnja vrednotenja. Dejanska preslikava na izhode se izvrši šele po vrednotenju celotnega programa [12].

Celotno zaporedje operacij se izvaja zelo hitro. Ta čas imenujemo čas cikla (čas pregledovanja) in zavisi od:

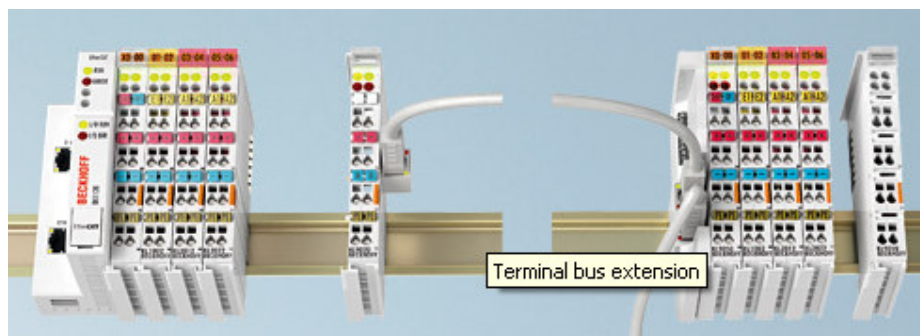
- hitrosti delovanja mikroprocesorja,
- izvedbe materialne opreme, npr. način odbiranja vhodov,
- kvalitete izvedbe pisanja instrukcij programa,
- dolžine uporabniškega programa,
- vrste uporabljenih instrukcij, enostavne vhodno/izhodne instrukcije se izvedejo zelo hitro, medtem ko kompleksne aritmetične in druge podobne instrukcije porabijo več časa.

Zelo dolgi programi se običajno izvedejo v manj kot 20 ms. Proizvajalci PLK-jev podajajo okvirni čas, ki je potreben za vrednotenje tisoč enostavnih instrukcij uporabniškega programa. Ta podatek omogoča grobo oceno hitrosti delovanja različnih PLK-jev.

6.1.2 Programabilni logični krmilniki Beckhoff

PLK-ji Beckhoff spadajo v družino modularnih PLK-jev. Modularnost se kaže v tem, da glede na zahteve posamezne aplikacije izbiramo med široko paleto vhodnih, izhodnih in specialnih modulov.

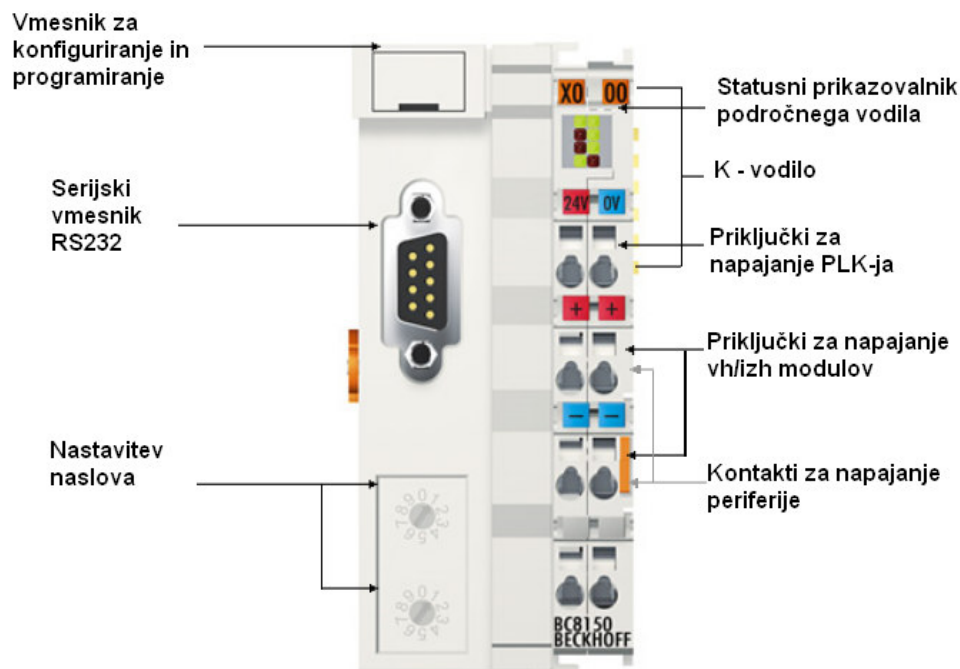
Izbiramo lahko med 400 različnimi tipi modulov, s katerimi zajamemo večino signalov v industriji. Na sliki 6 je prikazan primer uporabe modularnega PLK-ja, na levi strani je PLK, desno od njega pa so zloženi moduli. Celotni sestav je pritrjen na DIN letev.



Slika 6: Modularni PLK Beckhoff [7]

6.1.3 PLK-ja BX9000 in BC8150

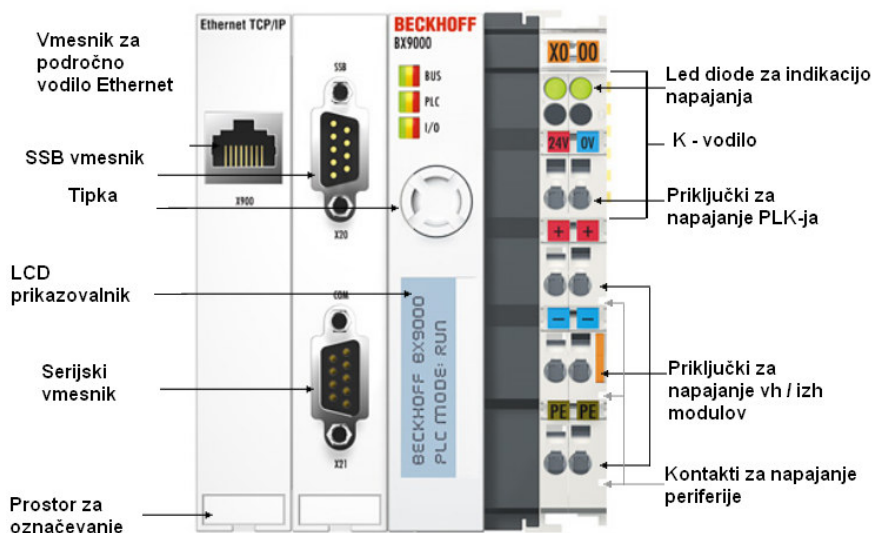
Uporabili smo dva tipa krmilnika BX9000 in BC8150. Prvi spada med manjše cenovno ugodne PLK-je z RS232 vmesnikom, ki podpira protokola ModbusRTU in Modbus ASCII. Na sliki 7 je prikazan krmilnik BC8150 z označenimi priključki. K – vodilo je interno vodilo za prenašanje podatkov med CPU in periferijo, opis ostalih priključkov je razumljiv iz slike.



Slika 7: PLK Beckhoff BC8150 [7]

PLK BX9000 je v primerjavi s serijo BC hitrejši, ima več pomnilnika, uro realnega časa, dvovrstični zaslon, štiri tipke, namenjene diagnosticiranju, parametriranju ali

izpisovanju tekstov, možnost vgradnje spominske kartice in dodatna komunikacijska vmesnika. BX9000 ima en Ethernet vmesnik in dva serijska vmesnika. Na sliki 8 je prikazan PLK BX9000 z označenimi priključki, tehnični podatki obeh PLK-jev so prikazani v primerjalni tabeli 2.



Slika 8: PLK Beckhoff BX9000 [7]

PLK podatki	BX9000	BX8150
način programiranja	Twin CAT preko Ethernet - a	TwinCat preko programirnega vmesnika
programski pomnilnik	256 kzlogov	48 kzlogov
podatkovni pomnilnik	256 kzlogov	32 kzlogov
vztrajnostni (ang.:remanent) pomnilnik	2 kzloga	2 kzloga
čas cikla, za 1000 enostavnih instrukcij	1 ms	3 ms
programski jeziki	IEC 61131-3 (IL, LD, FBD, SFC, ST)	IEC 61131-3 (IL, LD, FBD, SFC, ST)
tehnični podatki	BX9000	BC8150
največje možno število vh/iz modulov	64 (255 z K-BUS razširitvijo)	64 (255 z K-BUS razširitvijo)
največje možno št. zlogov procesne slike	2048 zlogov slika vhodov, 2048 zlogov slika izhodov	512 zlogov slika vhodov, 512 zlogov slika izhodov
število digitalnih signalov	do 2040 vhodov / izhodov	128 vodov / izhodov

Tabela 2: Tehnični podatki PLK-jev BX9000 in BX8150 [5]

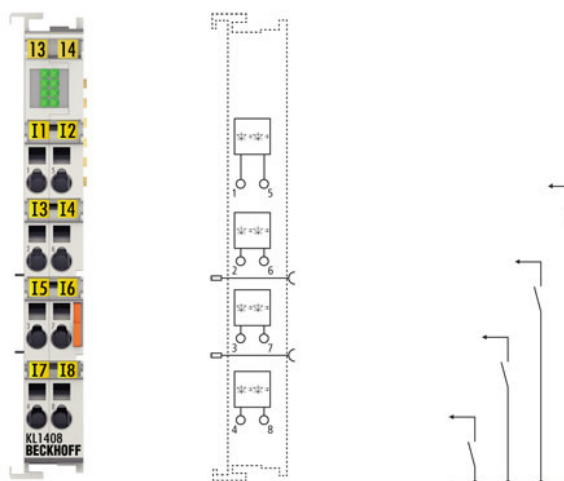
tehnični podatki	BX9000	BC8150
število analognih signalov	do 512 vhodov / izhodov	128 vhodov / izhodov
protokol	TwinCAT ADS, ModbusTCP	Modbus RTU, Modbus ASCII
hitrost prenosa podatkov	10/100 Mbaud	1,2 kbaud - 38,4 kbaud
povezava z področnim vodilom	RJ45	RS232 D -vtičnica
dodatni serijski vmesniki	1 x RS232 za programiranje, 1 x RS232 ali RS485 za povezavo z serijskimi napravami	
SSB	CANopen, za povezavo z oddaljenimi napravami, do 5 km	
LCD prikazovalnik	2 x 16 vrstni prikazovalnik	
stikalo	stikalo za konfiguracijo PLK-ja	
ura	ura realnega časa za datum in čas	
napajanje	24 V DC	24 V DC
vhodni tok	140 mA + (celotni tok K-vodila / 4), maks. 500 mA	70 mA + (celotni tok K-vodila / 4), maks. 500 mA
zagoni tok	2,5 krat večji od delovnega toka	2,5 krat večji od delovnega toka
tokovna obremenitev K-vodila	1450 mA	1000 mA
delovna temperatura	0 °C..55 °C, 95 % RV (relativna vlažnost)	0 °C..55 °C, 95 % RV (relativna vlažnost)
temperatura shranjevanja:	-10 °C..75 °C, 95 % RV	-10 °C..75 °C, 95 % RV
ohišje	IP20, primeren za na DIN letev	IP20, primeren za na DIN letev

Tabela 2: Tehnični podatki PLK-jev BX9000 in BX8150 [5] (nadaljevanje)

6.1.4 Vhodni in izhodni moduli

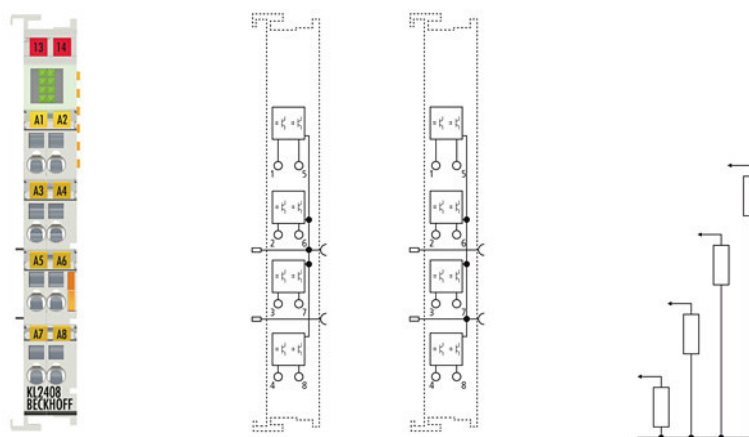
Uporabljamo naslednje vhodne in izhodne module: KL1408, KL2408, KL3054 in KL9010.

KL1408 je 8 kanalni digitalni vhodni modul, ki pretvarja vhodne vrednosti enosmerne napetosti od – 3 V do 5 V v logično 0, vrednosti napetosti od 15 V do 30 V pa v logično 1. Vsi priključki so električno izolirani, stanje digitalnih vhodov se prikazuje z LED diodami. Na sliki 9 je prikazan digitalni vhodni modul z označenimi priključki in načinom električne povezave.



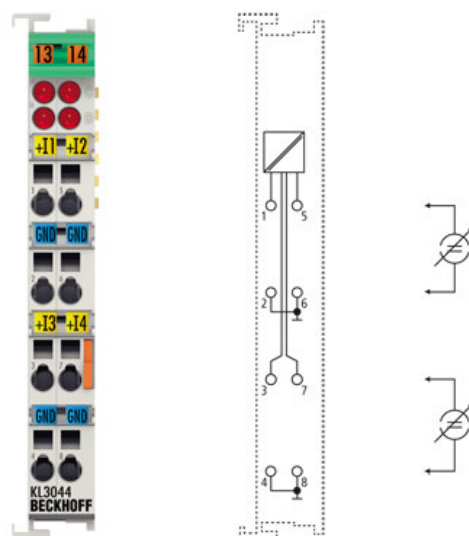
Slika 9: Digitalni vhodni modul KL1408 [7]

KL2408 je 8 kanalni digitalni izhodni modul, s katerim vklapljammo kontaktorje za pogon črpalk. Izhodi so tranzistorski z napetostjo 24 V DC in tokom do 0,5 A. Modul je zaščiten pred napačno priključitvijo, stanje digitalnih izhodov se prikazuje z LED diodami. Slika 10 prikazuje digitalni izhodni modul z oznako priključkov in načinom električne povezave.



Slika 10: Digitalni izhodni modul KL2408 [7]

KL3054 je 4 kanalni analogni vhodni modul preko katerega izvajamo meritve zveznih veličin, kot sta nivo in pretok. Prirejen je za tokovni signal od 4 mA do 20 mA. Natančnost pretvorbe je 12 bitov (1/4096), hitrost pretvorbe pa približno 4 ms na kanal. Vhodni signali so optično ločeni. Slika 11 prikazuje analogni vhodni modul z oznako priključkov in načinom električne povezave.



Slika 11: Analogni vhodni modul KL3054 [7]

KL9010 je zaključni modul. Le-ta je nepogrešljiv in vedno zavzame mesto zadnjega modula v vrsti vhodnih in izhodnih modulov od leve proti desni. Namen tega modula je, da sklene K – vodilo in s tem omogoči prenašanje podatkov med CPU in periferijo.

6.2 Brezžične komunikacije

Pri prenosu podatkov imamo poleg standardne kableske povezave na voljo tudi brezžične komunikacije. Slednje se pogosto izkažejo za najboljšo rešitev, saj jih srečujemo v vodovodih sistemih, rudnikih, daljinskem ogrevanju, vse pogostejše pa tudi v industriji.

Prednosti radijske komunikacije so:

- rešitev, kadar ni možnosti polaganja kabla,
- stroški polaganja kabla lahko presežejo stroške radijske zveze,
- postavitve sistema radijskih povezav je hitrejša od polaganja kabla,

- mobilnost radijske opreme,
- radijsko zvezo lahko uporabimo za prenos podatkov v različnih oblikah, kot so večina protokolov v industriji (profibus, ethernet, modbus, device net ...) ali neposreden prenos digitalnih in analognih signalov.

V nadaljevanju na kratko predstavljamo nekaj osnovnih pojmov, pomembnih pri prenosu podatkov preko radijske zveze:

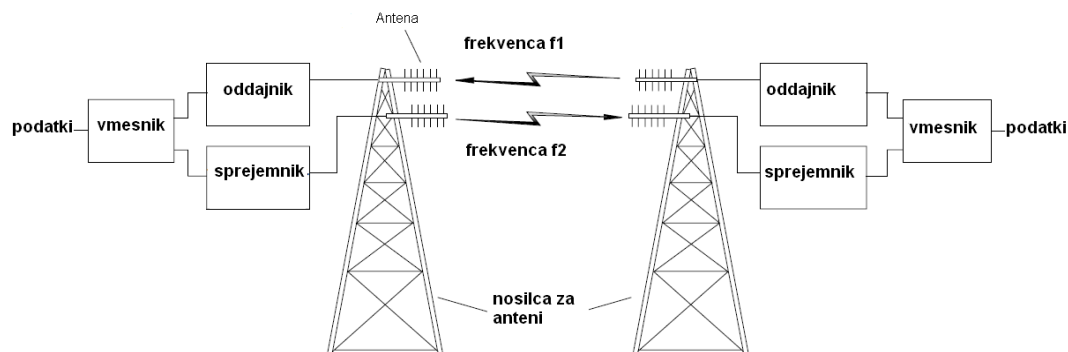
- sestavni deli radijske povezave,
- frekvenčni spekter, pasovi in kanali.

6.2.1 Sestavni deli radijske povezave

Radijska povezava je sestavljena iz naslednjih elementov:

- oddajnik,
- sprejemnik,
- komunikacijski vmesnik,
- antena.

Slika 12 prikazuje način povezave vseh omenjenih elementov radijske povezave.



Slika 12: Osnovni elementi radijske povezave

Oddajnik je naprava, ki pretvori podatkovni signal v signal višje frekvence, primeren za prenos po radijskem kanalu. Tej pretvorbi pravimo modulacija. Signal nato preko antene skozi prazen prostor potuje do sprejemnika v obliki elektromagnetnega valovanja.

Sprejemnik je naprava, ki preko antene sprejema radijski signal (elektromagnetno valovanje) in ga pretvori nazaj v podatkovni signal.

Komunikacijski vmesnik omogoča izmenjavo podatkov sprejemnika in oddajnika z drugimi napravami. Nadzira in časovno usklajuje prenos podatkov, ter kontrolira sprejemnik in oddajnik.

Antena seva (usmerja) in sprejema elektromagnetno valovanje, ki potuje skozi prazen prostor. Fizična velikost sevalnega elementa je sorazmerna valovni dolžini elektromagnetnega valovanja; večja kot je frekvenca manjša je velikost antene. Ob predpostavki, da je sprejemna frekvenca enaka oddajni, bo ista antena enako učinkovito sprejemala in oddajala elektromagnetno valovanje.

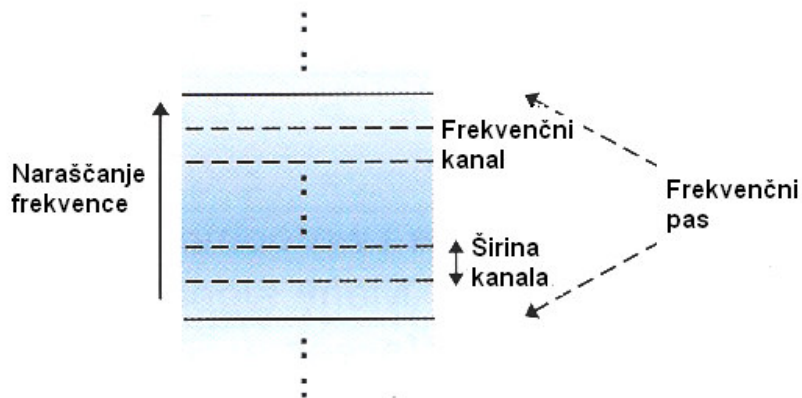
Tip sistema, ki ga vgrajujemo, nam določi katere antene uporabimo. Pri tem moramo biti najbolj pozorni na frekvenčno območje, želeno pokritost terena in stopnjo zaščite pred atmosferskimi vplivi.

6.2.2 Frekvenčni spekter, pasovi in kanali

Uporaba brezžičnih radijskih naprav je nadzorovana po celem svetu. Večina držav ima vladno organizacijo, ki odloča, kako in kje se uporabljajo brezžične naprave, kateri del frekvenčnega spektra uporabljajo in s kakšno izhodno močjo. Večina držav ima del frekvenčnega spektra namenjenega za prosto rabo (pravimo da naprava deluje na prosti frekvenci), drugi deli spektra pa se lahko koristijo samo s pridobljeno licenco za vsako posamezno aplikacijo. Take zakupljene frekvence se ponavadi plačujejo pavšalno na eno leto.

Večina brezžičnih naprav s krajšim dometom za uporabo v industrijskih ali komercialnih aplikacijah deluje na prosti frekvenci frekvenčnega spektra, saj z uporabo le te privarčujemo na stroških (uporaba proste frekvence je brezplačna) in času (ni potrebno dobiti soglasja). Prosti frekvenčni pasovi so poznani kot ISM pasovi (»Industrial, Scientific & Medical«).

Frekvenčni spekter je razdeljen na frekvenčne pasove, frekvenčni pasovi pa so razdeljeni na frekvenčne kanale. Na sliki 13 je simbolično prikazana porazdelitev frekvenčnega pasu.



Slika 13: Porazdelitev frekvenčnega pasu [3]

V tabeli 3 so predstavljeni vsi frekvenčni pasovi od najnižjih do najvišjih frekvenc. Brezžične naprave v industriji najdemo v zgornjem VHF in UHF frekvenčnem pasu.

imenovanje	kratica	frekvenčni pasovi
zelo nizke frekvence	VLF	9 KHz - 30 KHz
nizke frekvence	LF	30 KHz - 300 KHz
srednje frekvence	MF	300 KHz - 3 MHz
visoke frekvence	HF	3 MHz - 30 MHz
zelo visoke frekvence	VHF	30 MHz - 300 MHz
ultra visoke frekvence	UHF	300 MHz - 3 GHz
super visoke frekvence	SHF	3 GHz - 30 GHz
ekstremno visoke frekvence	EHF	30 GHz - 300 GHz

Tabela 3: Frekvenčni pasovi

Širina frekvenčnega kanala določa hitrost prenosa podatkov. Širši je kanal, večje hitrosti prenosa podatkov dosežemo, razdalja prenosa podatkov pa se z večanjem frekvence krajša.

6.2.3 Radijski modem 455U-D

Radijski modem ima vgrajen sprejemnik, oddajnik in komunikacijski vmesnik. Pri izbiri radijskega modema moramo biti najbolj pozorni na tri stvari: komunikacijski vmesnik, frekvenco in izhodno moč radijskega signala.

Zaradi zahteve po komunikacijskem vmesniku RS232 in razdalje 15 km med črpališčem Otok in vodnim stolpom Rakovci smo izbrali modeme proizvajalca Elpro

tip 455U-D, ki delujejo na frekvenčnem območju od 380 MHz do 520 MHz v sedmih radijskih kanalih po 20 MHz z izhodno močjo od 10 mW do 5 W [4]. Točno oddajno frekvenco 448 MHz z močjo 5 W in širino kanala 25 kHz smo izbrali ob naročilu modemov pri proizvajalcu.

Za to frekvenco in oddajno moč je moral naročnik dobiti Odločbo o dodelitvi radijskih frekvenc od Agencije za telekomunikacije, radiodifuzijo in pošto republike Slovenije. Imetnik frekvence mora letno plačati pristojbino v skladu z veljavnimi predpisi na podlagi sklepa agencije. Uporaba omenjenega frekvenčnega kanala z izhodno močjo signala do 0,5 W je v prosti rabi, vendar so pod temi pogoji komunikacijske razdalje do 10 km, kar ne zadostuje našim potrebam. Na sliki 14 je radijski modem 455U-D.



Slika 14: Radijski modem Elpro 455U-D

Za tip modema 455U-D (448 MHz, 5 W) proizvajalec ob idealnih razmerah (vidna razdalja) zagotavlja domet signala 35 km s hitrostjo prenosa 19,2 kb/s, kar je več kot dovolj za potrebe opisanega sistema.

6.2.4 Delovanje radijskega modema Elpro 455U-D

Delovanje radijskega modema 455U-D je relativno enostavno. Ob prejetju podatkov preko komunikacijskega vmesnika slednje pošlje po radijskem kanalu, pri čemer lahko na enkrat odda do 1020 zlogov [4]. Prenos podatkov se začne ob prejetju prvega zloga in se konča, ko ni več podatkovnih zlogov v vhodnem pomnilniku ali pa, ko je število poslanih zlogov enako maksimalni dovoljeni dolžini podatka, ki je

nastavljiva. Če je na vhodu več kot 1020 zlogov, bo radijski modem poslal najprej 1020 zlogov, zatem naslednjih 1020 zlogov in tako naprej dokler ne bodo poslani vsi podatki.

Radijski modem ima notranji pomnilnik velikosti 8 Kzlogov za primere, ko je prenos podatkov po radijskem kanalu počasnejši od prenosa podatkov na serijski vmesnik radijskega modema, saj se ti podatki shranjujejo v notranji pomnilnik in čakajo na oddajo.

Podatki so poslani po radijskem signalu kot neposredna modulacija sinhronskih podatkov s hitrostjo 1200, 2400, 4800, 9600 ali 19.200 bit/s. Hitrost prenosa je potrebno nastaviti na vseh radijskih postajah v mreži, pri tem pa morajo imeti vse postaje enake nastavitve.

6.2.5 Radijsko sporočilo

Vsebina radijskega sporočila je naslednja:

- na začetku sporočila je 40 ms trajajoče zaporedje ponavljajočih se »1« in »0«, ki omogoča sprejemni enoti časovno sinhronizacijo z oddajno enoto,
- sistemski naslov je priložen vsakemu sporočilu in zagotavlja razlikovanje med sporočili v primeru več 455U-D sistemov na istem radijskem kanalu. Vse 455U-D enote v sistemu morajo imeti isti sistemski naslov, tako je možno postaviti več različnih sistemov na enem radijskem kanalu, saj bodo enote sistema A preslišale sporočila, namenjena sistemu B in obratno,
- naslov oddajne enote, naslovi ponavljalnih enot in naslov ciljne enote (navedba od kje bo sporočilo poslano in kako bo prišlo do tja),
- lahko izberemo tudi možnost preverjanja napake (16 bit CRC) in šifriranje.

Dolžina sporočila je lahko med 1 in 1020 zlogi. Start, stop in paritetni biti se ne prenašajo po radijskem kanalu, ampak se regenerirajo v sprejemni enoti. Tabela 4 prikazuje čas, potreben za oddajo sporočila.

odsek	predmet	število zlogov	čas (pri 9600 Baud)
začetek	začetno zaporedje	40 ms	40 ms
glava	sistemski naslov	2 zloga	2,08 ms
	naslov glave	2 zloga	1,04 ms
	naslov oddajnika	1 zlog	1,04 ms
	naslov sprejemnika	1 zlog	1,04 ms
	naslovi ponavljalnih enot	1 zlog na naslov	1,04 ms za vsak naslov
	preverjanje napak	1 zlog	1,04 ms
šifriranje	šifrirni vektor (opcija)	16 zlogov	16,64 ms
podatki	dolžina podatka	podatkovni zlogi	1,04 ms x število podatkovnih zlogov
kontrola	CRC kontrola (opcija)	2 zloga	2,08 ms

Tabela 4: Čas, potreben za oddajo enega sporočila

Čas, potreben za oddajo enega zloga pri hitrosti 9600 b/s je 1,04 ms, to pomeni, da bo na primer sporočilo dolžine 20 zlogov pri hitrosti 9600 b/s brez ponavljalnih enot in preverjanja napake poslano na izhod sprejemne enote približno 71 ms po tistem, ko je podatek na vhodu oddajne enote. Kot bomo videli kasneje je dolžina našega najdaljšega sporočila 4 zloge, kar je veliko pod zmožnostjo radijskega modema.

6.2.6 Antene

6.2.6.1 Klinearni dipol AD-23/07-4

Na lokaciji otok smo uporabili kolinearni dipol z oznako AD-23/07-4, primeren za uporabo na UHF frekvenčnem področju od 400 MHz do 500 MHz v posameznih kanalih. Antena je po električni konstrukciji kolinearni dipol, sestavljen iz štirih elementov, električno dolgih $\frac{1}{2}$ valovne dolžine. Med elementi se nahajajo tuljave, ki skrbijo za pravilen tokovni fazni zasuk, v podnožju antene pa je vgrajeno prilagodilno vezje, preko katerega so vsi deli antene ozemljeni. Vsi sevalni elementi so zaprti v cevi, izdelani iz kompozitnega materiala, s tem pa je antena odporna na vplive atmosfere [14]. V tabeli 5 so predstavljene tehnične lastnosti antene, slika 15 prikazuje anteno, slika 16 pa sevalni diagram v vertikalni ravnini.



Slika 15: Antena AD-23/07-4 [14]

frekvenčno območje	400 MHz – 500 MHz
impedanca	50 ohm
dobitek	5 dBd
polarizacija	vertikalna
višina	2m

Tabela 5: Tehnične podatki kolinearnega dipola AD-23/07-4 [14]

Frekvenčno območje nam pove pri kateri frekvenci ima antena najboljšo oddajo in sprejem. Impedanca antene je razmerje med kompleksorjem napetosti in kompleksorjem toka na mestu, kjer anteno napajamo. Antena, radijski modem in kabel morajo imeti enako impedanco, drugače pride do impedančne neprilagojenosti, kar posledično lahko pripelje do poškodovanja radijskega modema.

Dobitek antene v dBd pove, kakšna je jakost polja v izbrani smeri, če jo primerjamo z polvalnim dipolom z isto močjo oddajnika. Polvalni dipol je najbolj preprosta antena z dobitkom 1.64 oziroma 2.15 dB.

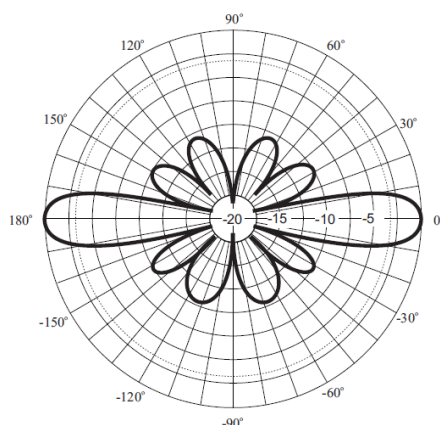
Polarizacija določa orientacijo električnega polja v elektromagnetnem sevanju glede na Zemljino površino. Najpogosteje je ta horizontalna ali vertikalna. Pomembno je, da

so antene glede tega usklajene, saj je prenos podatkov med neusklajenimi antenami veliko slabši.

Sevalni diagram je grafični prikaz moči in smeri elektromagnetnega sevanja antene. Kolinearni dipol je vertikalno polarizirana antena, zato njeno sevanje opisuje en sevalni diagram.

Yagi antena je lahko vertikalno ali horizontalno polarizirana, zato njeno sevanje opisujeta dva sevalna diagrama, vertikalni in horizontalni. Horizontalno polarizirana yagi antena postane vertikalno polarizirana tako, da jo vzdolž osi zavrtimo za 90° .

Za kolinearni dipol na lokaciji Otok smo se odločili na podlagi sevalnega diagrama, saj je iz njega razvidno da bo usmerjeno elektromagnetno valovanje doseglo vse oddaljene lokacije vodovodnega sistema.



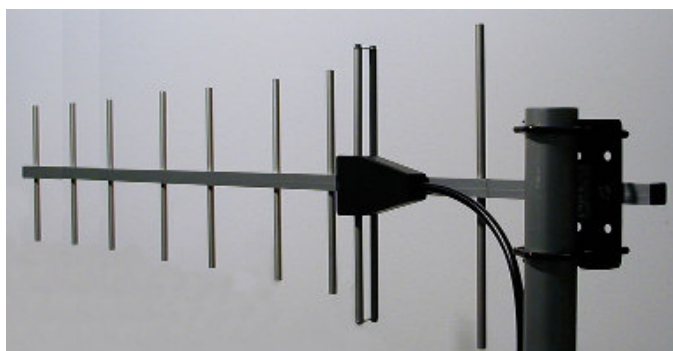
Slika 16: Sevalni diagram kolinearnega dipola AD-23/07-4 [14]

6.2.6.2 9 – elementna yagi antena AD-40/07-9

Na ostalih lokacijah uporabljamo antene AD-40/07-9. To je 9 - elementna yagi antena, namenjena predvsem za stacionarno uporabo na standardnem UHF frekvenčnem področju od 390 MHz do 475 MHz. Antena je usmerjena in ima dobiček 10 dBd, sevalni element pa je izveden v obliki zavitega dipola, kar omogoča konstantne električne karakteristike na celem frekvenčnem področju. Elementi so izdelani iz aluminijaste palice premera 10 mm ter vstavljeni v nosilno cev iz aluminija

dimenzije 20 mm x 20 mm. Vsi spojni elementi so iz nerjavečega jekla, prilagodilni element pa je zaprt v plastičnem ohišju, kar omogoča anteni zanesljivo delovanje tudi v težjih atmosferskih pogojih. Vsi kovinski deli antene so ozemljeni [14].

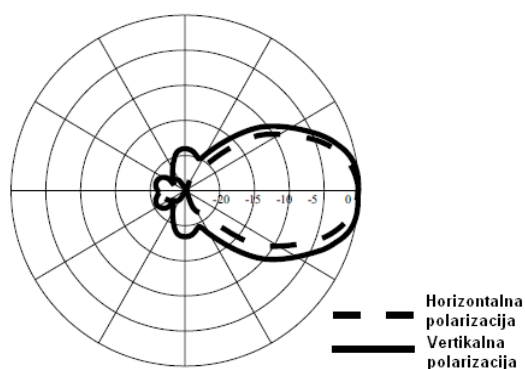
Za yagi antene smo se odločili, ker so usmerjene v eno smer z dobrim dobitkom in ob horizontalni polarizaciji združljive z kolinearnim dipolom. Na sliki 17 je prikazana yagi antena, tabela 6 prikazuje tehnične lastnosti antene, slika 18 pa sevalni diagram yagi antene.



Slika 17: 9 - elementna yagi antena AD-40/07-9 [14]

frekvenčni obseg	390 MHz– 475 MHz
impedanca	50 ohm
dobitek	10 dBd
polarizacija	vertikalna / horizontalna
dolžina	135 cm

Tabela 6: Tehnični podatki 9 - elementne yagi antene AD-40/07-9



Slika 18: Sevalni diagram 9 – elementne yagi antene AD-40/07-9 [14]

6.3 Merjenje nivoja vode

Obstaja več metod za merjenje nivoja vode. Najbolj zanesljivi in največkrat uporabljeni metodi sta:

- z nivojskimi stikali,
- na osnovi hidrostatičnega tlaka.

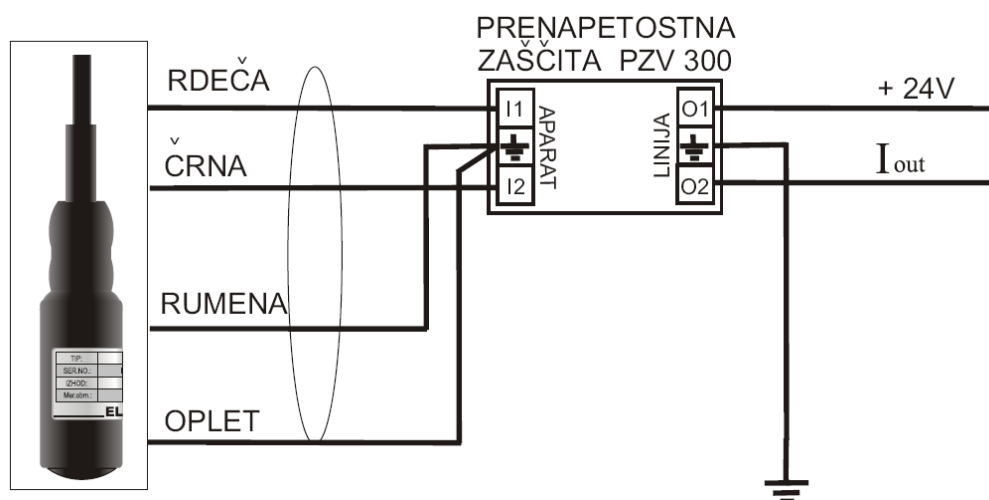
Nivojsko stikalo (hruška) je vgrajeno v plastičnem ohišju, v katerem je kroglica, ki v odvisnosti od položaja preklopi med delovnim in mirovnim kontaktom. Stikalo vedno plava na površini vode, da pa se obrne pokončno pri zvišanju nivoja vode skrbi utež, nameščena na povezovalnem kablu. S spreminjanjem razdalje med stikalom in utežjo spreminjamo velikost histereze med vklopi.

Merilnik nivoja na osnovi hidrostatičnega tlaka je sestavljen iz tlačnega senzorja in precizne elektronike, ki sta nameščena v ohišju iz nerjavečega jekla. Posebna izvedba priključnega kabla omogoča prehod zračnega (atmosferskega) tlaka do vhoda tlačnega senzorja [8]. Na drugi vhod tlačnega senzorja deluje preko vmesne membrane zračni tlak povečan za tlak, ki ga povzroči višina merjene tekočine. Razlika tlakov povzroči spremembo izhodnega signala. Elektronika pretvori šibke signale senzorja v tok od 4 mA do 20 mA. Z meritvijo toka v tokovni zanki ugotovimo natančno višino tekočine. Zveza med izhodnim tokom in nivojem tekočine je linearna. Pogoji za natančno meritev je, da v prostoru, kjer se nahaja merilnik nivoja, ni nadtlaka.

Merilno sondo napajamo preko tokovne zanke s standardno napetostjo 24 V. Prednost takšnega načina delovanja je, da potrebujemo le dva vodnika za napajanje in merilni signal. Tretji vodnik pa je ozemljitev, ki služi za odvod prenapetosti, ki jih prestreže prenapetostno zaščitno vezje. S tokovno zanko izločimo zunanje motilne vplive okolja, vrednost nič, določena pri 4 mA, pa nam omogoča odkrivanje prekinitev tokokroga. Pri daljši žični tokovni zanki in v okolju s potencialno možnostjo atmosferskih praznitev in drugih prenapetosti je potrebno v tokovno zanko vgraditi prenapetostno zaščito. Slika 19 prikazuje merilnik nivoja, slika 20 pa ustrezno električno priključitev s prenapetostno zaščito.



Slika 19: Merilnik nivoja PPI 100 [8]



Slika 20: Električna priključitev merilnika nivoja PPI 100 [8]

Za razliko od nivojskih stikal imamo pri merilnikih nivoja stalno informacijo o nivoju vode. V našem primeru smo na vseh lokacijah namestili hidrostatske merilnike nivoja PPI 100 proizvajalca Eltra, saj je zanesljivost delovanja in potreba po stalni informaciji o nivoju vode ključnega pomena.

Medtem ko so na relaciji črpališče Križ vodni stolp Rakovci za vklop črpalk bila že predhodno uporabljena nivojska stikala nameščena v vodnem stolpu.

6.4 Merjenje pretoka

Obstaja veliko različnih načinov merjenja pretoka, vendar zaradi številnih prednosti elektromagnetnih merilnikov navadno uporabimo le te, če jih je možno uporabiti. Za uporabo teh merilnikov je obvezna električna prevodnost medija [10].

Prednosti tovrstnih merilnikov so:

- linearna zveza med pretokom in napetostjo, ki jo merimo,
- električni izhod,

- ne predstavljajo nobene ovire v pretoku,
- neobčutljivost na spremembe tlaka, temperature, gostote in viskoznosti medija in
- nimajo premičnih delov.

Elektromagnetni merilniki pretoka uporabljajo medij kot prevodnik, ki s premikanjem v magnetnem polju inducira napetost, zato je pogoj za uporabo tega načina merjenja vsaj minimalna električna prevodnost medija. Voda nedvomno ustreza temu pogoju. Hitrost toka in s tem pretok, ter inducirano napetost povezuje Faradayev zakon.

$$u_i = B \cdot L \cdot v \text{ [V]}$$

Kjer so:

- u_i - inducirana napetost,
- B – gostota magnetnega polja,
- L – dolžina prevodnika, ki je v tem primeru enaka premeru cevi,
- V – hitrost prevodnika, ki je v tem primeru enaka povprečni cevi medija v cevi,
- I – tok.

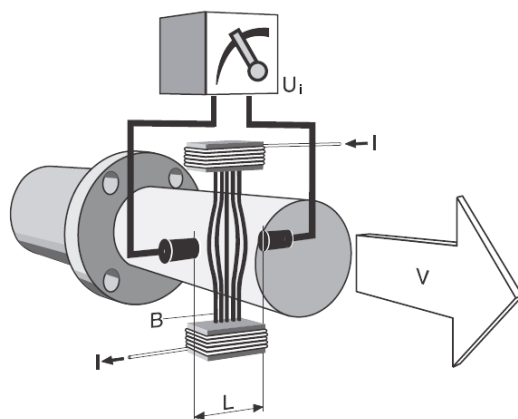
Enačba za izračun pretoka je:

$$Q = A \cdot v \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Kjer sta:

- A – presek cevi,
- Q – pretok.

Poenostavljen prikaz elektromagnetnega merilnika pretoka je prikazan na sliki 21.



Slika 21: Poenostavljen prikaz elektromagnetnega merilnika pretoka [9]

Instrument na sliki 21 sestoji iz kosa cevi iz nerjavečega jekla, ki ima z notranje strani vložek iz električno neprevodnega materiala (neopren, poliuretan) [10]. Magnetno polje ustvarjata ustrezni navitji, ki ju vzbuja vzbujevalna napetost. Inducirano napetost odjemamo z ortogonalno nameščenima elektrodama. Vzbujevalna napetost je navadno izmenična, saj izmenična polarizacija magnetnega polja preprečuje kopičenje raznih nesnag na elektrodah. Le te so iz materialov, na katere lastnosti medija nimajo velikega vpliva (plemenite kovine), kar pomeni velik del cene naprave.

Točnost meritve je okrog 1 %, pri čemer jo zelo motijo mehurčki v tekočini. Merilno območje je ogromno, saj gre za pretoke od $10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$ do $3 \text{ m}^3/\text{s}$ pri najrazličnejših premerih cevi. Delujejo na temperaturah od $-130 \text{ }^{\circ}\text{C}$ do $180 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pri tlakih do 4 MPa. Razmerje med inducirano napetostjo in pretokom je linearno. Inducirano napetost elektronika, ki je navadno montirana na merilniku, pretvori v uporaben signal. Ta je analogen (0(4) mA – 20 mA, 0 V – 10 V) in nam služi za prikaz trenutne vrednosti pretoka, ali pa v obliki impulzov, katerih vsota nam predstavlja kumulativni pretok.

Merilnik pretoka vode iz črpališča Hajndl v vodni stolp Vičanci je elektromagnetni z analognim izhodom od 4 mA do 20 mA, kateri je bil že predhodno vgrajen. Naše delo je obsegalo priklop signala merilnika na vhodni analogni modul. Vrednost signala na nadzornem sistemu predstavljala trenutni pretok.

7. Uporaba strojne opreme

V nadaljevanju sledi seznam uporabljene strojne opreme po posameznih objektih. Zaradi lažje nadgradnje sistema smo na vseh lokacijah uporabili digitalni vhodni, digitalni izhodni in analogni vhodni modul, kljub temu, da trenutni obseg sistema ne zahteva uporabo vseh omenjenih modulov na vseh lokacijah.

Prvotno je bil na vseh lokacijah predviden sistem brezprekinitvenega napajanja UPS (angleško: Unlimited Power Supply), vendar se kasneje investitor zaradi zmanjšanja stroškov zanj ni odločil. Za rezervno napajanje v primeru izpada omrežne napetosti smo UPS-e nadomestili z dvema 12 V / 1,2 A akumulatorjema.

7.1 Črpališče Otok

V objektu Otok smo uporabili naslednjo strojno opremo:

- PLK BX9000,
- digitalni vhodni modul KL1408,
- digitalni izhodni modul KL2408,
- analogni vhodni modul KL3054,
- zaključni modul KL9010,
- radijski modem 455U-D in
- anteno kolinearni dipol AD-23/07-4.

Na PLK-ju smo uporabili digitalni izhod:

- vklop črpalke

7.2 Črpališče Hajndl

V Črpališču Hajndl smo uporabili:

- PLK BC8150,
- digitalni vhodni modul KL1408,
- digitalni izhodni modul KL2408,
- analogni vhodni modul KL3054,
- zaključni modul KL9010,

- radijski modem 455U-D,
- 9 – elementno yagi anteno AD-40/07-9,
- elektromagnetni merilnik pretoka in
- merilnik nivoja PPI 100.

Na PLK smo priključili naslednje signale:

- šest digitalnih vhodov: delovanje črpalk 1 in 2, napaka črpalk 1 in 2, vstop v objekt in prisotnost napetosti,
- dva digitalna izhoda: vklop črpalke 1 in 2 in
- dva analogna vhoda: pretok vode in nivo vode.

7.3 Vodni stolp Vičanci

V vodnem stolpu smo uporabili:

- PLK BC8150,
- digitalni vhodni modul KL1408,
- digitalni izhodni modul KL2408,
- analogni vhodni modul KL3054,
- zaključni modul KL9010,
- radijski modem 455U-D,
- 9 – elementno yagi anteno AD-40/07-9 in
- merilnik nivoja PPI 100.

Na PLK smo priključili naslednje signale:

- dva digitalna vhoda: prisotnost napetosti in vstop v objekt,
- analogni vhod: nivo vode v vodnem stolpu.

7.4 Vodni stolp Rakovci

Kot smo omenili, je vodni stolp Rakovci preko cevovoda povezan s črpališčem Križ. Prenos podatkov med vodnim stolpom in črpališčem poteka po bakrenih paricah. Krmiljenje nivoja vode v stolpu se izvaja tako, da se preko nivojskih stikal, vgrajenih v vodovodnem stolpu, vklopljata črpalke v črpališču.

Ker je obstoječi sistem deloval brez napak, vanj nismo posegali. Na lokaciji Rakovci samo tako samo zajemali signale v vodovodnem stolpu, proste parice pa smo uporabili za prenos kontrolnih signalov iz lokacije Križ.

V vodnem stolpu Rakovci smo uporabili:

- PLK BC8150,
- digitalni vhodni modul KL1408,
- digitalni izhodni modul KL2408,
- analogni vhodni modul KL3054
- zaključni modul KL9010,
- radijski modem 455U-D,
- 9 – elementno yagi anteno,
- merilnik nivoja PPI 100 in
- nivojska stikala.

Na PLK smo priključili naslednje signale:

- osem digitalnih vhodov: delovanje črpalk 1 in 2, napaka črpalk 1 in 2, vstop v črpališče Križ, vstop v vodni stolp, prisotnost napetosti v črpališču in prisotnost napetosti v vodnem stolpu,
- analogni vhod: nivo vode.

8. Programiranje krmilnikov Beckhoff

8.1 Programsko orodje TwinCAT

TwinCAT je programsko orodje, namenjeno programiranju PLC-jev proizvajalca Beckhoff, ki deluje na operacijskih sistemih Windows NT, 2000, XP, Vista in 7.

Programsko orodje je sestavljeno iz treh programov:

- System Control omogoča povezovanje s PLC-ji preko komunikacijskega vmesnika,
- System Manager poveže fizične naslove z programskimi spremenljivkami,
- PLC Control omogoča:
 - vnos, urejanje in shranjevanje projektov,
 - prenos projekta v PLC,
 - sprotno spremljanje delovanja programa in
 - spremljanje in spreminjanje stanj spremenljivk v PLC-ju.

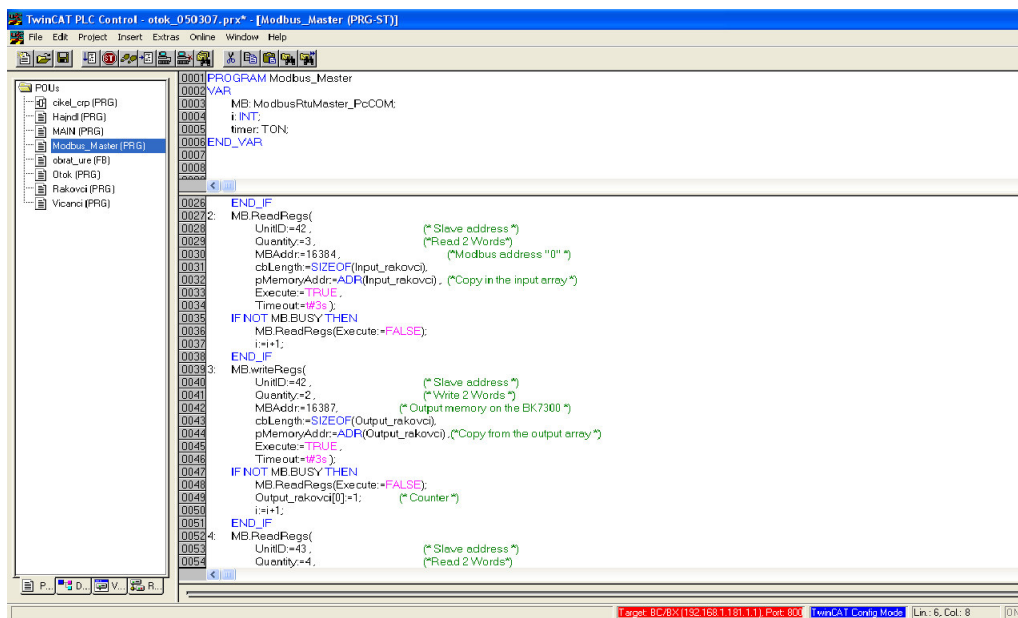
Programsko orodje ustreza mednarodnem standardu IEC 61131.3, ki določa programsko strukturo in programske jezike za programiranje PLC-jev. Omogoča pisanje kode v petih programskih jezikih:

- IL - instrukcijska lista je nižjenivojski programski jezik. Vsak ukaz se začne v novi programski vrstici, ki je sestavljena iz ukaza in enega ali več operandov,
- ST - strukturiran tekst, višji programski jezik podoben pascalu ali C-ju,
- SFC - sekvenčno funkcijsko shema se uporablja za programiranje PLC-jev, ki vodijo sekvenčne procese,
- FBD - funkcijski bločni diagram predstavlja kaskado logičnih funkcijskih blokov in
- LD - lestvični diagram, ki ima korenine v načrtovanju relejskih krmilij.

Za izvedbo programa ustvarimo nov projekt, izberemo ciljni sistem za katerega pišemo program (tip krmilnika in način komunikacije s krmilnikom) in programski jezik v katerem želimo pisati program. S potrditvijo se odpre okno za pisanje glavnega

programa, kateri je sestavljen iz treh delov: dela za pisanje programa, dela za deklaracijo spremenljivk in organizatorja POU.

Organizator POU (angleško: program organization unit) nam omogoča dodajanje poljubnega števila podprogramov, funkcijskih blokov, ter funkcij pisanih v različnih programskih jezikih. Iz glavnega programa se projekt gradi naprej s klici na druge podprograme, funkcijske bloke ali funkcije. Na sliki 22 je prikazano TwinCAT PLC Control programsko okno.



Slika 22: TwinCAT PLC programsko okno

8.1.1 Deklaracija spremenljivk

Spremenljivke lahko deklariramo kot retain, lokalne ali globalne. Globalne spremenljivke se lahko kliče iz vseh programov v projektu lokalne samo iz enega, retain spremenljivke po izpadu napetosti ohranijo svojo vrednost in so lahko lokalne ali globalne. Vse spremenljivke so lahko deklarirane kot splošne, zastavice (markerji), vhodne ali izhodne. Programsko orodje TwinCAT pozna osemnajst tipov spremenljivk predstavljenih v tabeli 7.

tip spremenljivke	spodnja vrednost	zgornja vrednost	uporaba pomnilnika
BOOL	0	1	1 bit
BYTE (ZLOG)	0	255	8 bitov
WORD (BESEDA)	0	65535	16 bitov
DWORD	0	4294967295	32 bitov
SINT	- 128	127	8 bitov
USINT	0	255	8 bitov
INT	- 32768	32767	16 bitov
UINT	0	65535	16 bitov
DINT	-2147483648	2147483647	32 bitov
STRING	0	4294967295	32 bitov
REAL	-3.402823 x 1038	3.402823 x 1038	32 bitov
LREAL	-1.79769313486231E308	1.79769313486232E308	64 bitov
STRING	'To je String'	uporaba pomnilnika odvisno od dolžine stringa	
TIME	T#0ms	T#71582m47s295ms	32 bitov
TIME_OF_DAY	TOD#00:00	TOD#1193:02:47.295	32 bitov
DATE	D#1970-01-01	D#2106-02-06	32 bitov
DATE_AND_TIME	DT#1970-01-01-00:00	DT#2106-02-06-06:28:15	32 bitov

Tabela 7: Tipi spremenljivk programskega paketa TwinCAT

Pri deklaraciji zastavic, vhodnih in izhodnih spremenljivk, oziroma pri spremenljivkah, ki jim določimo naslov v pomnilniku, se moramo držati določene oblike zapisa. Ta je sestavljen iz šestih delov: imena, angleške besede AT, oznake »%«, ki pomeni začetek naslova, tipa spremenljivke, naslova in velikosti. Primer vseh treh vrst spremenljivk:

- I – vhod: stikalo AT %IX0.0:BOOL;
- Q – izhod: luc AT %QX0.0:BOOL;
- M – zastavica: zapis AT %MB0:BYTE;

V tabeli 8 so predstavljene oznake za deklaracijo spremenljivk.

%			začetek naslova
	I		vhod
	Q		izhod
	M		zastavica (angleško: flag)
		X	bit (1 bit)
		B	zlog (8 bitov)
		W	beseda (16 bitov)
		D	dvojna beseda (32 bitov)

Tabela 8: Oznake za določevanje naslova spremenljivk

Splošnim spremenljivkam namenjenim za uporabo znotraj programa določimo samo ime in tip. Primer:

- spremenljivka: BOOL;

Pri zapisu vhodnih in izhodnih spremenljivk imamo dve možnosti zapisa, pri prvi možnosti določimo ime, tip in naslov v delu za deklaracijo spremenljivk.. Primer takega zapisa sta spremenljivki stikalo in luc zapisani zgoraj.

Druga možnost je da ob zapisu spremenljivke naslova ne določimo, ampak namesto njega zapišemo zvezdico. Primera:

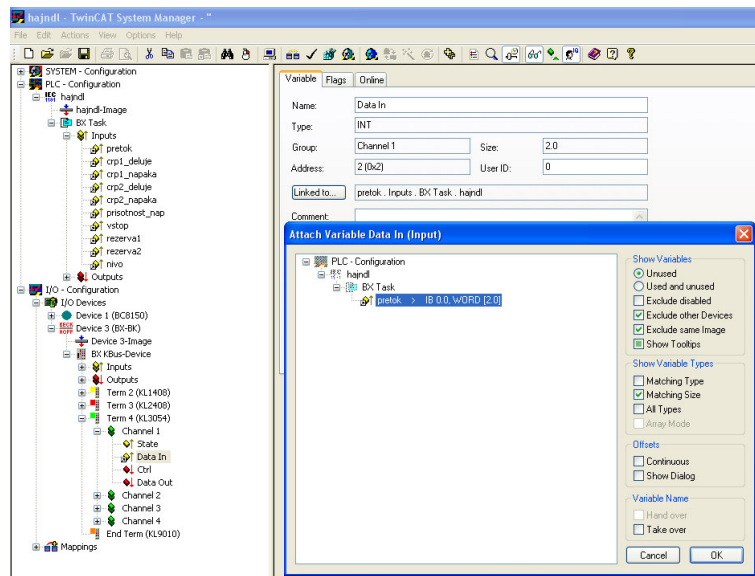
- I – vhod: stikalo AT %I*:BOOL;
- Q – izhod: luc AT %Q*:BOOL;

Ob tovrstnem zapisu moram napisan program prenesti v program System Manager, kjer povežemo vhodne in izhodne spremenljivke z periferijo. Povezava fizičnih naslovov z programskimi spremenljivkami s programom System Manager je opisana v naslednjem poglavju.

8.1.2 Povezava fizičnih naslovov s programskimi spremenljivkami

Za povezavo fizičnih naslovov s programskimi spremenljivkami uporabljamo program System Manager. To naredimo tako, da najprej uvozimo v System Manager program napisan v TwinCAT PLC. Ta program ima že definirane programske spremenljivke brez fizičnih naslovov.

Z opcijo <Scan Devices> nato posnamemo priključeno strojno opremo preko komunikacijskega vodila z PLK-jem. Program prepozna PLK z priključenimi moduli, ter fizične naslove modulov. Naša naloga je, da naslove povežemo s projektom iz programa TwinCAT PLC. Na sliki 23 je prikazano okno programa System Manager.



Slika 23: Okno programa System Manager

8.2 Način programiranja

Med petimi programskimi jeziki, smo izbrali ST – strukturiran test. Manjši del programa smo napisali z FBD - funkcijskimi bločnimi diagrami.

Za lažje razumevanje kode bomo predstavili uporabljene stavke in funkcijske bloke. Komentariji v programu so v oklepajih med dvema zvezdicama. Primer: (*komentar*).

Stavek IF ...ELSIF:

Stavek beremo takole: če je izpolnjen pogojni izraz 1, se izvrši stavek 1, sicer če je izpolnjen pogojni izraz 2, se izvrši stavek 2,..., sicer (če ni izpolnjen noben izraz) se izvrši stavek n. Del v zavitih oklepajih {} je lahko izpuščen.

IF <Pogojni izraz 1> THEN

<stavek 1>;

{ELSIF <Pogojni izraz 2> THEN

<stavek 2>;

...

ELSE

<stavek n>;}

END_IF;

Stavek CASE:

Stavek CASE deluje na naslednji način: Če ima spremenljivka vrednost celoštevilске konstante i se bo izvedel stavek i, če pa vrednost spremenljivke ne ustreza nobeni konstanti se bo izvedel ELSE-stavek.

CASE <spremenljivka> OF

<celoštevilska konstanta 1>:

<stavek 1>

< celoštevilska konstanta 2>:

<stavek 2>

...

< celoštevilska konstanta n>:

<stavek n>

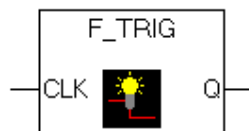
ELSE

<ELSE-stavek>

END_CASE;

Funkcijski blok F_TRIG (ang.: trigger):

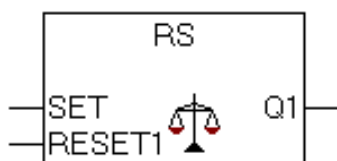
Izhod Q bo enak logični 0 dokler ne bo na vhodu CLK prehod iz logične 1 na logično 0. Ob prehodu CLK iz logične 1 na logično 0 se na izhod Q pošlje kratek impulz. Na sliki 24 je prikazan funkcijski blok F_TRIG.



Slika 24: Funkcijski blok F_TRIG [13]

Funkcijski blok RS:

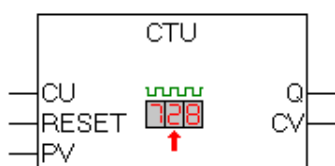
Ob izpolnjenem pogoju SET bo izhod Q1 enak logični 1, ob izpolnjenem pogoju RESET1 pa bo izhod Q1 enak logični 0. Dokler je RESET1 enak 1 bo izhod Q1 enak logični 0, ne glede na vrednost SET. Na sliki 25 je prikazan funkcijski blok RS.



Slika 25: Funkcijski blok RS [13]

Funkcijski blok CTU (števec):

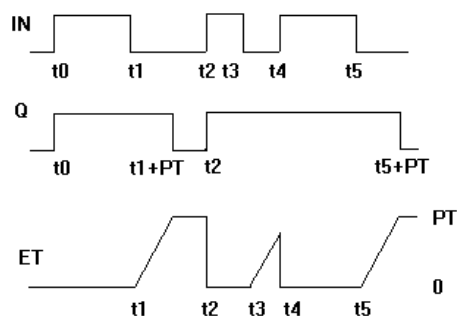
Števec CTU se ob visokem stanju vhoda RESET postavi v stanje logične 0. Ob vsakem prehodu vhoda CU z logične 0 na logično 1 se stanje števca poveča za 1, ko stanje doseže vrednost vhoda PV, se na logično 1 postavi izhod Q. Na sliki 26 je prikazan funkcijski blok CTU.



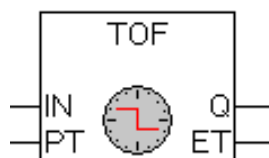
Slika 26: Števec CTU [13]

Časovnik z zakasnitvijo (TOF):

Časovnik tipa TOF je časovnik z zakasnjениm izklopom. Deluje tako, da prehod v logično stanje 1 na vhodu IN postavi na logično stanje 1 tudi izhod Q. Časovnik se sproži ob prehodu vhoda IN z logične 1 na logično 0. Po času določenim s PT, pade na logično 0 tudi izhod Q. Pretečeni čas od trenutka sprožitve odčitamo na izhodu ET. Če stanje na vhodu IN ponovno preide na logično 1 še pred iztekom zakasnitve, se časovnik resetira in izhod ne pade na logično 0 [11]. Slika 27 prikazuje časovni diagram časovnika, slika 28 pa funkcijski blok TOF.



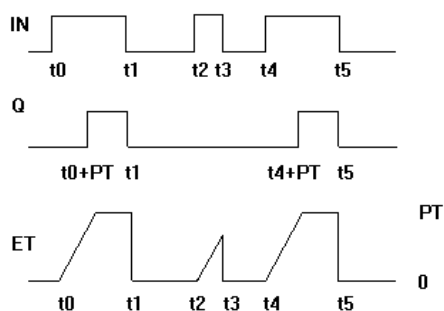
Slika 27: Časovni diagram časovnika z zakasnitvijo TOF [13]



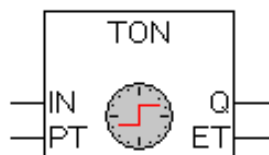
Slika 28: Časovnik z zakasnitvijo TOF [13]

Časovnik z zakasnjnim vklopom TON:

Časovnik tipa TON je časovnik z zakasnjnim vklopom. Deluje tako, da prehod v logično stanje 1 na vhodu IN sproži časovnik. Po času, določenem s PT, se izhod spremeni z logične 0 na logično 1. Izhod nato ostane v logičnem stanju 1, dokler vhod IN ne pade na logično 0. Na izhodu ET odčitamo pretečeni čas od trenutka sprožitve časovnika. Če stanje na vhodu IN pade na logično 0 še pred iztekom zakasnitve, se časovnik resetira in izhod se ne postavi [11]. Slika 29 prikazuje časovni diagram časovnika, slika 30 pa funkcijski blok TON.



Slika 29: Časovni diagram časovnika z zakasnjnim vklopom [13]



Slika 30: Časovnik z zakasnjnim vklopom TON [13]

9. Opis upravljanja vodovodnega sistema s PLK-jem

Pri opisu kode posameznega PLK-ja je najprej splošni opis delovanja programa, v nadaljevanju pa so opisani ključni deli programa, ki predstavljajo rešitve uporabne pri nadzoru in vodenju vodovodnih sistemov.

Opisan je način komunikacije med objekti, obdelava podatkov za prikaz na nadzornem sistemu, algoritem za vklapljanje in izklapljanje črpalk, test komunikacije, merjenje obratovalnih ur črpalk in zapis spremenljivk v vztrajnostni pomnilnik.

Celoten projekt je sestavljen več med seboj podobnih objektov, kar pomeni, da so si programi v različnih PLK-jih podobni, ali pa so si podobni podprogrami v določenem PLK-ju. Iz tega sledi, da so enake rešitve uporabljene na različnih mestih in je opis nekaterih delov programov in podprogramov izpuščen, saj bi opis vseh pomenil podvajanje vsebine in ne bi pripomogel k boljšemu razumevanju sistema.

9.1 Vodna stolpa Vičanci in Rakovci

Na obeh vodnih stolpih so zajeti naslednji vhodni signali: delovanje črpalk, napaka črpalk, prisotnost napetosti, vstop v objekt in nivo vode. Ti signali so s priredilnim ukazom »:=« zapisani v vmesni pomnilnik PLK-jev.

Pri zapisu digitalnih vhodov v vmesni pomnilnik smo uporabili možnost, da z ustreznim naslavljanjem v spremenljivko tipa beseda zapišemo več spremenljivk tipa bit. V eno besedo na ta način lahko zapišemo 16 spremenljivk tipa bit. Spremenljivke, se nato preko komunikacijskega vmesnika prenesejo v radijski modem, od tam pa preko radijskega valovanja na glavni PLK na lokaciji Otok.

Poleg branja / zapisovanja spremenljivk se na teh dveh lokacijah opravlja test komunikacije. Tega bomo opisali kasneje pri opisu programa PLK-ja na lokaciji Hajndl.

Spodnji primer prikazuje obdelavo enega od osmih digitalnih vhodov v vodnem stolpu Rakovci.

```

IF crp1_deluje THEN (*če črpalka deluje se v pomnilnik zapiše logična 1*)
    mb_Input.0:=1;
ELSE
    mb_Input.0:=0; (če črpalka ne deluje se v pomnilnik zapiše logična 0*)
END_IF

```

V primeru analognega signala je postopek podoben z razliko, da za analogen signal potrebujemo eno besedo, vrednost signala pa je lahko od 0 do 32767 in se direktno prenese v izbrani naslov v pomnilniku.

```

(*program prebere analogni vhod nivo AT %IB4:WORD in ga zapiše v spremenljivko
mb_nivo AT%MW2:WORD*)
mb_nivo:=nivo;

```

9.2 Črpališče Hajndl

PLK na lokaciji Hajndl prebere vse vhodne signale, jih zapiše v vmesni pomnilnik, vklaplja in izklaplja črpalke na podlagi prejetih sporočil neposredno iz lokacije Otok in posredno iz lokacije Vičanci.

V primeru neaktivnega alarma in vrednosti spremenljivke tipa beseda mb_vklopi 1 se vklopi črpalka 1, vrednost 2 pomeni vklop črpalke 2, vrednost 3 pa vklop obeh črpalk. Kot bomo videli kasneje se vrednost spremenljivke mb_vklopi določi v PLK-ju na lokaciji Otok, na podlagi nivoja vode v vodnem stolpu Vičanci, ter nastavljenih vrednosti vklopa in izklopa črpalke v nadzornem sistemu. Nadzorni sistem omogoča tudi ročni vklop obeh črpalk.

```

(*vklop črpalk*)
(*na podlagi vrednosti besede mb_vklopi se vklapljata črpalke 1 in 2)
IF ((mb_vklopi = 1 OR mb_vklopi = 3) AND alarm_mb = FALSE) THEN
    crp1_vklop:=TRUE; (*vrednost besede 1 ali 3 pomeni vklop črpalke 1*)
ELSE
    crp1_vklop:=FALSE; (*v nasprotnem primeru se črpalka 1 ne vklopi*)
END_IF
IF ((mb_vklopi = 2 OR mb_vklopi = 3) AND alarm_mb = FALSE) THEN

```

```

        crp2_vklop:=TRUE; (*vrednost besede 2 ali 3 pomeni vklop črpalke 2*)
ELSE
        crp2_vklop:=FALSE; (*v nasprotnem primeru se črpalka 2 ne vklopi*)
END_IF

```

Poleg omenjenega program opravlja test povezave. Test povezave se izvaja na naslednji način: PLK na lokaciji Otok na vsake 3 minute pošilja sporočila z testnim bitom, vrednost bita »1« sproži časovnik z zakasnitvijo 15 min, po proženju se testni bit postavi na »0« in čaka na novo sporočilo, izhod časovnika pa se postavi na »1«, alarm se ne vklopi. To se ob zanesljivi komunikaciji dogaja na vsake 3 min. PLK ob uspešnem sprejemu testnega bita pošlje testni bit nazaj do glavnega PLK-ja na lokaciji otok.

V primeru, ko je izhodna vrednost časovnika enaka »0«, se aktivira alarm, saj to pomeni, da testnega pulza ni bilo več kot 15 min in s tem izpad povezave za ta čas. Alarm prepreči vse akcije objekta npr. vklop črpalke.

```

(*test povezave*)
zakTof(IN:=mb_output.0=1 , PT:=t#15m );    (* testni bit mb_output.0 proži izhod
časovnika na »1« , če impulza ni več kot 15 minut se izhod postavi na »0«*)
IF mb_output.0=1 THEN
        mb_output.0:=0; (*testni bit se po proženju postavi na »0«*)
END_IF
IF zakTof.Q THEN  (*aktiviranje alarma v primeru izpada povezave*)
        alarm_mb:=FALSE; (*vrednost izhoda časovnika »1« ne aktivira alarma*)
ELSE
        alarm_mb:=TRUE; (vrednost časovnika »0« pomeni aktiviranje alarma*)
END_IF
IF zakTof.Q THEN      (*če prejme impulz, ga pošlje nazaj*)
        mb_test:=1; (*vrednost spremenljivke »1« pomeni uspešen test komunikacije*)
ELSE
        mb_test:=0; (*vrednost spremenljivke »0« pomeni neuspešen test
komunikacije*)
END_IF

```

9.3 Otok

Glavni PLK na lokaciji Otok preko Ethernet komunikacijskega vmesnika pošilja podatke in sprejema ukaze s CNS-om, preko serijskega komunikacijskega vmesnika, pa preko radijskega modema komunicira z tremi oddaljenimi lokacijami.

Prenos podatkov med oddaljenimi lokacijami se vrši po protokolu Modbus RTU. Protokol Modbus je tipa gospodar / suženj (angleško: master / slave), kar pomeni, da en gospodar izmenično kliče sužnje od njih zahteva podatke in jim daje ukaze, neposreden prenos podatkov med sužnji ni mogoč. PLK na lokaciji Otok ima naložene knjižnice Modbus Master in upravlja z vsemi podatki.

PLK gospodar na lokaciji Otok vsake 3 minute kliče PLK-je na oddaljenih objektih in od njih zahteva stanja, ter jim pošilja ukaze. Če se PLK na določenem objektu ne odzove 15 minut, sistem javi izpad komunikacije in onemogoči vse akcije tega objekta. Če na primer izpade komunikacija z vodnim stolpom Vičanci, se črpalke v Hajndlu samodejno ne vklopita, saj nimata podatka o višini vode v vodnem stolpu. Če je operater prepričan, da je nivo prenizek lahko ročno vklopi črpalke.

Program PLK-ja je sestavljen iz glavnega programa Main, ter podprogramov Modbus_Master, Hanjdl, Rakovci, Vicanci, Otok, Cikel Crpalke in funkcijskega bloka Obrat_ure.

9.3.1 Glavni program Main

Z uporabo knjižnice Modbus RTU.lib, ki ni v osnovnem paketu TwinCAT PLC, ampak je doplačljiva, lahko PLK tip BX9000 uporabimo kot Modbus gospodar. Program Main določi lastnost komunikacijskega vmesnika RS232 na PLK-ju. Te nastavitve morajo biti enake kot nastavitve na vseh radijskih modemih in PLK-jih v sistemu. Če ta pogoj ni izpolnjen prenos podatkov v sistemu ni mogoč.

Poleg komunikacijskih nastavitev glavni program Main kliče naslednje podprograme:

- podprogram Modbus Master, ki na vsake tri minute kliče oddaljene PLK-je od njih zahteva stanja ter jim pošilja ukaze. Vsak PLK ima svoj naslov tako, da ne pride do zamenjave sporočil med PLK-ji,

- podprogram Otok, ki vklaplja in izklaplja črpalko za črpanje vode iz črpališča Otok v Črpališče Hajndl,
- podprogram Rakovci, ki razbere spremenljivke iz prispelih radijskih sporočil (okvirjev) iz lokacije Rakovci (prisotnost napetosti na lokaciji Križ in Rakovci, vstop v objekt na lokaciji Križ in Rakovci, delovanje črpalk 1 in 2 v črpališču Križ, napaka črpalk in nivo vode v stolpu), opravlja test radijske povezave in seštevata obratovalne ure obeh črpalk v črpališču Križ in te zapisuje v vztrajnostni pomnilnik,
- podprogram Vičanci, ki iz prispelih sporočil razbere spremenljivke iz lokacije Vičanci (prisotnost napetosti, vstop v objekt, nivo vode v stolpu) in opravlja test komunikacije. V vztrajnostni pomnilnik zapiše spremenljivke, ki določajo nivoje vklopa in izklopa črpalk 1 in 2 in
- podprogram Hajndl, ki razbere spremenljivke iz sporočil poslanih iz lokacije Hajndl (prisotnost napetosti, vstop v objekt, delovanje črpalk, napaka črpalk, pretok in nivo vode v črpališču), opravi test radijske komunikacije, seštevata obratovalne ure črpalk, izmenično vklaplja črpalke 1 in 2 za črpanje vode v vodni stolp Vičanci in zapisuje nekatere spremenljivke v vztrajnostni pomnilnik.

(*Nastavitev parametrov COM 2 serijskega RS232 vmesnika na PLK-ju BX9000 *)

```
fbBX_COM_64.ComConfig.eCommPort      := COM2;
fbBX_COM_64.ComConfig.BaudRate        := 9600;
fbBX_COM_64.ComConfig.eDataBits       := EIGHT_DATABITS;
fbBX_COM_64.ComConfig.eStoppBits      := ONE_STOPPBIT;
fbBX_COM_64.ComConfig.eParity          := NONE;
fbBX_COM_64.ComConfig.dwMode           := 0; (*0-RS232 / 1-RS485*)
```

(* Uskladitev komunikacijskega vmesnika z naslovi v pomnilniku*)

```
fbBX_COM_64();
fbBX_COM_64.pstrEmo_IN := ADR(Modbus_Master.MB.InData );
fbBX_COM_64.pstrEmo_Out := ADR(Modbus_Master.MB.OutData );
```

(*klicanje podprogramov, enega za drugim*)

```
Modbus_Master; Vicanci; Rakovci; Hajndl; cikel_crp; Otok;
```

9.3.2 Podprogram Otok

Podprogram Otok uporablja izhod Q1 funkcijskega bloka RS za vklop in izklop črpalke.

Izhod funkcijskega bloka RS se postavi na logično 1, ko je nivo vode v črpališču Hajndl nižji od minimalnega dovoljenega nivoja, ter se postavi na logično 0, ko nivo vode v črpališču Hajndl doseže želen nivo ali v primeru napake na komunikaciji.

(*vklop in izklop črpalke za pretok vode iz črpališča Otok v črpališče Hajndl*)

RS_crp_otok(SET:=(hajndl_nivo<fl_hajndl_nivo_vklop_ret), (*pogoj za vklop črpalke*))

RESET1:=((hajndl_nivo>fl_hajndl_nivo_izklop_ret) OR (alarm_mb_hajndl)), (*pogoj za izklop črpalke*)

(Q1=>vklop_crp_otok); (*izhod funkcijskega bloka *)

9.3.3 Podprogram Modbus Master

Podprogram Modbus Master določa kako oddaljeni PLK-ji komunicirajo z glavnim PLK-jem. Prenos podatkov poteka po protokolu Modbus RTU, okvir protokola je predstavljen v tabeli 9.

Modbus RTU okvir		
ime	dolžina	funkcija
uvod	4 biti	začetno zaporedje
naslov	8 bitov	naslov sprejemnika
funkcija	8 bitov	določa funkcijo npr. beri/piši v register
podatki	n*8 bitov	podatki z informacijo o dolžini podatkov
CRC nadzor	16 bitov	preverjanje pravilnosti prenosa podatkov.
zaključek	4 biti	zaključno zaporedje

Tabela 9: Okvir protokola Modbus RTU

Protokol Modbus RTU oskrbuje okvirje za prenos sporočil med gospodarjem in sužnjem. Informacije v sporočilu gospodarja so: naslov sužnja, kaj mora naslovnik narediti (funkcija), koliko pomnilnika potrebuje naslovnik za zahtevano opravilo, ter preverjanje pravilnosti prenosa sporočila.

Suženj prebere prejeto sporočilo, če ni prišlo do napake pri prenosu opravi zahtevano delo in pošlje odgovor gospodarju. Informacije v odgovoru so: naslov sužnja, opravljeno delo, rezultat dela in nadzor prenosa sporočila. Normalno gospodar pošlje naslednje sporočilo po prejetem odgovoru. Odmor med sprejetim in oddanim sporočilom zagotavlja, da protokol deluje tudi, ko odgovor ni sprejet pravilno.

Opis konkretnega primera:

Stavek CASE s spremenljivko i določa kateri del programa se bo izvršil. Parameter i kroži od 0 do 6, ter s tem povzroči izvajanje posameznega dela programa. Ko doseže vrednost 6 sproži časovnik z zakasnitvijo 180 s, kar pomeni, da se ta čas komunikacija ne izvaja. Izhod časovnika Timer.Q po preteklem času postavi spremenljivko i na vrednost 0, kar povzroči ponovno izvajanje programa in s tem pošiljanje in sprejemanje sporočil.

Vsak posamezen del programa opravi branje ali pisanje (odvisno od izbrane funkcije) v pomnilnik na oddaljenem ali lokalnem PLK-ju. Spodaj je prikazan primer izmenjave sporočil za lokacijo Hajndl, dela programa za lokaciji Vičanci in Rakovci sta podobna, zato jih ne bomo obravnavali posebej.

Vrednost spremenljivke i = 4 pomeni pošiljanje sporočil med lokacijo Otok in Hajndl. Program najprej prebere naslov sužnja v Hajndlu kateri je naslovljen na 43, naslov je obvezen saj vsi oddaljeni PLK-ji prejmejo vsa sporočila, upoštevajo pa samo tista, ki so naslovljena njim. Funkcija MB.ReadRegs pomeni branje registrov na strani sužnja, številka 4 pomeni, da bodo prebrani štirje registri od naslova 16384 do 16387. Naslov v PLK-ju 16384 pomeni Modbus naslov 0, kar je posledica tovarniške porazdelitve pomnilnika. To so podatki, ki so potrebni za oddajo sporočila.

Za sprejem povratnega sporočila pa moramo na lokalnem PLK-ju (gospodar) rezervirati prostor, v našem primeru polje (Input_hajndl: ARRAY[0..15] OF INT) za prebrane podatke. Vmes se izvede še premor za 3 s (Timeout:=t#3s) za pravilno delovanje v primeru napake pri prenosu.

Po zaključku postopka poslanem in prejetem sporočilu se vrednost spremenljivke i poveča na 5, kar pomeni naslednji del programa pisanje v registra 16388 in 16389 na

lokaciji Hajndl. V tem delu program tudi pošlje testni pulz za preverjanje komunikacije.

Iz tabele 10 je razvidna povezava med naslovi v pomnilniku PLK-jev na lokaciji Hajndl in Otok. Na PLK-ju Hajndl v registru z naslovom 16384 oz. Modbus naslovom 0 se nahaja beseda katerega prvih sedem bitov predstavlja stanja sedmih digitalnih vhodov, v registru z naslovom 16385 (Modbus naslov 2) je beseda z vrednostjo analognega vhoda pretok, v registru z naslovom 16386 je notranja spremenljivka za test komunikacije, v registru z naslovom 16387 pa je vrednost analognega vhoda nivo. To so registri, ki ji preberemo na lokaciji Hajndl in se preko radijskih sporočil prenesejo v pomnilnik krmilnika na lokaciji Otok.

Obratno je z registroma na naslovu 16388 in 16389, saj krmilnik na lokaciji Otok določi vrednosti spremenljivk, te pa se preko radijskih sporočil prenesejo v pomnilnik krmilnika na lokaciji Hajndl. V register z naslovom 16388 se zapiše notranja spremenljivka za test komunikacije, v register z naslovom 16389 pa pogoj za vklop oz. izklop črpalk 1 in 2.

V skrajno desnem stolpcu je predstavljeno vhodno polje Input_Hajndl kamor se shranjujejo vrednosti spremenljivk iz prispelih sporočil, ter izhodno polje Output_Hajndl iz katerega se vrednosti prenesejo v poslana sporočila.

PLK suženj v Hajndlu					PLK gospodar
naslov registra v PLK-ju	ime in Modbus naslov	digitalni signali v besedi	imena spremenljivk	fizični naslovi	polja, kjer so vrednosti spremenljivk
16384	mb_input AT%MW0	mb_input.0	crp1_deluje	%IX2.0:BOOL	lput_Hajndl[0].0
		mb_input.1	crp1_napaka	%IX2.1:BOOL	lput_Hajndl[0].1
		mb_input.2	crp2_deluje	%IX2.2:BOOL	lput_Hajndl[0].2
		mb_input.3	crp2_napaka	%IX2.3:BOOL	lput_Hajndl[0].3
		mb_input.4	priset_nap	%IX2.4:BOOL	lput_Hajndl[0].4
		mb_input.5	vstop v objekt	%IX2.5:BOOL	lput_Hajndl[0].5
		mb_input.6	rezerva1	%IX2.6:BOOL	lput_Hajndl[0].6
		mb_input.7	rezerva2	%IX2.7:BOOL	lput_Hajndl[0].7
16385	mb_pretok AT%MW2		pretok	%IB0:WORD	lput_Hajndl[1]
16386	mb_test AT%MW4		testna spremenljivka		lput_Hajndl[2]
16387	mb_nivo AT%MW6		nivo	%IB4:WORD	lput_Hajndl[3]
16388	mb_output AT%MW8	mb_output	testna spremenljivka		Output_Hajndl[0]
16389	mb_output AT%MW10	mb_vklopi.0	crp1_vklop	%QX0.0:BOOL	Output_Hajndl[1].0
		mb_vklopi.1	crp2_vklop	%QX0.1:BOOL	Output_Hajndl[1].1

Tabela 10: Povezava spremenljivk in naslovov med gospodarjem in sužnjem

(*zgoraj opisani del programa Modbus Master *)

CASE i OF

4: MB.ReadRegs((*funkcija preberi registre*)

UnitID:=43 , (* naslov oddaljene lokacije Hajndl *)

Quantity:=4 , (*prebere prve 4 besede na PLK - ju Hajndl *)

MBAAddr:=16384 , (*naslov v pomnilniku 16384 pomeni Modbus naslov 0 *)

cbLength:=SIZEOF(Input_hajndl), (* rezervira prostor v lokalnem pomnilniku*)

pMemoryAddr:=ADR(Input_hajndl), (*podatke prenese v vhodno polje Input_Hajndl*)

ARRAY[0..15] OF INT (*na lokalnem PLK-ju *)

Execute:=TRUE , (*izvede operacijo*)

Timeout:=t#3s); (*izvede premor*)

IF NOT MB.BUSY THEN

MB.ReadRegs(Execute:=FALSE);

i:=i+1; (*program gre na naslednjo fazo*)

END_IF

```

5: MB.writeRegs(      (*funkcija zapiši v registre*)
UnitID:=43 ,          (* naslov oddaljene lokacije Hajndl *)
Quantity:=2 ,         (* zapiše 2 besedi v PLK v Hajndlu*)
MBAAddr:=16388,       (* naslov kamor naj zapiše 2 besedi *)
cbLength:=SIZEOF(Output_hajndl), (* rezervira prostor v lokalnem pomnilniku*)
pMemoryAddr:=ADR(Output_hajndl) , (*podatke prenese iz izhodnega polja
Output_Hajndl: ARRAY[0..15] OF INT *)
Execute:=TRUE ,       (*izvede operacijo*)
Timeout:=t#3s );      (*izvede premor*)
IF NOT MB.BUSY THEN
MB.ReadRegs(Execute:=FALSE);
Output_hajndl[0]:=1;   (* pošlje testni bit za komunikacijo*)
i:=i+1;                (*ko je pisanje v polje zaključeno gre CASE stavek naprej*)
END_IF...
6:   IF Timer.Q THEN   (*ko se izhod časovnika po 180 s postavi na 1, se i postavi
na 0*)
      i:=0;
      END_IF
END_CASE
Timer(IN:=(i=6) ,PT:=t#180s); (*vrednost i=6 sproži časovnik TON z konst. 180 s*)

```

9.3.4 Merjenje obratovalnih ur črpalk

Podatek o obratovalnih urah črpalke nam pripomore k boljšemu poznavanju delovanja sistema in nam daje informacijo o potrebi po vzdrževanju le teh. Za merjenje obratovalnih ur črpalk smo napisali funkcijski blok Obrat_ure, program za vsako črpalko posebej kliče ta funkcijski blok. Tako dobimo informacijo o obratovalnih urah za vse črpalke v sistemu.

V nadaljevanju je opisan način delovanja funkcijskega bloka in klicanje bloka za merjenje obratovalnih ur črpalke 1 na lokaciji Hajndl.

Funkcijski blok Obrat_ure:

Za vsak funkcijski blok v programu je potrebno določiti vhodne in izhodne spremenljivke. V našem primeru sta vhodni spremenljivki delovanje črpalke in stanje alarma (napaka komunikacije), izhodna spremenljivka je desetkratnik obratovalnih ur.

Funkcijski blok obrat ure je sestavljen iz časovnika z zakasnitvijo TON z imenom t1 in števecu CTU z imenom stevec_ure_1. Ko se vklopi črpalka in je s tem izpolnjen pogoj na vhodu v časovnik $IN:=(crp_deluje=TRUE \text{ AND } alarm_mb=FALSE \text{ AND } start=FALSE)$ se aktivira časovnik t1, po času šestih minut ($PT:=t\#6m$) se izhod časovnika postavi na logično 1. Izhod časovnika je vezan na vhod števca ($stevec_ure_1(CU:=t1.Q)$), kar povzroči povečanje števca za vrednost 1. Poleg tega pa logična 1 na izhodu časovnika povzroči, da pogoj na vhodu v časovnik ni več izpolnjen ($start:=t1.Q$), zaradi česar izhod časovnika preklopi na 0, kar pomeni ponovno izpolnitev vhodnega pogoja časovnika in ponovitev postopka. Števec CTU tako ob delovanju črpalke in uspešni komunikaciji na vsake šest minut prišteva po en impulz. Izhod funkcijskega bloka predstavlja število preštetih impulzov, vrednost deset pomeni eno obratovalno uro.

(*vhodni pogoj za vklop časovnika t1 z časovno konstanto 6 min*)

$t1(IN:=(crp_deluje=TRUE \text{ AND } alarm_mb=FALSE \text{ AND } start=FALSE), PT:=t\#6m);$

$stevec_ure_1(CU:=t1.Q);$ (*števec šteje impulze izhoda časovnika t1*)

$obrat_ure:=stevec_ure_1.CV;$ (*vsota seštetih impulzov predstavlja izhod funkcijskega bloka*)

$start:=t1.Q;$ (*povzroči, da se izhod časovnika t1 takoj po »1«postavi nazaj na »0«*)

Obratovalne ure črpalke 1 na lokaciji Hajndl:

Obratovalne ure črpalke dobimo z klicanjem funkcijskega bloka Obrat_ure, ob pravilni izbiri vhodnih in izhodnih spremenljivk smo opravili že večino dela, saj funkcijski blok naredi ostalo.

Za klicanje funkcijskega bloka moramo najprej funkcijski blok deklarirati v prostoru za deklaracijo spremenljivk. V primeru, da funkcijski blok uporabimo večkrat, ga moramo

vsakič poimenovati različno. Za črpalko 1 smo funkcijski blok deklarirali na naslednji način: blok_obr_ure1:obrat_ure. Nato v programskem delu kličemo funkcijski blok.

Vhodni spremenljivki sta delovanje črpalke 1 na lokaciji Hajndl in alarm, ki se sproži ob neuspešni komunikaciji med Otokom in Hajndlom. Izhod funkcijskega bloka blok_obr_ure1.obrat_ure smo delili z deset, tako izhodna spremenljivka obratovalne_ure_c1_hajndl vsebuje obratovalni čas črpalke 1 izražen v urah, saj en impulz pomeni šest minut, deset pa eno uro.

(*klicanje funkcijskega bloka*)

```
blok_obr_ure1(crp_deluje:=hajndl_c1_deluje, alarm_mb:=alarm_mb_hajndl);
```

(*izhod delimo z 10 in tako dobimo obratovalne ure*)

```
obratovalne_ure_c1_hajndl:= blok_obr_ure1.obrat_ure/10;
```

9.3.5 Podprogram Hajndl

Podprogram Hajndl iz vhodnega polja Input_Hajndl razbere vse digitalne in analogne vhode iz lokacije Hajndl, jih zapiše v vmesni pomnilnik, kjer do njih dostopa nadzorni sistem, izmenično vklaplja črpalke, opravlja test komunikacije na relaciji Otok Hajndl in zapisuje spremenljivke v vztrajnostni pomnilnik.

9.3.5.1 Zapis spremenljivk v pomnilnik

Iz vhodnega polja Input_Hajndl podprogram razbere spremenljivke predstavljene v tabeli 11, ki opisujejo stanje sistema na lokaciji Hajndl. Za vsako spremenljivko je napisan naslov v pomnilniku kamor smo zapisali spremenljivke.

Pri zadnjih dveh spremenljivkah v tabeli 11 je postopek nekoliko drugačen, saj je iz predhodnega poglavja razvidno, da se iz podatkov o delovanju obratovalne ure črpalk seštevajo v PLK-ju na lokaciji Otok. Seštevek ur pa se zapisuje v spremenljivki obratovalne_ure_c1_hajndl in obratovalne_ure_c2_hajndl .

Do tako zapisanih spremenljivk nato dostopa nadzorni sistem, ki preko grafičnega ali numeričnega prikaza omogoča operaterju vpogled v stanje sistema. Nadzorni sistem bo podrobno opisan v nadaljevanju.

ime spremenljivke	naslov spremenljivke
hajndl_prisotnost_nap	AT %MX30.0: BOOL;
hajndl_vstop	AT %MX30.1: BOOL;
hajndl_c1_deluje	AT %MX30.2: BOOL;
hajndl_c1_napaka	AT %MX30.3: BOOL;
hajndl_c2_deluje	AT %MX30.4: BOOL;
hajndl_c2_napaka	AT %MX30.5: BOOL;
alarm_mb_hajndl	AT %MX30.6: BOOL;
hajndl_c1_vklop	AT %MX32.0: BOOL;
hajndl_c2_vklop	AT %MX32.1: BOOL;
hajndl_pretok	AT %MW34: INT;
hajndl_nivo	AT %MW36:INT;
obratovalne_ure_c1_hajndl	AT %MW46:INT;
obratovalne_ure_c2_hajndl	AT %MW48:INT;

Tabela 11: Spremenljivke za opis stanja sistema v črpališču Hajndl

Spodaj je prikazan primer digitalnega vhoda, ki nam daje informacijo o delovanju črpalke 1. Informacijo dobimo v prvem bitu prve besede v polju Input_Hajndl, kar označimo na naslednji način: Input_Hajndl[0].0. Prva ničla pomeni prvi INT v polju, saj je to polje spremenljivk tipa INTIGER, druga ničla pa nam predstavlja prvi bit tega INT.

IF stavek preberemo na naslednji način: če je Input_Hajndl[0].0 enak logični 1, potem se izvede stavek hajndl_c1_deluje:=TRUE, kar pomeni, da je vrednost spremenljivke hajndl_c1_deluje enaka logični 1, v nasprotnem primeru je vrednost spremenljivke enaka logični 0.

Spremenljivka hajndl_c1_deluje se nahaja v vmesnem pomnilniku na naslovu %MX30.2, ki je povezan z nadzornim sistemom. Če povzamemo to pomeni, če je na naslovu pomnilnika %MX30.2 zapisana logična 1 črpalka 1 deluje, logična 0 pa pomeni, da črpalka ne deluje.

(*zapis spremenljivke iz polja Input_Hajndl v vmesni pomnilnik PLK-ja na lokaciji Otok*)

```
IF Input_Hajndl[0].0 THEN
    hajndl_c1_deluje:=TRUE;
ELSE
    hajndl_c1_deluje:=FALSE;
END_IF
```

Pri zapisu analognega signala hajndl_pretok iz polja Input_hajndl[1] vrednost delimo z 328. To naredimo iz razloga, da nam kasneje na nadzornem sistemu ni treba pretvarjati vrednosti pretoka.

Na analogni vhod PLK-ja na lokaciji Hajndl dobimo vrednost signala glede na pretok od 4 mA do 20 mA. Analogni vhodni modul pretvori signal v ustrezno celoštevilsko vrednost, pretvorba signala je predstavljena v tabeli 12.

izmerjena vrednost	vrednost pretvorbe
4 mA	0
12 mA	16383
20 mA	32767

Tabela 12: Pretvorba analognega signala modula KL3054

Vrednost analognega signala merilca pretoka pri pretoku 0 l/min je 4 mA, kar pomeni v PLK-ju vrednost 0, pri največjem pretoku 1000 l/min pa je 20 mA, kar pomeni v PLK-ju vrednost 32767. Če delimo vrednost analognega vhodnega modula pri največjem pretoku z 328 dobimo približno vrednost 100, to vrednost pomnožimo z 10 in tako dobimo pretok izražen v l/min. Zveza med pretokom in vhodnim signalom je linearna.

(*zapis analognega signala Hajndl_pretok*)

```
hajndl_pretok:=10*Input_hajndl[1]/328;
```

Pri merjenju nivoja je podobno, nivo merimo od 0 cm do 500 cm. Pri 500 cm je vrednost analogne vhodne spremenljivke 32767 (20 mA), če to vrednost delimo z 82

dobimo vrednost 500, kar je nivo izražen v cm. Zveza med nivojem in vhodnim signalom je linearna.

(*zapis analognega signala hajndl_nivo*)

hajndl_nivo:=Input_hajndl[3]/82;

V tabeli 12 so prikazane spremenljivke lokacije Hajndl, katerih vrednosti določi operater v nadzornem sistemu preko pogovornega okna.

Spremenljivka fl_hajndl_nivo_min določa pri kateri najmanjši višini nivoja vode v črpališču Hajndl se črpalki za črpanje vode iz črpališča v vodni stolp Vičanci ne bosta več vklopili, fl_hajndl_nivo_vklop in fl_hajndl_nivo_izklop pa določata nivo vklopa in izklopa črpalke za črpanje vode iz črpališča Otok v črpališče Hajndl.

ime spremenljivke	naslov spremenljivke
fl_hajndl_nivo_min	AT %MW38:INT;
fl_hajndl_nivo_vklop	AT %MW40:INT;
fl_hajndl_nivo_izklop	AT %MW42:INT;

Tabela 13: Spremenljivke za določitev nivoja vklopa in izklopa črpalke na Otoku

Na podlagi vhodnega polja Input_Hajndl, PLK dobi informacije o stanju objekta. Iz nadzornega sistema dobi želene vrednosti (nivo vklopa, nivo izklopa) spremenljivk. Na podlagi zelenega in dejanskega stanja nato PLK preko algoritma določi izhodno spremenljivko vklop_crp_otok, ki je predstavljena v tabeli 14. Vrednost slednje se določi v podprogramu Otok, ki je opisan v poglavju 9.3.2 Podprogram Otok.

ime spremenljivke	naslov spremenljivke
vklop_crp_otok	AT %MX50.0: BOOL;

Tabela 14: Spremenljivka za vklop in izklop črpalke na Otoku

9.3.5.2 *Vklop črpalk na lokaciji Hajndl*

V Črpališču Hajndl je možno nastavljanje nivojev vklopa in izklopa, ter ročen vklop črpalk. Na nadzornem sistemu nastavljamo nivoja vklopa dveh črpalk za črpanje vode v vodni stolp Vičanci, PLK spremlja nivo vode in glede na nastavljene nivoje potem vklaplja in izklaplja črpalke.

Poleg nivoja v vodnem stolpu krmilnik spremlja nivo vode v črpališču. Če nivo v črpališču Hajndl pade pod dovoljeno vrednost, PLK v nobenem primeru ne vklopi črpalk za črpanje vode v vodni stolp Vičanci, saj bi to povzročilo suhi tek črpalk in s tem uničenje le-teh. V primeru aktivnega alarma črpalki v prav tako ne delujeta.

Sistem je zasnovan tako, da pri normalni porabi vode deluje samo ena črpalka. Druga črpalka se vklopi samo v primeru, ko prva črpalka deluje in se nivo vode kljub temu niža in sicer, ko slednji doseže določeno višino. Pri normalni porabi vode se črpalki vklapljata izmenično zaradi enakomerne obrabe. Poleg tega tudi ni dobro, če črpalka miruje dalj časa.

9.3.5.3 Izmenični vklop črpalk glede na cikel

Kot smo že omenili se črpalki vklapljata izmenično glede na cikel. Cikel je program napisan v programskem jeziku funkcijski bločni diagram, ki glede na delovanje črpalk izmenično spreminja stanje cikla 1 in cikla 2. To lastnost potem uporabljamo pri izmeničnem vklapljanju črpalk. Na sliki 31 je prikazan funkcijski bločni diagram cikel_crp.

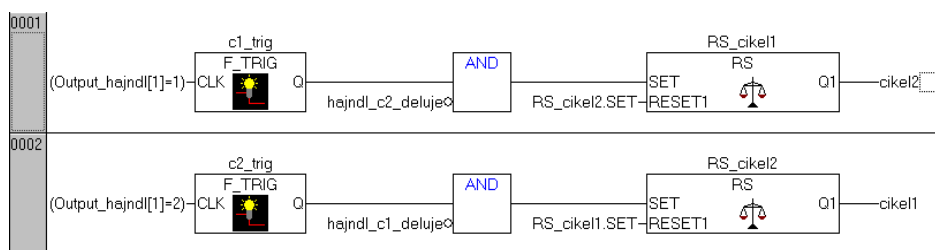
Za razumevanje delovanja moramo istočasno opazovati dogajanje v podprogramih Hajndl in cikel_crp. Na začetku delovanja se najprej izvede drugi pogojni izraz IF stavka v podprogramu Hajndl, saj cikla še nista postavljena. Ob izpolnitvi vhodnega pogoja (nivo vode v vodnem stolpu je manjši od minimalnega nivoja) funkcijskega bloka RS z imenom RS_crpalka1: SET vicanci_nivo<fl_vicanci_nivo2_ret, se izhod funkcijskega bloka postavi na logično 1 ($Q1 \Rightarrow$ vklop2), to povzroči vrednost registra Output_hajndl[1] 2 in s tem vklop črpalke 2.

Ko se izpolni pogoj (nivo vode v stolpu je večji od zelenega nivoja ali, nivo v črpališču pade pod dovoljeno mejo): RESET1(vicanci_nivo>fl_vicanci_nivo3_ret) OR (hajndl_nivo<fl_hajndl_nivo_min_ret), se izhod funkcijskega bloka postavi na logično 0, kar povzroči vrednost registra Output_Hajndl[1] 0 in s tem izklop črpalke 2.

Če sedaj pogledamo dogajanje v podprogramu cikel_crp, ko pogoj Output_Hajndl[1]=2 ni več izpolnjen (izklop črpalke 2), funkcijski blok F_TRIG z

imenom C2_trig pošlje pulz na vhod funkcijskega bloka RS_cikel2, zaradi tega se izhod funkcijskega bloka cikel 1 postavi na logično 1. To pomeni, da se bo ob naslednjem izpolnjenem pogoju za vklop črpalke (nivo vode je manjši od nastavljenega minimalnega nivoja) izvedel prvi del IF stavka in vklopila se bo črpalka 1, po izklopu črpalke 1 (nivo vode je dosegel želen nivo), se cikel 1 postavi na logično 0, cikel 2 pa na logično 1.

V primeru delovanja obeh črpalk, do menjav cikla ne pride, saj ni izpolnjen pogoj IN vrat v podprogramu cikel_crp. Obe možnosti cikla v pogojnem IF stavku vsebujeta vklope obeh črpalk na ustreznih nivojih.



Slika 31: Funkcijski bločni diagram cikel_crp

(*vklop črpalk glede na cikel*)

IF cikel1 THEN

RS_crpalka1(SET:=(vicanci_nivo<fl_vicanci_nivo2_ret),RESET1:=((vicanci_nivo>fl_vicanci_nivo4_ret) OR (hajndl_nivo<fl_hajndl_nivo_min_ret)), Q1=>vklop1);

RS_crpalka2(SET:=(vicanci_nivo<fl_vicanci_nivo1_ret),RESET1:=((vicanci_nivo>fl_vicanci_nivo3_ret) OR (hajndl_nivo<fl_hajndl_nivo_min_ret)), Q1=>vklop2);

ELSE

RS_crpalka1(SET:=(vicanci_nivo<fl_vicanci_nivo2_ret),RESET1:=((vicanci_nivo>fl_vicanci_nivo4_ret) OR (hajndl_nivo<fl_hajndl_nivo_min_ret)), Q1=>vklop2);

RS_crpalka2(SET:=(vicanci_nivo<fl_vicanci_nivo1_ret),RESET1:=((vicanci_nivo>fl_vicanci_nivo3_ret) OR (hajndl_nivo<fl_hajndl_nivo_min_ret)), Q1=>vklop1);

END_IF

```

(*vklop črpalke 1 ob določenem nivoju ali ročen vklop*)
IF (vklop1 OR hajndl_c1_vklop) THEN
Output_hajndl[1].0:=TRUE; (*vrednost registra je enak 1*)
ELSE
Output_hajndl[1].0:=FALSE; (*vrednost registra je enak 0*)
END_IF

```

```

(*vklop črpalke 2 ob določenem nivoju ali ročen vklop*)
IF (vklop2 OR hajndl_c2_vklop) THEN
Output_hajndl[1].1:=TRUE; (*vrednost registra je enak 2*)
ELSE
Output_hajndl[1].1:=FALSE; (*vrednost registra je enak 0*)
END_IF

```

9.3.5.4 Zapis spremenljivk v vztrajnostni pomnilnik

Pri nekaterih spremenljivkah je izguba vrednosti spremenljivk ob izpadu napetosti nedopustljiva za normalno delovanje sistema po ponovni vzpostavitvi napajanja. Iz tega razloga te spremenljivke zapišemo v posebni del pomnilnika, ki mu pravimo vztrajnostni pomnilnik in je tipa EEPROM. Spremenljivke zapisane v ta del pomnilnika v primeru izpada napajanja PLK-ja ohranijo vrednost. Spremenljivkam zapisanim v vztrajnostni pomnilnik z tujko rečemo retain spremenljivke.

V podprogramu Hajndl smo v ta del zapisali spremenljivke, ki vsebujejo podatke obratovalnih ur črpalk 1 in 2, minimalni nivo v črpališču, nivo vklopa in nivo izklopa črpalke v črpališču Otok.

Spodaj je opisan primer zapisa spremenljivke obratovalne_ure_c1_hajndl v vztrajnostni pomnilnik. V vsakem ciklu se v vztrajnostno spremenljivko Obrat_ure_c1 zapiše vrednost spremenljivke obratovalne_ure_c1_hajndl.

V primeru izpada napetosti je posledično vrednost spremenljivke obratovalne_ure_c1_hajndl enaka nič, se vrednost vztrajnostne spremenljivke

Obrat_ure_c1 zapiše v spremenljivko obratovalne_ure_c1_hajndl. Tako nikoli ne pride do izgube vrednosti spremenljivke ob izpadu napetosti.

(*zapis spremenljivke v vztrajnostni pomnilnik*)

IF obratovalne_ure_c1_hajndl=0 THEN;

(*ob izpadu napajanja se spremenljivka prepise iz vztrajnostnega pomnilnika*)

obratovalne_ure_c1_hajndl:=Obrat_ure_c1

ELSE

(*v vsakem ciklu se spremenljivka obratovalne_ure_c1_hajndl zapiše v vztrajnostno*)

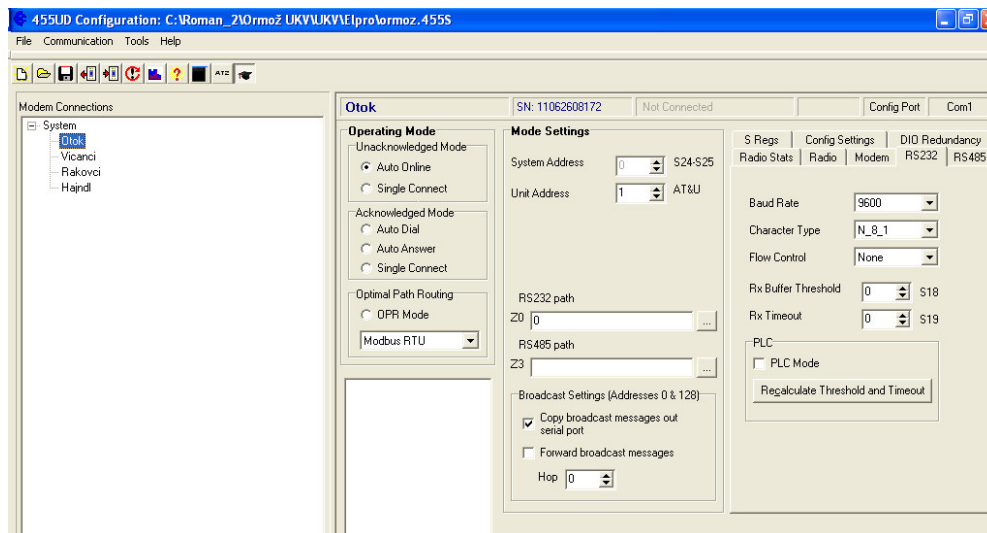
(*spremenljivko Obrat_ure_c1*)

Obrat_ure_c1:=obratovalne_ure_c1_hajndl;

END_IF

10. Nastavitev radijskih modemov ELPRO 455U-D

Za nastavitev radijskih modemov Elpro smo uporabili računalniški program 455UD Configuration. S tem programom smo določili sistemski naslov omrežja, naslove posameznih modemov, lastnosti serijske komunikacije, ter nekatere druge lastnosti komunikacije. Na sliki 32 je prikazano programsko okno za nastavitev radijskih modemov.



Slika 32: Konfiguracija radijskih postaj Elpro 455U-D

Na vsaki izmed lokacij smo postavili po eno radijsko postajo. Vse štiri radijske postaje so pripadniki istega lokalnega omrežja saj smo jim določili isti sistemski naslov 0, medtem ko ima vsaka postaja svoj naslov po katerem jo prepoznamo. Postaja na Otoku ima naslov 1, v Vičancih 2, v Rakovcih 3 in v Hajndlu 4.

Vsaki postaji smo nastavili lastnosti serijskega komunikacijskega vmesnika za prenos podatkov s PLK-jem in sicer 9600 N_8_1, kar pomeni hitrost prenosa 9600 b/s, brez paritete, dolžina podatka 8 bitov in 1 stop bit.

Določili smo tudi lastnosti radijske komunikacije, na sliki 33 je prikazano programsko okno za nastavitev.

		Config Port	Com1
S Regs	Config Settings	DIO Redundancy	
Radio Stats	Radio	Modem	RS232 RS485
Baud Rate 4800			
Bandwidth Wide (25 KHz)			
TX Frequency 448,00000 MHz Range (430-450) MHz			
RX Frequency 448,00000 MHz Range (430-450) MHz			
Frequency Increment 6250 Hz			
Power Level 5 W			
Duty Cycle Limit 100 %		AT#D	
Duty Cycle Time 60 minutes		AT#T	
System Channel Duty Cycle ---		S36	
Configure Radio		Reload Radio Configuration	
Calibrate Radio			

Slika 33: Nastavitev radijske komunikacije

Za uspešno komunikacijo morajo imeti vse postaje v omrežju isto nastavitev radijske komunikacije, zaradi majhnega prometa podatkov med lokacijami smo izbrali hitrost prenosa 4800 baudov. Frekvenco 448 MHz in širino kanala 25 kHz smo določili ob naročilu modemov pri proizvajalcu.

11. Centralni nadzorni sistem (CNS)

11.1 Programsko orodje za centralne nadzorne sisteme SCADA

Programsko orodje SCADA (angl. Supervisory Control And Data Acquisition) pokriva večino enostavnejših funkcij nadzora kot so npr. zbiranje podatkov, spremljanje, prikaz delovanja procesa, alarmiranje, arhiviranje podatkov in generiranje sporočil. Programski paket SCADA je ponavadi nameščen na osebnem računalniku, ki si preko komunikacijskega vmesnika izmenjuje podatke s PLK-jem.

Proces vodimo in nadziramo v realnem času preko grafičnega modela procesa. Stroje in naprave, ki sodelujejo v proizvodnem procesu, narišemo v grafičnem urejevalniku in tako dobimo objekte katerim priredimo dinamične lastnosti. Dinamične lastnosti se imenujejo zato, ker se njihove lastnosti spreminjajo glede na vrednosti v pomnilniku PLK-ja, te pa se spreminjajo glede na trenutno stanje v sistemu.

Lastnosti orodij SCADA gledamo z dveh vidikov:

- z vidika razvijalca aplikacije, ki zahteva učinkovito in uporabniku prijazno razvojno okolje,
- z vidika uporabnika oziroma operaterja, ki zahteva funkcionalnost aplikacije in enostavno interakcijo z aplikacijo nadzornega sistema [12].

Pomembni lastnosti sistemov SCADA sta zanesljivost in multiprocesiranje, saj moramo pogosto voditi več naprav ali objektov z enim sistemom. Pri izdelavi sistema poskušamo realizirati regulacijo na nivoju PLK-ja, SCADI pa prepustimo prikaz ter globalne odločitve.

Ponudba programskih orodij tipa SCADA je na svetovnem trgu zelo široka in raznovrstna. Pri tem razlikujemo med proizvajalci, ki programski paket SCADA ponujajo kot dodatno orodje k njihovim osnovnimi produkti npr. Siemens, eden večjih proizvajalcev opreme za avtomatizacijo, je razvil programski paket WinCC, ki je namenski program za izdelavo SCADA aplikacij za PLK-je Siemens.

Z razliko od Siemens se podjetje Progea ukvarja samo z razvijanjem programskega paketa SCADA z imenom Movicon. Movicon podpira vse pomembne komunikacijske

protokole v procesnem vodenju in je tako združljiv s široko paleto krmilnikov različnih proizvajalcev.

Mi smo izbrali programski paket Movicon 9, uporabili smo komunikacijski protokol Modbus TCP, ki ga podpira PLK Beckhoff BX9000 na lokaciji Otok.

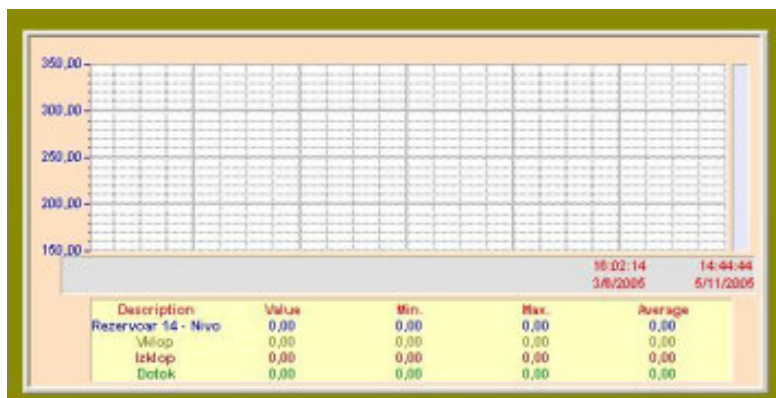
11.2 Nadgradnja obstoječega sistema SCADA Movicon 9

Za postavitev nadzornega sistema smo nadgradili že obstoječi nadzorni sistem za bogatenje podtalnice na lokaciji Otok. Najprej smo nadgradili tabelo spremenljivk tako, da smo dodali vse spremenljivke za komunikacijo z nadzornim sistemom, ki smo jih določili med programiranjem PLK-ja na lokaciji Otok.

V seznam alarmov smo dodali in definirali alarme, ti se nato preko alarmnega okna izpisujejo in tako opozarjajo na napake v sistemu.

V grafično orodje trend, smo dodali pretok in nivoje vode v vodnih stolpih in črpališčih, ter tako omogočili operaterju vpogled v zgodovino delovanja sistema.

Prikaz zgodovine deluje tako, da se podatki z vnaprej določenim vzorčenjem shranjujejo v za to namenjeno datoteko, kjer do njih dostopa SCADA in jih preko orodja trend v grafični obliki prikazuje na zaslonu. Na sliki 34 je prikazano grafično orodje za prikazovanje zgodovine.



Slika 34: Grafično orodje za prikaz zgodovine

Na novo smo naredili procesno sliko imenovano Vodni stolpi. Na tej sliki je realizirana vsa signalizacija in upravljanje z objekti, ki so predmet tega projekta. Procesna slika se prikaže s klikom na gumb »Vodni stolpi« v glavnem meniju na desni strani ekrana. Slika 35 Vodni stolpi je razdeljena na štiri objekte, prikazano je delovanje obeh vodnih stolpov Vičanci in Rakovci, ter črpalšč Križ in Hajndl. Poleg objektov pa je tudi črno obarvana alarmna lista.

S klikom na gumba »Nastavitve« se nam odpreta še dodatna dialoga za nastavljanje nivojev in ročen vklop črpalk.



Slika 35: Procesna slika Vodni stolpi na nadzornem sistemu

Za vsak objekt smo realizirali prikazovanje glavnih parametrov objekta. Upravljanje je omogočeno za objekta Hajndl in Otok. Na objektih Vičanci in Rakovci je prikazan samo zajem signalov o delovanju.

Vsi oddaljeni objekti imajo prikazan status komunikacije v obliki kroga z puščico, ki je v primeru normalnega obratovanja zelene barve, pri izpadu komunikacije za več kot 15 minut pa se obarva rdeče, ter se hkrati izpiše alarm.

11.2.1 Vodna stolpa Vičanci in Rakovci

Vodna stolpa Vičanci in Rakovci imata realiziran numerični in grafični prikaz nivoja vode, prisotnost napetosti in vstop v objekt (odprta vrata).

11.2.2 Črpališče Križ

Za črpališče Križ je prikazan status obeh črpalk (deluje, napaka), obratovalne ure črpalk, vstop v objekt in prisotnost napetosti

11.2.3 Črpališče Hajndl

Črpališče Hajndl ima realiziran prikaz nivoja vode v črpališču, pretoka vode iz črpališča Hajndl v vodovodni stolp Vičanci, prisotnosti napetosti v črpališču, obratovalnih ur in status črpalk.

Z klikom na gumb »Nastavitve« se nam odpre pogovorno okno, kjer je možno nastavljanje nivojev vklopa in izklopa, ter ročen vklop črpalk za črpanje vode v vodni stolp Vičanci. Slika 36 prikazuje pogovorno okno za upravljanje z črpališčem Hajndl. Z klikom na gumb »vklop č1«, »vklop č2« in »izklop črpalk« operater ročno vklopi in izklopi črpalke. Pogovorno okno nam tudi omogoča vpis zelenih vrednosti vklopa in izklopa črpalk.

Nivo vklopa 1 pomeni nivo vklopa prve črpalke, nivo izklopa 1 pomeni nivo izklopa prve črpalke, nivo vklopa 2 pomeni nivo vklopa druge črpalke ob delovanju prve, nivo izklopa 2 pomeni nivo izklopa druge črpalke ob delovanju prve, nastavev minimalnega nivoja Hajndl pomeni, da ko nivo v črpališču Hajndl pade pod nastavljeno vrednost, PLK v nobenem primeru ne vklopi črpalk za črpanje vode v vodni stolp Vičanci.

Ob potrditvi se vse vpisane vrednosti zapišejo v pomnilnik PLK-ja.



Slika 36: Pogovorno okno za upravljanje s črpališčem Hajndl

11.2.4 Črpališče Otok

S pritiskom na gumb »Nastavitve« se nam odpre pogovorno okno, kamor vpišemo želeno vrednost nivoja vklopa in izklopa črpalke za črpanje vode v črpališče Hajndl. S potrditvijo se preneseta vrednosti v PLK, ki upošteva želene vrednosti. Pogovorno okno z tipkama »vklop črpalke« in »izklop črpalke« omogoča ročen vklop črpalke. Pogovorno okno je prikazano na sliki 37.



Slika 37: Pogovorno okno za upravljanje s črpališčem Otok

12. Preizkus komunikacijskih poti

Po namestitvi anten smo opravili preizkus vseh komunikacijskih poti, prikaz komunikacijskih poti je predstavljena v prvem poglavju na sliki 1. Radijski modemi Elpro 455U-D imajo vgrajeno programsko orodje za test verjetnosti napake bita BER.

BER (angleško: Bit error rate) je verjetnost napake pri prenosu posameznega bita. BER izražamo v kombinaciji z močjo signala. Primer – 108 dBm @ 1×10^{-6} pomeni, da je sprejemnik zmožen sprejeti signal moči – 108 dBm z samo eno napako bita na milijon bitov, pri tem mora biti šum očitno šibkejši od – 108 dBm.

BER test smo opravili s pomočjo programskega orodja 455UD, ki se uporablja za konfiguracijo radijskih modemov. Z osebnim računalnikom na katerem je bil nameščen program 455UD smo se preko serijskega vmesnika povezali z radijskim modemom. Po uspešni povezavi smo preko programa pošiljali naključne okvirje posamezni oddaljeni enoti, oddaljena enota pa je zatem preverila pravilnost okvirja in poslala odzivno sporočilo z informacijo o številu napak storjenih med prenosom. Vsak test je trajal približno eno sekundo, kar je pomenilo osvežitev rezultatov na sekundo.

Rezultat je vseboval naslednje podatke:

- zaporedno številko prejetega okvirja,
- število BER v zadnjem prejetem okvirju,
- informacijo, če poslan okvir sploh ni prispel do sprejemnika,
- moč sprejetega signala,
- skupno število napak med testom,
- skupno število zgrešenih okvirjev in
- skupno število poslanih bitov.

Med BER testom smo določili optimalno usmerjenost anten tako, da smo posamezno anteno obračali in opazovali spremembo moči sprejetega signala. Največja moč sprejemnega signala je kazala na optimalno orientacijo antene.

Po nastavitvi smeri anten smo dosegli zelo dobre rezultate meritev, saj tudi na najdaljši relaciji Otok - Rakovci v času 10 min ni prišlo do napake bita. Dobljeni rezultati so bili zadosten dokaz o ustreznosti komunikacijske povezave tudi v slabših pogojih kot so dež in megla.

Rezultati so bili pričakovani, saj proizvajalec radijskih modemov ob idealnih pogojih jamči komunikacijske razdalje do 35 km, najdaljša razdalja med Otokom in Rakovci pa je 15 km.

13. Zagon in preizkus delovanja sistema

Opisan sistem je izdelan iz velikega števila manjših enot, katere smo ločeno testirali že v fazi izdelave. Med pisanjem programa smo posamezne funkcije delovanja preizkusili s pomočjo testnih vezij. Digitalne vhode smo postavljali s pomočjo stikal, spremembo vrednosti na analognih vhidih pa smo dosegli z napravami, ki služijo za pretvorbo ohmske vrednosti v analogni signal od 4 mA do 20 mA.

Na koncu smo sistem povezali v celoto in tako preverili uspešno prenašanje podatkov med posameznimi enotami in prikazovanje teh podatkov na SCADI. Po končanem preizkusu smo opremo namestili po posameznih objektih. Namestitvi opreme na objektih je sledil preizkusni zagon.

V realnem okolju smo preizkusili:

- komunikacijo med radijskimi modemi,
- prenos podatkov,
- merjenje nivojev,
- merjenje pretoka,
- vklapljanje in izklapljanje črpalk,
- izmenično vklapljanje črpalk,
- zaznavanje izpada komunikacije,
- zaznavanje izpada električne energije,
- zaznavanje vstopa v objekte,
- zaznavanje napak črpalk in
- ročni vklop črpalk.

Uspešno opravljenem preizkusnem zagonu je sledilo tridnevno preizkusno delovanje. V tem času smo delovanje spremljali na nadzornem sistemu SCADA, preko grafičnega orodja »trend« smo preučevali zgodovino delovanja sistema. Iz grafa je bilo razvidno, da so nivoji vode na vseh lokacijah znotraj nastavljenih vrednosti, kar je bil dokaz o pravilnem delovanju sistema.

14. Zaključek

V diplomski nalogi smo predstavili načrtovanje in izgradnjo nadzornega sistema za nadzor in upravljanje z vodovodnim omrežjem.

S stališča nadzornega sistema so največja posebnost vodovodnih omrežij relativno velike razdalje med objekti. Zaradi njih se navadno poslužujemo brezžičnega prenosa podatkov, izbiramo med GSM povezavo in UKV radijsko povezavo na zakupljeni ali prosti frekvenci. Uporaba UKV radijskih postaj ima številne prednosti pred ostalimi sistemi, saj je tak sistem neodvisen od ponudnika mobilnih omrežij. V primeru zakupljene frekvence pa je cena neodvisna od časa trajanja povezave in še vedno neprimerno cenejša od GSM komunikacije. Slabša stran te opcije je visoka začetna investicija, ki pa se v večjih sistemih hitro povrne.

Nadzorni sistem deluje samostojno brez operaterjeve prisotnosti, omogoča enostavno upravljanje z objekti, vsi ključni podatki se shranjujejo na nadzornem računalniku in so preko grafičnega orodja dostopni v vpogled operaterju. V primeru napake se na nadzornem sistemu izpiše alarm in onemogočijo se vse funkcije, ki bi utegnile škodovati sistemu.

Sistem je zasnovan tako, da omogoča dodajanje novih in nadgradnjo obstoječih objektov, ne da bi pri tem bistveno posegali v obstoječe stanje.

Sistem deluje znotraj zastavljenih okvirjev, brez prekinitev, kar dokazuje dobre uporabljene rešitve in ustrezno izbrano opremo.

15. Literatura

- [1] Komunalno podjetje Ormož:
http://kp-ormoz.si/index.php?option=com_content&task=view&id=14&Itemid=40,
dostopnost preverjena aprila 2010.
- [2] Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Water_tower, dostopnost preverjena aprila 2010.
- [3] ELPRO Technologies: Industrial Wireless Handbook, Second edition, 2007
- [4] ELPRO Technologies: User Manual 455U-D Radio Modem, 2006.
- [5] Beckhoff Automation GmbH: Documentation for BX9000 Bus terminal controller for Ethernet Version 1.2.0, 2008.
- [6] Beckhoff Automation GmbH: Documentation for BC8150 Bus Terminal Controller with RS232 Interface, Version 1.1.1.
- [7] Beckhoff Automation GmbH: <http://www.beckhoff.com/>, dostopnost preverjena aprila 2010.
- [8] Eltra Lavrenčič Silvo s.p.: Tehnični list, Merilnik nivoja PPI 100.
- [9] Endress + Hauser: Technical information, Electromagnetic Flow Measuring System PROline promag 50/53 W, TI046D/06/en.
- [10] R. Karba: Gradniki sistemov vodenja, Ljubljana 1994.
- [11] I. Škrjanc, G. Mušič: Seminar: Vodenje sistemov II - Zbirka laboratorijskih vaj, Ljubljana 2004.
- [12] S. Strmičnik: Celostni pristop k računalniškemu vodenju procesov, Ljubljana 1998.
- [13] Beckhoff Automation GmbH: Beckhoff Information System 01/2010.
- [14] Trival antene d.o.o.: <http://www.trivalantene.si>, dostopnost preverjena aprila 2010.

Izjava:

Izjavljam, da sem diplomsko delo izdelal samostojno pod vodstvom mentorja doc. dr. Boštjana Murovca. Izkazano pomoč drugih sodelavcev sem v celoti navedel v zahvali.

Šenčur, 15. 4. 2010

Roman Perdan