



ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
INFORMATIKOS KATEDRA

MANTAS RAKEVIČIUS

INFORMACINIŲ TECHNOLOGIJŲ VALDYMAS

VALDYMO SISTEMOS *SCADA* TYRIMAS

Magistro baigiamasis darbas

Darbo vadovas (-ė),
Doc. dr. Liudvikas Kaklauskas
Recenzentas: Doc. dr. V. Dumskis

Originalus autorinis darbas

(Studento (ės) parašas)

SUMMARY

SCADA systems for water quality monitoring and PID pump station redistribution has been developed for fish farm JSC „SILO PAVEZUPIS. It is intended to improve efficiency of management control of natural resources and provide experimental framework. System uses Modbus TCP and RS-232/485 on top of the TCP/IP stack for communication.

The main goal was to both develop a set of objects for Modbus and RS-232/485 communication and also an *HMI* applications based on the *SCADA* objects to communicate with the IoT Devices. Secondly, training assignment on Modbus, IoT and networking using the applications developed should be an was proposed.

Modbus TCP and RS232/485 has been implemented in the software as a IoT protocol for communication with the device. The developed *HMI* software and *SCADA* systems has been tested and is working according to the requirements collected. Training assignment proposed will give the relevant knowledge for the employees in technology for the future.

PADĖKA

Norėčiau padėkoti profesorei Sigitai Turskienei už pasiūlytą prasmingą darbo temą ir nuolatinę paramą. Nuoširdžiai dėkoju doc. dr. Liudvikui Kaklauskui, kuris vadovavo mano magistro darbui nuo pradžios iki pabaigos. Iš jų išmokau spręsti sudėtingas problemas, susidoroti su įvairiais sunkumais. Dėkoju jiems už kantrybę, patarimus ir skatinimą.

Esu dėkingas Tėvams, UAB „Šilo Pavėžupis“ žuvininkystės ūkiui ir jo vadovui Arvydui Juciui už dvejų metų finansavimą. Jų skatinimas ir parama yra labai svarbūs mano studijoms ir galutiniam darbui.

Dėkoju dar kartą visiems žmonėms, padėjusiems įprasminti mano darbą.

Skiriama mano šeimos nariams: Brigitai, Aronui, Arūnui, Nijolei, Margaritai

SIMBOLIAI IR SANTRUMPOS

SCADA – kompiuterių, tinklinių duomenų komunikacijos ir vartotojo sąsajų architektūros struktūra proceso valdymui
HMI – žmogaus ir mašinos sąsaja
IP – interneto protokolas
LAN – vietinis tinklas
WLAN – bevielis vietinis tinklas
WAN – plačiajuostis tinklas
UML – Unified Modeling Language
URL – Uniform Resource Locator
BST – belaidžio ryšio jutiklių tinklai
XML – išplečiamoji žymėjimo kalba
OPC – atviro komunikavimo platforma
SQL – struktūrinių užklausų kalba
HTTP – hiperteksto perdavimo protokolas
ICMP – internetinis kontrolės pranešimo protokolas
Ad-hoc – kompiuteris-kompiuteris ryšio tinklas

MAC – unikalus tinklo prievado valdiklio (NIC) adresas
TCP – interneto protokolų rinkinio perdavimo valdymo protokolas
PLC – programuojamos logikos valdiklis
MODBUS – nuosekliojo ryšio protokolas
RS485/422 – standartas, nustatantis elektrines charakteristikas
SNMP – paprastas tinklo valdymo protokolas
ADU – programos duomenų vienetas
PDU – protokolo duomenų vienetas
ARP – adreso rezoliucijos protokolas
DHCP – dinaminis konfigūravimo protokolas
DNS – srities vardų struktūra, kreiptis į tinklo resursus lengviau įsimenamu simboliu vardu
PID – grįžtamąjį ryšio reguliatorius, naudojamas pramoninėse kontrolės sistemose
IoT – daiktų internetas
IGMP – interneto grupės valdymo protokolas

TURINYS

SUMMARY	1
PADĖKA	
SIMBOLIAI IR SANTRUMPOS	
TURINYS	
1. ĮVADAS.....	1
1.1 Tikslinis objektas	1
1.2 Temos aktualumas.....	1
1.3 Tyrimo apimtis	4
1.4 Problematika	5
1.5 Darbo pagrindimas	6
1.6 Technologijų įvertinimas	7
1.7 Srities ribojimai bei hipotezės	10
2. LITERATŪROS APŽVALGA.....	11
2.1 Pramoninio tinklo apžvalga.....	11
2.2 Modbus ir RS232/485	12
2.3 Darbo IoT protokolas.....	16
3. VALDYMO SISTEMOS SCADA KŪRIMAS	17
3.1 Sistemos specifikacijos	17
3.2 Tinklo topologija.....	21
3.3 Vandens kokybės vertinimo sistema	23
3.4 PID kontrolės sistema.....	28
4. IŠVADOS.....	45
5. ATEITIES PROJEKTŲ GAIRĖS	47
6. LITERATŪROS SĄRAŠAS	49
PRIEDAS A: Pridedamoje laikmenoje, yra pagrindiniai failai, naudojami darbe.	51
PRIEDAS B: Modbus TCP/IP testas	52
PRIEDAS C: Liquiline CM422 keitiklio rėlinių išėjimų testas	54
PRIEDAS D: Realus laiko duomenų eksportavimas į SQL Server.....	55
PRIEDAS E: Siurblio sauso eigos testas	57

1. ĮVADAS

Tyrimo tikslas – pateikti, suprojektuoti ir realizuoti *priežiūros kontrolės ir duomenų gavybos* „angl. *SCADA*“ sistemų prototipus, naudojant specializuotas programas ir programuojamos logikos valdiklius (angl. PLC) su „Modbus“ ir „RS232/485“. Galiausiai, sukurtas darbas turėtų būti įrodymas, koncepcija ir nuoroda, jog *SCADA* sistemos, kurioje naudojama mažai kainuojanti, alternatyvi techninė įranga, kūrimas, nėra efektyvi alternatyva tradiciniams ir uždariems standartams pramonėje.

Be to, sistemos prototipas, suteiks galimybę atlikti laboratorinius pratimus, kuriuose darbuotojai, įgis patirties su komunikacijos protokolais, „IoT“, „Modbus“ ir tinklu.

Darbo uždaviniai:

1. Teoriniu aspektu išanalizuoti priežiūros kontrolės, duomenų gavimo bei valdymo sistemą *SCADA* ir komunikacijos protokolus;
2. Suprojektuoti vandens kokybės vertinimo ir grįžtamojo ryšio (angl. PID) srauto valdymo sistemų prototipus UAB „Šilo Pavėžupis“ tvenkinių, baseinų ir objektų sistemos valdymui, pagrįstus *SCADA*;
3. Aprašyti matavimo duomenų DB jungimo principus ir juos vizualizuoti;
4. Ištestuoti suprojektuotas sistemas ir apibendrinti tyrimo rezultatus;

1.1 Tikslinis objektas

Tikslinis instaliacijos objektas yra UAB „Šilo Pavėžupis“ žuvininkystės ūkio naujai pastatyti žuvies auginimo baseinai ir vandens paskirstymo bazė. Šiuose baseinuose yra poreikis stebėti ir valdyti vandens deguonį, temperatūrą bei tinkamą jo lygį užtikrinančius įrenginius. Šios kintamos reikšmės turi būti pateiktos specifiniame intervale, kuris garantuoja optimalų žuvies prieaugį.

Tinkamam deguonies lygiui palaikyti bus pajungti aeratoriai, kurie, esant nepakankamam ištirpusio deguonies lygiui, bus paleidžiami automatiškai. Taip pat vandens paskirstymo bazėje yra įdiegtas vandens siurblys, valdomas kintamojo dažnio valdiklio, skirtas paskirstyti vandenį tarp objektų. Tačiau, kaip ir baseinuose, nėra *SCADA* sistemos ir galimybės, kuri užtikrintų automatizuotą vandens srauto valdymą, siekiant stebėti ir apsaugoti siurblių nuo sausos eigos.

1.2 Temos aktualumas

IoT tapo svarbia technologijų pažangos metodika, kurią matome pastaraisiais metais pasaulyje. Tiek vartojimo reikmėms, tiek industrijos IoT (IIoT), kas yra daiktų internetas pramonei. IoT, dažnai siejama su prietaisais, skirtais vartotojui, pavyzdžiui, protingi termostatai ir

apšvietimo lemputės, ir jie yra pagaminti vartotojo patogumo atžvilgiu. O, pavyzdžiui, IIoT, gali būti naudojamas didelės rizikos aplinkoje, siekiant pagerinti saugumą.

Daiktų interneto metodologija, gali būti realizuota panaudojant bet kurią internetinę technologiją, pvz.: „Wi-Fi“, Ethernet ar 4G mobiliojo ryšio tinklus. Šios technologijos yra gerai išvystytos ir visiškai funkcionuojančios interneto ryšių srityse, todėl tinkamos, kad galėtų būti daiktų interneto dalimi, pasitelkiant belaidžius ir laidinius jutiklių tinklus.

Atsižvelgiant į ekonomikos augimą pastaraisiais metais, vandens kokybės kontrolė pramonės, žemdirbystės, žuvininkystės ir kituose sektoriuose tampa kritine problema, susijusia su vandens tarša ir mažėjančiais resursais. Vandens kokybės stebėseną ir paskirstymą daro didelę įtaką akvakultūros resursų ir išteklių valdymui.

Įvertinus žuvininkystės sektoriaus problemas ir / ar iššūkius, kurie susiję su vandens resursų ir kokybės sistemos kontrolės nebuvimu, kaip verslo procesų tęstinumą įtakančius neigiamus veiksnius, išryškėjo tendencija ir poreikis optimizuoti procesų valdymą, sukuriant jutiklių tinklo sistemą, skirtą vandens kokybės stebėjimui, paskirstymui bei žuvininkystės ūkio resursų apsaugai didelėse teritorijose.

Tradicinio žuvininkystės auginimo proceso metu, trūkstant realaus laiko informacijos, susiformuoja praktika, kuri papildo veiklą nereikalingomis išlaidomis ir nuostoliais, pvz., planavimo vėlavimai, rankinio darbo metu prarastas laikas (pvz., paieškos, įrangos reguliavimai, atsargų patikrinimai), didesnė saugumo protokolų pažeidimų rizika, neefektyvus įrangos, personalo paskirstymas ir aptarnavimo planavimas.

Tačiau informacijos apie procesus gavimas reikalauja naudoti papildomus išteklius, pvz., kompiuterius, serverius, logikos valdiklius, ryšio priemones, įterptus į fizinę aplinką, taip pat žinomus kaip protingi prietaisai.

Naudojant šiuos išteklius, galima realizuoti su informacijos inventoriumi ar turtu susijusią valdymo schemą. Dėl to vizualizuotos automatizuoto proceso sistemos gali greičiau reaguoti į auginimo procesų metu iškilusius sutrikimus, susijusius su proceso optimizavimu. Toks optimizavimo tobulinimas, pavyzdžiui, gali būti proceso efektyvumo gerinimas, energijos suvartojimo mažinimas, taršos ir atliekų mažinimas, taip pat pramoninės infrastruktūros saugumo gerinimas (Kiuleris 2010).

Siekiant pažangius prietaisus sujungti į bendrą komunikacijos tinklą, kuris jiems leistų sąveikauti ir keistis informacija, turi būti parinkta tinkama tinklo komunikacijos ir ryšio tinklo technologija [Hongas, 2010]. Šiuo atžvilgiu, daugelis „angl. ad-hoc“ belaidžio ryšio sprendimų pastaraisiais metais buvo sukurti tinklams (pvz., „ZigBee“, „Bluetooth“ ir kt.). Tačiau šie sprendimai paprastai naudojami kaip patentuoti, trumpų atstumų protokolai, kurie negali bendrauti

tarpusavyje, išskyrus atvejus, kai naudojami taikomųjų programų šliužai (angl. *gateway*), dėl kurių didėja projektavimo ir tinklo valdymo sudėtingumas.

Be to, naudojimas atviro komunikacijos protokolo, kaip bendros tinklo platformos, suteikia didesnę stabilumą ir lankstumą tinklui, dėl kurio atsiranda geresnė galimybė atlikti integravimą į papildomus, skirtingų technologijų tinklus, įgyvendinančius bendrą komunikacijos protokolą.

Sąveikos ir atvirojo ryšio protokolo pavyzdys yra IP (interneto protokolas), kuris teikia tinklo kompiuterių ir serverių tiesioginį suderinamumą. Be to, nereikia naudoti šliužų. Jis palaiko unikalų adresą, vientisą jungtį, platų pritaikomumą ir leidžia prisijungti prie interneto, nereikalaujant papildomos įrangos [Hongas 2010].

Sąveikaujančio, pramoninio, belaidžio ryšio sprendimo naudojimas yra tik dalis pastangų, kuriomis siekiama išspręsti *SCADA* industrinio proceso valdymo problemą. Yra reikalingas tinkamos belaidės technologijos, netgi atskirų technologijų kombinavimas bei naudojimas kartu su tinkama duomenų rinkimo metodika. Siekiant valdyti procesą ir rinkti aplinkos duomenis, buvo sukurtos skirtingos metodikos davikliams, jungiamiems prie belaidžio tinklo. Be to, paprastai šios metodikos apima fizinių kintamųjų duomenų rinkimą ir vertinimo procesą. Pavyzdžiui, priimto signalo stiprumas (RSS), elektromagnetinio lauko aptikimas [Uribas 2009]. Be to, šie fiziniai kintamieji priklauso nuo programoje naudojamos bevielės technologijos charakteristikos. Norint sukurti pramoninio lygio našų ir efektyvų tarpusavyje sąveikaujančių daviklių tinklą ir duomenų rinkimo bei valdymo programą didelėse teritorijose, turi būti parinkta tinkama, „Taškas-Taškas“ (angl. PtP, PtM), belaidžio ryšio technologija, kombinuojama su laidiniu tinklu ir atitinkamu protokolu. Taip pat turi būti pasirinktas tinkamas algoritmas, atitinkantis jų charakteristikas.

Vienur tinka BST metodika, kur nutolusiuose objektuose reikia kaupti aplinkos monitoringo duomenis į centrinę bazę su minimaliomis energijos sąnaudomis. Tačiau, kur yra ir reikalingas stabilumas ir nuolatinis maitinimas, pvz., siurblio sausos eigos valdymas, labiau tinkamas yra izoliuoto tinklo laidinis sprendimas jungimuisi prie PLC, HMI arba RTU duomenims rinkti ir procesui valdyti kombinuojant su belaide „Taškas-Taškas“ (angl. PtP, PtM) technologija. Atsiranda būtinybė naudoti ir MODBUS TCP/IP/RS485 protokolo įrenginius, kurie skirti palaikyti pramoninio tipo tinklą architektūrą ir komunikaciją.

Antra, sensoriai, ir ypatingai vertėtų atkreipti dėmesį į pigius, kurie nenaudoja standartinių, pramoninių komunikacijos protokolų, bet naudoja bazinius protokolus ir turi minimalias valdymo galimybes, tinkamų kompiuteriams ir PLC. Iš tikrųjų jutikliai paprastai reikalauja cikliško, izochroninio ir stabilaus apsikeitimo nedideliu duomenų kiekiu realiuoju laiku, o kompiuteriai ir PLC keičiasi dideliu duomenų kiekiu su lankstesniais, realaus laiko apribojimais ir valdymo funkcijomis. Žiūrint į pramonės ryšių sistemas, šis skaidymas yra aiškiai matomas – kai kuriuose objektuose buvo sukurtos konkrečios jutiklių taikymo sritys ir technologijos, o aukšto lygio

pramonės įranga naudoja laidinių „Ethernet“ kombinacijas su belaidžio, radijo ryšio ir interneto technologijomis.

Nepaisant BST privalumų, norint įdiegti integruotą vandens kokybės vertinimo ir grįžtamojo ryšio PID paskirstymo *SCADA* sistemas, didelėse teritorijose, susiduriame su iššūkiais. Mano konkreči situacija sąlygojo naudoti mišrius, papildomus tinklo įrankius ir įprastas, industrinio tinklo komunikacijos technologijas, pvz., MODBUS TCP/IP, RS232/485, WAN.

Radijo ryšiu sukurti centrinį tinklo įrenginių duomenų perdavimą su WLAN, visapusiškam duomenų apdorojimui iš atskirų, izoliuotų gamybinių objektų.

Šiame darbe projektuojamos *SCADA* sistemos turėtų vertinti vandenyje ištirpusį deguonį, vandens temperatūrą, lygį; leisti valdyti įrenginius bei pateikti objektų būklę vizualiai. Duomenų apsikeitimas tarp sistemų paremtas interneto TCP/IP protokolų rinkiniu bei *SCADA* (angl. Supervisory control and data acquisition) instrumentų valdymo architektūra, kuri naudoja kompiuterius, tinklo duomenų ryšius ir grafines vartotojo sąsajas, aukšto lygio proceso priežiūros valdymui, sujungiant įvairias belaides ir laidines technologijas (pvz., 4G, TCP / IP, Wi-Fi, radijo ryšį, Ethernet ir IEEE 802.15.4, 802.15.4g). Ateityje, bus siekiama pagerinti sukurtų sistemų optimalų darbą, užtikrinti tinklo integracijos laipsnį ir plečiamumą, atnaujinant tinklą, kuris paremtas bendrojo pramonės protokolo (angl. CIP) metodika. Be to, tai turės garantuoti tikslumą, saugumą ir patikimumą.

1.3 Tyrimo apimtis

Šiame darbe kuriamos, tobulinamos ir įdiegiamos pramoninių MicroLogix 1100 PLC, Endress and Hauser Liquiline CM442 (HMI) keitiklių funkcijos yra labai reikalingos pramonės automatikoje, priežiūroje ir kontrolės sistemose. Rezultatai ir tyrimo išvados padės pateikti tam tikrus, paruoštus naudoti, pramoninius *SCADA* tinklo sprendimus klientams ir pagerinti produktų vertę ir investicijos grąžą. Galutinis šio tyrimo taikymas yra *SCADA* sistema, pagrįsta industrinio tipo PLC valdiklių, sensorių ir jutiklių, naudojimu. Toliau pateikiami pagrindiniai šio tyrimo aspektai:

- Modbus TCP protokolo įgyvendinimas per TCP/IP (serverio ir kliento režimas) Endress-Hauser Liquiline CM442 (HMI) valdymo bloke-keitiklyje.
- Žmogaus ir mašinos sąsajos (HMI) ir *SCADA* programų kūrimas priežiūros ir proceso duomenų kontrolės tikslais.
- TCP ir nuosekliojo protokolo RS232/485 įdiegimas pramoniniuose PLC, HMI per Ethernet ir vietinį tinklą (LAN+WLAN), skirtu sąveikai tarp valdymo bloko Endress-Hauser CM442 (HMI) ir MicroLogix 1100 PLC.

- Praktinė jutiklių, jų duomenų, kaupimo įrangos ir rėlinių išėjimų integracija su CM442 (HMI), MicroLogix 1100 PLC į Windows Server 2016 serveryje veikiančiomis *SCADA* aplikacijomis.

SCADA sistemų prototipai yra orientuoti į realų UAB „Šilo Pavėžupis“ projektą, skirtą žuvies auginimo baseinams, tvenkiniams ir vandens paskirstymo stočiams, kuriems yra projektuojama nauja vandens kokybės vertinimo ir grįžtamojo ryšio (angl. PID) paskirstymo kontrolės sistema.

1.4 Problematika

Akvakultūroje brangūs ištekliai ir resursai turi būti skirstomi mobiliai (pvz., mailus, pašarai). Kiti lieka fiksuoti ir yra priskirti prie tam tikrų objektų. Produkcija yra nuolatos perdislokuojama. Šis mobilumas įtakoja išteklių dislokacijos pasikeitimą, o tai laidinę ar buvusios vietos priežiūros kontrolės ir duomenų rinkimo sistemą daro netenkinančią pasikeitusių komunikacijos sąlygų. Dėl to reikia naudoti kombinuotas, izoliuotas, bevielio-laidinio ryšio tinklo topologijas duomenų gavybos ir valdymo sistemai sujungti, kurios veiktų kartu su integruotu tinklu arba nepriklausomai. Kaip minėta anksčiau, įvairių technologijų integravimas reikalauja bendro tinklo protokolo (pvz., IPv4, IPv6), kad būtų išvengta sistemos tinklo kompleksijos ir būtų galima skatinti reikalingą mobilumą ir adaptavimo lygį užtikrinant patikimą sąveiką tarp skirtingų komunikacijos protokolų.

Belaidės, interneto protokolo pagrindu veikiančios priežiūros kontrolės ir duomenų rinkimo sistemos (angl. *SCADA*) gamybinio proceso duomenų atžvilgiu yra skirtos kaupti ir teikti realaus laiko, monitoringo informaciją apie akvakultūros objekto procesus, o laidinis ryšys skirtas atlikti valdymo operacijas.

Todėl informacijos nuoseklumas, savalaikis, nevėluojantis jos pateikimas kontrolės ir duomenų rinkimo sistemos skaičiavimams, yra tiksliniai ir pagrindiniai parametrai, kuriuos reikia atlikti ir užtikrinti. Be to, pagrindinis priežiūros kontrolės ir duomenų rinkimo priemonės (*SCADA*) tikslas yra nustatyti ir įspėti apie proceso ar parametrų anomalijas bei atlikti suprogramuotas valdiklių užduotis su didžiausiu, įmanomu tikslumu.

Šis vertinimo procesas turi būti atliekamas remiantis fizinių aplinkos parametrų matmenimis, kuriuos akumuliuoja protingi tinklo įrenginiai.

Be to, analizuojamas parametras priklauso nuo naudojamos metodikos ir technologijos, kuri naudojama projektuojant *SCADA* sistemas ir tai gali paveikti rezultatų netikslumus. Todėl įterptųjų įrenginių apibrėžti technologiniai resursai ir jų ribojimai, sukelia problemines situacijas norint pasiekti planuotą tikslą. Ir dar – didelės raiškos stebėjimo sistema kartu su unifikuotu duomenų rinkimo algoritmu gali būti realizuota naudojant tinkamą metodologiją ir technologinius parametrus, paraleliai su duomenų įvertinimo ir rinkimo protokolu.

Pramoninio tinklo duomenų apsikeitimo protokolų – OPC, MODBUS, EtherNet/IP, – ir / ar jų modifikacijų palaikymo spektras apibrėžia galimybę efektyviai rinkti ir apdoroti SCADA sistemos duomenis ir kontrolės rezultatus. Be to, TCP/IP protokolo, LAN tinklo bendrųjų komunikacijos protokolų palaikymas ir naudojimas Ethernet sistemoje pagerina tinklų sąveiką ir leidžia ją integruoti į kitus tinklus, nes nėra papildomų aparatinės įrangos reikalavimų ir poreikių. Tai leidžia sukurti realaus laiko SCADA sistemą objektų būklės duomenų rinkimui, valdymui ir analizei su plačia komunikacijos amplitude tarp skirtingų technologijų.

Šio darbo problema gali būti suformuluota taip – *kaip spręsti akvakultūrinio inventoriaus ir procesų valdymo duomenų apdorojimo, didelėse teritorijose problemą, naudojant mišrias technologijas su plataus suderinamumo galimybėmis?*

1.5 Darbo pagrindimas

Darbo plėtra yra ypač svarbi ne tik žuvininkystės sektoriui, bet ir apskritai pramonės ir automatizavimo sektoriui. Šios srities paradigma yra vystymosi pradžia iš uždaros sistemos į atvirąją koncepciją. Atvirosios koncepcijos studijos, susijusios su 4 kartos pramonės era (angl. Industry 4.0) ir daiktų internetu (IoT), sąlygoja mokslinės literatūros didėjimą. Atvirojo kodo ir atvirojo standarto sąvokos yra laikomos svarbiausiu industrijos evoliucijos planu. Naujosios technologijos padės išplėsti automatizavimo sprendimų spektrą sistemose ir stiprins sąveiką tarp įrenginių iš skirtingų gamintojų. Šis projektas yra įtrauktas į šią idėją ir tai bus pavyzdys, kaip galima sukurti SCADA sistemą su komercinio ir atvirojo kodo technologijomis integruojant įvairius gamintojus, kurie bendrauja tarpusavyje per įvairius atvirus tinklo protokolus.

Modbus TCP-IP ir RS232/485 protokolų pasirinkimas, kaip šio projekto plėtros dalis, slypi priešzastyse:

- Modbus TCP ir RS232/485. Tai plačiai paplitę industriniai protokolai, todėl šios funkcijos turi paklausą pramonės automatikos sektoriuje.
- TCP-IP yra standartinis interneto protokolas ir visoms, šiame skyriuje nurodytoms priešzastims bei prietaisams, kurie jį palaiko, suteikia didelio technologinio potencialo.

Be to, 2018 m. spalio 5 d. Šiaulių žuvininkystės regiono vietos veiklos grupės vietos projektų atrankos komitetas pateikė informaciją dėl paraiškų teikimo projektams, kurie yra nurodyti Šiaulių ŽRVVG vietos plėtros strategijoje iki 2023 m. Remiantis VVG teritorijos plėtros poreikių nustatymo prioritetingos tvarkos 4.4 punkto „Skatinti žvejojimo ir akvakultūros sektoriaus dalyvių bendradarbiavimą, remiant žuvininkystės ir akvakultūros sektoriaus dalyvių ir mokslininkų bendrą įsitraukimą į vietos ekonomikos veiklas, skatinant naujovių diegimą“ ir poreikį pagrindžiantys ŽRVVG teritorijos SSGG teiginiais (Nr.) 3.2.4., 3.3.3., 3.3.6., 3.4.5., 3.4.6. bei sąsajos su veiksmų programos 2014–2020 m. ES žvejojimo ir akvakultūros sektoriaus nustatytais poreikių 7.1.Ž, 7.2.Ž punktais, sieksime pateikti paraiškas įsigijimui tinkamų technologijų, kurios naudojamos

pramoniniuose akvakultūros procesuose, siekiant patenkinti realaus laiko, akvakultūros inventoriaus, procesų valdymo, duomenų gavybos ir apdorojimo didelėse teritorijose, tinklo poreikius.

1.6 Technologijų įvertinimas

Vertėtų apžvelgti tinklų ir *SCADA* procesų valdymo sistemas dabartinėse gamybinėse aplinkose. Bus peržiūrėtos belaidžio ir laidinio ryšio technologijos, taikomos pramoninėse infrastruktūrose.

Šiuo metu remiantis tinklo topologija ir elektros energijos prieinamumu bei objekto pastovumo ypatybėmis, Liquiline CM422 keitiklis su „Modbus TCP“ (HMI), kartu su adaptuota, atviro kodo *RAPID SCADA* programa, skirti vandens kokybės vertinimo sistemai. *INDUSOFT WEB STUDIO (HMI-SCADA)* kartu su Micrologix 1100 PLC yra skirti grįžtamojo ryšio (angl. PID) vandens paskirstymo sistemai. Pvz., Indusoft Web Studio, galima ne tik programuoti HMI aplikacijas, bet ir kompiliuoti HTML5, WinCE, IoT, projektus, kurie gali būti instaliuoti atskirai. Tai yra reikalinga ypatybė, norint valdyti įrenginius nuotoliniu būdu. PtP tinklui, įdiegti *UBIQUITY PBE-5AC-400-ISO 5 GHz* radijo taškai.

Paminėtina, jog komercinių platformų tyrime dalis aptariamų įrangos bus naudojama ten, kur nėra elektros energijos. Tiksliniai vandens kokybės vertinimo sistemos objektai yra tvenkiniai, kuriems reikalingas skirtingas BST standartas (Priedas A: Pramoninių-BST-tinklai-ir-standartizavimas), taupantis energiją ir veikiantis autonomiškai. Jie taip pat naudos tą patį – integruotą – tinklą ir *SCADA* serverį.

Preliminarus atrankos rezultatas yra tai, kad tarp kelių esamų vandens kokybės vertinimo ir grįžtamojo ryšio PID kontrolės sistemų *SCADA* tinklo principų buvo nuspręsta įvertinti dar vieną galimą virtualią įgyvendinimo alternatyvą, skirtą vandens paskirstymo sistemos prototipui – Allen Bradley DF1-RS485/232 nuosekli jungtis (angl. Serial Port) ir minėto signalo kokybės užtikrinimui perduodant per bevielį ryšį gauto signalo stiprumo (angl. RSS) aspektu, nes, skirtingai, nei vandens kokybės vertinimo sistema, grįžtamojo ryšio vandens paskirstymo kontrolės objektas yra pakankamai toli (1 km >) nuo *SCADA* serverio centrinės stoties. Vertinimams reikėtų pateikti alternatyvos reikalavimus, kurie leistų spręsti, kas geriau tiktų užduočiai.

Tinkama vandens kokybės vertinimo komercinė BST platforma mobiliems, autonominiams taškams, realaus laiko duomenims perduoti į *SCADA* aplikaciją turės būti pasirinkta iš kelių opcijų. Reikalingi bendrieji reikalavimai, kurių turi būti laikomasi: tinklo atitiktis standartui Modbus TCP-IP, RTU, vartotojų programinės įrangos kūrimo galimybės, taip pat suderinamumas su esamos programinės įrangos plėtra.

Kai kurie galimi variantai yra komplektai iš ADVANTECH ADAM-2031Z, ADAM-2017PZ ir ADAM2051PZ bevielio sensorinio tinklo temperatūros, drėgmės, analoginio ir skaitmeninio signalo mazgai, palaikantys „Modbus“ protokolą ir Advantech Wise 3610 4G Gateway ir Wise 1510 sensorinis mazgas.

Be to, mobilūs vandens kokybės stebėjimo plūdurai, kurie skirti naudojimui atviruose tvenkiniuose turi atitikti šiuos parametrus: įdiegti vandens kokybės analizatoriai, gylio davikliai, 4G, Wifi, rs485, ir GPS. Turi būti OPC standartas *SCADA* jungimui su „Modbus RTU“ protokolo komunikacija. Kai kurie galimi variantai yra komplektai iš AQUAS gamintojo vandens kokybės stebėjimo plūdūrų kategorijos.

Grižtamojo ryšio PID vandens paskirstymo kontrolės tinklo įrenginiai turėtų atitikti bendruosius reikalavimus, kurių turi būti laikomasi – programuojami logikos valdikliai su LAN jungimu, Profinet, AllenBradley ABKE, ABTCP, Micrologix, EtherNet / IP tinklo palaikymu, AC/DC rėlinis valdymas. Galimi variantai yra komplektai iš Siemens PLC CPU 1212C, AC/DC/RELAY, 8DI/6DO/2AI (6ES7212-1BE40-0XB0), MicroLogix 1100 PLC.

Pasirinkto TCP/IP protokolo pagrindu veikiantys įrenginiai su MODBUS TCP ir RS232/485 diegimo schema turi būti perkelti į *SCADA* platformą, ir bet kokia konkrečių komponentų modifikacija laikoma būtina pagal sąlygas, jeigu jos keisis.

Kai jau yra pasirinktas vandens kokybės vertinimo ir PID vandens paskirstymo kontrolės tinklo principas (pagrįstas MODBUS, RS-232/485 ir Gauto signalo stiprumo vertinimu (RSS)), jį turime įdiegti ir išbandyti tinkle ir *SCADA* serveryje. Užbaigus vykdyti šį reikalavimą, turėtų būti įmanoma atlikti vandens kokybės vertinimo ir grįžtamojo ryšio (angl. PID) kontrolės demonstraciją.

Pavyzdžiui, vietinė tinklo simuliacija „angl. adhoc“ arba realaus proceso vertinimas mišriame, (WLAN+ PtP+LAN) vietiniame tinkle.

Siekiant palengvinti vandens kokybės vertinimo ir PID kontrolės sistemų sąveiką ir valdymą tinkle, būtina sukurti proceso vizualizavimo įrankį. Tai gali būti padaryta naudojant *SCADA* kūrimo programos grafinę vartotojo sąsają (angl. GUI), pagal kurią galėtų būti įmanoma vizualizuoti tinklo jutiklių informaciją ir pateikti vandens kokybės vertinimo ir paskirstymo sistemų, procesų stebėjimo sprendimą.

Planuojant projektą reikėjo priimti du sprendimus dėl valdymo įrenginių (PLC) ir HMI technologijos naudojimo.

Kalbant apie sistemos automatizavimą su PLC, pirmoji alternatyva buvo naudoti mėgėjiškus Arduino PLC ir LAN skydus (Priedas A: Arduino_hc_sr04_sonaro_kodas.ino), ultragarsinį atstumo matuoklį, Atlas Scientific deguonies zondus su LabView (A Priedas: Ultragarsinis-

Vandens-lygio-indikatorius-su-siurblio-valdymu.vi). Pramoninių PLC ir atitinkamų šiai technologijai privalumai ir minusai, jei lyginsime su mėgėjiškais PLC sprendimais:

- maži kaštai;
- lankstumas;
- licencijavimas be licencijos;
- prieinamumas;
- programuojama, kaip Arduino (Arduino 2005) kalba, panaši į C, kuris suteikia studentams galimybę iš IT, komunikacijų ir elektronikos sričių, kurie neturi specialaus mokymo standartinės PLC logikos programavimo sistemose.

Pramoninių PLC privalumai, palyginti su mėgėjiškais yra:

- plačios žinios apie technologiją;
- parengti naudoti sprendimai;
- daugiau brandžios technologijos;
- laiko taupymas;
- daugiakalbės vartotojo sąsajos ir lokalizacija;
- lankstumas – multi plc, valdiklių palaikymas, TCP/IP, OPC;
- programavimas – sukurti sprendimai diegiami multiplatformose.

Atsižvelgiant į projekto specifikacijas, kuriomis vadovaujantis buvo pasirinkta įgyvendinti tik vandens kokybės vertinimo ir grįžtamojo ryšio PID valdymo sistemas (zigbee ir lora standartai, 4G-Modbus, vandens tyrimų plūdūrai nebus aptariami, nes yra ateities projektai) ir bandymus, buvo padaryta išvada, kad pajėgumai standartinių, mėgėjiškų PLC sprendimų su Arduino buvo visiškai nepakankami, kad būtų galima parengti paraišką.

Remiantis šia informacija, lankstumo aspektas, kuris nerealizuotas, buvo svarbus kriterijus integruojant skirtingų gamintojų įrenginius ir specifikacijas. Arduino IDE (A PRIEDAS: Arduino_hc_sr04_sonaro_kodas.ino;) taip pat buvo galimybė kūrėjui, nes jis turėjo ankstesnės kalbos patirtis (C, C ++). Tačiau neveikiant mėgėjiškam, ultragarsiniam atstumo davikliui drėgmėje (nuolatinis rėlės įjungimas ir atjungimas dėl netikslių matavimų ir nestabilaus darbo), aparatui nepalaikant tinkamos hermetizacijos, buvo atsisakyta visos programos.

Dėl žmogaus-mašinos-sąsajos (angl. HMI) įrenginių integracijos, parengtų naudoti duomenų gavybos, stebėjimo, SCADA sistemos priemonių, intuityvios grafinės programavimo kalbos, modulių integravimo ir kitos komunikacijos algoritmų palaikymo iš skirtingų gamintojų, vandens kokybės vertinimo SCADA sistemai programuoti, buvo pasirinkta ir lokalizuota atviro kodo *Rapid SCADA* sistema ir parašytas Modbus TCP/IP komunikacijos scriptas (C#) (Priedėlis A: KpModbus-Ryšio-Logika-Biblioteka-cs.cs). Grįžtamojo ryšio (PID) vandens paskirstymo

sistemai yra naudojama *Indusoft Web Studio 8.0 (Schneider Electric) SCADA/HMI*, aukšto lygio programavimo ir kūrimo platforma.

Svarstyta alternatyva buvo sukurti grafinę aplikaciją su Visual Basic kalba, naudojant bazinę *Advanced HMI* programavimo platformą, adaptuojant grįžtamojo ryšio PID vandens paskirstymo sistemos RS Logix 500 Pro logikos kodą ir žymas. Tai ir buvo padaryta (Priedas A: PLC-logikos-kodas ir Advanced-HMI-PID-vandens-paskirstymo-sistemos-projektas). Tačiau dėl veikimo tik Windows OS, neintegruotų aliarmų, duomenų gavybos instrumentų, dėl to, kad tai tik Visual Basic aplikacija, ir tai, kad reikalauja VS, laiko ir darbo krūvio bei nėra projekto apimties dalis, buvo nuspręsta nebetęsti projekto ir naudoti demonstracinius ar mokymosi tikslais.

Grįžtamojo ryšio PID vandens paskirstymo sistemą valdančio fizinio Micrologix 1100 PLC valdiklio emuliacijos (RS Emulate 500) kodas kompiliuojamas su RS Logix 500 Pro procesorių logikos valdymo programa. Galiausiai – nebrangi kaina taip pat svarbus aspektas, bet pasirinkta ekonomiškiausia (ne pigiausia), pramoninės įrenginių klasės sistema, kadangi reikalingas stabilumas, integracija ir patikimumas. Ypač dėl galimybės praplėsti įėjimus / išėjimus, jeigu yra poreikis. Tai įrenginius daro efektyvius ir investicijos grąžą patenkinančius sprendimus, užtikrinant pramoninio tinklo metodiką dėl integruotų bendrojo pramonės protokolo (angl. CIP) komunikaciją palaikančių sistemos jungčių ir elementų.

Vandens kokybės vertinimo sistemai buvo pasirinkta MODBUS TCP/IP protokolą palaikantis keitiklis Liquiline CM422 ir skaitmeninis, optinis oksimetras Oxymax COS61D. Duomenų gavybai, stebėjimui ir valdymui, kaip jau minėta, buvo adaptuota ir lokalizuota, pramoninės klasės, atviro kodo programa *RapidSCADA*.

1.7 Srities ribojimai bei hipotezės

Kaip buvo aptarta, darbe pristatomas mišrus *SCADA* projektas, rengiamas tvenkinių, erškėtų baseinų ir siurblinės objektams, kuriuose planuojama stebėti vandens parametrus ir valdyti vandens srautą. Tai yra pagrindas kitoms interneto protokolo pagrindu šiame tinkle veikiančioms *SCADA* aplikacijoms, jų vertinimui. Yra aprašomos programinės įrangos ir platformos, naudojamos stebėti ir kontroliuoti tinklo procesus, serveriu ir žiniatinkliu pagrįstos, valdymo sistemos.

Sąlyga 1:	Sensorių duomenų ir signalų komandos sukurtos ir valdomos naudojant PLC, Modbus ir RS232/485 protokolų simulatorius ir realų TCP/IP srautą, panaudojant juos tikrame tinkle.
Sąlyga 2:	Vandens kokybės vertinimo sistema bus vykdoma vidaus ir lauko aplinkoje. Grįžtamojo ryšio PID kontrolės PLC I/O ir <i>SCADA/HMI</i> jungiami virtualiu (angl. serial) ryšiu. Sistema veikia realiame serveryje, tinkle ir pasiekama realiu laiku.

Sąlyga 3:	Galinė komunikacija bus užtikrinta bendrojo tinklo protokolu, kuriame veiks skirtingos, specifinių programų ir tinklo komunikacijos technologijos. Belaidžių, sensorinių tinklų topologijos negali veikti didelio ploto teritorijose be ilgo nuotolio, radijo ryšio PtP tinklo.
Sąlyga 4:	Tiesioginis ryšys bus pasiekiamas tarp žymų (angl. tags) ir mazgų, kad būtų galima atlikti monitoringo ir kontrolės užduotis.
Sąlyga 5:	Grižtamojo ryšio vandens PID kontrolės sistemos vertinimo tikslais užduotys vyksta simuliaciniame „angl. adhoc“ serijinio ryšio jutiklių tinkle. Yra vienas realus fizinis mazgas vandens kokybei matuoti, veikiantis Modbus TCP/IP. Vėliau šis izoliuotas tinklas turės būti prijungtas prie interneto ir esamo įmonės tinklo, nustačius fizinių mazgų IP adresus.
Sąlyga 6:	<p>Visas grįžtamojo ryšio vandens PID sistemos kontrolės tinklo srautas ir simulatorių komandos eina per virtualius mazgus, kurie veikia tikrame <i>SCADA</i> serveryje (įdiegtas bendras tinklo protokolas) su grafine vartotojo sąsajos sistema, aptarnaujančia šios sistemos algoritmus. Vandens kokybės matavimo mazgo, MODBUS TCP komandos, eina per realų bendro protokolo tinklą. Jas aptarnauja <i>SCADA</i> serveris su grafine vartotojo sąsaja.</p> <p>Vandens kokybės vertinimo ir grįžtamojo ryšio PID kontrolės <i>SCADA</i> tinklo algoritmas vykdomas centralizuotai, nepaisant, kad objektai yra nutolę ir išskirstyti. PtP radijo ryšio tinklas naudojamas duomenų surinkimui į centrą.</p>

2. LITERATŪROS APŽVALGA

Šiame skyriuje apžvelgiama literatūra ir technologijos, susijusios su šiame darbe kuriamu vandens kokybės vertinimo ir grįžtamojo ryšio PID paskirstymo sistemomis ir 8 skyriuje vertinamais ateities projektais. Papildoma informacija, kuri nėra susijusi su darbe įdiegtomis technologijomis, bet priskirta ateities projektams, kaip šio darbo tikslus įtakojantis faktorius, pateikiama prieduose (Priedėlis A: Pramoninio_tinklo_apžvalga.docx.)

2.1 Pramoninio tinklo apžvalga

Naudodamiesi bendroju pramoniniu protokolu (angl. CIP™), „EtherNet / IP“ suteikia pagrindą visoms gamybos programoms, visiškai atviram, nuo gamintojų nepriklausomam, neutraliam ryšių tinklui, kurį galima integruoti su skirtingomis programomis tarpusavyje. Skirtingai nuo tradicinių, objektinių pramonės tinklų tipų, „EtherNet / IP“ turi aktyviai

infrastruktūrą, kuri naudoja standartinį „Ethernet“ fizinį sluoksnį ir „Ethernet“ bei interneto protokolus (*PRIEDAS A: TCP/IP protokolo stekas.docx*). Šiame skyriuje pateikiamas pagrindas, kad būtų galima suprasti pramoninių tinklų ir jų specialiųjų poreikių taikymą kartu su įvadu į unikalius „Ethernet“ tinklų diegimo aspektus.

Gamyklinėje aplinkoje pramoniniai ryšių tinklai buvo diegiami nuo 1980 m. Iš pradžių jie buvo naudojami, kaip nuotolinio, įvesties / išvesties (I/O) ir valdiklių lygio tinklai. Dabar jie jungia platų pramoninės automatikos prietaisų spektrą – nuo jutiklių ir pavarų iki valdiklių, žmogaus ir mašinos sąsajos (HMI), darbo vietų bei kompiuterių. Šiandien šie tinklai gali palaikyti realaus laiko valdymą ir gamybinės aplinkos įrenginių informacines sistemas. Pramoninių tinklų charakteristikos skiriasi nuo komercinių ar gyvenamųjų tinklų dviem aspektais:

- Jie suteikia papildomų, realaus laiko našumo pajėgumų, reikalingų daugumai gamybinių programų;
- Jie atitinka išlikimo ir stabilumo reikalavimus įvairiose pramoninėse aplinkose, kur paprastai būdingi didesni elektrinio triukšmo, smūgio, vibracijos, aplinkos temperatūros, drėgmės ir t.t. lygiai.

Išsami pramoninio tinklo kūrimo ir projektavimo teorinė analizė, pateikiama priede (A Priedėlis: Pramoninio-tinklo-apžvalga). Praktinis, Cisco packet tracer tinklo dizainas, kodo aprašymai yra realizuoti prieduose (A Priedėlis: Packet-Tracer-tinklo-topologija; A Priedėlis A: Ethernet/IP-tinklo-kūrimas). Ši tinklo topologija yra ateities projektų tiksluose, numatytam esamo tinklo atnaujinimui, kuris leis optimizuoti šiame darbe sukurtą SCADA sprendimų integraciją ir plėtimą.

Kadangi, šio darbo ateities projektų tikslai ir objekto fizinės savybės reikalauja naudoti skirtingas tinklų topologijas, siekiant kurti papildomas SCADA programas, kad analizuoti fizinius objektų parametrus, yra numatyta galimybė, sukurtame, bendro protokolo tinkle, naudoti papildomas, atitinkamas bevielių sensorinių tinklų platformas, kur jos labiausias tinkamos ir kur nėra energijos.

Tai nėra šio darbo pagrindinė tema, tad, platesnę informaciją apie juos ir projektavimo tikslus galite rasti prieduose (*Priedėlis A: Pramoninių-BST-tinklai-ir-standartizavimas*).

2.2 Modbus ir RS232/485

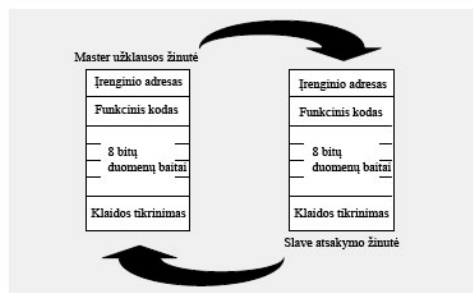
Šis kertinis šio darbo protokolas yra vienas universaliausių ir efektyviausių duomenų apdorojimo protokolų pramonėje. Modbus yra atviras, pirmasis priimtinas pramoninių, kompiuterinių tinklų protokolų šeimos narys, naudojamas realaus laiko paskirstytai kontrolei (angl. fieldbus). Tai protokolas, sukurtas „Modicon PLC“ gamintojo (dabar „Schneider Electric“). Kuomet jis buvo išleistas 1979 m., tai buvo nuosekliojo ryšių protokolas, skirtas naudoti su programuojamos logikos valdikliais arba PLC. Tikslas – turėti tvirtą ir tvarkingą duomenų

keitimosi tarp pramoninių PLC [„Siemens Energy & Automation“ 2012]. Šis atvirojo standarto ryšio protokolas, pagrįstas „master / slave“ architektūra, kuri nustato duomenų perdavimo tarp mazgų struktūrą. Nebuvo jokių fizinio sluoksnio apirbojimų, kuriame buvo įdiegtas Modbus.

Pradžioje buvo planuota, kad jis turi būti įdiegtas per RS-232 linijas, tačiau vėliau jis perėjo prie RS-485, kartu įprasmindamas visus pranašumus, kuriuos jis turi. Su internetu atsiradimu pasirodė nauji standarto plėtiniai, kurie plačiai naudojami – Modbus TCP/IP (Modbus I 2006). Šiuo metu „Modbus“ gali naudoti įvairūs įrenginiai, įskaitant PLC ir valdiklius, pvz., jutiklius, duomenų rinkimo įrangą ar pavaros mechanizmus. Pagrindinės funkcijos, kurios paskatino „Modbus“ tapti labiausiai išplėstu ir diegiamu automatikos protokolu, yra jo lankstumas, paprasta struktūra, paprastumas ir patikimumas („Siemens Energy & Automation“ 2012).

Dabar yra trys pagrindinės „Modbus“ versijos – „Modbus RTU“, „Modbus RS-485“, „Modbus ASCII“ ir Modbus TCP/IP. Komunikacijos pagrindas yra vienodas visiems trimis tipams. Skiriasi tik jungimo sąsajos ypatymai. „Modbus RTU“ skirtas bendrauti per serijinį ryšį naudojant dvejetainį duomenų pateikimą. „Modbus ASCII“ yra skirtas sudaryti ryšiui per serijinį protokolą, naudojant ASCII simbolius. „Modbus ASCII“ versija praktiškai nėra naudojama arba naudojama pavieniais atvejais. „Modbus TCP“ naudoja TCP / IP protokolą duomenų perdavimui ir ryšiui. „Modbus RTU“ ir ASCII pranešimo pradžioje turi „slave ID“ (angl.), o pabaigoje – kontrolinę sumą (angl. Checksum). „Modbus TCP“ kiekvieno pranešimo pradžioje reikalinga „Modbus“ programos antraštė (angl. MBAP header). „Modbus“ pranešimo duomenų dalis, vadinama protokolo duomenų vienetu (angl. PDU) ir yra vienoda visose trijose „Modbus“ versijose. PDU susideda iš „Modbus“ funkcijos kodo, o tik tada iš duomenų. Visas „Modbus“ pranešimas, kuriame yra sujungta antraštė (angl. Header) ir PDU, vadinamas aplikacijos duomenų vienetu (angl. Application Data Unit, ADU). „Modbus RTU“ ir „Modbus TCP“ ADU struktūros palyginimas matomas 2.2-1 paveiksle. „Modbus TCP“, kaip žinoma, veikia 7 OSI modelio sluoksnyje.

Pagrindinio / pavaldaus (Master / Slave) perdavimo metodas reiškia, kad tinkle jis yra pagrindinis įrenginys (paprastai vienas tinkle), kuris visada inicijuoja ryšį. Pavaldūs įrenginiai (vienas arba keli) reaguoja į pagrindinį pranešimą ir atsako. Veiksmas, kurį atlieka pavaldus įrenginys, yra vykdytinų operacijų atlikimas arba atsakymas į pagrindinio įrenginio užklausas. Nepriklausomai nuo perdavimo režimo (nuoseklus, TCP/IP), komunikacijos ciklas ir struktūra yra vienodi. 2.2-1 paveiksle parodytas „Modbus“ duomenų perdavimo ciklas, kuriame matomi svarbiausi elementai ir pranešimai, kuriais keičiamasi.

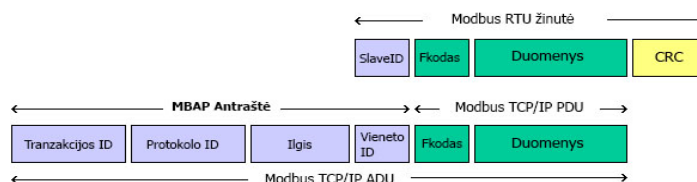


2.2-1 paveikslas. „Modbus“ komunikacijos procesas. Nuoroda: Modicon Modbus Protokolo Gidas.

Užklausa: „Master“ pradinis pranešimas, apima valdomo (Slave) įrenginio adresą ir funkcinį kodą, kuris nurodo tikslinį, valdomąjį įrenginį bei kokį veiksmą reikia atlikti. Duomenų baitai, kurie turi bet kokius duomenis, reikalingus valdomo įrenginio veiksmui atlikti (pvz., parametro / kintamojo reikšmė arba skaitomi parametrai bei kintamieji). Galiausiai klaidų tikrinimo laukas yra priemonė, leidžianti patvirtinti pranešimų turinio vientisumą.

Atsakymas: pavaldaus įrenginio „Slave“ atsakas apima adreso lauko ir funkcinio kodo užklauso duplikaciją. Jei yra klaida, funkcinis kodas yra pakeičiamas, kad būtų rodomas klaidos atsakymas. Duomenų baituose yra, bet kokie duomenys, kurių užklausoje reikalavo pagrindinis įrenginys. Galiausiai klaidos patikrinimo laukas leidžia pagrindiniam įrenginiui patvirtinti atsakymo pagrįstumą ir galiojimą.

Proceso vizualizavimas „Modbus TCP“ ir RTU, pateiktas 2.2-2 paveiksle, įskaitant aplikacijos duomenų vienetą (ADU).



2.2-2 paveikslas. ADU: „Modbus RTU“ ADU and „Modbus TCP“ ADU.

Funkcinis kodas yra nurodytų kodų rinkinys, kurie nustatyti „Modbus“ specifikacijoje. Duomenų saugojimas „Modbus“ sistemoje atliekamas 4 skirtinguose registruose, „Slave“ įrenginyje.

Kalbant apie saugumą, „Modbus TCP“ protokolas jau turi apibrėžtas saugumo funkcijas. Naujasis protokolas užtikrina tvirtą apsaugą (angl. Transport Layer Security), suderinamą su tradiciniu „Modbus“ protokolu. Tai išsprendžia daug buvusių problemų, pavyzdžiui, protokolo komunikacijoje žinoma duomenų struktūros perdavimo apsauga. Be to, naudodamiesi „Modbus TCP“, kiekvienas, kuris gauna prieigą prie tinklo, galėdavo be autorizacijos prisijungti prie įrenginio ir siųsti komandas. Šis scenarijus galioja „Modbus RTU“ ir „Modbus ASCII“.

Svarbus „Modbus“ protokolo parametras yra kiekvieno įrenginio (angl. SLAVE) identifikavimas tinkle. Šis parametras tarnauja pagrindiniam įrenginiui „Master“, nurodant kiekvieną konkretų, pavaldų prietaisą. „Modbus“ nuoseklaus jungimo linijose vertė svyruoja nuo 1 iki 247. Taigi įprastame „Modbus“ nuosekliame „Serial“ tinkle gali būti iki 247 papildomų įrenginių (RS-485 magistralė). 0 reikšmė yra skirta transliavimui visiems tinkle esantiems įrenginiams.

2.2-1 lentelė. „Modbus“ duomenų suvestinė.

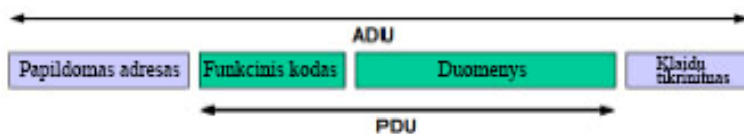
	Dydis	Funkcijos	„Modbus“ adresas	Programos naudojamas adresas
Ritės (Coil)	1 bitas	Rašyti/skaityti	1-9999	0-9998
Įėjimai (Input)	1 bitas	Rašyti	10001- 19999	0-9998
Įėjimo registrai (Input registers)	16 bitų	Rašyti	30000- 39999	0-9998
Laikymo registrai (Holding registers)	16 bitų	Rašyti/skaityti	40001- 49999	0-9998

„Modbus“ funkcijos yra vienas iš pagrindinių parametru, įtrauktų į užklausą iš pagrindinio įrenginio ir atsako iš pavaldaus (tai yra ta pati funkcija abiem atvejais). Šios funkcijos identifikuojamos su kodu (kurie yra 1-255 diapazone), o pagrindinis valdytojas pagal jas apibrėžia veiksmą, kurį turi atlikti pavaldus įrenginys. Ne visi įrenginiai palaiko visas funkcijas. Dažniausios yra parodytos 2.2-2 lentelėje.

2.2-2 lentelė. Labiausiai naudotinos „Modbus“ funkcijos.

Funkcinis kodas	Apibūdinimas
03	Skaito laikymo registrus
04	Skaito įėjimo registrus
05	Valdo vieną ritę (coil)

2.2-3 paveiksle iliustruojama bendra „Modbus“ struktūra ir nurodomi blokai, esantys visose protokolo versijose, ir blokai, kuriuos galima keisti arba pašalinti. Protokolo duomenų vienetas (angl. PDU) nepriklauso nuo naudojamų ryšių sluoksnių (nuoseklus, „Ethernet“, Wi-Fi), tačiau aplikacijos duomenų vienetas (angl. ADU) yra pritaikomos struktūros kiekvienam „Modbus“ režimui ar versijai. Programos duomenų vienetas (angl. PDU) yra informacija, kuri turi būti perduodama, t.y., duomenys (paprastai registrai / ritės (coils), kuriuos reikia skaityti ar rašyti) ir funkcinis kodas. ADU yra struktūros dalis, kuri rūpinasi ryšių su įrenginiais ir patikimumu (klaidų tikrinimas). Ši struktūra ir būdas, kaip pasiekiamas adresavimas, skiriasi priklausomai nuo kiekvieno „Modbus“ režimo.

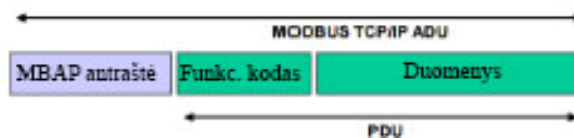


2.2-3 paveikslas. „Modbus RTU“ duomenų kadras. PDU blokas yra universalus visoms versijoms. Nuoroda:

Modbus.org

„Modbus“ per „Ethernet“ / Wi-Fi (TCP / IP). „Modbus“ įdiegimas per „Ethernet“ ar Wi-Fi sąsajas suteikia patobulintą standarto versiją, kuri yra integruojama per TCP / IP protokolą ir sukuria plačiai naudojamą „Modbus TCP / IP“. Tai apima TCP / IP pranašumus ir leidžia naudoti nededikuotus tinklus, kurie gali būti skirtingų jungčių ar protokolų ir naudoti tas pačias sąsajas.

Nagrinėjant duomenų sistemos struktūrą, „Modbus TCP / IP“ ADU skirtumai yra nežymūs, palyginti su nuoseklaus jungimo versijomis. Tai dažniausiai yra adresavimo ir ciklinio pertekliaus patikrinimas, kaip parodyta 2.2-4 paveiksle. „Modbus TCP / IP“ klaidų tikrinimo procedūra yra 32 bitų CRC (Modbus 2006).



2.2-4 paveikslas. „Modbus TCP/IP“ duomenų kadras. Nuoroda: Modbus.org

Svarbi „Modbus“ dalis yra ADU sukūrimas kiekvienam „Modbus TCP“ pranešimui. Svarbus yra faktas, jog „Modbus“ yra limituotas pasirenkamų duomenų tipams. Vijos „Coil“ ir diskretiški įvesties registrai yra apriboti įjungimo / išjungimo reikšmėmis. „Holding“ ir „Input“ registrai yra trumpojo tipo, kuris gali būti, 16 bitų sveikasis skaičius nuo -32768 iki 32767.

Dėl šios ypatybės „Modbus“ nepalaiko slankiojančio kablelio „Float“ skaičių. Tačiau, jeigu nustatysime standartą, pavyzdžiui, jei išsiųstas trijų skaitmenų skaičius, tai dešimtainis bus paskutinis numeris. Tai galima iliustruoti. Jeigu gaunama vertė yra 123, tada plaukiojančio kablelio „Float“ skaičius būtų 12,3.

Kalbant apie įdiegimą ar programų kūrimą, vienintelis parametras, kurį reikia apibrėžti „Modbus TCP / IP“ tinklo įrenginiuose, yra įrenginio IP. Komunikacijos prievadas yra standartizuotas iki 502 numerio [Modbus I 2006]. Naujojo saugos protokolo šliužas yra 802.

Papildomų protokolų apžvalga, kaip OPC, CoAP, MQTT, XMPP, pateikta priede (*PRIEDAS A: Daiktų interneto protokolai*).

2.3 Darbo IoT protokolas

Šiame darbe aprašyta viena iš užduočių susiformulavo iš objekto, kuriame yra poreikis prijungti ir valdyti vandens kokybės matavimo duomenis iš HMI „Endress and Hauser Liquiline CM442“, veikiančią „Modbus TCP“, per atnaujinamą LAN tinklą, su Windows Server 2016 esančia

adaptuota RAPID *SCADA* serverio aplikacija, kurią aptarnauja IIS10 web ir MS SQL Server 2017 DB serveriai.

Grįžtamojo ryšio PID Vandens paskirstymo sistemos kontrolės projekto pristatymui yra naudojamas Rockwell Automation ([Micrologix 1100 PLC](#)) programuojamos logikos valdiklio emuliatorius (RS Emulate 500), veikiantis ABKE (RS232/485) protokolo pagrindu, serijinio ryšio (angl. serial) tinkle, kuris užtikrins automatinį PID vandens paskirstymo sistemos darbą ir susijusių įrenginių valdymą per minėtą PtP tinklą ir duomenų perdavimą į *SCADA* serverio aplikaciją iš nutolusios vandens paskirstymo stoties, kurią aptarnauja IIS10 web ir MS SQL Server 2017 DB serverius.

3. VALDYMO SISTEMOS *SCADA* KŪRIMAS

3.1 Sistemos specifikacijos

Šiame skyriuje pateikiama instaliacija, kuri yra kaip gairė parengti šiam tyrimui ir aprašomos nustatytos specifikacijos, kurias turėtų įprasmingi sukurtos *SCADA* sistemos.

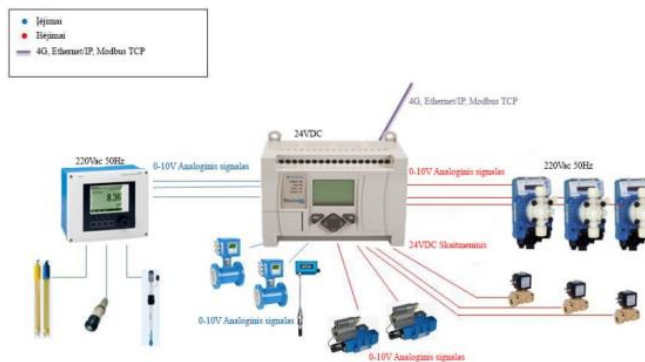


3.1-1 paveikslas. Esama vandens paskirstymo sistema.

Šiuo metu siurblinės vandens srautas ir siurblys yra valdomas nelogiškai, su VFD, kuris kontroliuoja tik srovę ir apsukas, rankiniu būdu paleisdamas arba išjungdamas siurblių, o *SCADA*

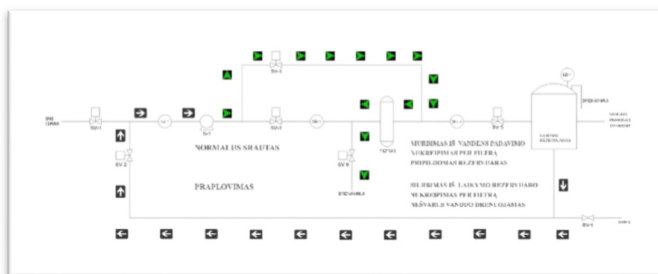
sistemos nėra. Nėra ir programuotos logikos valdyti PLC išėjimų, kurie savo ruožtu automatiškai kontroliuotų sistemos darbą. Įdiegta tik apsaugos ir elektros dingimo detektoriaus komunikacija, kuri siunčiama SMS žinute. Į aliarmą nėra įtraukta informacija apie siurblio darbą ir sustojimą, slėgį, vandens lygį. Nėra informacijos apie kontrolinių kintamųjų lygį ir jų tendencijas, perduodamus laiko intervale. Be to, nesaugomi istoriniai sistemos duomenys.

3.1-2 paveikslas iliustruoja modernią ir automatizuotą valdymo sistemą.



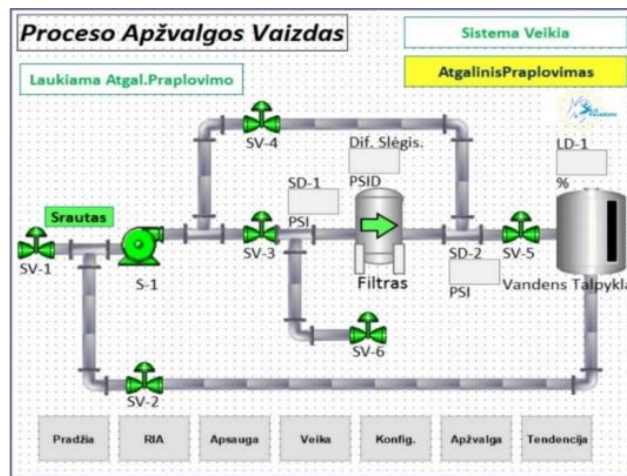
3.1-3 paveikslas. Moderni PLC, HMI proceso valdymo sistema.

Yra poreikis tobulinti šią sistemą. Naujasis dizainas turėtų apimti naują automatizavimo logiką, pagerinti sistemos turimos informacijos valdymą ir integruoti naujausias technologijas.



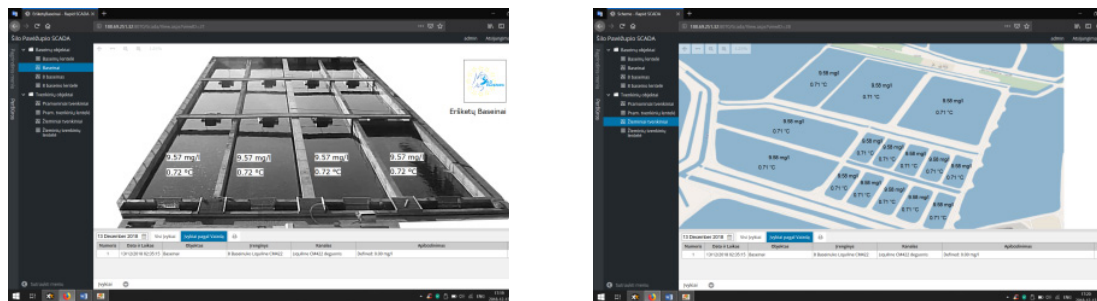
3.1-4 paveikslas. Rekomenduojama PID vandens paskirstymo sistemos schema.

- SV1/ SV5 – solenoidiniai vožtuvai
- SJ-1 – srauto jungiklis (transmitteris)
- S1 – vandens siurblys
- SD1/SD2 – slėgio davikliai
- LD1 – lygio daviklis
- RV1 – rutulinis vožtuvas (rankinis)



3.1-5 paveikslas. Rekomenduojama PID vandens paskirstymo sistemos (3.1.4 pav.) proceso grafinė SCADA reprezentacija.

Toliau 3.1-6 paveiksle pateikiama rekomenduojama vandens kokybės vertinimo SCADA sistemos grafinė reprezentacija.



3.1-6 paveikslas. Rekomenduojama vandens kokybės stebėjimo SCADA sistemos GUI. Pateikiamos SCADA sistemos specifikacijos.

Vandens kokybės vertinimo sistemos galimybės ir konfigūracija:

- Automatizuota sistema, kuri turi centralizuotą konfigūraciją:
 - Keitiklis gauna ištirpusio deguonies, °C, reikšmes (O₂, °C).
 - Keitiklis įvertina vandens parametrų vertes, palygina su nustatytais reikšmėmis ir įjungia / išjungia aeratorius.
- Ištirpusio deguonies ribojimų parametrai yra suvedami per Liquiline CM422 keitiklio sąsają.
 - Reikšmės yra atnaujinamos ir agreguojamos SCADA sistemos serveryje, naudojant MODBUS TCP protokolą ir matomos operatoriui. Sistema turi DB, ataskaitų ir analizės priemones.

Patobulintos PID vandens paskirstymo sistemos galimybės ir konfigūracija:

- Automatizuota sistema turi centralizuotą 2 režimų konfigūraciją, valdomą su PLC:
 - Vandens srauto filtravimas ir normalus vandens srautas.

- Vanduo pumpuojamas siurblio S-1 iš vandens padavimo per solenoidinį vožtuvą SV-1, srauto jungiklį SJ-1, kuris apsaugos siurblį (dingus srautui, daviklis išjungia siurblį) ir suformuos aliarmą, toliau SV-3, SD1 filtrą, SD2, SV5 į laikymo rezervuarą. Po to švarus vanduo yra toliau pumpuojamas į tvenkinius.

- 2 slėgio davikliai naudojami tam, kad būtų žinomas slėgis prieš vandens patekimą į filtrą ir išeinant, jog, esant apnašų sancaupai, matytume slėgio diferencialą. Tai leis žinoti, kiek užterštas filtras. Esant užteršimui, bus pajungiamas antras valdymo režimas, kada atgalinis srautas automatiškai išvalys nuosėdas į drenavimo sekciją.

- Sistema turi DB informacijos agregavimo ataskaitų bei analizės priemones.

Patobulintos vandens paskirstymo PID ir kokybės vertinimo sistemų grafinės

virtotojo sąsajos:

- GVS (angl. GUI) yra programinis HMI sprendimas nutolusiame serveryje su interneto ryšiu.
- Visi kintamieji ir keitiklių būsenos matomos ŽMS (angl. HMI).
- Kintamųjų reikšmės (min, max) yra nustatomos ŽMS (HMI) rankiniu būdu.

Duomenų gavimo įranga ir keitikliai:

- Įėjimai:
 - Vandens kokybės vertinimo sistemos, ištirpusio deguonies ir temperatūros reikšmės yra kaupiamos Liquiline keitiklio CM422 (Priedas A: Liquiline-CM422-keitiklio-parametrai).
 - Vandens paskirstymo sistemos HMI žymos yra valdomos Rockwell Micrologix 1100 programuojamo valdiklio, įėjimų / išėjimų adresų logikos grandine.
 - Vandens talpyklos paėmimo ir išleidimo matuokliai. Analoginis, hidrostatinis vandens lygio siūstuvai Siemens SITRANS P MPS (4-20mA).
 - Skaitmeninis ištirpusio deguonies matuoklis Endress and Hauser Oxymax COS61D.
- Išėjimai:
 - Skaitmeninis slėgio siūstuvai SITRANS P410.
 - Vandens paėmimo ir išmetimo analoginiai vožtuvai, magnetinės sklendės, rutuliniai vožtuvai ir keitikliai:

<https://w3.usa.siemens.com/buildingtechnologies/us/en/building-automation-and-energy-management/valves/pages/valves.aspx>

- Rėlinis aeratorių valdymas. Skaitmeninio, ištirpusio deguonies matuoklio Endress and Hauser Oxymax COS61D reikšmė, palyginama su Liquiline CM422 nustatyta rėlės įjungimo / išjungimo reikšme.

Kintamųjų kontrolė:

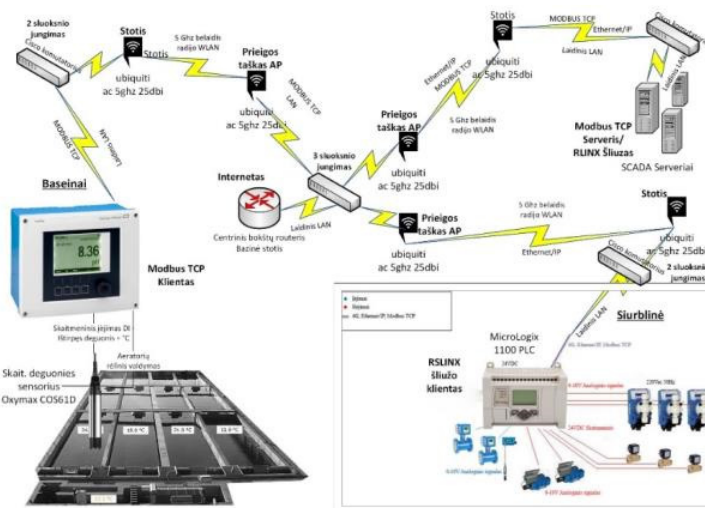
Kiekvieno kintamojo (temperatūros, deguonies, lygio, slėgio) valdymo algoritmas vykdomas pagal vienodą šabloną. Kintamieji turi maksimalią ir minimalią ribas, o jo vertė turi būti pateikta šiame diapazone.

Ispėjimai / Aliarmai:

Sistemos turi būti atnaujintos šiais aspektais:

- pateikti daugiau informacijos apie gedimus;
- naudotis šiuolaikiškesniu bendravimu, pvz., internetu, el. paštu vietoje SMS.

3.1-7 paveiksle parodyta tikslinės SCADA sistemos tinklo topologija



3.1-7 paveikslas. Tikslinės SCADA sistemos tinklo struktūra

Šiame skyriuje praktiškai vertinamas vandens kokybės vertinimo ir grįžtamojo ryšio PID vandens paskirstymo SCADA sistemų programų kūrimas ir komunikacijos protokolų apžvalga.

3.2 Tinklo topologija

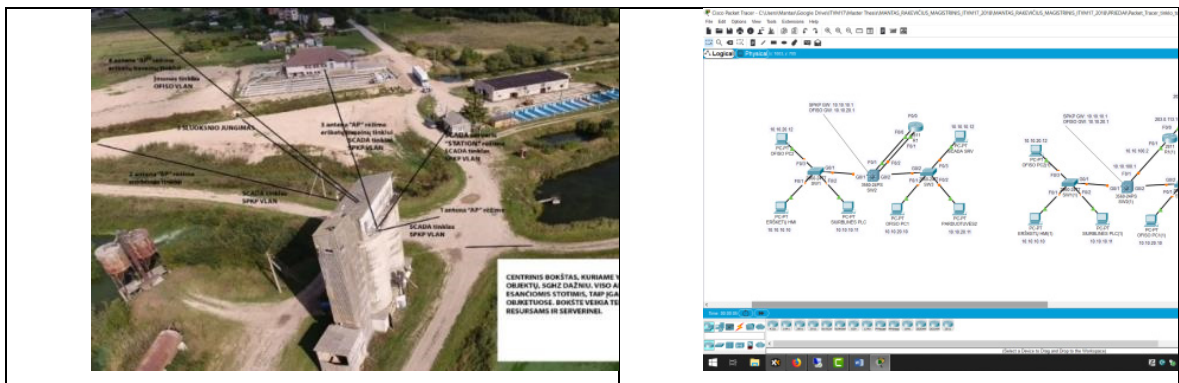
Norint optimizuoti kuriamų vandens kokybės vertinimo ir grįžtamojo ryšio PID vandens paskirstymo SCADA sistemų integraciją didelėse teritorijose, bus reikalingas esamo, neperjungiamo, įmonės tinklo patobulinimas ir pertvarkymas. Dabar, tinkle yra du maršrutizatoriai. 1 potinklyje veikia dienos ir IR spindulių elektro optinės kameros ir multimedijos

(bevielis+laidinis) sensorinis tinklas. 2 potinklyje yra įmonės tinklas interneto resursams patenkinti. Tinklas yra 2 lygio, nevaldomo perjungimo. Nėra VLAN, trečio sluoksnio, valdomo perjungimo ir maršrutizavimo tarp potinklų (angl. InterVlan) bei srauto valdymo, ko reikalauja pramoninio lygio tinklo architektūra.

Tikslinio objekto infrastruktūra padiktavo nestandartines sąlygas, kuriomis remiantis reikalingas integruotas, hibridinių, belaidžių ir laidinių, pramoninių tinklų kūrimo technologijų sprendimas, įgalinantis realizuoti, kuriamų SCADA sistemų duomenų apdorojimą didelėse teritorijose ir segmentuotoje aplinkoje.

Egzistuoja skirtingi tiksliniai stebėjimo taškai, kurie yra nutolę nuo centrinio bokšto įvairiais atstumais ir segmentinėse lokacijose (bendras objekto plotas 400 ha), didesniais, negu galima būtų naudoti vien tik laidinius arba bevielus sensorinius sprendimus.

Įprasminant šio darbo duomenų perdavimo idėją, pagrindinis vaidmuo tenka ilgų atstumų, bevielės technologijos, „Taškas-Taškas“ (angl. PtP) radijo ryšio užtikrinimui, kuris jau veikia, bet turi būti tobulinamas. Naudojamos Ubiquity PBE-5AC-Gen2, 5Ghz dažnio juostos, 25dBi, AC standarto antenos, kurios yra TCP/IP ryšio pagrindas, sujungiantis visų objekto grandis, įskaitant jungiklius į bendrą branduolį iš nutolusių objektų. Principinė topologija parodyta 3.1-8 paveiksle.



3.1.8 pav.: UAB „Šilo Pavėžupis“ tinklo infrastruktūros principas ir rekomenduojama topologija.

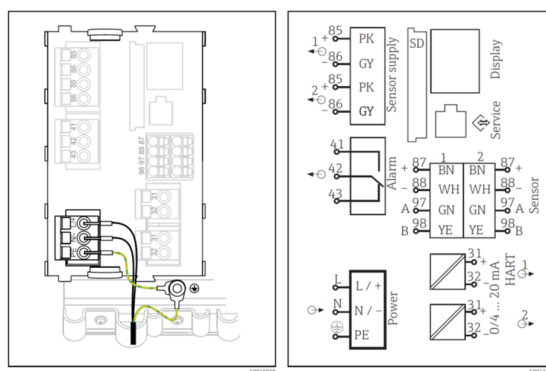
Be to, norint užtikrinti laikui jautrių duomenų vartotojo datagramos ir interneto protokolo (UDP/IP) paketų stabilumą proceso vizualizavimui, ateityje, bus siekiama atnaujinti tinklo topologiją, sukurtiems izoliuotiems (n+1) įrenginių lygio tinklams, kaip PLC (PID vandens paskirstymo sistemos PLC kontrolei per Ethernet/IP+RS232/485) ir HMI (Modbus TCP/IP vandens kokybės vertinimo sistemai), ryšiui su SCADA serveriais, kurie turi būti integruojami į neizoliuotą tinklą, aktyvią infrastruktūrą ir prijungti prie bendro įmonės ir gamybos objektų tinklo (Priedėlis A: Pramoninio-tinklo-apžvalga). Įprasminant bendrojo pramonės protokolo (angl. CIP) metodiką, 2 ir 3 lygio perjungimas su jungikliais yra būtinas. Detaliai, virtualaus tinklo

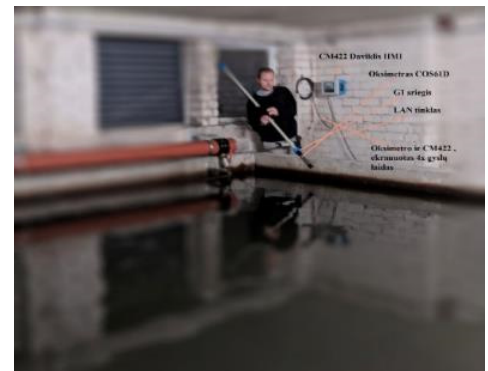
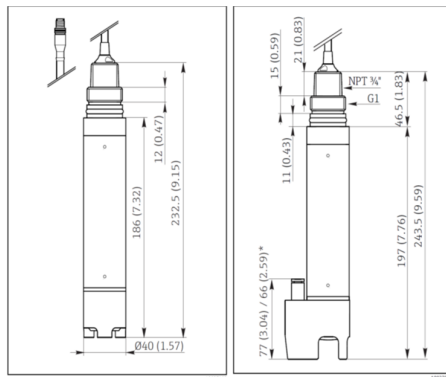
simuliacijos kūrimo eigą ir programinį kodą, rasite priede (Priedėlis A: Ethernet/IP-tinklo-kūrimas).

3.3 Vandens kokybės vertinimo sistema

Šiame skyriuje bus aprašomas Modbus TCP įdiegimas, SCADA programos (serveris) konfigūravimas ir Liquiline CM422 keitiklio jungimas tinkle. Liquiline CM422 (klientas) teikia duomenis SCADA sistemai per Modbus TCP/ IP protokolą. Pirmą, tiek serveris, buvo išbandytas su Modbus imitacijos įrankiu „MODBUS SIMULATOR“, kuris įdiegtas į Windows 2016 serveryje su įgalinta IIS serverio paslauga. Kitas žingsnis buvo abiejų sistemų sujungimas į vieną – serveris-klientas – architektūrą. SCADA serveris, kuris yra integruotame tinkle ir Liquiline CM422 vandens parametrų keitiklį (izoliuotas laidinis tinklas), sujungia bevielis 5Ghz, PtP radijo ryšio tinklas (Priedėlis A: Pramoninio-tinklo-apžvalga).

Liquiline CM422 jungimas į tinklą. Izoliuotam, laidiniam tinklui, skirtam stebėti erškėtukų baseino vandens ištirpusio deguonies ir temperatūros pokyčius, tinkle pajungiamo Modbus TCP/IP protokolu veikiančią keitiklį. Maitinimas jungiamas pagal schemą:





3.3-2 paveikslas. Optinio oksimetro COS61D tvirtinimas, maitinimo ir tinklo sujungimas su CM442

keitikliu.

CM422 daviklio LAN modulis pajungiamas į tinklą ir nustatomas adresas 192.168.1.170 (502 prievadas). „/Setup/Outputs/Modbus“, nustatome analoginius jėjimus ir priskiriame oksimetro signalą, kaip Modbus duomenų šaltinio kanalą.

Norint nustatyti ištirpusio deguonies signalo ir temperatūros signalo reikšmę ir Modbus adresus bei registrus, naudojame „CAS Modbus Scan“ programą. Surandame, kad reikšmės randasi 40001 ir 40006 (žr. 2.2 sk. „Modbus ir RS232/485“) laikymo „angl. Holding“ registruose bei šešioliktainio „angl. hex“ ir slankiojio kablelio „angl. float“, registruoto „angl. signed“ ir neregistruoto „angl unsigned“ formato, 1-6 adresų intervale, kurių konversiją iš 16-tainės į 10-nę aptarsime vėliau, kuriant SCADA serverio jėjimų kanalus.

Address	Name	Data Type	Value
40001.2	Temperature	Float	17.500000
40002.0	Oxygen	Float	0.000000
40003.0	Oxygen	Float	0.000000
40004.0	Oxygen	Float	0.000000
40005.6	Temperature	Float	17.500000
40006.0	Oxygen	Float	0.000000
40007.0	Oxygen	Float	0.000000
40008.0	Oxygen	Float	0.000000
40009.0	Oxygen	Float	0.000000
40010.0	Oxygen	Float	0.000000
40011.0	Oxygen	Float	0.000000
40012.0	Oxygen	Float	0.000000
40013.0	Oxygen	Float	0.000000
40014.0	Oxygen	Float	0.000000
40015.0	Oxygen	Float	0.000000
40016.0	Oxygen	Float	0.000000
40017.0	Oxygen	Float	0.000000
40018.0	Oxygen	Float	0.000000
40019.0	Oxygen	Float	0.000000
40020.0	Oxygen	Float	0.000000
40021.0	Oxygen	Float	0.000000
40022.0	Oxygen	Float	0.000000
40023.0	Oxygen	Float	0.000000
40024.0	Oxygen	Float	0.000000
40025.0	Oxygen	Float	0.000000
40026.0	Oxygen	Float	0.000000
40027.0	Oxygen	Float	0.000000
40028.0	Oxygen	Float	0.000000
40029.0	Oxygen	Float	0.000000
40030.0	Oxygen	Float	0.000000
40031.0	Oxygen	Float	0.000000
40032.0	Oxygen	Float	0.000000
40033.0	Oxygen	Float	0.000000
40034.0	Oxygen	Float	0.000000
40035.0	Oxygen	Float	0.000000
40036.0	Oxygen	Float	0.000000
40037.0	Oxygen	Float	0.000000
40038.0	Oxygen	Float	0.000000
40039.0	Oxygen	Float	0.000000
40040.0	Oxygen	Float	0.000000

3.3-3 paveikslas. Oksimetro deguonies lygis ir temperatūra nuskaitoma iš Modbus „Holding“ registų, adresu 40001/2 ir 40005/6.

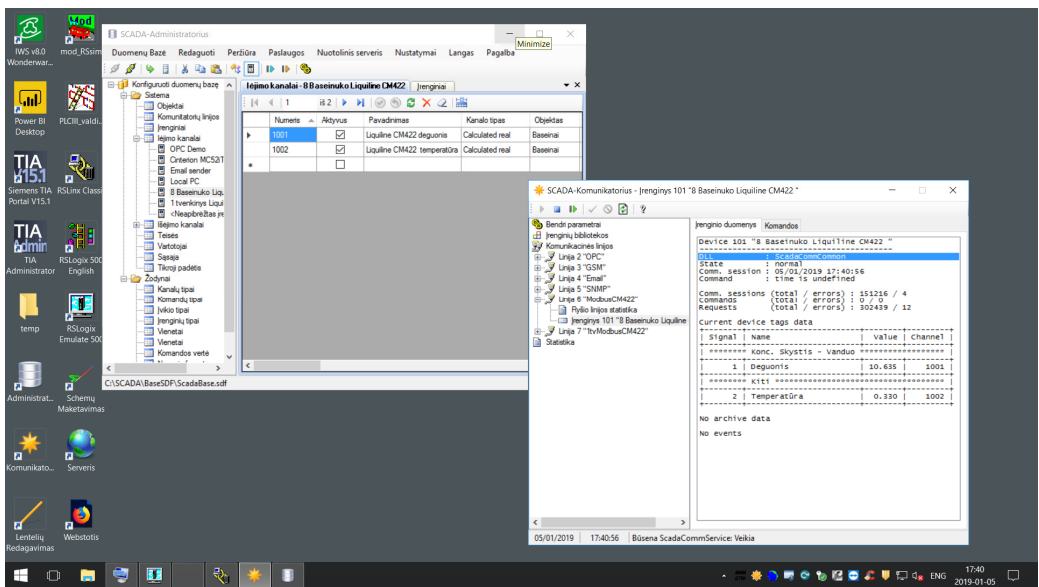
SCADA sistemos paruošimas. Adaptuotoje UAB „Šilo Pavėžupis“ SCADA sistemoje, kurią sudaro administracijos, komunikacijos, vaizdų kūrimo, serverio, lentelių ir web moduliai, buvo aprašyta C#, komunikacijos biblioteka (Priedėlis A: KpModbus-ryšio-Logika-biblioteka-cs), skirta užtikrinti komunikaciją tarp CM422 daviklio ir SCADA serverio, siekiant rinkti vandens kokybės vertinimo sistemos duomenis Modbus protokolu.

Remiantis 2.2 skyriuje aprašytu Modbus TCP/IP veikimo principu, komunikatoriaus kodas suskirstytas nuskaityti ADU užklaustos-atsakymo (angl. application data unit), kurio metu nustatoma (angl. MBAP) antraštė, t.y., tranzakcijos id, protokolo ID, ilgis, vieneto ID, PDU (angl. program data unit), ir apdorojamas funkcinis kodas bei duomenys (PRIEDAS B: Modbus TCP/IP testas).

Toliau konfigūruojame SCADA serverio komunikacijos parametrus tokia tvarka.

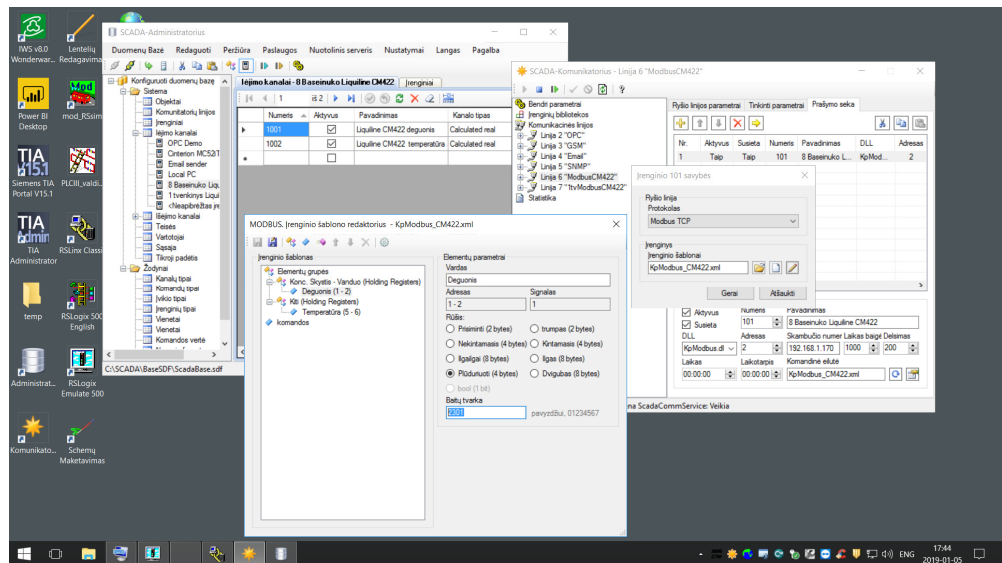
1. Administratoriaus modulis:

- a. Suvedame objektus: Baseinai, pramoniniai tvenkiniai, žieminiai tvenkiniai
- b. Aprašome komunikacijos linijas: Modbus TCP/IP 8 baseinuko.
- c. Aprašome įrenginius: 8 Baseinuko Liquiline CM422
 - i. Įrenginio tipas: Modbus
 - ii. IP adresas: 192.168.1.170
 - iii. Komunikacijos linija: ModbusCM422
- d. Įėjimo ir išėjimo kanalai: sukuriami 1001 ir 1002 pagrindo kanalai.
 - i. Kanalams priskiriamas objektas: baseinai,
 - ii. Kanalams priskiriamas įrenginys: 8 Baseinuko Liquiline CM422



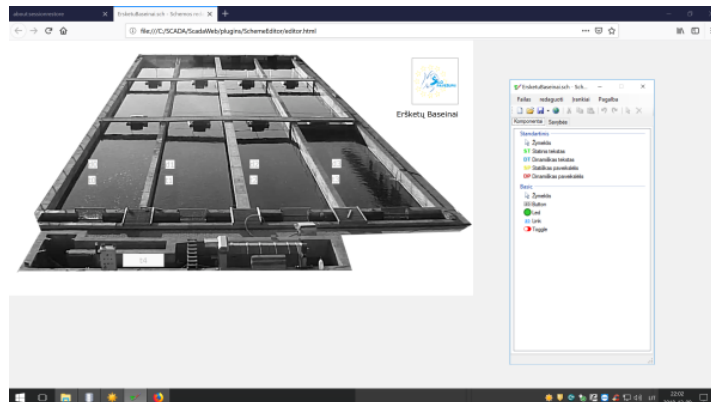
2. Komunikatoriaus modulis:

- Komunikacinės linijos: pridėdame ModbusCM422 liniją iš Administratoriaus.
- Komunikacijos kanalas: nustatomas TCP Klientas su prievadu 502.
- Modbus šablonas: sukuriame XML šabloną modbus kanalams – nuo 1 iki 6, kuriems priskiriama 2301 baitų tvarka (Priedas A: Modbus-duomenų-baitų-seka), pirminei modbus duomenų konversijai į dešimtainę (pagal įrenginio gamintoją). Pasirinkta 4 baitų, slankiojančio kabelio opcija (1 registras 2 baitai), kuri sujungdama du kanalus (1+2; 5+6), išveda 10-ainę reikšmę (žr. 2.2 sk. „Modbus ir RS232/485“).



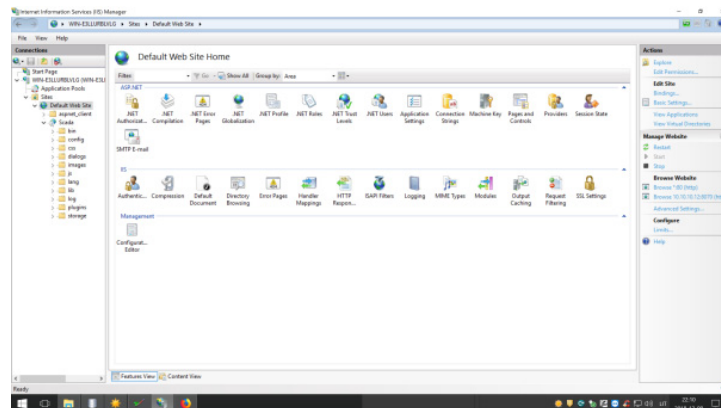
3. Schemos kūrimo modulis:

- a. Operatoriaus duomenų vizualizavimui naudojantis dinaminio teksto funkcija sukuriamas vaizdas ir iškeliamos etiketės (žymos), atitinkančios objektą. Kiekvienai etiketei yra priskiriamas kanalas atvaizduoti reikšmei.



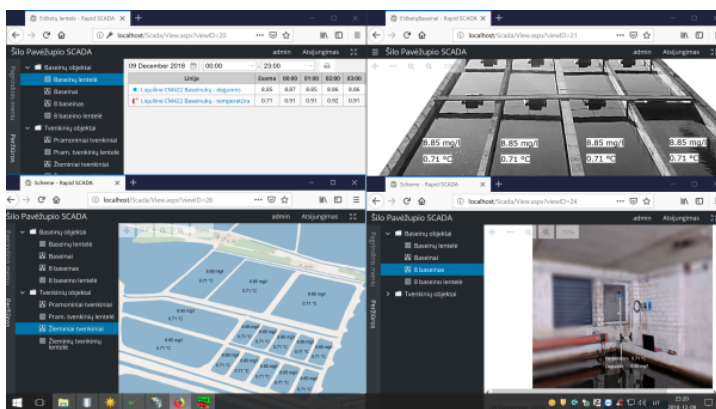
4. Web modulis:

- a. Web modulis veikia Windows SERVER 2016 serveryje, su aktyvuota IIS funkcija ir papildomai nustatytu (angl. Binding) adresu 192.168.1.193:8070. Taip pat šiam adresui yra atidarytas prievadas TELIA WAN maršrutizatoriuje, jog būtų galima prieiga per išorinį prisijungimą su statiniu adresu <http://188.69.251.32:8070/>.



5. Operatoriaus valdymo skydas:

- a. Rezultatas: pagrindinis SCADA operatoriaus skydas objektų informacijos valdymui ir stebėjimui.

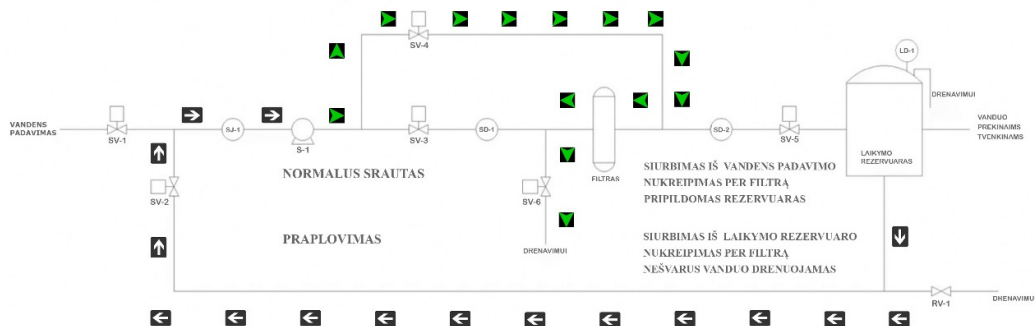


Vandens kokybės vertinimo sistemos, SCADA serveris, kuris palaiko ne tik „Modbus TCP“ komunikacijos linijas, bet ir galimas alternatyvas, 4G, GSM, SNMP, EMAIL, MODBUS RTU, OPC, atsižvelgiant į pramoninio objekto tipą, vystant ir plečiant stebimų objektų skaičių, konfigūruojant papildomus įrankius ir skirtingas komunikacijos linijas, galima priimti kanalus iš įvairių tinklų topologijų, pavyzdžiui, Zigbee, kuri bus naudojama nutolusiuose objektuose su energijos taupumo poreikiu ateityje. Visas srautas, apdorojamas TCP / IP pagrindu veikiančio, izoliuoto „Modbus“ protokolo tinklo. Tai leidžia naudoti įvairias, pramoninio standarto BST versijas, nepaisant skirtingų gamintojų technologijų. Be to, keitiklis CM422 palaiko ir Wireless ir Wire HART, „Modbus RS485“, „EtherNet / IP“, „Profibus“, kurie taip pat veikia TCP / IP pagrindu ir gali be didelio vargo būtų adaptuotas kitiems objektams ir tikslams, nekeičiant pagrindinio, tinklo komunikacijos protokolo.

3.4 PID kontrolės sistema

Šiame skyriuje bus praktiškai aprašytas grįžtamojo ryšio PID vandens paskirstymo sistemos modelio prototipas naudojant Micrologix 1100 PLC valdiklio emuliatorių RS Emulate 500 (Klientas, esantis izoliuotame tinkle). Aptarsime RS Logix 500 PLC logikos valdymo kodo naudojimą, Indusoft Web Studio HMI (Serveris), aplikacijos programavimo aplinką. Pirma, tiek serveris, tiek klientas, buvo išbandyti su Rockwell Automation imitacijos įrankiu „RS Emulate 500“, kuris virtualizuoja MicroLogix 1100 PLC. Jis įdiegtas nuotoliniame Windows 2016 serveryje su IIS10. Abi sistemos sujungiamos į vieną serveris-klientas architektūrą, naudojant RS LINX Gateway, programinę komunikacijos šliužą. Ši, izoliuotą tinklą su SCADA serveriu (integruotas tinklas) sujungia bevielis 5Ghz PtP radijo ryšio tinklas. Verta trumpai aptarti tikslinę sistemą.

Vandens grįžtamojo ryšio PID sistemos schemeje 3.4-1 paveiksle, mūsų tikslas yra automatizuoti ir vizualizuoti vandens paskirstymo sistemos procesą siekiant apsaugoti siurblių nuo sausos eigos ir sumažinti darbuotojų, aptarnavimo kaštus.



3.4-1 paveikslas. Tikslinė proceso ir instrumentavimo diagrama PID.

Šios PID schemos tikslas yra suteikti informacijos apie esamą instrumentacijos objektų būseną. Instrumentavimu mes laikome visus jėjimo įrenginius, kurie analizuoja aplinką ir sistemą kartu komunikuodami su programuojamos logikos valdikliu. Pvz., sistema gali pasakyti, koks yra rezervuaro vandens lygis, srauto daviklio būseną, slėgio daviklio reikšmė arba objekto temperatūros lygis. Apžvelgsime schemos principą.

Žiūrint iš kairės, turime vandens padavimą, nesvarbu, kokios kilmės. SV-1 žymime elektrinį, solenoidinį vožtuvą, kurį PLC galės atidaryti / uždaryti per skaitmeninius išėjimų kanalus. Tokia pati logika galioja ir SV-2 – SV-6 vožtuvams. Turime 1-ą – skaitmeninį srauto jungiklį SJ-1, kuris bus atidarytas, jeigu per jį tekės vanduo. Priešingu atveju, net ir jeigu vamzdyje yra vandens, bet jis neteka, srauto jungiklis užsidarys ir siurblys sustos. S-1 žymėsime 1-ą, sistemos siurblių. SD-1 ir SD-2 yra slėgio davikliai, kurie mums teiks analoginę slėgio reikšmę per PLC analoginio jėjimo kanalus. LD-1 yra rezervuaro vandens lygio daviklis, taip pat siunčiantis analoginę reikšmę į PLC analoginius jėjimo kanalus. RV-1 – tai rankinis rezervuaro drenavimo vožtuvas, kuris nėra kontroliuojamas PLC.

Siūloma vandens paskirstymo sistema turi du režimus. Normaliu režimu vanduo teka laisvai, nuo padavimo, per SV-1, SJ-1, S-1, SV-3, SD-1, filtrą, SD-2, SV-5 į laikymo rezervuarą. SJ-1 srauto jungiklis bus skirtas siurblio apsaugai, nes, jeigu mes įjungiamo variklį, bet vanduo neteka, vadinas, mums baigėsi vanduo. Priežasčių daug, pvz., užblokuotas padavimo kanalas. Naudosime PLC, kad užtikrintume, jog SJ-1 yra uždarytas, kol dirba siurblys. Priešingu atveju, mes inicijuosime aliarmą ir sustabdysime siurblių.

Siekiant kontroliuoti slėgį prieš ir po filtro, pastatėme du slėgio daviklius. Priežastis paprasta. Einant laikui filtras kaupis nešvarumus ir slėgis keisis. Šių slėgių skirtumas, kurį mes sistemoje vadinsime diferenciniu, informuos, kiek užsikimšęs yra filtras. Pasiekus tam tikrą slėgių skirtumą ir pasipriešinimą, sistemą perjungiamo į antrą veikos režimą, kuris nukreips vandenį atgal į filtrą siekiant jį išvalyti. Viskas vyks automatiškai, be žmogaus įsikišimo.

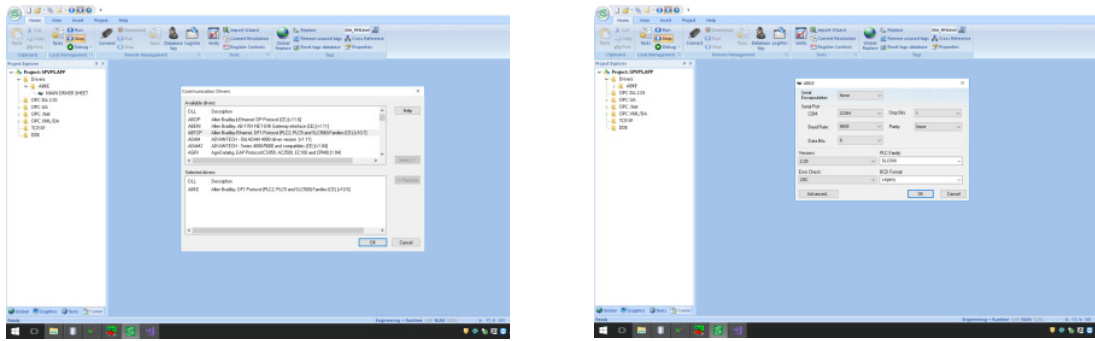
Tęsiant mintį toliau, vanduo patenka į rezervuarą, o iš jo – į tvenkinius ar baseinus. Ryškėja aiškus tikslas, jog padavime esantis vanduo turi būti išvalytas ir užpildytas rezervuare, iš kurio galutiniam objektui būtų pateikimas švarus vanduo.

Jeigu įvyktų taip, jog filtras užsikemša gan stipriai ir slėgių skirtumas viršija nuostatas, tada sistemoje numatome trečią režimą „atgalinį praplovimą“. Tai padarysime pakeisdami mūsų solenoidinių vožtuvų konfigūraciją. Pvz., siurblys pompuoja vandenį, o mes uždarome SV-1 vožtuvą, kad jis negalėtų paimti vandens iš padavimo. Be to, atidarome SV-2 ir, kai siurblys pradės darbą, vandenį paims ne iš padavimo, bet švarų, iš vandens talpyklos arba rezervuaro. Uždarydami SV-3 ir SV-5, neleidžiame vandeniui ištekti atgal, o, atidarę SV-4 ir SV-6, sukuriame kitą maršrutą vandens tėkmei. Tada vanduo kils į viršų per SV-4, patekdamas į filtrą ir išstumdamas ten susikaupusius nešvarumus į drenavimo kanalą. Išsivalius filtrą, sistema aptiks normalų slėgį ir sistema grįš į normalų režimą. Operatoriui nereikės nuolat tikrinti filtro, o vandens padavimas bus garantuotas.

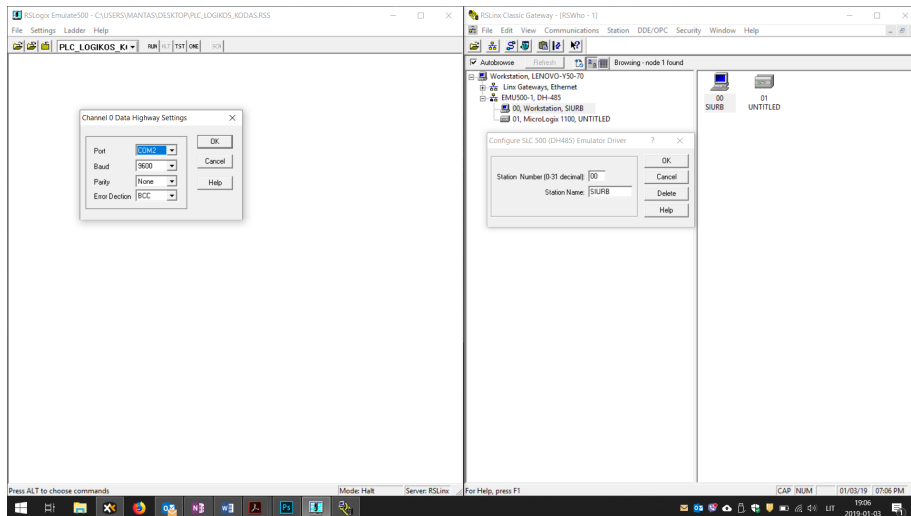
Norint užtikrinti ir sukurti šią vandens paskirstymo sistemą, mums reikalinga sukurti HMI/SCADA prototipą, naudojant Shneider Indusoft Web Studio programavimo aplinką ir PLC panaudoti valdiklio logikos adresus (PRIEDAS A: PLC_logikos_kodas.rss), kurie sistemoje tampa žymėmis (angl. tags), atitinkančiomis fizinių matavimo įrenginių signalus.

Komunikacijos kūrimas. Indusoft Web Studio SCADA programavimo aplinkoje sukuriame naują projektą ir nurodome komunikacijos draiverį. Ateityje, naudojant fizinį MicroLogix 1100 PLC (mūsų tinkle jis bus aprašytas IP 192.168.1.x adresu, SPKP VLAN potinklyje), RSlinx Gateway ir Indusoft Web Studio SCADA kūrimo programavimo aplinkos, komunikacijos draiveris bus perjungiamas į AB_ETHIP.

Kadangi norime virtualiai susijungti su Micrologix 1100 PLC, emulatoriumi „RS Emulate 500“, naudosime ABKE Allen Bradley protokolo draiverį, matomą 3.3.-2 pav. Įdiegtoje, com0com priedadų virtualizacijos programoje, nurodyti sistemoje naudotini COM2 ir COM4 priedadai. COM4 yra pagrindinis PID vandens paskirstymo sistemos, HMI komunikacijos priedadas. Klaidų nustatymo mechanizmas – CRC. RS EMULATE konfigūruojamas, nurodant jungtį „, angl. Channel data highway“ priedadą, kaip COM2, o RSlinx pridėdame emuliacijos draiverį SLC500, kuriam priskiriame stoties ID-00 arba 01, matomą 3.4.-2 pav.

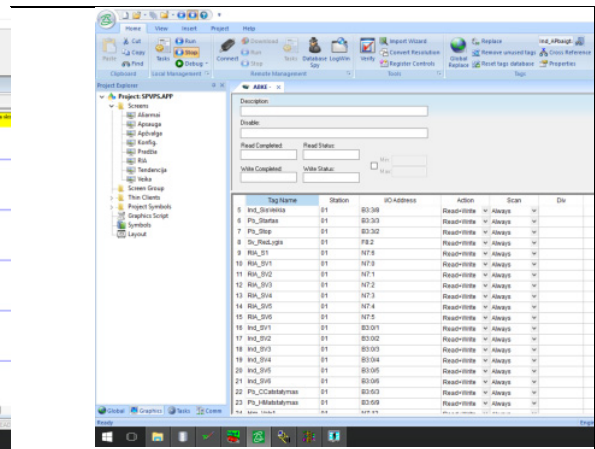
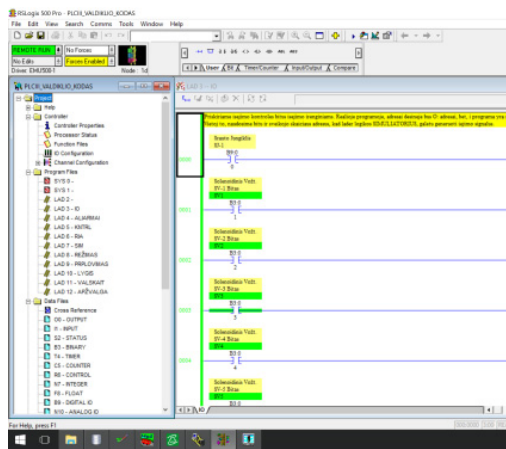


3.4-2 paveikslas. Indusoft Web Studio nuoseklos (ABKE) komunikacijos nustatymas.



3.4-3 paveikslas. RSlogix Emulate 500 ir RSLinx sliužo komunikacijos draiverių konfigūracija.

Žymų „Tags“ kūrimas. 3.4-4 paveiksle PID vandens kokybės paskirstymo sistemą sudaro 48 žymos. Projekte bus naudojamos 3 tipų žymos, t.y., „Boolean“, nurodyti „taip-ne“ logikai, slankiojančio kabelio „Float“, nurodyti rezervuaro vandens lygiui, ir skaitmens „Integer“, kuri naudosime RIA (rankinis-išjungtas-automatinis) žymoms. Tarp kitko, RS Logix 500 Pro, PLC programavimo aplinkoje, duomenų failo kategorijoje N7, yra laikomi skaitmens „Integer“ reikšmės, reikalingos kontroliuoti RIA statusą. „Ladder“ 3 programoje LAD-3 I/O, B3:0/1 adresas dvejetainis (b-3 binary reikšmė RS logix 500 duomenų faile), valdo solenoidinio vožtuvo bitą. Žymos tipas yra „boolean“. Tai reiškia, jog PLC valdiklio adresas įjungia / išjungia reikšmę. SCADA žyma, atitinkanti šį adresą, yra indikacija Ind_SV1. Kaip vėliau matysime, valdant šią žymą, vizualizacijoje galėsime išjungti / įjungti bitą. Tuo pat metu PLC valdiklis, prie kurio prijungtas solenoidinis vožtuvas, jį uždarys arba atidarys. Tokia pačia logika yra sudaryti ir kiti adresai ir žymos, jas išskiriant pagal tipą. Žymos, adresai ir PLC I/O atitiktumėms parodyti 3.4.1 lentelėje.



3.4- 4 paveikslas. RSlogix 500 ir Indusoft Web Studio žymų ir PLC I/O adresų konfigūracijos vaizdas.

3.4-1 lentelė. Indusoft Web Studio žymų ir jų PLC I/O adresų notacija RS Logix 500 aplinkoje.

Žymos pavadinimas	I/O adresas	RS Logix 500 duomenų failas
DifSlegis	F8:3	F8 -FLOAT
Ind_ApLaukiama	B3:4/5	B3 – BINARY
Ind_ApVeikia	B3:4/6	B3 – BINARY
Ind_S1	B3:0/7	B3 – BINARY
Ind_SisVeikia	B3:3/8	B3 – BINARY
Pb_Startas	B3:3/3	B3 – BINARY
Pb_Stop	B3:3/2	B3 – BINARY
Sv_RezLygis	F8:2	F8 -FLOAT
RIA_S1	N7:6	N7 – INTEGER
RIA_SV1	N7:0	N7 – INTEGER
RIA_SV2	N7:1	N7 – INTEGER
RIA_SV3	N7:2	N7 – INTEGER
RIA_SV4	N7:3	N7 – INTEGER
RIA_SV5	N7:4	N7 – INTEGER
RIA_SV6	N7:5	N7 – INTEGER
Ind_SV1	B3:0/1	B3 – BINARY
Ind_SV2	B3:0/2	B3 – BINARY
Ind_SV3	B3:0/3	B3 – BINARY
Ind_SV4	B3:0/4	B3 – BINARY
Ind_SV5	B3:0/5	B3 – BINARY
Ind_SV6	B3:0/6	B3 – BINARY
Pb_CCatstatymas	B3:6/3	B3 – BINARY
Pb_HMatstatymas	B3:6/9	B3 – BINARY
Hm_Valx1	N7:12	N7 – INTEGER
Hm_Valx1000	N7:11	N7 – INTEGER
Hm_Minutes	N7:10	N7 – INTEGER
Hm_Sekundes	N7:9	N7 – INTEGER
CikloSkaiciuokle	N7:8	N7 – INTEGER
Sp_Praplovimas	F8:4	F8 -FLOAT
Sp_LygisHH	F8:7	F8 -FLOAT
Sp_LygisH	F8:9	F8 -FLOAT
Sp_LygisZ	F8:8	F8 -FLOAT
Sp_LygisZZ	F8:6	F8 -FLOAT
Sp_SlegisHH	F8:5	F8 -FLOAT
Pb_APisjungta	B3:6/0	B3 – BINARY
Pb_APijungta	B3:6/1	B3 – BINARY
Pb_RankinisPR	B3:5/14	B3 – BINARY
Ind_APisjungta	B3:5/15	B3 – BINARY
Sv_SD1	F8:0	F8 -FLOAT
Sv_SD2	F8:1	F8 -FLOAT
Ind_SD1	B3:0/0	B3 – BINARY
Alm_HHlygis	B3:4/14	B3 – BINARY
Alm_LLLygis	B3:4/12	B3 – BINARY

Alm_HHSlegis	B3:4/8	B3 – BINARY
Alm_ZemasSrautas	B3:4/10	B3 – BINARY
Pb_AlmNutildymas	B3:3/10	B3 – BINARY
Pb_AlmAtstatymas	B3:3/9	B3 – BINARY
Ind_APbaigtas	B3:6/7	B3 – BINARY

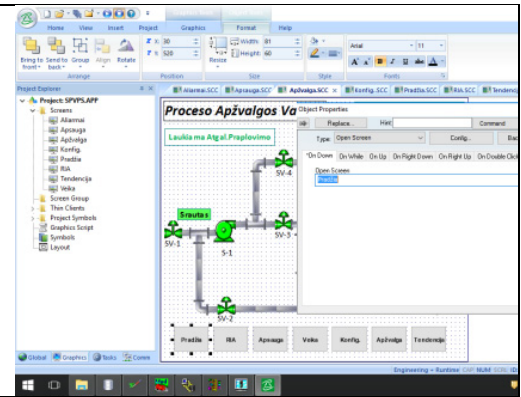
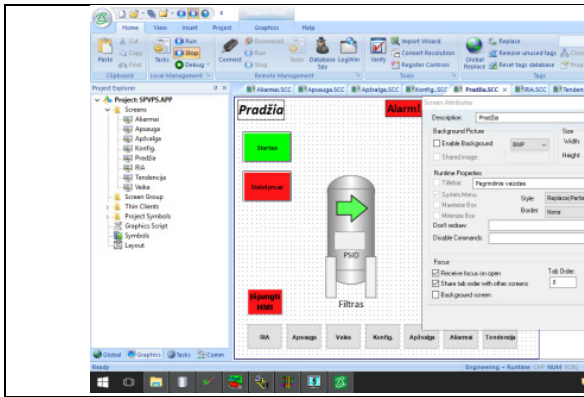
Vaizdų „Screens“ kūrimas. Verta paminėti, kad Indusoft Web Studio nėra vien tik HMI platforma, bet ir pilnavertė SCADA sistema. Ji turi visus reikalingus grafikos, duomenų kaupimo, žiniatinklio pateikimo, valdymo įrankius. Mano programoje naudotini elementai – PID proceso vizualizavimas, vožtuvų, siurblio, slėgio daviklių, filtrų vaizdiniai – yra sukurti naudojant vidinę, grafinių elementų duomenų bazę. Kiekviena žyma yra susieta su atitinkamu vaizdo elementu. Pvz., 3.4.-5 paveiksle rodoma, kad norint pavaizduoti realų filtro slėgį PID vietos laukelyje, objekto ypatybėse nurodome, jog naudosisime „DifSlegis“ žymą. Diferencinio slėgio žyma PLC valdiklyje yra adresu F8:3, slankiojo kabelio „Float“ duomenų lentelės, „F“ lauke. Etiketėi priskirtas „float“ tipas, nes slėgį vaizduosime dešimtainiu skaičiumi, šimtųjų tikslumu. Kitų sistemos elementų ir atitinkamų žymų priskyrimas yra analogiškas.

Kaip ir vandens kokybės vertinimo sistemoje, schemas buvo naudojamos norint vizualizuoti procesą. PID vandens paskirstymo sistemoje, taip pat bus vadovaujama šia metodika, sukuriant vaizdus „Screens“. Yra sukurti 8 vaizdai, reprezentuojantys skirtingas PID vandens paskirstymo sistemos proceso dalis: „Aliarmai“, „Apsauga“, „Apžvalga“, „Konfigūracija“, „Pradžia“, „RIA“, „Tendencija“, „Veika“. Jie pavaizduoti 3.4-3 lentelėje.

Indusoft Web Studio, „angl. Graphics“ meniu, „angl. Screens“ direktorijoje spaudžiame įterpti „angl. Insert“. Atidariusiame lange suvedame pavadinimą ir nustatome rezoliuciją. Rezoliucija renkama pagal esamus fizinius įrenginius, kad būtų užtikrintas elementų matomumas. Navigacijai tarp vaizdų užtikrinti, pvz., ant meniu punkto rankinis-automatinis-auto „RIA“, pasirenkame mygtuko objekto ypatybes ir nustatome, jog paspaudimo (angl. On Down) funkcijos rezultatas, bus „Pradžia“ vaizdo atidarymas. Analogiškai sutvarkomi ir kiti vaizdai, meniu mygtukai ir nuorodos tarp jų. Principas parodytas 3.4-2 lentelėje. Programos uždarymui pasirenkame objekto komandos tipą „angl. Type“, kad naudotume VB kodą. Jį pavadiname „Išjungti HMI“.

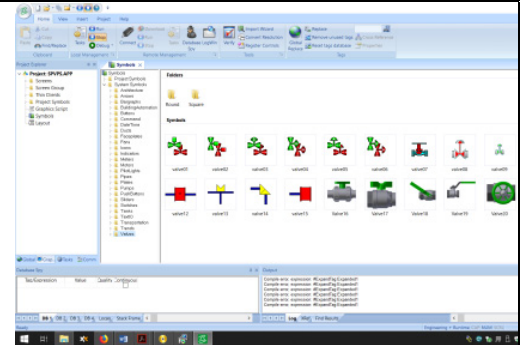
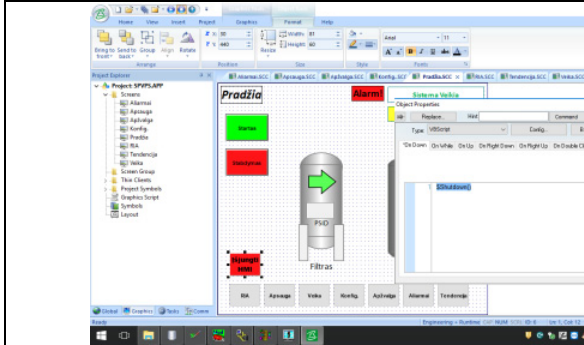
3.4- 2 lentelė. Meniu ir navigacijos tarp vaizdų sukūrimas.

Vaizdų kūrimo etapas	Meniu-navigacijos tarp vaizdų funkcionalumo kūrimas
-----------------------------	--

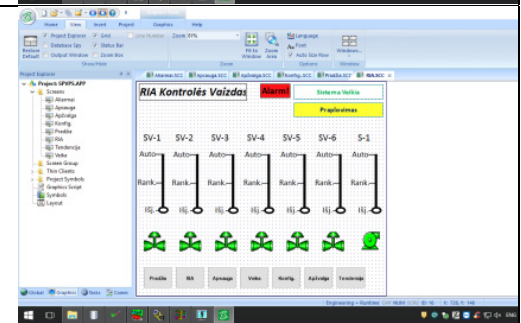
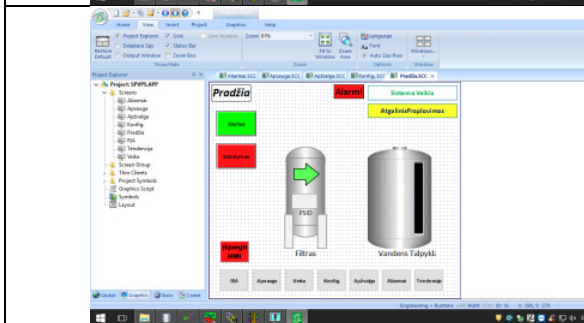
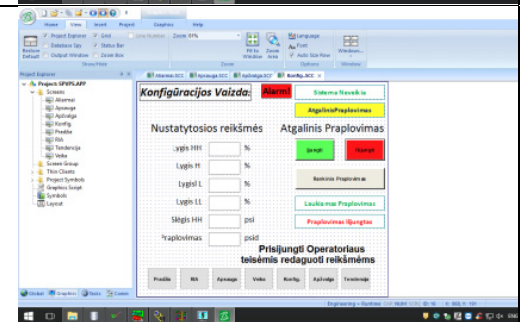
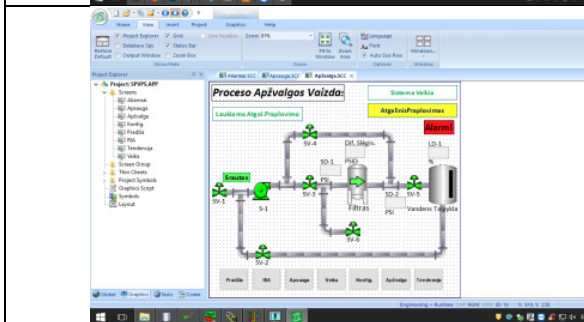
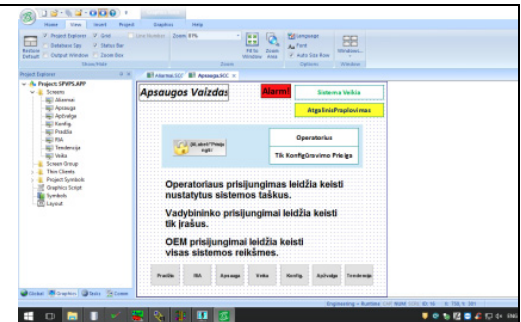
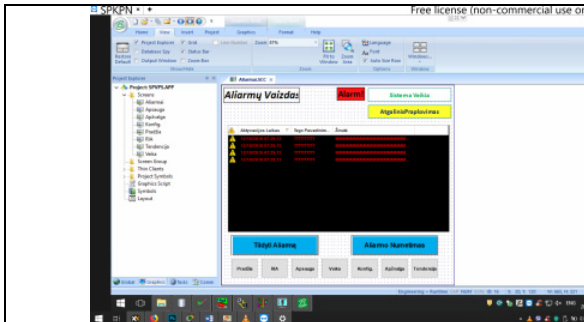


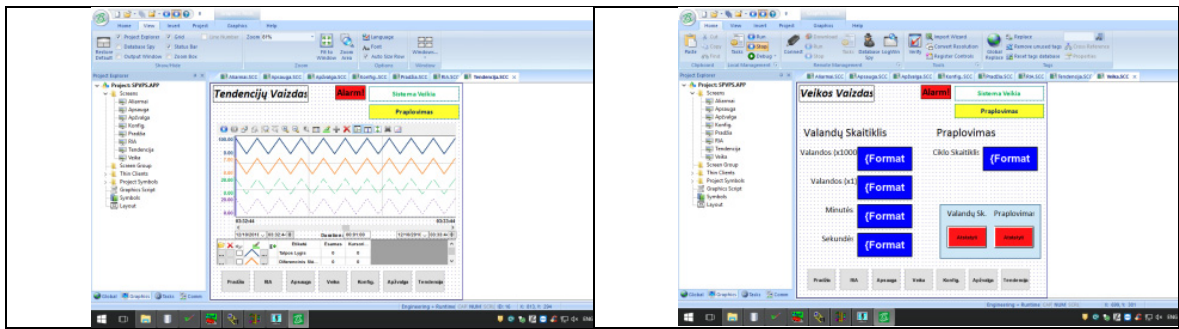
Išjungimo opcijos programavimas
“SShutdown()“

Grafikos simbolių biblioteka

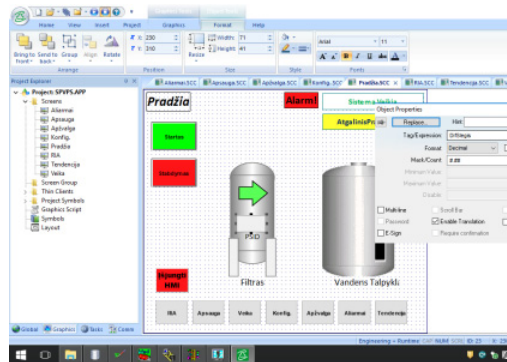


3.4- 3 lentelė. PID vandens paskirstymo sistemos vaizdų išdėstymas.

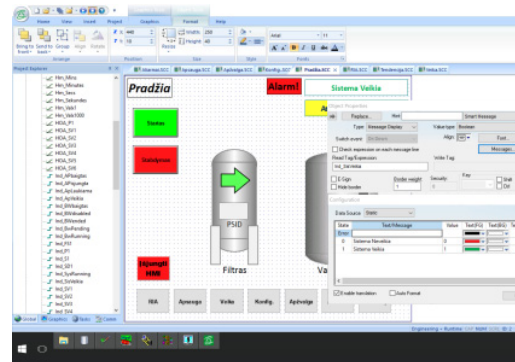




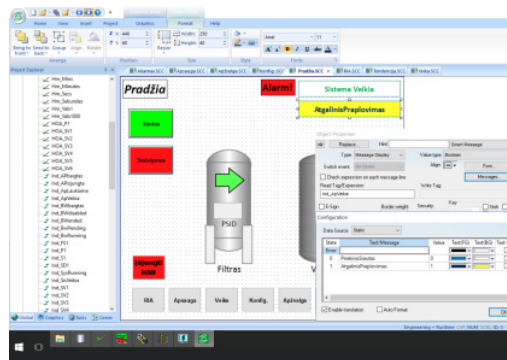
3.4-6 paveikslas rodo, kaip naudodami įrankį „angl. Smart Message“ sukuriame sistemos indikacijos „SistemaVeikia-SistemaNeveikia“ laukelį, kuris keičia būseną priklausomai nuo įėjimo reikšmės iš žymos „Ind_SisVeikia“, priklausančios B3:3/8 PLC adresui. 1 arba 0 atitinkamai reiškia „įjungta“ arba „išjungta“. Padarius jos kopiją, pervardinus į „Atgalinis Praplavinimas“, kurio žyma „Ind_ApVeikia“, o PLC adresas B3:4/6, nurodžius žinutės tipą, gauname proceso indikaciją, rodančią praplovimo ar normalaus srauto būseną, kaip pavaizduota 3.4-7 paveiksle.



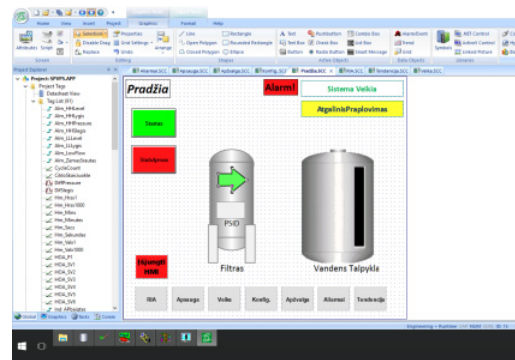
3.4-5 paveikslas. Filto slėgio indikacijos nustatymas, įterpiant Diferencinio slėgio žymą „DifSlėgis“.



3.4-6 paveikslas. Smart žinutės programavimas, sistemos dinamiškam veikimui vaizduoti.



3.4-7 paveikslas. Smart žinutės programavimas vandens srauto būsenos vizualizavimui.

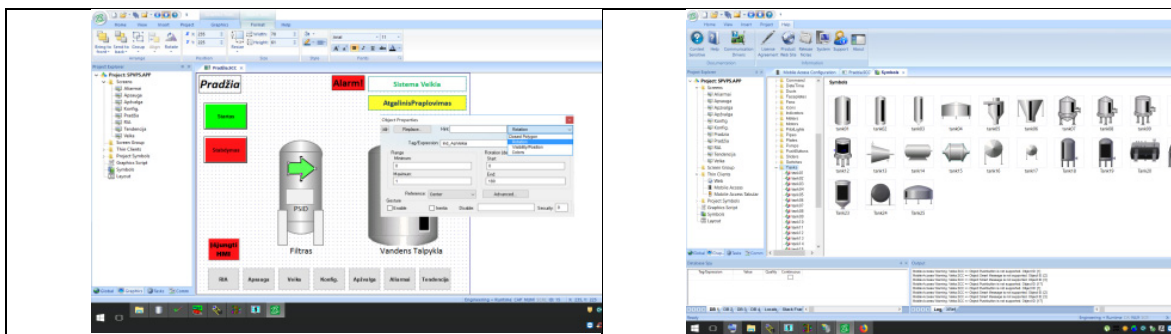


3.4-8 paveikslas. Animuotos, filtro vandens srauto krypties vizualizavimas.

Kitas etapas yra vizualizuoti vandens rezervuarą, kuris yra pasirenkamas iš simbolių bibliotekos, rezervuarų kategorijos. Rezervuaro simboliui priskiriame realių duomenų, slankiojo kablelio (angl. float) tipo žymą „Sv_RezLygis“, esančią PLC I/O adrese F8:2. Objekto, min ir max

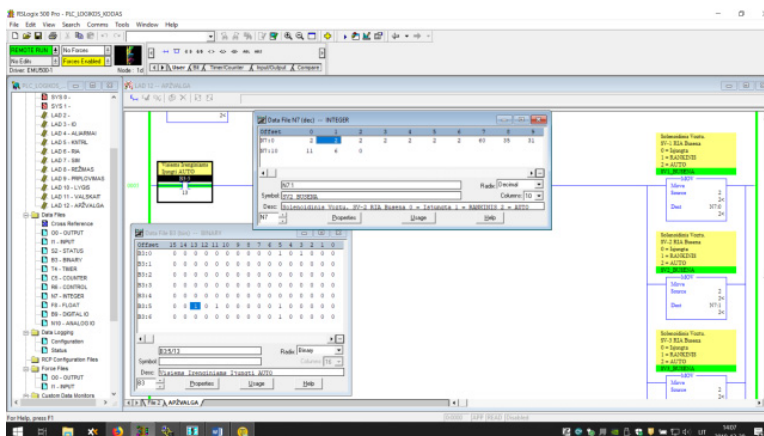
skalės intervalas yra nuo 0 iki 100. Analogiška procedūra sukuriame filtrą, kuriame pavaizduosime differencinio slėgio žymos „DifSlėgis“ reikšmę, adrese F8:3, kaip matyti 3.4-5 paveiksle.

3.4-8 paveiksle pavaizduotą normalios tėkmės indikatorių ant filtro kaip žalia rodyklė, numatėme sukurti, kaip animuotą objektą, kuris priklausomai nuo gaunamo signalo apsivers į vieną ar kitą pusę, nurodydamas vandens tėkmės kryptį. Pažymėtas objektas yra su įgalintomis „Color“, „Rotation“ ir „Visibility“ komandomis, kaip parodyta 3.4-8 paveiksle. Objekto savybių lauke, „Visibility“ laukelyje, nurodome siurblio žymę „Ind_S1“, adrese B3:0/7. „Color“ opcija, priskiriame Atgalinio praplovimo bitui „Ind_ApVeikia“, adrese B3:4/6. Jeigu atgalinis praplovimas veikia, spalva nustatoma mėlyna. Priešingu atveju – žalia. „Rotation“ opcijos žymė taip pat nustatoma atgalinio praplovimo „Ind_ApVeikia“. Pasukimo laispnis, jeigu praplovimas neveikia, nustatomas 0°. Priešingu atveju nustatome 180°.



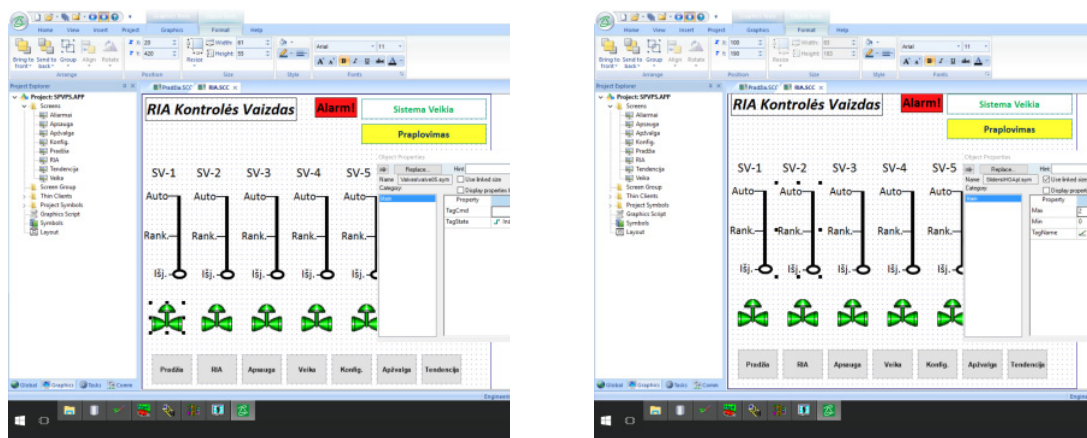
3.4-9 paveikslas. Filtro, rezervuarų simbolių biblioteka ir vandens srauto krypties vizualizavimas.

RIA ekrano (rankinis-išjungta-automatinis) kūrimas. Šio ekrano paskirtis – valdyti vožtuvų ir siurblio darbo režimus pagal nustatytą poziciją, aktyvuojant atitinkamą PLC valdiklio kodo logiką. Pvz, nustačius RIA slankiklius į auto, užsidega ir automatiškai atidaromi SV1, SV3, SV5, normaliam sistemos darbo režime. Pvz., logika, kad pasiektume automatinio režimo darbą, RS Logix 500 Pro, LAD12 eilutėje, yra sukurtas B3:5/13 adreso bitas, kurio aktyvavimas, nustato vožtuvų adresų nuo N7:1 iki N7:6 (angl. integer) duomenų failo reikšmes į 2 poziciją. Pozicija 2 yra automatinio režimo skaitmuo. Jeigu aktyvuojamas 0 arba 1, tada, vožtuvai arba siurblys yra išjungiami arba nustatomas rankinis darbo režimas.



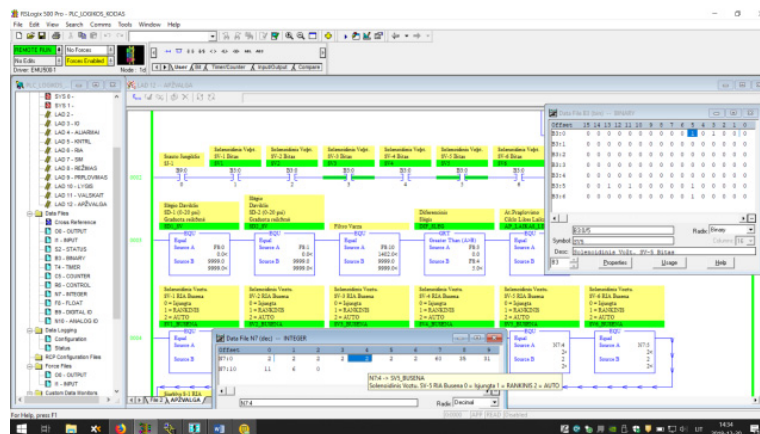
3.4-10 paveikslas. Vožtuvų ir siurblių automatinio režimo nustatymo logika.

Toliau vanduo teka į rezervuarą. Sukuriame RIA ekraną, kopijuodami pradžia ir ištrindami nereikalingus elementus, paliekant menu, sistemos veikimo indikatorius ir kt. Pakeičiame pavadinimą. Ekranas tikslas yra parodyti vožtuvų ir siurblio būsenas. Simbolius paimame iš bibliotekos, grafikos menu. Toliau yra poreikis valdyti nurodytus elementus tam panaudojant dinaminis slankiklių simbolius, aprašančius įjungta-išjungta-auto procedūrą arba kitaip, 1-0-2 logiką. RIA žymės yra visos skaitmens N (angl. integer) tipo, tai reiškia, kad PLC diagramoje jos talpinamos „Integer“ duomenų faile. Naudodami žymes priskiriame RIA_S1 (N7:6), RIA_SV1 iki RIA_SV6, atitinkami N7:0 - N7:6 PLC adresams. Taip pat reikalingi veikimo/neveikimo indikatoriai vožtuvams ir siurbliui, kurių žymės yra nuo Ind_SV1 iki Ind_SV6. Atitinkamai, kadangi tai yra skaitmeniniai signalai, talpinami PLC diagramos, B (binary) bazėje su adresais B3:0/1 iki B3:0/6. Analogiškas proceso dizainas yra ir kitiems sistemos elementams.



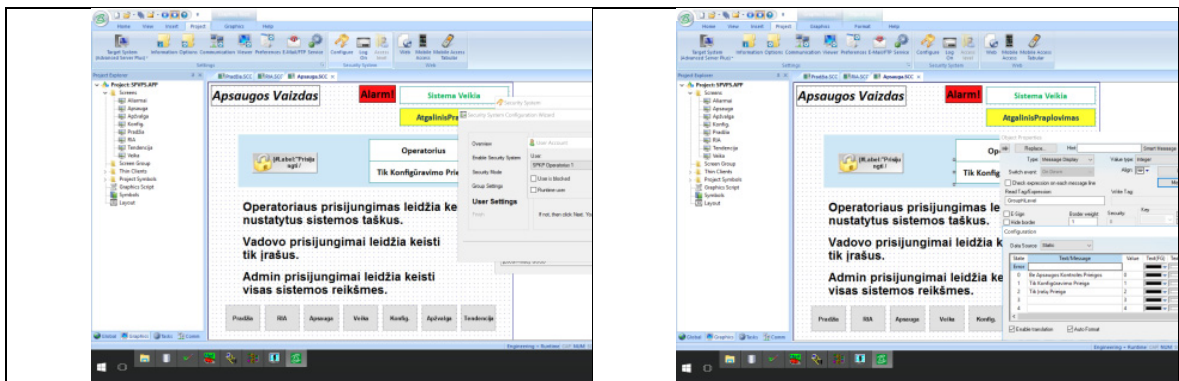
3.4-11 paveikslas. RIA kontrolės ekranas vožtuvų ir siurblio valdymo indikatorių ir veikimo/neveikimo būsenos žymų priskyrimas.

3.4.-12 paveiksle parodyta logika, kur, pvz., vožtuvo SV5 būseną yra veiksmi (0,- išjungta), kadangi B3:0/5 bitas turi reikšmę 1, esanti duomenų faile (angl. data file). O, darbo režimas yra „Auto“, kadangi skaitmens (angl. integer) duomenų faile SV-5 vožtuvo N7:4 adreso reikšmė yra 2.



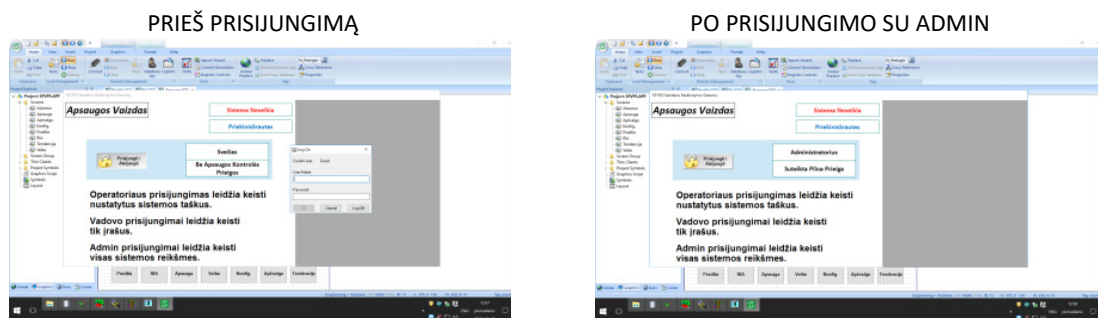
3.4-12 paveikslas. SV-5 vožtuvo veiksmo būsenos logikos realizavimas

Saugos ekrano kūrimas. Saugos ekranas reikalingas tam, jog atitinkami vartotojai turėtų atitinkamas prieigos ir kontrolės teises prie objektų funkcijų. Tam naudosime programoje realizuotą apsaugos sistemos konfigūravimo įrankį. Mūsų sistema turi 3 vartotojus. Vienas vartotojas gali keisti konfigūracijas. Antras galės redaguoti įrašus. Trečias galės atlikti visus nurodytus veiksmus. Vedlio pagalba įgaliname apsaugos sistemos funkciją. Apsaugos režimu nurodome vietinį režimą. Kaip matome 3.4.-13 paveiksle, grupės teisių nustatymo etape sukuriame grupę „Operatoriai“, kuriai apsaugos lygio kortelėje priskiriame 0 iki 1 lygį, t.y., operatorių grupės nariai galės konfigūruoti sistemą. Analogiškai sukuriame „Vadovai“ grupę. Priskiriamas apsaugos lygis 2 -2, pvz., gali atstatyti valandų skaitiklius ir reikšmes, bet negali keisti sistemos konfigūracijos. Trečia grupė, kurią įdiegiame, bus „Administratorius“ ir turės aukščiausią 0 -255 lygio prieigą. Toliau kuriame vartotojus ir priskiriame grupėms. Vartotojų pavadinimai: SPKP Operatorius 1, priskiriame grupei „Operatoriai“; SPKP Vadovas 1, priskiriamas „Vadovų“ grupei; SPKP Administratorius 1, priskiriame grupei „Administratorius“. Pradžios ekranas dubliuojamas. Pašalinami ir pridedami atitinkami elementai. Taip sukuriame „Apsaugos“ ekraną, pridedant prisijungimo / atsijungimo mygtuką. Siekdami parodyti dabar prisijungusių žmonių vardus, naudojame sisteminės žymas. Pridedame išmaniąją žinutę. Nurodome sisteminės žymos tipą „Group HI Level“. Loginėje žinutės schemoje nurodome reikšmes. Pvz., jeigu grupės leidimo lygis lygus nuliui, rodoma žinutė „Prieigos nėra“.



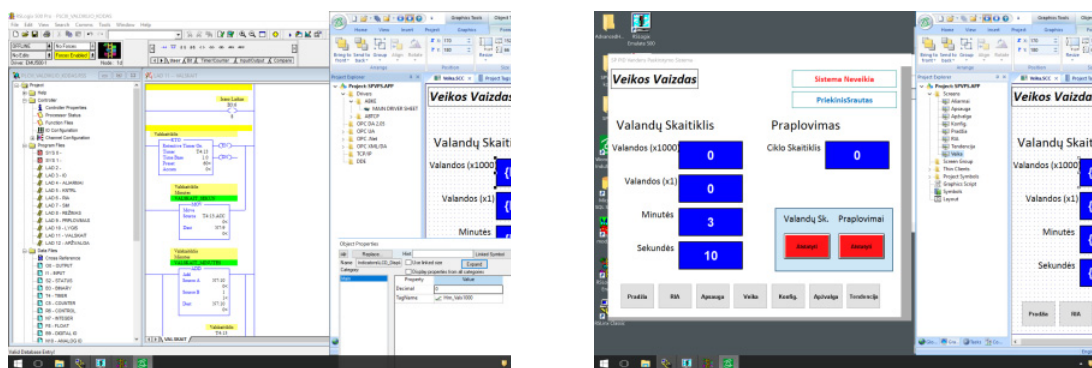
3.4-13 paveikslas. Saugos sistemos konfigūravimas ir vartotojų informavimo pranešimas pagal prieigos lygį.

3.4-14 paveiksle parodytas sukompiliuoto projekto prisijungimo veiksnio patikrinimas, kai pagal vartotoją keičiamas prieigos lygis ir rodomas prisijungęs vartotojas.



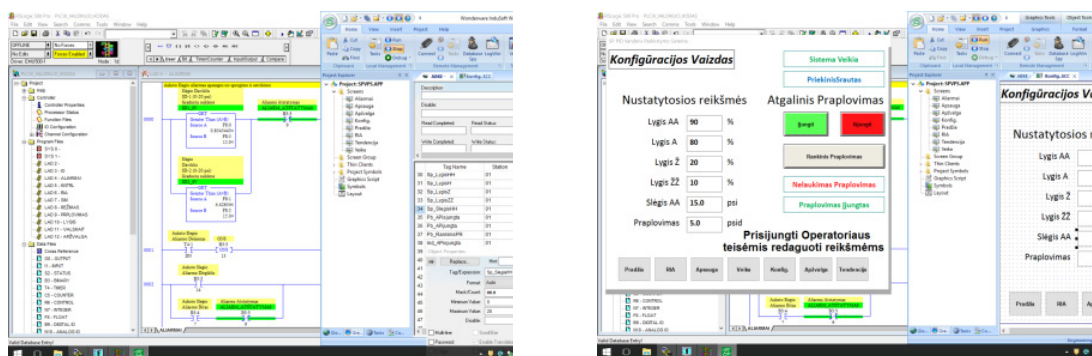
3.4-14 paveikslas. Pagal vartotoją keičiamas prieigos lygis ir prisijungusio vartotojo statusas.

Veikos ekrano kūrimas. Veikos ekrano vaizdas reikalingas kaupti sistemos elementų veiklos statistikai ir juos kontroliuoti. Lango elementų, indikatorių žymos, darbo laiko apskaičiavimui, parametrų atstatymui, elementams priskirti PLC valdiklio kodo adresai: Hm_Valx1000-valandos (x1000) – adresas N7:11; Hm_Minutes – adresas N7:10; Hm_Sekundes – adresas N7:9; CikloSkaiciuokle– adresas N7:8; Pb_CCatstatymas - adresas B3:6/3; Pb_HMatstatymas - adresas B3:6/9. Valandų ir praplovimų skaičiaus, kalkuliacijos parametrų atstatymo mygtukai yra apsaugoti 2 lygio apsauga, taip įgalinant tik administratoriaus ir vadovų teises turintiems asmenims atlikti operaciją.



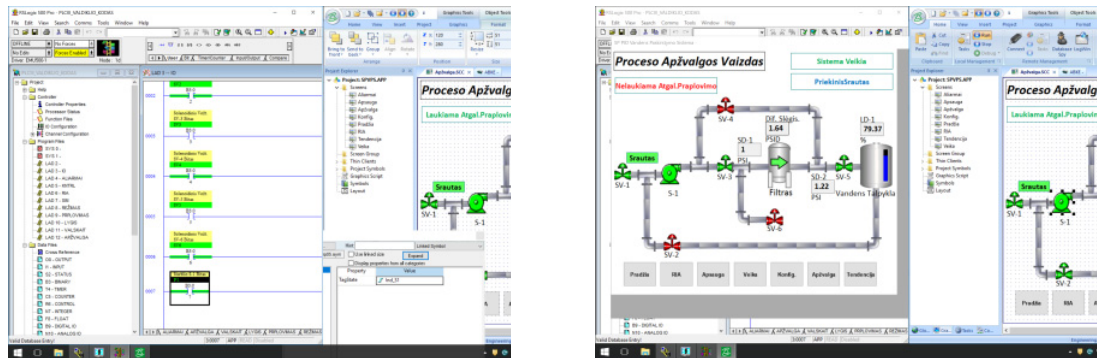
3.4-15 paveikslas. Veikos ekrano elementų priskyrimas PLC valdiklio logikos adresams ir jų testavimas.

Konfigūravimo ekrano kūrimas. Konfigūracijos ekrano vaizdas reikalingas stebėti ir reguliuoti sistemos vandens lygio, slėgio numatytas PID ribas (angl. SetPoints), tėkmės kryptį bei praplovimus. Slėgio kritinė riba yra nustatyta 15 psi, o praplovimo – 7. Viršijus šias reišmes, sistema keičia darbo režimą. Lango elementų indikatoriams ir jų žymoms priskirti PLC valdiklio kodo adresai: Sp_LygisHH – adresas F8:7; Sp_LygisH – adresas F8:9; Sp_LygisL – adresas F8:8; Sp_LygisLL – adresas F8:6; Sp_SlegisHH – adresas F8:5; Sp_Praplovimas – adresas F8:4; Pb_APIjungta – adresas B3:6/1; Pb_APIsjungta – adresas B3:6/0; Pb_RankinisPR – adresas B3:5/14; Ind_ApLaukiama – adresas B3:4/5; Ind_APIsjungta – adresas B3:5/15.



3.4-16 paveikslas. Konfigūravimo ekrano elementų priskyrimas PLC valdiklio logikos adresams ir jų testavimas.

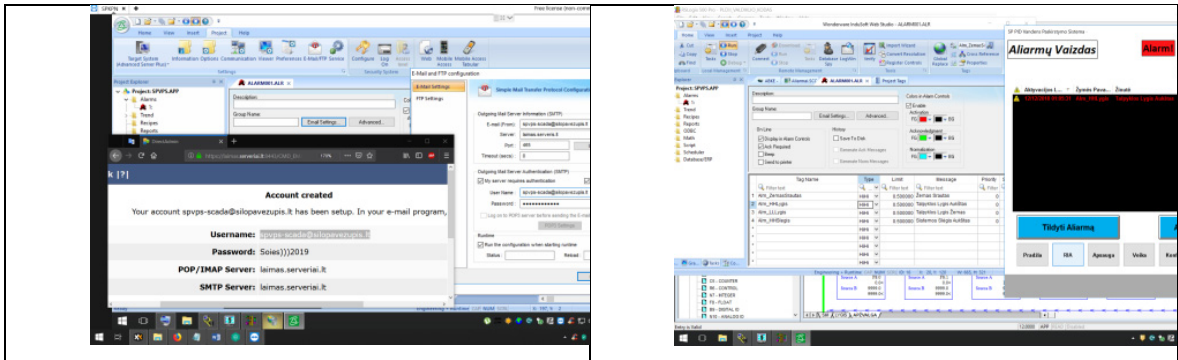
Apžvalgos ekrano kūrimas. Apžvalgos ekranas sistemiškai parodo PID vandens paskirstymo sistemo elementų išdėstymą. Jis sudarytas pagal 1.4.2 skyriuje pateikta PID schemą. Lango elementų indikatoriams ir jų žymoms priskirti PLC valdiklio kodo adresai: Ind_SV1 – adresas B3:0/1; Ind_SV2 – adresas B3:0/2; Ind_SV3 – adresas B3:0/3; Ind_SV4 – adresas B3:0/4; Ind_SV5 – adresas B3:0/5; Ind_SV6 – adresas B3:0/6. Ind_SD1- adresas B3:0/0; DifSlėgis – adresas F8:3; Sv_SD2 – adresas F8:1; Sv_SD1 – adresas F8:0; Sv_RezLygis – adresas F8:2. Ind_S1 – adresas B3:0/7; Ind_SD1 – adresas B3:0/0. Srauto jungiklio / daviklio, stovinčio prieš siurblių, žyma yra dinaminis tekstas su išmaniojo tipo žinute. Jeigu srautas yra, rodoma „Srautas“. Priešingu atveju rodoma „Nėra srauto“.



3.4-17 paveikslas. Apžvalgos ekrano elementų priskyrimas PLC valdiklio logikos adresams ir jų testavimas.

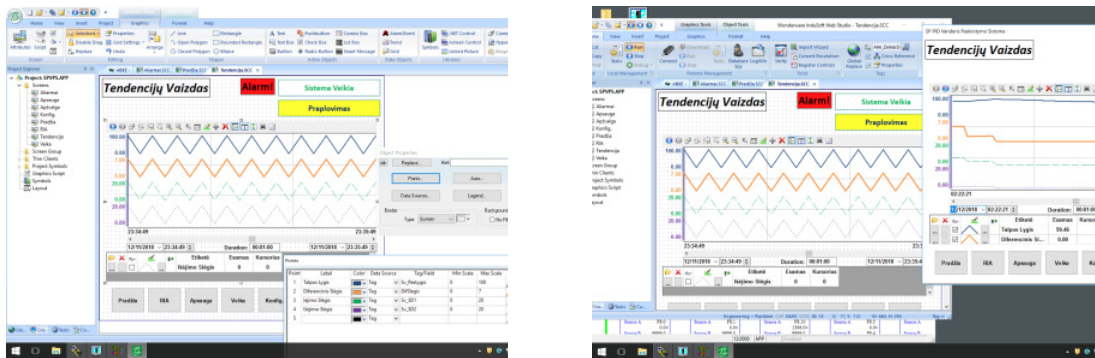
Aliarmų ekrano kūrimas. Aliarmų ekrano vaizdas renka ir parodo sistemos parametrų sutrikimus arba pokyčius, jog operatoriui būtų aišku, ką ir kur reikia patikrinti. Lango elementų indikatoriams ir jų žymoms priskirti PLC valdiklio kodo adresai: Pb_AlmNutildymas - adresas B3:3/10; Pb_AlmAtstatymas - adresas B3:3/9., Alm_HHLYgis -adresas B3:4/14, Alm_ZemasSrautas – adresas B3:4/10. Aukšto vandens lygio aliarmui indikuoti simboliuje naudojamas „Visibility“ ir „Colors“ opcijos, jog būtų sukurta animacija pagal signalo įeigą. Alm_HHLYgis žyma, gavusi B3:4/14 PLC valdiklio logikos adreso signalą, aktyvuos raudonas spalvas ir mirksėjimą. Išmaniosios žinutės laukelis turi reikšmes 1 ir 0. Esant 1, aliarmas veiks ir mirksės.

Naudodami „Alarm / Event“ įrankį, sukuriame dinaminę lentelę aliarmų statistikai rinkti. Projekto užduočių direktorijoje, Alm_ZemasSrautas (žinutė - Žemas Srautas) , Alm_HHLYgis (žinutė – Talpyklos Lygis Aukštas), Alm_LLLygis (žinutė – Talpyklos Lygis Žemas), Alm_HHSlegis (žinutė – Sistemos Slėgis Aukštas) nurodome žinučių tipus ir pavadinimus. Panaudojant el.pašto komunikacijos „angl. EmailSetting“ nustatymus, suvedamas įmonės naudojamas smtp serveris ir 465 prievadas, kuris yra saugus, SSL. Taip įgaliname email, aliarmų pranešimus, naudojantis smtp protokolu.



3.4-18 paveikslas. Alarmų ekrano elementų ir jų siuntimo el-paštu funkcijos įgalinimas ir programavimas.

Tendencijos ekrano kūrimas. Tendencijų ekrano vaizdas, grafiškai renka ir parodo sistemos parametrų pokyčius, leisdamas operatoriui analizuoti proceso tendencijas ir pokyčių dinamiką bei kaupti juos DB. Naudojant programą „Trend“ įrankį, stebėjimo parametrais buvo pasirinktos žymos: rezervuaro lygis (informacija iš Sv_RezLygis žymos lygio daviklio), diferencinis slėgis (informacija iš DifSlėgis žymos nuo Sv_SD1 Sv_SD2 daviklių skirtumo), išėjimo ir įėjimo slėgiai (informacija iš Sv_SD1 Sv_SD2 žymos slėgių daviklių) ir aprašyti etiketės „Label“ stulpelyje.



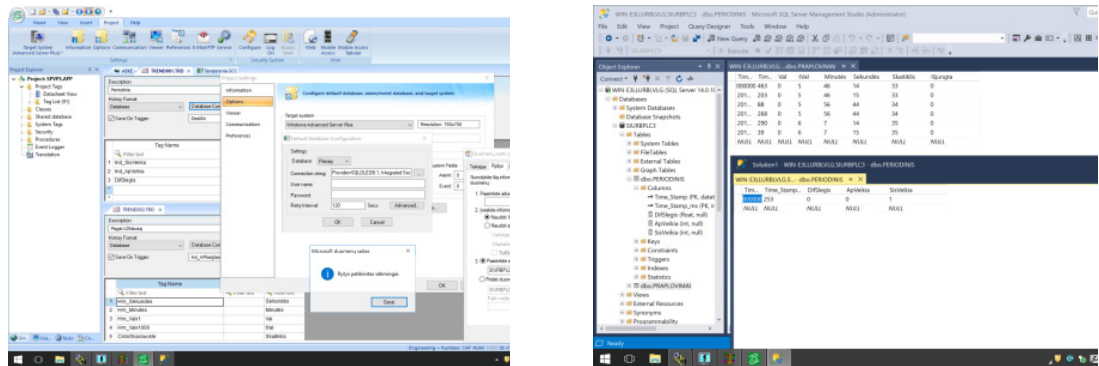
3.4-19 paveikslas. Tendencijų ekrano elementų programavimas ir testavimas.

Duomenų gavybos sistemos kūrimas. Kaip ir vandens kokybės vertinimo, taip ir PID vandens paskirstymo sistemoje, sukūrus žmogaus ir mašinos sąsajas (HMI) vienas svarbiausių SCADA metodikos elementų yra užtikrinti duomenų gavybos proceso valdymą, nes duomenų agregavimas jų analizei yra vienas iš pagrindinių elementų, įprasminant šio darbo tikslus ir sprendžiant įmonės veiklos procesų optimizavimo problemas. PID VPS (vandens paskirstymo sistema), duomenų kaupimą atlieka MS SQL Server 2016, duomenų bazėje. Tam yra sukurtos dvi lentelės „Periodinis“ ir „Praplovimai“. Taip pat siekiant užtikrinti optimalią filtro užteršimo kontrolę, mums svarbu gauti duomenis iš PLC valdiklio (Atgalinio praplovimo pabaigos bitas) apie pabaigtą procesą.

Projekto užduočių direktorijoje, „Trend“ kategorijoje, sukuriame du įrašus – „Periodinis“ ir „Pagal-Užklausa“. Duomenų kaupimo metodas parinktas kaip duomenų bazė. DB ryšio aprašyme nurodome lentelės pavadinimą „PERIODINIS“ ir „PRAPLOVIMAI“ ir pasirenkame „Microsoft OLE DB Provider for SQL Server“ duomenų jungtį. Nurodome sukurtą DB „SIURBPLC3“.

Periodinės lentelės, duomenų generavimo šaltiniai nurodytos 3 žymos: „Ind_SisVeikia“, „Ind_ApVeikia“, „DifSlegis“. Įrašymo dirgikliu nustatyta žyma „DesMin“, reiškianti įrašymą, kurį kontroliuoja PLC logikos bitas kas 10 minučių. Programos užduočių meniu „Tasks“, direktorijoje „Scheduler“, yra sukurtas įvykis su priskirta „DesMin“ žyma, kurios ekspresija yra 1. Pvz., kadangi „Boolean“ logikoje yra 1 ir 0, todėl PLC valdiklis, aktyvuodamas / išjungdamas bitą su 1 ar 0, aktyvuoja mūsų įvykį. Kas 10 minučių aktyvuojamas įvykis, kuomet įrašomos pasirinktos žymos į periodinę lentelę.

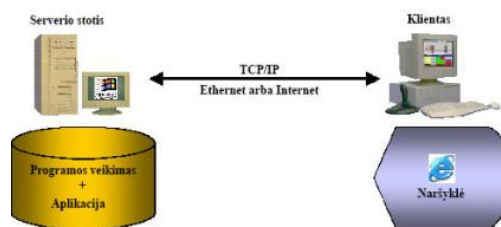
Pagal užklausą įrašinėjimas vyksta, naudojant atgalinio praplovimo žymą „Ind_APbaigtas“, kaip įrašymo pradžios dirgiklį. Baigiantis praplovimui, įrašoma informacija į DB. Duomenų generavimo žymomis nustatome, „CikloSkaitiklis“, „IndAPIšjungta“, „Hm_Valx1000“, „Hm_Minutės“, „Hm_Sekundės“. DB konfigūravimo skiltyje, kaip ir periodiniam įrašinėjimui, taip ir šiam, nustatome lentelę „PRAPLOVIMAI“, kurie talpinami DB „SIURBPLC3“.



3.4-20 paveikslas. Duomenų įrašymo į DB, nustatymai ir jų peržiūra.

Web ir Mobilios aplikacijos kūrimas. Viena iš daugelio šios galingos SCADA programavimo aplinkos esminių savybių yra HTML5 ir mobiliųjų aplikacijų programavimo posistemė. Siekiant pilnavertės daiktų interneto metodikos pagrindimo, kompiliuojame sistemą, kad projektas būtų pasiekiamas per internetą ir mobiliuosius įrenginius bei užtikrinta kontrolė realiu laiku.

„Wonderware InduSoft Web Studio“ yra sukurta pagal serverio / kliento architektūrą. Tai leidžia kurti ekranus, kuriuos galima peržiūrėti nuotoliniėje stotyje per naršyklę ar mobiliųjų telefoną. Stotis, kurioje vartotojas gali peržiūrėti ekranus, vadinama „plonu klientu“ (angl. Thin client).



3.4-21 paveikslas. InduSoft Web Studio komunikacijos architektūra.

„Wonderware InduSoft Web Studio“ programinė įranga yra įdiegta tik serverio stotyje. Visi projekto failai – žymos, duomenų bazė, ekrano failai ir užduočių lapai – saugomi serveryje, o visos, fono ir ryšio užduotys, taip pat vykdomos serveryje.

Naudodamiesi programos, mobilaus kliento programavimo moduliu (angl. Mobile Access, taip pat kartais vadinama Studio Mobile Access arba SMA), kompiliuojame HTML5, patobulintą žiniatinklio sąsają, kurioje bus pateikiami signalai, tendencijos, proceso vertės ir netgi projekto ekranai vieningoje, lengvai naudojamoje „informacijos suvestinėje“.

Žiniatinklio sąsaja (angl. web interface) yra sukurta, kad išmaniaisiais telefonais ir planšetiniais kompiuteriais, įskaitant „Windows Phone“, „iOS“ ir „Android“ įrenginius, būtų galima pasiekti beveik bet kurį kompiuterį, naudojant šiuolaikinę žiniatinklio naršyklę.

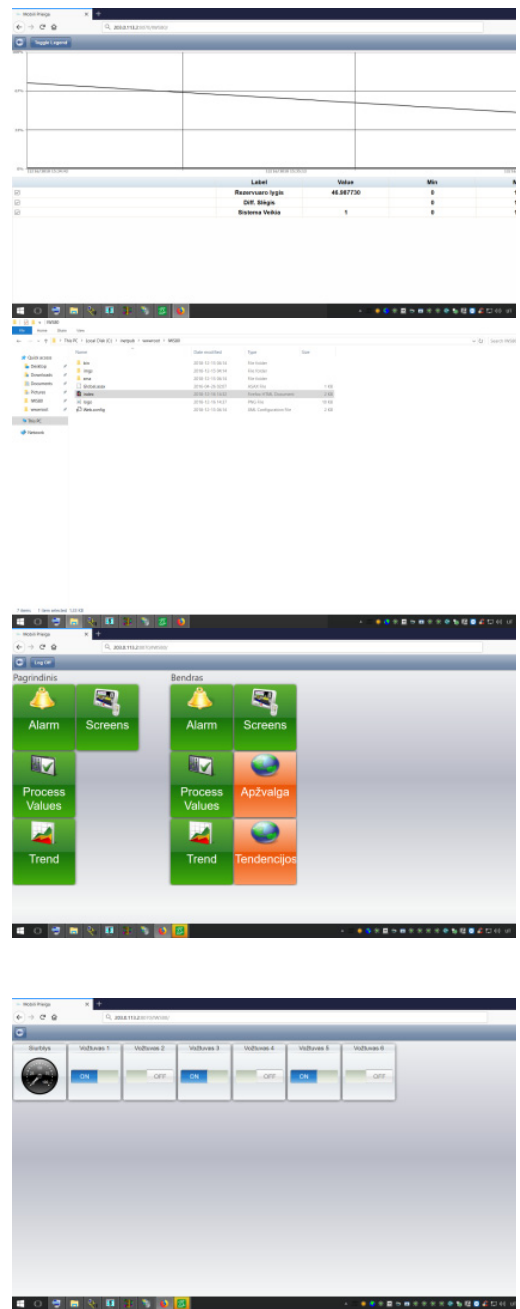
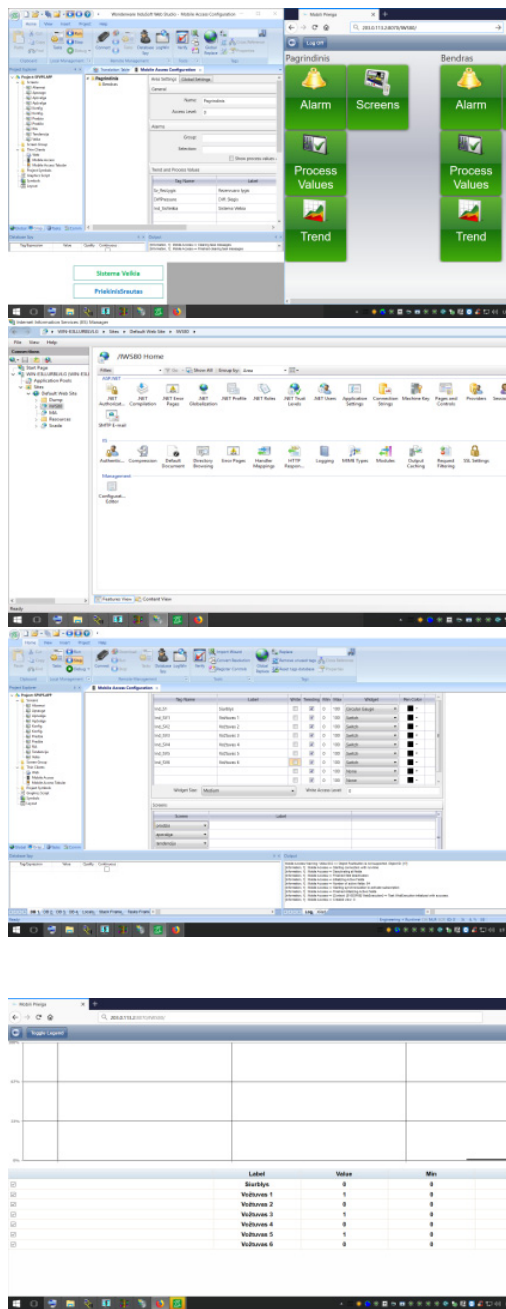
Svarbu prisiminti, kad nors „Mobile Access“ yra to paties projekto vykdymo dalis ir gali būti aptarnaujamas tame pačiame serveryje, kuriame saugomi peržiūros „angl. Secure Viewers“ ir „angl. Web Thin Clients“ paskelbti ekranai, tai yra skirtinga sąsaja, grindžiama agnostinės platformos technologijomis. Saugios peržiūros klientai (angl. Secure Viewer, Web Thin Client) yra pagrįsti „ActiveX“ technologija, todėl jie gali veikti tik „Windows“ kompiuteriuose. Priešingai mobili prieiga (angl. Mobile Access) žiniatinklio sąsaja yra pagrįsta HTML5 ir gali būti naudojama didžiojoje dalyje interneto naršyklių, kompiuterių ir įrenginių.

„Plonas klientas“ ar mobili prieiga sukompiliuotoje dalyje įkelia aplikacijos, projekto grafinę sąsają (t. y., ekranus su objektais ir animacijomis), o tada naudoja šią sąsają, kad pateiktų duomenis (t. y., žymos reikšmes) serveryje. Šis sprendimas užtikrina aukštą lankstumo lygį, nes bet kuris kompiuteris, turintis tinklo ryšį su serverio stotimi (per TCP / IP), gali pasiekti projektą vykdymo metu.

Pirma, projekto meniu nustatome komunikacijos pagrindus, suveddami duomenų serverio IP adresą. Įgaliname failų kompresiją ir automatinį ekranų plėtimą. TCP/IP serverio užduoties paleidimo režimas nustatomas į „auto“, o žymų (angl. tags) profilį pakeičiame į serverio tipą dėl naudojimo web kliente.

Antra, kadangi ekranus jau esame sukūrę, pasinaudojame HTML kompiliacijos priemone (angl. Save All HTML) ir sugeneruojame failus. Juos patalpiname IIS web serveryje.

Projekto žiniatinklio sąsaja susideda iš vienos ar daugiau „sričių“, kurios yra organizuojamos pagal vietą, sistemą ar įrenginį. Kiekvienoje zonoje yra „Signalizacijos valdiklis“, „Proceso verčių“ (angl. Trend) kontrolė ir ekrano valdymas. Šios valdiklio rodyklės žiniatinklyje rodomos kaip žalios plytelės, o kai paspausime / paliesime vieną iš šių plytelių, ji atidarys naują šio valdiklio puslapį. 3.4-22 paveiksle parodyta mobilios prieigos, interneto sąsajos ir svetainę aptarnaujančių failų direktorija.



3.4-22 paveikslas. Mobilios prieigos diegimas, IIS nuostatos ir testavimas.

Kiekvienoje srityje taip pat yra sukurta vienas ar daugiau „pogrūpių“, kurie žiniatinklio sąsajoje rodomi kaip oranžinės plytelės. Kai spustelėsime vieną iš šių plytelių, ji atidarys naują šio pogrūpio puslapį.

Galime įterpti tiek sričių ir pogrūpių, kiek reikalauja projektas; žiniatinklio sąsaja, automatiškai išplečiama, kad atitiktų jas. Naudodamiesi mobiliosios prieigos konfigūracijos darbalapiu, įterpiame ir konfigūruojame sritis.

4. IŠVADOS

1. 3.3 skyriuje teoriškai išanalizuota vandens kokybės vertinimo *SCADA* sistema, vertinant serverio ir kliento komunikacijos mechanizmą Modbus duomenims keistis TCP/IP tinkle, integruojant žiniatinklio technologijas interneto/intraneto susijungimui, aprašant Modbus registrų reikšmių nuskaitymą, gavybą, analizę Web ir DB serveriuose bei HMI vizualizavimą. 3.4 skyriuje analizuota grįžtamojo ryšio PID vandens paskirstymo *SCADA* sistemos prototipas, vertinant nuoseklaus ryšio mechanizmą duomenims keistis tarp PLC ir sukurtų HMI/SCADA aplikacijų, integruojant žiniatinklio technologijas interneto/intraneto susijungimui, duomenų gavybos, saugos ir analizės tikslais.
2. Suprojektuota *vandens kokybės vertinimo sistema* veikia praktiškai ir prieinama per vietinį <http://192.168.1.193:8070/Scada> ir išorinį 188.69.251.32:8070/Scada adresą. Windows Server 2016 (192.168.1.193) serveryje įdiegta adaptuota ir lokalizuota aplikacija, kuri turi 5 modulius, skirtus duomenų gavybos ir kontrolės valdymui (SCADA): Administratoriaus modulyje sukonfigūruotos opcijos įvesti objektams (baseinai), ryšio linijoms (Modbus, 4G), įrenginiams (keitiklis Liquiline CM422), įrenginių kanalams (1001 temp., 1002-deguonis). Komunikatoriaus modulyje aprašyti ir importuoti „Administratoriaus“ modulyje sukurtas Liquiline CM422 įrenginys IP 192.168.1.170 ir susieta Modbus komunikacijos logikos biblioteka (PRIEDAS B: Modbus TCP/IP testas). Aprašytas įrenginio komunikacijos „xml“ šablonas Modbus laikymo „Holding“ registrų 40001-2-40005-6 adresams su šešioliktainėmis temperatūros ir deguonies reikšmėmis. Šablone nustatyta svarbiausio baido (angl. MSB) reikšmės funkcija su „2301“ baidų eiliškumu, kuri atlieka duomenų konversiją į dešimtainę sistemą. Schemų Maketavimo modulyje sukurta objektų grafinė reprezentacija (angl. HMI) ir dinaminio teksto žymos, kurios susietos su 1001 ir 1002 kanalais. Serverio modulyje aprašyta SQL serverio jungimo, užklausų ir SSMS DB kūrimo sintaksės (PRIEDAS D: Realus laiko duomenų eksportavimas į SQL Server), įgalinanti realaus laiko vandens parametrų duomenų gavybos procesą. Sukurta svetainė IIS10 web serveryje (192.168.1.193, statinis IP), aptarnaujanti sistemos katalogus. Nustatytas „binding“ adreso prievadas 8070. Rėlinių signalų simuliacijos metu (PRIEDAS C: Liquiline CM422 rėlinių išėjimų testas), keičiantis signalo tipui (4-20Ma), Modbus registre 40098, atitinkamai gaunamas signalas

4 arba 20 arba “įjungta”-“išjungta”. Galima teigti, jog aeratorius bus galima valdyti pagal nustatytas PID deguonies pokyčio ribas be žmogaus intervencijos.

3. Sėkmingai užtikrinus virtualią, nuoseklios komunikacijos jungtį tarp PLC ir SCADA serverio, sukurtas *grįžtamojo ryšio PID vandens paskirstymo HMI ir SCADA prototipas, pagal 3.4.1 paveiksle pavaizduotą PID schema* ir yra prieinamas vietiniame tinkle adresu 192.168.1.193:8070/pradzia.html (Windows Serveris 2016) ir 188.69.251.32:8070/pradzia.html. Sistema turi 8 vaizdus, kuriuose realizuotos 48 žymos, susietos su PLC logikos grandinės kanalais. Taip pat, IIS10 web serveryje, aprašyta papildoma svetainės su sistemos žymas, grafikos ir kitus elementus aptarnaujančia direktorija, IWS80. 188.69.251.32:8070/IWS80 nuoroda yra skirta mobiliam prieigai ir pritaikyta iOS, android ir naršyklėms. Paprogramė, pritaikyta analizuoti specifines PID sistemos elementų kategorijas. Pvz., galima specifiskai stebėti ir prieiti prie nuotolinės vožtuvų konfigūracijos vaizdo arba matyti slėgio, lygio tendencijas. Esminis sistemos tikslas (PRIEDAS E: Siurblio sausos eigos testas) yra pasiektas. Nukritus srautui yra aktyvuojamas B3:4-10 adrese esantis „Zemo Srauto Pranesimo Bitas“ ir operatorius informuojamas apie aliarmą su indikacija. Srauto jungiklio bitui tapus aktyviam ir atsidarius, siurblio bitas atsidaro ir sistema yra išjungiamą.
4. PtP (5Ghz WiFi) ryšio tarp nutolusių objektų (baseinai) ir centrinės stoties sujungimas sėkmingai įprasmintas. Priedėlyje B (PRIEDAS B: Modbus TCP/IP testas, 2 pav.: Wireshark Modbus srauto analizė) pateiktame rezultate, matomas Modbus duomenų srautas. Į centrinį SCADA serverį jis perduodamas iš laidinio, izoliuoto tinklo, tarpininkaujant belaidžiui tinklui ir topologijai, kuri aprašyta 3.2 skyriuje. Atstumo įtakos panaikinimas duomenų perdavime tinklu, išsprendžia akvakultūros ar kitos pramonės šakos brangių išteklių ir mobilių resursų skirstyme bei valdyme atsirandančias problemas, užtikrinant visapusę kontrolę. Surinkti ir kaupiami duomenys suteikė vandens kokybės analizės pradžia. Įvertinta ir žinoma temperatūros ir deguonies pokyčio tendencija jau leidžia vertinti hipoksijos (deguonies trūkumas ar perteklius) poveikį žuvų fiziologijai ir energetikai.



5. ATEITIES PROJEKTŲ GAIRĖS

Tyrimo pradžioje nustatyti uždaviniai buvo įvykdyti, kaip, teigiama 4 skyriuje. Buvo sėkmingai įdiegtos ir sukurtos, *SCADA* sistemos su Modbus ir RS232/485 tinklų technologijomis. Sujungimas su įmonės tinklu ir prieiga per WAN ryšį užtikrina realaus laiko kontrolę ir proceso valdymą nepriklausomai nuo vietos.

Be to, siekiant papildomai patvirtinti faktą, jog TCP/IP pagrindo tinklas, gali naudoti įvairius sensorinių tinklų protokolų standartus, yra keletas aspektų, kurie papildomai optimizuos jau sukurtų *SCADA* sistemų darbą ir suteiks galimybę pereiti nuo dalinio prototipo į galutinį produktą.

TCP/IP protokolo pramoninis tinklas reikalauja 2-3 lygio perjungimo. Todėl sekantis projektas yra įgyvendinti 3.2 skyriuje rekomenuojamą topologiją:

- Papildomo tinklo sujungimo galimybė

Šiame tyrime, buvo pristatyta, kaip galima nustatyti TCP ryšį tarp "HMI" ir kompiuterių, kuriame yra TCP serveriai. Be to, buvo parodyta, kaip keistis duomenimis tarp PLC ir kompiuterio, stebėti ir valdyti programos parametrus, žmogaus-mašinos-sąsajos (angl. HMI) kompiuteryje. Visa tai yra įrodyta, gerai veikia ir tarnauja kaip dalinis *SCADA* sistemos prototipas. Svarbi galutinio taikymo funkcija – tai komunikacijos valdymo algoritmas PID vandens paskirstymo sistemoje, PLC pusėje iš virtualaus į TCP/IP. Tai leistų realiai įdiegti PID vandens paskirstymo sistemą, stebėti ryšį ir užtikrinti, kad kiekvieną kartą, kai vandens perdavimas yra sutrikdytas ar sugedęs, PLC laikosi reikalingos procedūros, kad galėtų savarankiškai užtikrinti siurblio apsaugą nuo sausos eigos. Vandens kokybės vertinimo sistema, yra realizuota realiaime laike ir naudojama praktiškai.

Atnaujinus esamą tinklą pagal pagal 3.2 skyriuje pateiktus pavyzdžius, Cisco Packet Tracer tinklų simuliacijos programoje ir sukurtiant bendrojo pramonės protokolo (CIP) pagrindo integruotą tinklą, parenkant reikalingą „žvaigždės“ topologiją, įgalinant 2 ir 3 sluoksnio perjungimą, suskaidant tinklą į potinklius, magistralinius „angl. Trunk“ prievadus, tarp potinklinių maršrutizavimą (angl. Inter-Vlan routing), PTP ir WAN ryšio keitimosi funkcijas bei struktūras,

būtų įgalinta plečiama architektūra, komunikacija dideliu duomenų kiekiu su lankstesniais, realaus laiko apribojimais ir valdymo funkcijomis per laidinio ir belaidžio tinklo bei interneto technologijas. Taip pat būtų galima pilnai patvirtinti hipotezę, jog remiantis bevielių sensorinių tinklų standartais ir juose nurodytais signalo perdavimo atstumais negalima sujungi izoliuotus ir integruotus (neizoliuotas) tinklus, nenaudojant radijo ryšio PtP komunikacijos didelėse teritorijose.

Taip pat atvirose tvenkiniuose bus siekiama įdiegti 4G ryšio, Modbus, OPC, MQTT, protokolus, palaikančius, vandens tyrimo plūdurus, sujungiamus su esama vandens kokybės vertinimo sistema per nustatytas komunikacijos linijas. Plūdūrai turi integruotas energijos taupymo funkcijas (1-3m. autonominio maitinimo).

Mažos apimties objektuose su dideliu elementų tankiu (pvz., 13 erškėtų baseinų, 15 žieminių tvenkinių), su mažu atstumu tarp vienas kito ir ribotomis energijos sąlygomis, sieksime diegti 802.15.4 standarto sensorinį tinklą. Savo ruožtu, izoliuotas tinklas yra prijungiamas prie prieigos sluoksnio, kuris radijo ryšio antenomis prisijungia prie paskirstymo sluoksnio. Sujungimą su pagrindiniu sluoksniu ir *SCADA* serveriais (VLAN: SPKP) užtikrintų ilgo nuotolio 5Ghz, AC standarto PtP ryšys. Esant 3 sloksnio tinklo jungimui, sudaroma prieiga, duomenis pasiekti internetu.

- Saugumo protokolo rengimas

Kadangi *Modbus.org* visiškai neseniai pateikė, protokolo duomenų apsaugos standarto patobulinimą, siekiant užkirsti kelią duomenų vagystei ir padidinti saugumą, sieksime, jog vandens kokybės vertinimo sistemos CM422 keitiklio ir zondo, programinės įrangos būtų atnaujintos, kad palaikytų X.509v3 skaitmeninius sertifikatus, kliento/serverio autentifikacijai. Taip pat IIS 10 web serveryje planuojamas įdiegti (angl. COMODO EV SSL Certificate) sertifikatas, kuris užtikrintų, grįžtamojo ryšio PID vandens paskirstymo ir vandens kokybės vertinimo sistemų, mobilios prieigos ryšio saugumą.

6. LITERATŪROS SĀRAŠAS

1. ODVA.ORG, (2018). The Common Industrial Protocol (CIP™). Žiūrēta 2018, rugsėjo 10 d. internete:< <https://www.odva.org/Technology-Standards/Common-Industrial-Protocol-CIP/Overview> >.
2. RapidSCADA.org, (2018). Software Overview. Žiūrēta 2018, rugsėjo 11 d. internete:< <http://doc.rapidSCADA.net/content/en/software-overview/> >.
3. AVEVA Group plc, (2018). Indusoft Web Studio Technical Guide. Žiūrēta 2018, rugsėjo 11 d. internete:< [http://download.indusoft.com/81.2.0/IWS+v8.1%2BSP2+Technical+Reference+\(A4\).pdf](http://download.indusoft.com/81.2.0/IWS+v8.1%2BSP2+Technical+Reference+(A4).pdf) >.
4. AVEVA Group plc, (2018). White Papers. Using Internet Technologies to Create Web-Based HMI. Žiūrēta 2018, rugsėjo 11 d. internete:< <http://www.indusoft.com/Documentation/White-Papers/ArtMID/1198/ArticleID/313/Using-Internet-Technologies-to-Create-Web-Based-HMI> >.
5. Cisco Systems Inc., (2018). 200-125 CCNA Routing and Switching. Interconnecting Cisco Networking Devices: Accelerated (CCNAX). Žiūrēta 2018, rugsėjo 17 d. internete:< <https://www.cisco.com/c/en/us/training-events/resources/training-services/course-overviews/interconnecting-cisco-networking-devices-accelerated-ccnax.html> >.
6. Endress+Hauser Management AG, (2018). Data transmission via Modbus. Žiūrēta 2018, rugsėjo 19 d. internete:< https://portal.endress.com/wa001/dla/5000605/0916/000/03/SD01189CEN_04.17.pdf >.
7. AllenBradley, (2018). MicroLogix 1100 Programmable Logic Controller Systems. RSLogix 500 programming software. Žiūrēta 2018, rugsėjo 21 d. internete:< <https://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/products/rslogix500.page> >.
8. M. T. J, (2016). A Comparison of IoT Gateway Protocols: MQTT and Modbus. Žiūrēta 2018, rugsėjo 21 d. internete:< <https://software.intel.com/en-us/articles/a-comparison-of-iot-gateway-protocols-mqtt-and-modbus> >.
9. Wikipedia contributors, (2017). Intranet. Žiūrēta 2018, rugsėjo 24 d. internete:< <https://en.wikipedia.org/wiki/Intranet> >.

10. OPC Foundation, (2017). What is OPC? Žiūrėta 2018, rugsėjo 28 d. internete:<
<https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>>.
11. OPC Foundation, (2017). Unified Architecture. Žiūrėta 2018, rugsėjo 28 d. internete:<
<https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>>.
12. T. Jaffey, (2014). MQTT and CoAP, IoT Protocols. Žiūrėta 2018, rugsėjo 28 d. internete:<
https://eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2014/february/article2.php>.
13. HiveMQ, (2015). MQTT Essentials Part 3: Client, Broker and Connection Establishment. Žiūrėta 2018, spalio 1 d. internete:<
<http://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part-3-client-broker-connection-establishment>>.
14. XSF, (2017). An Overview of XMPP. Žiūrėta 2018, spalio 1 d. internete:<
<https://xmpp.org/about/technology-overview.html>>.
15. Modbus.org, (2012). "MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b3". Žiūrėta 2018, spalio 2 d. internete:<
http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf>.
16. Modbus.org, (2006). "MODBUS MESSAGING ON TCP/IP IMPLEMENTATION GUIDE V1.0b". Žiūrėta 2018, spalio 2 d. internete:<
http://www.modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf>.
17. AEG Schneider Automation, (2004). Modicon Modbus Plus Network Planning and Installation Guide. Schneider Electric. Žiūrėta 2018, spalio 4 d. internete:<
http://apps.watersurplus.com/techlib/Modicon/Modicon_ModbusPlus_install_D704.pdf>.
18. Wikipedia contributors, (2017). Unified Process. Žiūrėta 2018, spalio 5 d. internete:<
https://en.wikipedia.org/wiki/Unified_Process>.
19. N.-O. Skeie, (2016) "Object-oriented Analysis, Design, and Programming using UML and C#".
20. R. Sutaria and R. Govindachari, (2013). Understanding The Internet Of Things. Žiūrėta 2018, spalio 6 d. internete:<
<http://www.electronicdesign.com/iot/understanding-internet-things>>.
21. Intel Corporation, (2014). Developing Solutions for the Internet of Things. Žiūrėta 2018, spalio 6 d. internete:<
<http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/developing-solutions-for-iot.pdf>>.
22. Micrium Software, (2017). Part 3: IoT Protocol Stack Options. Žiūrėta 2018, spalio 6 d. internete:<
<https://www.micrium.com/iot/internet-protocols/>>.
23. Forouzan, B. A, (2010). TCP/IP Protocol Suite. Mcgraw-Hill.

24. HMS Industrial Networks. (2006). Modbus Plus - Local Area Network. HMS Industrial Networks. Žiūrėta 2018, spalio 7 d. internete: <
<http://www.anybus.com/technologies/modbusplus.shtml> >.
25. Saboya, N. G, (2012). Serial Communication Standards: RS-232, RS-422, RS-485. Žiūrėta 2018, spalio 9 d. internete: < unilibre.edu.co:
<http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-11/art13.pdf>>.
26. Methley, S., C. Forster, C. Gratton, and S. Bhatti, (2008). Wireless Sensor Networks Final Report. Electronics Design & Consultancy, Great Chesterford, Essex, UK: Plextek Limited,
27. Montenegro, G., N. Kushalnagar, J. Hui, and D. Culler, (2007). RFC 4944: Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks. Standard, IETF.
28. Paavola, M., (2007). Wireless Technologies in Process Automation - Review and an application example. Technical Report, Oulu, Finland: University of Oulu.

PRIEDAS A: Pridedamoje laikmenoje, yra pagrindiniai failai, naudojami darbe.

Failas	Programa	Skyrius
Packet_Tracer_tinklo_topologija.pkt	Cisco Packet Tracer	
Vandens_kokybės_vertinimo_sistemos_projektas_su_DB	RapidSCADA	3. 3
PLC_logikos_kodas.rss	RS Logix 500 Pro	3. 4
PID_vandens_paskirstymo_sistemos_projektas_Web	Indusft Web Studio	3. 4
PID_vandens_paskirstymo_sistemos_projekto_DB	Microsoft SQL Server 2016	3. 4
Advanced_HMI_PID_vandens_paskirstymo_sistemos_projektas.sl n	Visual Studio 2017	3. 4
KpModbus_ryšio_Logika_biblioteka_cs.cs	Visual Studio 2017	3. 3
Liquiline_CM422_keitiklio_parametrai	Adobe Acrobat	
Oxymax_COS61D_oksometro_parametrai	Adobe Acrobat	
Micrologix_1100_PLC_parametrai	Adobe Acrobat	
Ubiquity_PowerBeam_PBE-5AC-Gen2_parametrai	Adobe Acrobat	
Aquas_vandens_analizės_plūdurai_parametrai	Adobe Acrobat	
Arduino hc sr04 sonaro kodas.ino	Arduino	
Ultragarsinis-Vandens-lygio-indikatorius-su-siurblio-valdymu.vi	LabView 2018	
PAPILDOMA TOERINĖ MEDŽIAGA		

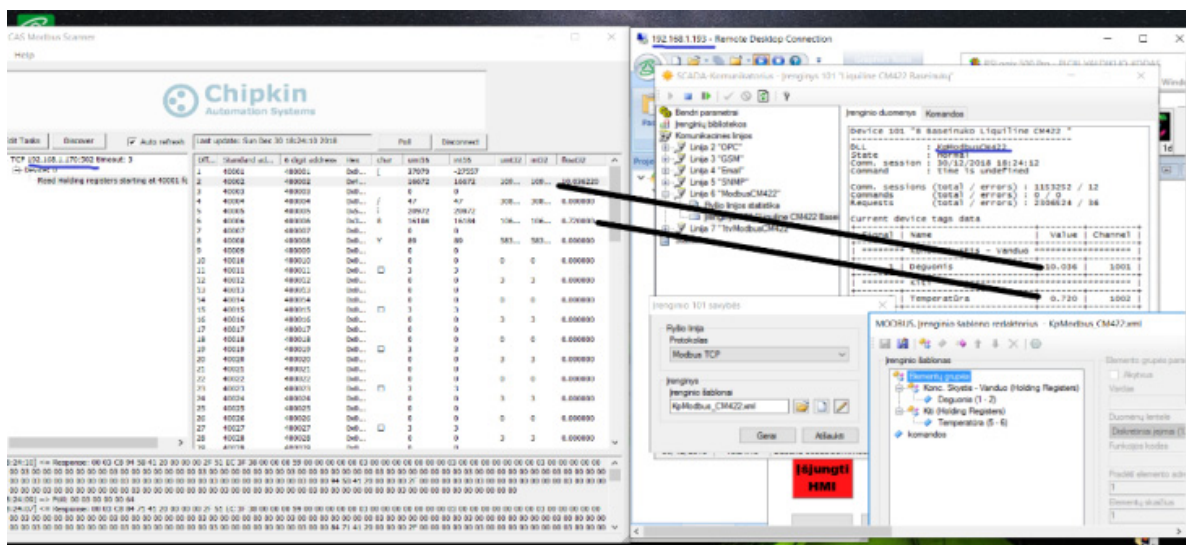
Pramoninio tinklo apžvalga.docx. Papildoma teorija.	Word 2019	2.
TCP/IP protokolo stekas.docx. Papildoma teorija.	Word 2019	1 2.
Pramoninių BST tinklai ir standartizavimas.docx. Papildoma teorija.	Word 2019	1 2.
Bevielių sensorinių tinklų literatūros šaltiniai.docx	Word 2019	
Daiktų interneto protokolai.docx. Papildoma teorija.	Word 2019	2 2.
Ethernet/IP tinklo kūrimas.docx	Word 2016	2 3.
Modbus duomenų baitų seka.docx	Word 2019	3 3.

PRIEDAS B: Modbus TCP/IP testas

Vandens kokybės vertinimo SCADA serverio ir Liquiline CM422 sujungimas su Modbus TCP/IP testas buvo atliktas projekto kūrimo etape, siekiant įrodyti, kad pritaikyta „Modbus TCP/IP“ biblioteka, jungianti SCADA serverį su keitikliu, klientas/serveris režime, gali dirbti su Liquiline CM422 keitikliu TCP/IP tinkle.

Šiame skyriuje pateiktas bandymas buvo atliktas su Liquiline CM422 keitikliu, sukonfigūruotu kaip klientas, palaikyti ryšiui su Vandens kokybės vertinimo sistemos serverio „SCADA“ aplikacija. Klientas veikia erškėtų baseinų objekte, todėl jungiklis (izoliuotas LAN) ir PtP ryšys (Integruotas LAN) buvo naudojamas susijungti su SCADA serveriu per TCP/IP ryšį.

Bandymo metu 2 ir 6-as kliento laikymo (holding) registrai yra naudojami deguonies ir temperatūros vertėms skaityti ir rašyti. Laikymo registro adreso 40002-40006 vertės buvo pakeistos į slankiojo kabelio formatą (deguonis-10.028865; temperatūra- 0,72000 pavyzdyje), ir jį nuskaitė vandens kokybės vertinimo serverio, komunikacijos modulis (serveris) ir atvaizdavo 1 pav.



1 pav.: Modbus registrų duomenys gaunami iš Liquiline keitiklio.

Analizuojamas Modbus tinklo srautas su Wireshark ir perduodami *SCADA* serverio komunikatoriui per TCP/IP, naudojant KpModbusCM422.dll biblioteka:

```
/// <reziume>
/// TCP UŽKLAUSA
/// </reziume>
public bool TcpRequest(DataUnit dataUnit)
{
    if (!CheckConnection())
        return false;

    bool result = false;
    string logText;

    // užklauskos siuntimas
    WriteToLog(dataUnit.ReqDescr);
    Connection.Write(dataUnit.ReqADU, 0, dataUnit.ReqADU.Length,
        CommUtils.ProtocolLogFormats.Hex, out logText);
    ExecWriteToLog(logText);

    // užklauskos priėmimas
    // MBAP antraštės nuskaitymas
    int readCnt = Connection.Read(InBuf, 0, 7, Timeout, CommUtils.ProtocolLogFormats.Hex,
out logText);
    ExecWriteToLog(logText);

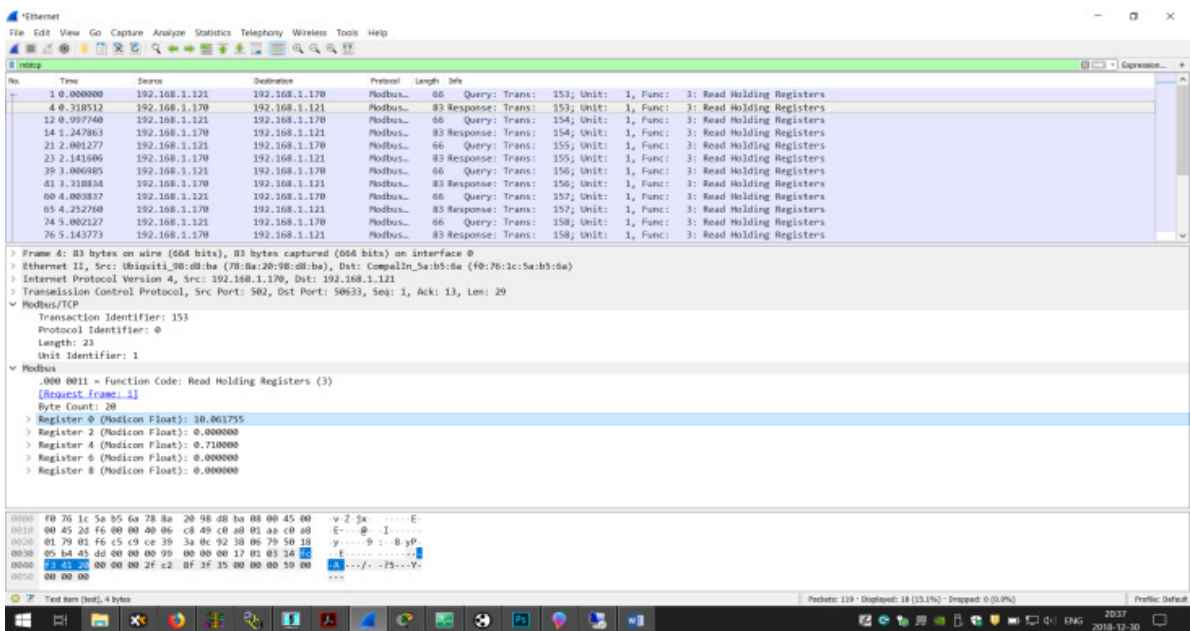
    if (readCnt == 7)
    {
        int pduLen = InBuf[4] * 256 + InBuf[5] - 1;

        if (InBuf[0] == 0 && InBuf[1] == 0 && InBuf[2] == 0 && InBuf[3] == 0 && pduLen > 0
&&
            InBuf[6] == dataUnit.ReqADU[6])
        {
            // PDU nuskaitymas
            readCnt = Connection.Read(InBuf, 7, pduLen, Timeout,
                CommUtils.ProtocolLogFormats.Hex, out logText);
            ExecWriteToLog(logText);

            if (readCnt == pduLen)
            {
                // atsakymo iššifravimas
                string errMsg;

                if (dataUnit.DecodeRespPDU(InBuf, 7, pduLen, out errMsg))
                {
                    ExecWriteToLog(ModbusPhrases.OK);
                    result = true;
                }
                else
                {
                    ExecWriteToLog(errMsg + "!");
                }
            }
            else
            {
                WriteToLog(ModbusPhrases.CommErrorWithExclamation);
            }
        }
        else
        {
            WriteToLog(ModbusPhrases.IncorrectMbp);
        }
    }
    else
    {
        WriteToLog(ModbusPhrases.CommErrorWithExclamation);
    }

    return result;
}
}
```



2 pav.: Wireshark Modbus srauto analizė: registrų duomenys gaunami iš Liquiline keitiklio ir perduodami į serverį.

PRIEDAS C: Liquiline CM422 keitiklio rėlinių išėjimų testas

Šis testas buvo atliktas projekto kūrimo etape, siekiant įrodyti, kad vandens kokybės vertinimo sistemoje funkcionuoja rėlinių išėjimų valdymas, kurį kontroliuoja Liquiline CM422 HMI nustatyti deguonies intervalai. Įjungus srovinį išėjimą 4-20mA, keitiklis generuoja laikymo (holding) registrų modbus komandą 40098 registre, prieinamą TCP tinkle. Nustatytos PID reikšmės deguonies kitimo intervalui nuo 4.02 mg/l iki 10 mg/l.

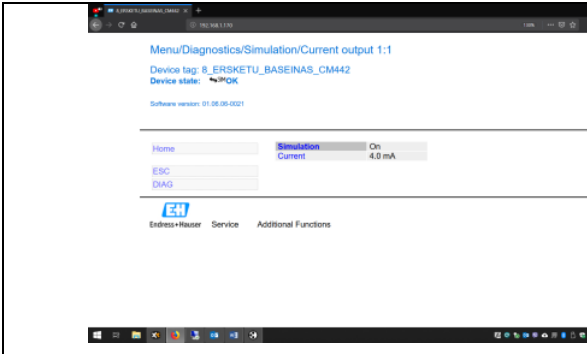

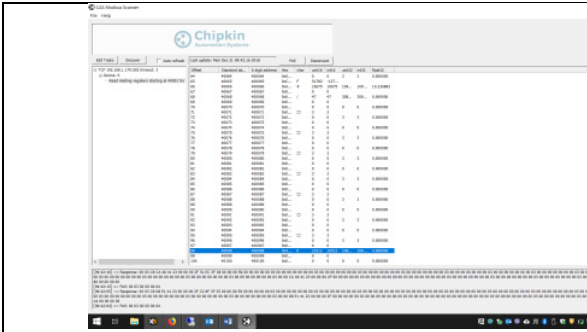
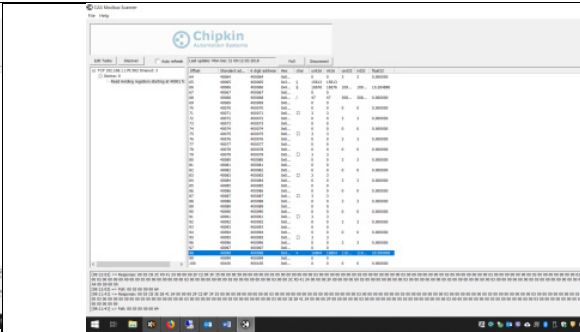
Kada deguonies lygis yra normos ribose, srovinio išėjimo kanalas (relė) yra atvira arba turi 20ma srovę. Keičiantis nustatytų ribų parametras, t.y., mažėjant deguonies lygiui, srovė mažėja. Pasiekusi srovės lygį, kurį atitinka minimali, aliarmo riba, relė yra įjungiamą. Tuomet aktyvuojami prijungti įrenginiai. Pvz., aeratoriai, kurie gamina deguonį. Reikšmėms susinormalizavimus, relė atjungiamą ir įrenginiai išjungiami. Panaudojus modbus registro 40098 reikšmę, kuri valdo rėlės busėna ir prijungus prie vandens kokybės vertinimo sistemos, galimas aeratorių rankinis išjungimas/įjungimas per nuotolį.

Panaudojus keitiklyje įdiegtą simuliacijos įrankį, nustatote, jog srovė nukrito iki 4 mA . Modbus registro 40098 reikšmė, pasikeitė iš 20 mA į 4 mA. Tai reiškia, jog rėlinis išėjimas veikia. Procesas parodytas C priedėlio 1 lentelėje.

Suveikus valdiklio relinio ieseimo normalei atviram kontaktui, paduodama itampa i magnetinio kontaktoriaus rite. Si gavusi itampa sukuria magnetini lauka magnetolaidyje kuris sudarytas is dvieju atskiru daliu kuriu viena itvirtinta nejudamai, kita pritvirtinta prie kontaktoriaus darbinu kontaktu. Indukuotas magnetinis laukas magnetolaidyje pritraukia judama dali taip uzdarydamas kontaktus, per kuriuos pradeda tekėti itampa valdomiems aeratoriams. Valdikliui

atidarius relinio išėjimo normaliai atvira kontakta itampa nutraukiama magnetinio kontaktoriaus ritei, magnetinis laukas nebeveikia magnetolaidžio ir sis spiruokles pagalba atsistato i savo pradine padeti taip atidarydamas kontaktoriaus darbinius kontaktus ir nutraukdamas itampa valdomiems irenginiams. Papildomai, stebeti magnetinio kontaktoriaus bukle, lygiagrečiai magnetinio kontaktoriaus ritei įjungta indikacinne lempute.

Priedėlis C: 1 lentelė. Simuliacijos, PID reikšmių nustatymas ir Modbus adresų vertės.

	
<p>Įjungtas simuliacijos režimas keitiklyje</p>	<p>PID intervalo nuostatų ribos, rėlės būsenos keitimui</p>
	
<p>Aktyvuoto rėlinio išėjimo Modbus registro reikšmė 4 mA. Rėlė uždaryta. Aeratorius veikia.</p>	<p>Aktyvuoto rėlinio išėjimo Modbus registro reikšmė 20 mA. Rėlė atidaryta. Aeratorius neveikia.</p>

PRIEDAS D: Realus laiko duomenų eksportavimas į SQL Server

Šis testas buvo atliktas projekto kūrimo etape, siekiant įrodyti, kad vandens kokybės vertinimo ir grįžtamojo ryšio PID sistemos vykdo duomenų gavybos funkcijas.

Aprašysiu ir pateiksiu realaus laiko eksportavimo duomenų SQL jungimo sintaksę. Norėdami perduoti duomenis iš SCADA serverių, pirmiausia buvo sukurkitos duomenų bazės ir lentelės informacijai saugoti. Aprašyti duomenų bazės ryšio parametrai ir SQL scenarijai, kuriuos serveriai taiko, kai gaunami nauji duomenys.

Vandens kokybės vertinimo sistemos duomenų eksportas vykdomas aprašant SQL kreipinius SCADA komunikatoriaus aplikacijoje, kuri parodyta 3 paveikslėlyje:

```

-- Sukuriamos kanalų lentelės
CREATE TABLE KanaluDuomenys (
    DataLaikas datetime2 NOT NULL,
    KanalNum    int NOT NULL,
    Reiksme     float NOT NULL,
    Busena      int NOT NULL,
    PRIMARY KEY (DataLaikas, KanalNum)
);

CREATE INDEX idx_KanaluDuomenys_KanalNum ON KanaluDuomenys (KanalNum);

-- Sukurti įvykių lentelę
CREATE TABLE Ivykiai (
    DataLaikas  datetime2 NOT NULL,
    ObjNum      int NOT NULL,
    KPNum       int NOT NULL,
    ParamID     int NOT NULL,
    KanalNum    int NOT NULL,
    SenKanalReiksm float NOT NULL,
    SenKanalBusen int NOT NULL,
    NaujaKanalReiks float NOT NULL,
    NaujaKanalBusen int NOT NULL,
    Patikrinta  bit NOT NULL,
    VartID      int NOT NULL,
    Apibudinimas char(100),
    Duomenys    char(50)
);

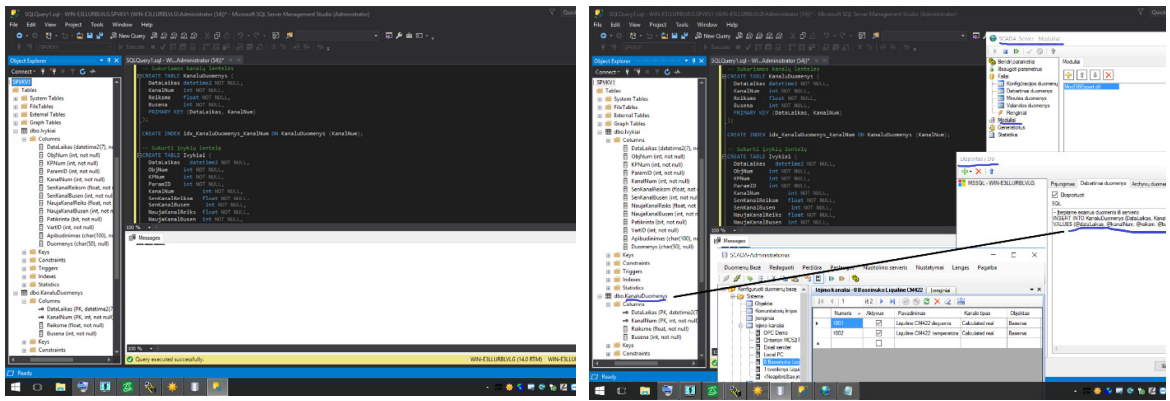
CREATE INDEX idx_Ivykiai_DataLaikas ON Ivykiai (DataLaikas);
CREATE INDEX idx_Ivykiai_ObjNum ON Ivykiai (ObjNum);
CREATE INDEX idx_Ivykiai_KPNum ON Ivykiai (KPNum);
CREATE INDEX idx_Ivykiai_KanalNum ON Ivykiai (KanalNum);

-- Įterpiame esamus duomenis į DB (naudojama scada serverio, kaip SQL
užklausa)
INSERT INTO KanaluDuomenys (DataLaikas, KanalNum, Reiksme, Busena)
VALUES (@dataLaikas, @kanalNum, @reiksm, @busen)

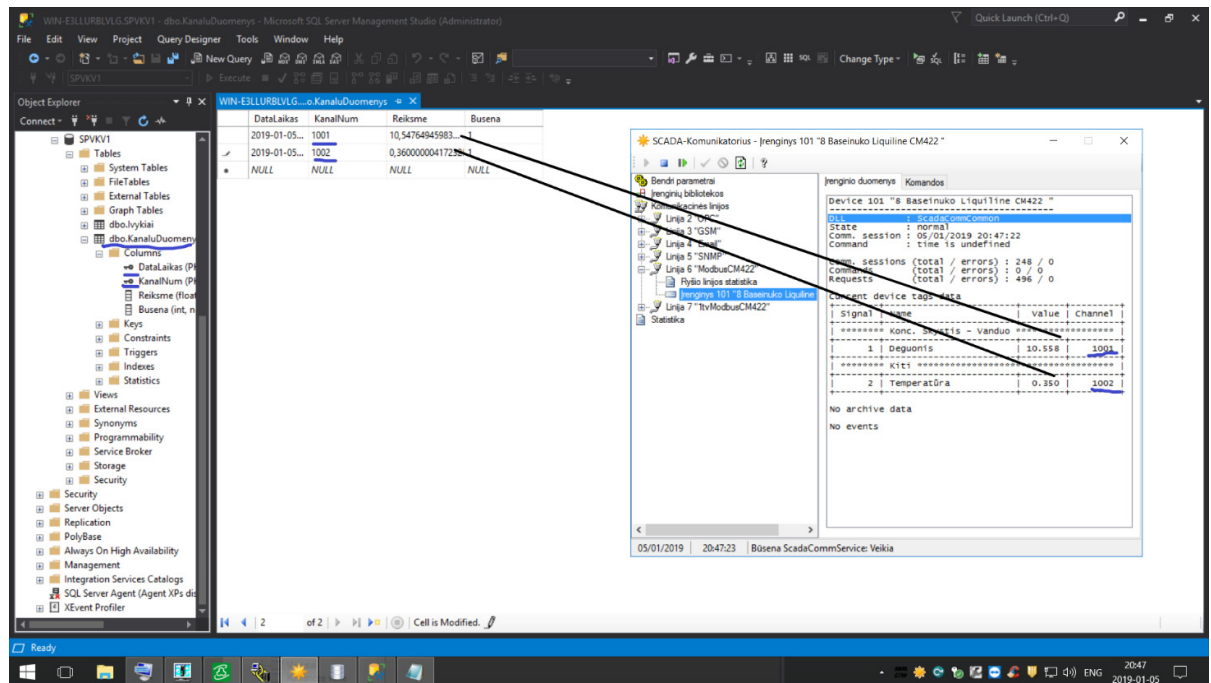
-- Įterpiame arba atnaujiname archyvo duomenis
MERGE KanaluDuomenys AS target
USING (SELECT @dataLaikas, @kanalNum) AS source (DataLaikas, KanalNum)
ON (target.DataLaikas = source.DataLaikas AND target.KanalNum =
source.KanalNum)
WHEN MATCHED THEN
    UPDATE SET Reiksme = @reiksm, Busena = @busen
WHEN NOT MATCHED THEN
    INSERT (DataLaikas, KanalNum, Reiksme, Busena)
    VALUES (@dataLaikas, @kanalNum, @reiksm, @busen);

-- Įterpiame arba atnaujiname archyvo duomenis
INSERT INTO Ivykiai (DataLaikas, ObjNum, KPNum, ParamID, KanalNum,
SenKanalReiksm, SenKanalBusen, NaujaKanalReiks, NaujaKanalBusen, Patikrinta,
VartID, Apibudinimas, Duomenys)
VALUES (@dataLaikas, @objNum, @kpNum, @paramID, @kanalNum, @senKanalReiksm,
@senKanalBusen, @naujaKanalReiks, @naujaKanalBusen, @patikrinta, @vartID,
@apibudinimas, @duomenys)

```



3 pav.: SQL sintaksės naudojimas vandens kokybės vertinimo SCADA sistemos duomenų agregavimui į SQL serverį.



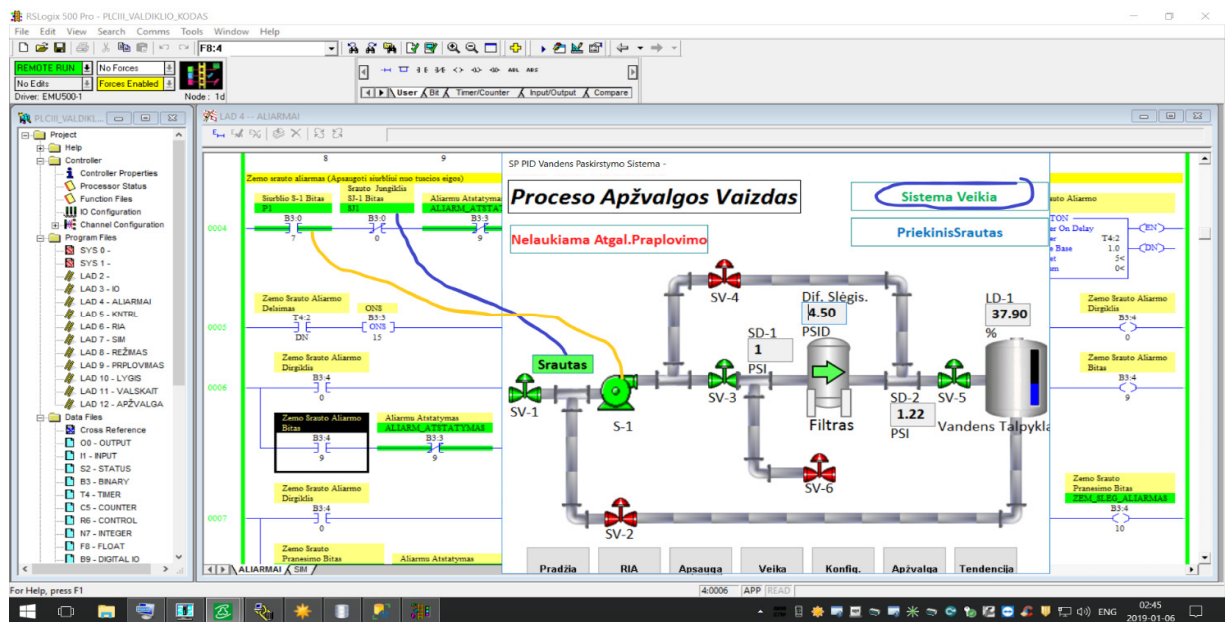
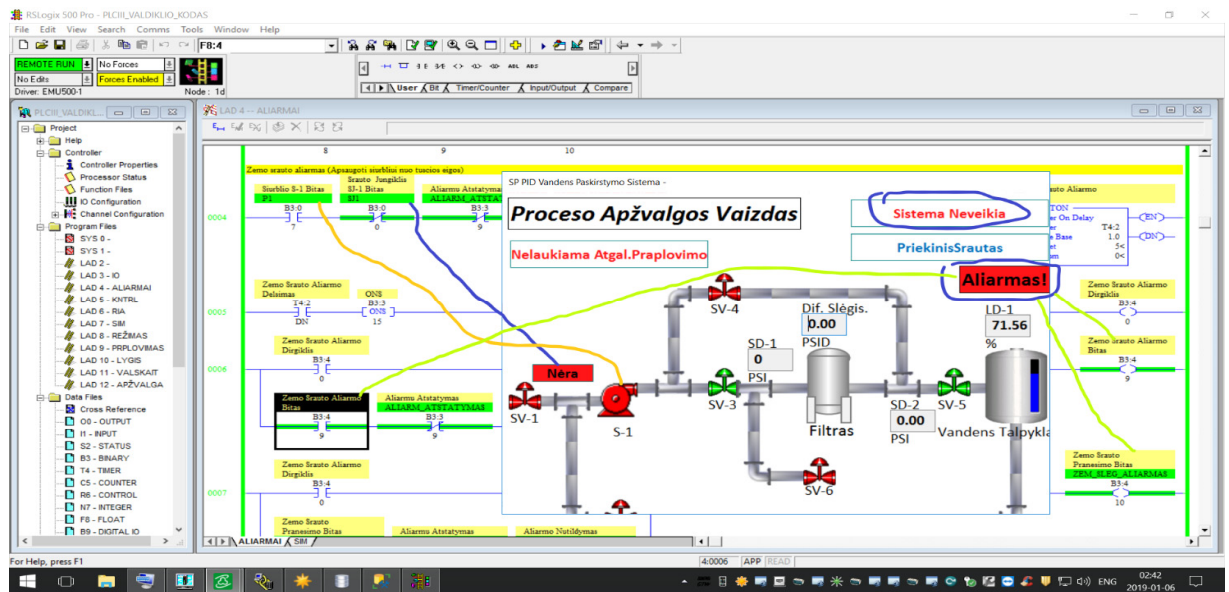
4 pav.: Vandens kokybės vertinimo SCADA sistemos komunikatoriaus duomenys perkiami į DB.

PRIEDAS E: Siurblio sauso eigos testas

Šis testas buvo atliktas projekto kūrimo etape, siekiant įrodyti, kad vandens grįžtamojo ryšio PID sistemos vykdo siurblio apsaugos nuo sausos eigos algoritmą. Principui pagrįsti, panaudosime žemo srauto aliarmo imitaciją.

RSLogix 500 Pro PLC logikos LAD7-SIM kategorijoje, 0004 B3:4/9 adresu, yra suprogramuotas žemo srauto aliarmo bitas. Suaktyvinus šį bitą, kuris susietas su LAD4-Aliarmai kategorijoje, 0006 B3:4/9 adrese esančia „Zemo Srauto Aliarmo Dirgiklis“ žyma. Žymai užsidarius, aktyvuojamas B3:4/10 adrese esantis „Zemo Srauto Pranesimo Bitas“. Analogiškai, pagal logiką, šis aktyvuoja su LAD4-Aliarmai kategorijoje, 0004 B3:0/0 adresu „Srauto Jungiklis SJ-1 Bitas“ bitą, kuris atjungia LAD4-Aliarmai kategorijoje, 0004 B3:0/0 adresu „Siurblio S-1

Bitas“ bitą. Tai reiškia, sustabdo siurblių ir išjungia sistemą. Be to, „Srauto Jungiklis SJ-1 Bitas“ ir „Siurblio S-1 Bitas“ veikia pagal principą, jeigu siurblio bitas aktyvus ir uždarytas (vertinama ar uždaryta), srauto jungiklis (vertinama ar atidaryta) yra neaktyvus, uždarytas ir aliarmo nėra. Srauto jungiklio bitui tapus aktyviam ir atsidarius, siurblio bitas atsidaro ir jis yra išjungiamas bei skelbiamas aliarmas.



5 pav.: Grįžtamojo ryšio PID vandens paskirstymo sistemos siurblio apsaugos logika.