



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Karolis Dambrauskas

**VANDENS SIURBLIŲ VARIKLIŲ VALDYMAS TAIKANT
PUMP GENIUS SISTEMA**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

lekt. dr. Jonas Vanagas

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

**VANDENS SIURBLIŲ VARIKLIŲ VALDYMAS TAIKANT
PUMP GENIUS SISTEMĄ**

Baigiamasis magistro projektas
Elektros energetikos sistemos (621H63005)

Vadovas

lekt. dr. Jonas Vanagas

2017 – 06 – 05

Recenzentas

doc. dr. Algirdas Degutis

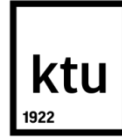
2017 – 06 – 05

Projektą atliko

Karolis Dambrauskas

2017 – 06 – 05

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

(Fakultetas)

Karolis Dambrauskas

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos (621H63005)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Vandens siurblių variklių valdymas taikant *pump genius* sistemą“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 17 m. gegužės 26 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Karolio Dambrausko** baigiamasis projektas tema „Vandens siurblių variklių valdymas taikant *pump genius* sistemą.“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Dambrauskas, Karolis. Vandens siurblių variklių valdymas taikant *pump genius* sistemą. Magistro baigiamasis projektas / vadovas dr. Jonas Vanagas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai

Reikšminiai žodžiai: *vandens siurblių varikliai, nuotėkis, dažnio keitiklis, pump genius sistema*

Kaunas, 2017. 172 p.

SANTRAUKA

Darbo tikslas yra sukurti veikiančią valdymo sistemą vandens siurblių elektros varikliams, kuri galėtų identifikuoti tipinius gedimus vandens siurblių sistemose.

Šiame darbe buvo išanalizuoti geriamo vandens išgavimo ir paskirstymo būdai, vandens siurblių varikliai ir jų tipai, bei vandens siurblių variklių valdymo sistemos. Tai pat buvo apžvelgti gedimai vandens tinkluose ir jų padariniai. Pagal dažniausiai įvykstančius gedimus vandens siurblių varikliuose ir vandens tinkluose buvo sudarytos užduotys vandens siurblių variklių valdymo sistemai identifikuoti ir reaguoti į gedimus vandens linijoje ir vandens siurbliuose. Vandens siurblių valdymo sistema buvo pritaikyta dažnio keitikliu valdyti vandens siurblio variklio sukimosi greitį palaikant 5bar slėgį vandens linijoje. Tai pat buvo sudaryti algoritmai nuotėkio ir kliūtis vandens linijoje aptikimo identifikavimui pagal slėgį vandens linijoje ir vandens siurblio variklio sukimosi greitį. Atliekant du bandymus su eksperimentiniais darbo stendais buvo identifikuojami gedimai vandens siurblio darbo rate, pagal variklio sukimosi greičio ir sukimo momento vertes.

Dambrauskas, Karolis. Application of Pump Genius System in Controlling Water Pump Motors: *Master's* thesis in Electrical Power Systems supervisor dr. Jonas Vanagas. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electric Power Systems.

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: *water pump motors, leakage, frequency inverter, Pump Genius system*

Kaunas, 2017. 172 p.

SUMMARY

Aim of thesis is to create controlling application for water pump motors which is able to identify typical failures in water networks.

Global water resources, water pump motors and water controlling applications was analysed in this master's thesis. Also typical deteriorations of water networks and water pumps causing damages at water networks was analysed. Aims of thesis was formed to identify faults and prevent the consequences at water distribution networks. Water pumps controlling systems was designed to maintain 5bar pressure in water pipes by controlling water pump motor speed from frequency inverter. Experimental water pump motors controlling system was able to identify water pipe leakages and obstructions from pressure in water pipe. Dry pump fault was identified from water pump motor torque and rotation speed during two experiments with water pump motor.

TURINYS

ILIISTRACIJŲ SĄRAŠAS	7
ĮVADAS.....	10
1 VANDENS TINKLŲ IR VANDENS SIURBLIŲ VALDYMO SISTEMŲ APŽVALGINĖ DALIS	11
1.1 Geriamo vandens išgavimas.....	11
1.2 Geriamo vandens tiekimas ir paskirstymas	16
1.3 Vandens siurblių varikliai.....	18
1.4 Dažnio keitikliai.....	24
1.5 Vandens siurblių variklių sistemos.....	26
1.6 SCADA vandens siurblių variklių valdymo sistemos	28
1.7 <i>Pump genius</i> vandens siurblių variklių valdymo sistema.....	30
1.8 Vandens siurblių variklių elektros energijos poreikio analizė vandens tiekimo įmonėje	38
2 TYRIMO METODINĖ DALIS.....	44
2.1 Dažnio keitiklis.....	44
2.2 Eksperimentiniai standai.....	49
2.3 Tyrimai atliekami naudojant eksperimentinius standus ir dažnio keitiklį	52
3 TYRIMO REZULTATAI.....	54
3.1 Vandens siurblių variklių valdymas pagal slėgį vandens linijoje.....	54
3.2 Nuotėkio vandens linijoje identifikavimas	59
3.3 Kliūtis vandens linijoje identifikavimas	61
3.4 Gedimo vandens siurblio darbo rate identifikavimas	62
IŠVADOS.....	65
REKOMENDACIJOS.....	66
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	67
PRIEDAI	70

ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS

- 1.1 pav Gruntinio vandens koncentracija Europos šalyse [5].
- 1.2 pav Gruntinio vandens išgavimo ir paskirstymo schema [6].
- 1.3 pav Giluminis siurblys ir svarbiausios jo konstrukcinės dalys, šaltinis - dukepump.com.
- 1.4 pav Atmosferinio vandens generatoriaus veikimo principas, šaltinis - globalsitesolutions.ca.
- 1.5 pav Geriamo vandens tiekimo schema, šaltinis - nap.edu.
- 1.6 pav Antro kėlimo vandens siurblinė esanti Kaune, sudaryta autoriaus.
- 1.7 pav Statoriaus ir rotoriaus magnetiniai laukai: a – statoriaus magnetinio lauko skirstinys, b – rotoriaus aktyviuosiuose laidininkuose ir jų sukurtas magnetinis laukas [1]
- 1.8 pav Asinchroninio variklio konstrukcija, šaltinis - machinedesign.com
- 1.9 pav Nuolatinės srovės variklio aprūpinamo elektros energija iš fotovoltinių modulių principinė schema [2].
- 1.10 pav Vienfazis asinchronis vandens siurblio variklis pritaikytas naudoti su fotovoltinės elektrinės maitinimo šaltiniu [2].
- 1.11 pav Trifazio dažnio keitiklio principinė schema, sudaryta autoriaus.
- 1.12 pav Dažnio keitiklio struktūrinė schema, sudaryta autoriaus.
- 1.13 pav Tradicinės vandens siurblio variklio sistemos pavyzdys [3].
- 1.14 pav HQ Vandens siurblio charakteristikos [3].
- 1.15 pav PID blokinė schema, šaltinis - thorlabs.com.
- 1.16 pav SCADA valdymo sistemos vandens siurbliams ir jų elektros varikliams pavyzdys, sudaryta autoriaus.
- 1.17 pav Vandens siurblio variklio valdymas pagal reikalingą slėgi vandens tiekimo linijoje [7]
- 1.18 pav *Pump genius* sistema su vienu vandens siurblio varikliu ir dažnio keitikliu [7].
- 1.19 pav *Pump genius* sistema su 4 vandens siurblių varikliais ir dažnio keitikliu [7].
- 1.20 pav keturių vandens siurblių variklių ir vieno dažnio keitiklio pajungimo schema [7].
- 1.21 pav Vandens siurblių variklių paleidimo ir perjungimo procesų grafinis atvaizdavimas [7]

- 1.22 pav Procentinės dalys tenkančios technologiniams procesams susijusiems su geriamo vandens tiekimu vartotojams įmonėje UAB „Kauno vandenys“ [18].
- 1.23 pav Elektros energijos kiekis (kWh) tenkantis per metus atskiriems technologiniams procesams [18].
- 1.24 pav Realizuoto ir prarasto vandens vidurkis mėnesiui ($m^3/m\acute{e}n$ skirtingais metais įmonėje UAB „Kauno vandenys“ [18].
- 1.25 pav Realizuoto, prarasto ir technologinio vandens procentinės sudėtyje įmonėje UAB „Kauno vandenys“ 2016 metais, [18].
- 1.26 pav Vamzdžio trukimo atvejai, kai sukeliama žala įmonei ir gyventojams, šaltinis – delfi.lt.
- 2.1 pav Dažnio keitiklio valdymo plokštė, sudaryta autoriaus.
- 2.2 pav Trijų vandens siurblių variklių pajungimas su vienu dažnio keitikliu, sudaryta autoriaus.
- 2.3 pav Relių pajungimas į dažnio keitiklį, sudaryta autoriaus.
- 2.4 pav Šviesos diodų skirtų identifikuoti vandens siurblių darbo režimus pajungimo schema, sudaryta autoriaus.
- 2.5 pav Dažnio keitiklio analoginių ir skaitmeninių valdymo signalų įėjimų ir išėjimų pajungimo schema, sudaryta autoriaus
- 2.6 pav Relės skirtos imituoti vandens siurblių variklių darbo režimus su šviesos diodų indikacija, sudaryta autoriaus.
- 2.7 pav Dažnio keitiklis su reikiamaisiais komponentais skirtais valdyti vandens siurblių variklius, sudaryta autoriaus.
- 2.8 pav Eksperimentinis darbo stendas, sudaryta autoriaus.
- 2.9 pav Eksperimentinio darbo stendo brėžinys, sudaryta autoriaus.
- 2.10 pav Eksperimentinis darbo stendas skirtas 50% apkrauti tiriamąjį elektros variklį, sudaryta autoriaus.
- 2.11 pav Eksperimentinis darbo stendas naudojamas apkrauti vandens siurblio variklį pilna apkrova, sudaryta autoriaus.
- 3.1 pav Dažnio keitikliu valdomo variklio darbiniai parametrai ir proceso valdymo kintamojo vertės, sudaryta autoriaus.
- 3.2 pav Vandens siurblių variklių paleidimas ir stabdymas atsižvelgiant į slėgio parametą vandens linijoje, sudaryta autoriaus.
- 3.3 pav Variklio darbo parametų kitimas pabudimo ir užmigimo režimuose, sudaryta autoriaus.

- 3.4 pav Papildomų vandens siurblių variklių įjungimui keliamos sąlygos, sudaryta autoriaus.
- 3.5 pav Dviejų veikiančių vandens siurblių variklių darbo stebėsenos vizualizacija, sudaryta autoriaus.
- 3.6 pav Trijų veikiančių vandens siurblių variklių darbo stebėsenos vizualizacija, sudaryta autoriaus.
- 3.7 pav Papildomų vandens siurblių variklių išjungimui keliamos sąlygos, sudaryta autoriaus.
- 3.8 pav Sąlygos valdymo sistemai identifikuoti nuotėkį vandens linijoje, sudaryta autoriaus.
- 3.9 pav Vandens siurblio variklio darbiniai parametrai ir valdymo proceso kintamojo vertės nuotėkio vandens linijoje identifikavimo metu, sudaryta autoriaus.
- 3.10 pav Sąlygos skirtos identifikuoti kliūtį vandens linijoje ir išjungti vandens siurblių valdymo sistemą, sudaryta autoriaus.
- 3.11 pav Vandens siurblio variklio darbiniai parametrai ir valdymo proceso kintamojo vertės kliūtis vandens linijoje identifikavimo metu, sudaryta autoriaus.
- 3.12 pav Sąlygos skirtos vandens siurblio gedimo darbo rate identifikavimui, sudaryta autoriaus.
- 3.13 pav Vandens siurblio variklio darbiniai parametrai antrojo gedimo vandens siurblio darbo rate identifikavimo bandymo metu, sudaryta autoriaus.
- 3.14 pav Vandens siurblio variklio darbiniai parametrai pirmojo gedimo vandens siurblio darbo rate identifikavimo bandymo metu, sudaryta autoriaus.

IVADAS

Šiuo metu įmonėse tiekiančiose ir naudojančiose vandenį yra naudojamos automatinio valdymo sistemos vandens siurbliams. Bet daugumoje įmonių naudojamos sistemos, kurios gali atlikti tik elektros variklių parametrų stebėsenos funkcijas ir esant variklio neleistiniems parametrų variklį išjungti tai pat naudojant automatinio valdymo sistemas galima valdyti vandens siurblių elektros variklius nuotoliniu būdu.

Šiuo metu naudojamos sistemos negali dirbti be žmogaus įsikišimo, todėl jos šiuo metu atlieka tinklo stebėsenos ir nuotolinio valdymo funkcijas. Be to, naudojant šias sistemas reikalingi loginiai PLC ir PID kontrolieriai, relės ir kitokie pagalbiniai elektronikos prietaisai.

Naudojant šiuolaikiškas valdymo sistemas galima sutaupyti pinigų įrangai, nes naudojant programuojamus variklių keitiklius nebereikia atskirai pirkti PLC ir PID kontrolierių. Todėl nebereikia žmogaus, kuris valdytų vandens siurblių elektros variklius, nes keitikliai valdo variklius pagal reikiamą vandens slėgio poreikį vamzdinių sistemoje ir variklių būklę.

Šio darbo tikslas yra sukurti veikiančią valdymo sistemą vandens siurblių elektros varikliams, kuri galėtų identifikuoti tipinius gedimus vandens siurblių sistemose.

Uždaviniai:

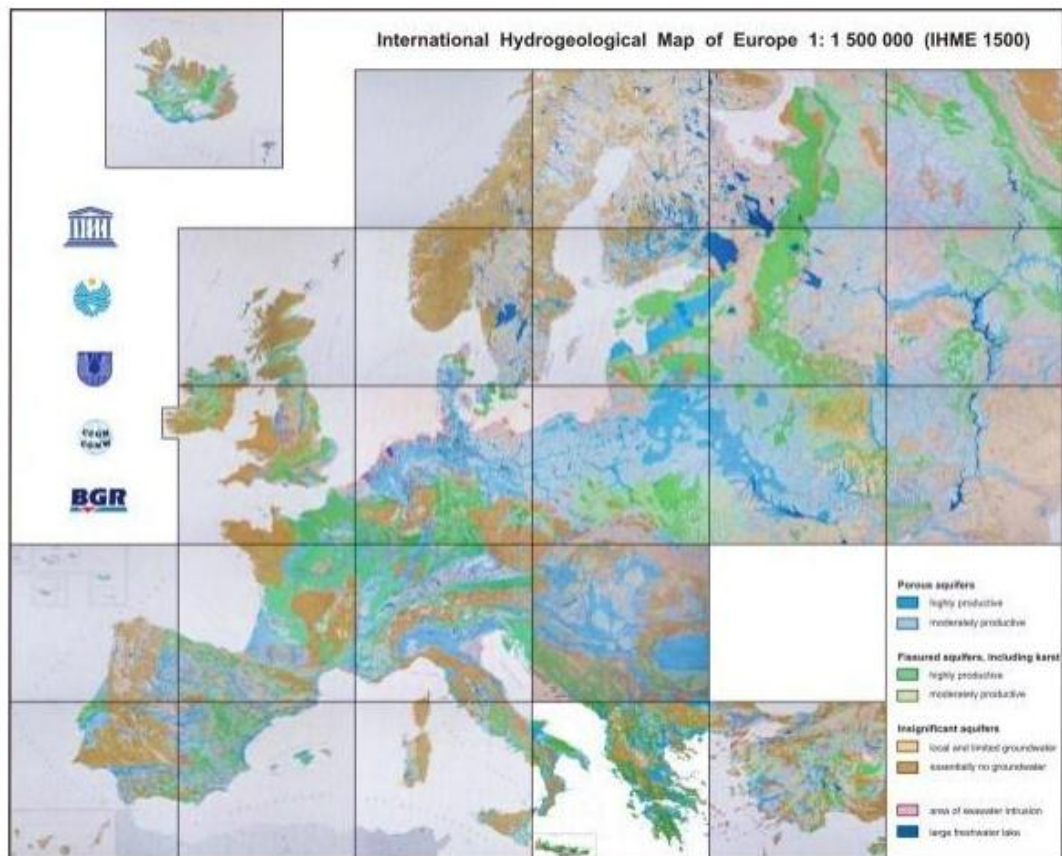
- Sukurti valdymo sistemą, vandens siurblių varikliams, kuri galėtų valdyti vandens siurblių variklius pagal reikiamą slėgį vandens linijoje.
- Sukurti valdymo sistemą, kuri galėtų identifikuoti nuotėki vandens linijoje pagal vandens siurblio variklio darbinis parametrus.
- Sukurti valdymo sistemą, kuri galėtų identifikuoti vandens linijoje susidariusias kliūtis pagal vandens siurblio variklio darbinis parametrus.
- Sukurti valdymo sistemą, kuri galėtų identifikuoti gedimus vandens siurblio darbo rate pagal variklio darbinis parametrus.

1 VANDENS TINKLŲ IR VANDENS SIURBLIŲ VALDYMO SISTEMŲ APŽVALGINĖ DALIS

1.1 Geriamo vandens išgavimas

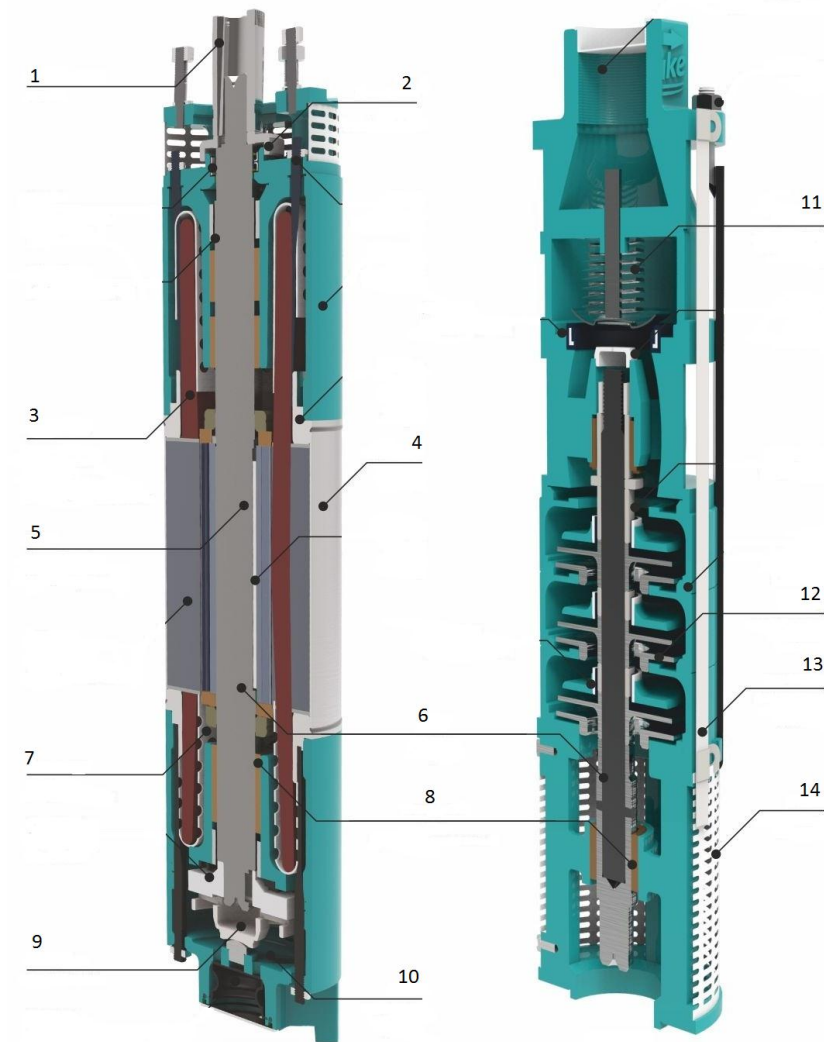
Šiandien pasaulyje geriamu vandeniu yra aprūpinti 6,84 milijardo žmonių, tai sudaro 85% viso pasaulio žmonių populiacijos. Geriamas vanduo turi būti tikrinamas laboratorijoje ir atitikti standartus t.y. cheminių medžiagų koncentracijos negali viršyti leistinųjų koncentracijų nustatytų pagal standartus. Lietuvoje geriamo vandens kokybės tyrimo laboratorijos vykdydamos savo veiklą turi vadovautis LST EN ISO 17025:2007 standartu. Geriamas vanduo pasaulyje yra išgaunamas įvairiais būdais: gruntinio vandens pakėlimas, ežerų ir vandens rezervuarų naudojimas, upių ir kanalų vandens panaudojimas, atmosferoje esančio vandens surinkimas, lietaus ir rūko vandens surinkimas, jūros vandens distiliavimas ir paviršinio vandens panaudojimas.

Daugiausiai naudojamas vandens išgavimo būdas yra gruntinio vandens pakėlimas, gruntinis vanduo susidaro iš lietaus vandens, kuris grunte prabūna dešimtys, šimtus ar tūkstančius metų. Smėlio ir akmenų sluoksniai filtruoja vandenį ir todėl daugeliu atveju nereikia filtruoti išgaunamo vandens. Tai pat daugiausiai vandens pagerinimui yra naudojama chloravimo technologija. Gruntinio vandens sudėtis priklauso nuo šalia tekančių upių ir ežerų cheminės sudėties. Gruntinio vandens pakėlimo technologija yra ekonomiškiausia ir labiausiai naudojama pasaulyje. Tai pat gruntinis vanduo yra mažiau užterštas negu paviršinis. Užterštą gruntinį vandenį yra sunkiau aptikti negu užterštą paviršinį, bet daugumoje gruntinio vandens užteršimo atveju įvyksta dėl pramonės kaltės [5]. 1. paveikslėlyje yra pavaizduota gruntinio vandens Europoje koncentracija skirtingose šalyse.



1.1 pav Gruntinio vandens koncentracija Europos šalyse [5].

1 paveikslėlyje yra pavaizduotas gruntinio vandens koncentracijos pasiskirstymas Europos šalyse. Mėlyna ir žalia spalva yra pavaizduotos vietos, kur yra išgaunama daug gruntinio vandens, šviesiai mėlyna ir šviesiai žalia spalva yra pavaizduotos vietos, kur gruntinio vandens yra išgaunama vidutiniškai, ruda ir geltona spalva yra pavaizduotos vietos, kur sūrus jūros vanduo yra persimaišęs su gruntiniu vandeniu, kuris jau yra netinkamas naudoti kaip geriamas, o tamsiai mėlyna spalva pavaizduotos vietos, kur yra ežerai. Pagal šį žemėlapią galima spręsti, kad Europoje yra pakankamai daug gruntinio vandens, kurį galima išgauti ir naudoti kaip geriamą vandenį. Tik šalys esančios prie jūrų ir vandenynų turi nekokybiška gruntinį vandenį, kuris yra persimaišęs su jūros vandeniu. Gruntinio vandens pakėlimo ir paskirstymo Lietuvoje schema yra pavaizduota 1.2 paveikslėlyje [6].



1.3 pav Giluminis siurblys ir svarbiausios jo konstrukcinės dalys, šaltinis - dukepump.com.

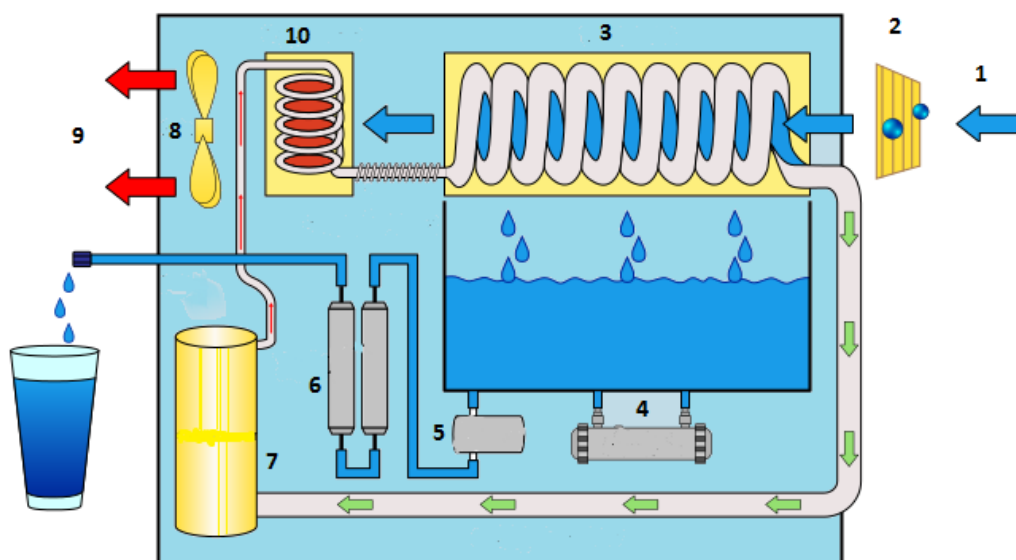
1.3 paveikslėlyje yra pavaizduotas giluminis siurblys skirtas gruntinio vandens išgavimui ir svarbiausios jo konstrukcinės dalys. Kairėje paveikslėlio pusėje yra giluminio siurblio elektros variklio pjūvis, o dešinėje mechaninės giluminio siurblio dalies pjūvis. Konstrukcinės giluminio siurblio dalys: 1 - hermetiška kabelio mova, 2 – mechaninė apsauga nuo grunto, 3 – statoriaus apvijos, 4 – elektros variklio korpusas, 5 – rotorius, 6 – velenas, 7 – statoriaus apvijų apsauga, 8 – guoliai, 9 – guoliavietė, 10 – magnetas skitas surinkti metalo drožlėms, 11 – oro separatorius, 12 – darbo ratai, 13- elektros kabelio apsauga, 14 – apsauga nuo į vandenį patenkančių šiukšlių [8].

Tai pat geriamą vandenį galima išgauti iš vandens rezervuarų, kai yra sudėtinga arba ekonomiškai neefektyvu išgauti vandenį naudojant gruntinio vandens pakėlimo būdą. Geriamo vandens rezervuarais gali būti upių, kanalų ar ežerų vanduo. Labiausiai paplitęs vandens

rezervuarų tipas yra upių užtvankos, kai yra užtvankos upės ir jų vaga slėnyje praplatėja sudarydama marias, kurios gali būti naudojamos kaip vandens šaltinis [9].

Be to vienas iš pagrindinių techninių sprendimų naudojant vandens rezervuarus geriamo vandens išgavimui yra rezervuarų vandens apdorojimas ir paruošimas naudojimui kaip geriamam vandeniui. Vandens gerinimo procesas yra naudojimas kietųjų dalelių, mikroorganizmų ir ištirpusių organinių bei neorganinių elementų pašalinimui iš vandens pagal keliamus standartus geriamam vandeniui. Pagrindinis vandens gerinimo procesas susideda iš vandens tiekimo į talpas, filtravimo, nuėsdinimo ir chloravimo. Vanduo neparuoštas naudojimui pakliūna į talpas, kuriuos yra specialiai pritaikytos ir nereaguoja į vandenį bei neblogina jo kokybės, tada vanduo yra filtruojamas t.y. iš vandens yra šalinamos kietosios dalelės ir smulkios šiukšlės. Paskui vanduo yra sėdinamas specialiose rezervuaruose, kur yra atskiriamos likusios kietos dalelės sėdinimo proceso metu. Pabaigoje vanduo yra chloruojamas, kad atskirti vandenyje esančius mikroorganizmus ir sustabdyti jų plitimą. Atsižvelgiant į geriamo vandens kokybės standartus galima taikyti ir kitus vandens gerinimo būdus [10].

Šalyse ir vietovėse, kur nėra galimybės pakelti gruntinį vandenį ir nėra vandens rezervuarų pavyzdžiui dykumose yra naudojamas inovatyvus atmosferinio vandens išgavimo būdas. Šiuo būdu yra iš ore esančių vandens garų kondensacijos būdų išgaunamas vanduo tinkamas naudoti kaip geriamas. Norint išgauti vandenį iš garų yra naudojami atmosferinio vandens generatoriai, kurie veikia oro sausintuvo principu, 1.4 paveikslėlyje yra atvaizduotas atmosferinio vandens generatoriaus veikimo principas [11].



1.4 pav Atmosferinio vandens generatoriaus veikimo principas, šaltinis -
globalsitesolutions.ca.

Atmosferinio vandens generatorius veikia, kai 7 - kompresorius vykdo šaldymo agento cirkuliaciją per 10 - kondensatorių ir 3 – garintuvo ritę, kurioje 1- patenkantis oras, kuris praeina pro 2 – oro filtrą, yra atšaldomas ir jame esantys vandens garai atsiskiria pasiekę rasos tašką. Paskui kondensavęsis vanduo patenka į 4 – talpas ir veikiant 5 – vandens siurbliui patenka į 6 – filtrus ir yra tinkamas vartojimui. Veikiant 8 – ventiliatoriui 9 - sausas oras yra pašalinamas iš atmosferinio vandens generatoriaus [11].

Atmosferinio vandens generatorius naudinga alternatyva šalims ir vietovėms, kuriuose nėra kitokios geriamo vandens išgavimo alternatyvos, bet naudojant šią technologiją yra vartojama elektros energiją kompresoriui, vandens siurbliui ir ventiliatoriui, todėl išgaunamo vandens kaštai didėja [11].

Geriamas vanduo šalyse, kurios yra salose arba turi prieigą prie jūros gali būti taikomas sūraus vandens naudojimas geriamo vandens išgavimui. Jūros vanduo distiliavimo proceso metu yra paruošiamas naudoti kaip geriamas. Vandens destiliavimo procesas yra paremtas mineralų atskirimo iš vandens principu, kai yra taikomas atvirkštinio osmoso metodas. Atvirkštinio osmoso metodo esmė yra pusiau pralaidžių membranų ir padidinto slėgio taikymas, kai vienoje pusiau pralaidžios membranos pusėje yra sukeliamas slėgis ir jūros vanduo praeina palikdamas mineralus ir druskas už pusiau laidžios membranos. Ši technologija yra ne tik naudojama salose ir pakrantėse, bet ir laivyboje [12].

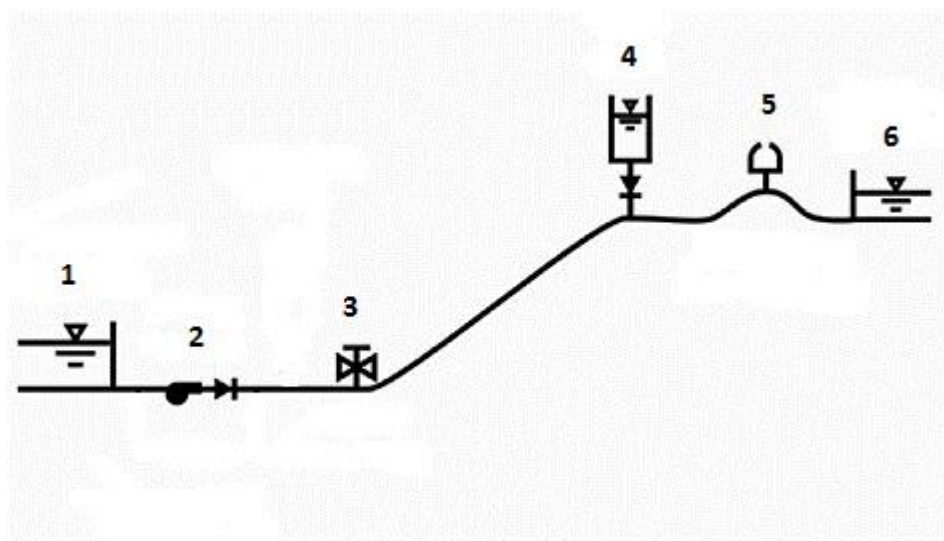
Tai pat jūros vandenį galima termiškai apdoroti jį garinant ir garus šaldant iki rasos taško. Naudojant tiek distiliavimo metodą, tiek teminį jūros vandens apdorojimą, gautą geriamą vandenį būtina gerinti naudojant filtrus, nusėdintuvus, chloravimą ir kitas vandens gerinimo technologijas, kad geriamas vanduo atitiktų jam keliamus Europos sąjungos standartus [13].

Geriamą vandenį tai pat galima išgauti naudojant lietaus vandenį, šis metodas yra taikomas lietingose vietovėse, kur lietaus vanduo yra surenkamas ir jam apdoroti yra naudojami anksčiau išvardinti vandens gerinimo metodai. [14].

1.2 Geriamo vandens tiekimas ir paskirstymas

Išgautas geriamas vanduo prieš patekdamas pas vartotojus turi praeiti technologinius procesus, tokius kaip filtravimas, chloravimas, nugeležinimas ir t.t. norint, kad parduodamas vanduo atitiktų Europos sąjungos standartų keliamus reikalavimus. Geriamo vandens tiekimo sistemose, kuriose vanduo yra išgaunamas iš gruntinio vandens, vandens paruošimo ir tiekimo procesas yra skirstomas į tris etapus: pirmas kėlimas, kada gruntinis vanduo yra giluminiais

siurbliais pakeliamas į paviršių, antras kėlimas, kada vanduo yra perpumpuojamas į skirtingų vietovės rajonus ir trečias kėlimas, kada vartotojams, kurie yra toli arba įsikūrę aukštai pavyzdžiui daugiabučių gyventojai, yra užtikrinamas vandens tiekimas [15].



1.5 pav Geriamo vandens tiekimo schema, šaltinis - nap.edu.

Iš 1.5 paveikslėlio matome geriamo vandens tiekimo schemą, kur yra pavaizduota, kai iš 1 – rezervuaro 2 – vandens kėlimo siurbline yra vanduo tiekiamas į 6 – rezervuarą iš kurio yra tiekiamas geriamas vanduo vartotojams. Šiame paveikslėlyje tai pat yra 4 – atsarginis rezervuaras taipogi 3 ir 5 – sklendės skirtos tekamo vandens slėgio vamzdyne valdyti. Pagrindinis parametras geriamo vandens tiekimo linijose yra slėgis, todėl norint palaikyti stabilų slėgį vandens tiekimo linijose yra naudojamos pirmo, antro ir trečio kėlimo vandens stotys bei sklendės, kurios kiekviename vandens tiekimo sistemos taške gali reguliuoti tiekiamo vandens slėgį. Geriamo vandens, kuris yra tiekiamas vartotojams, slėgis turi būti lygus nustatytai vertei pagal keliamus reikalavimus. Geriamo vandens patiekto vartotojui slėgis Lietuvoje yra nustatytas 3bar vertės pagal geriamo vandens reikalavimus ir technines vamzdyno galimybes . Tiekiamo geriamo vandens slėgis priklauso nuo atstumų, kuriais norimą vandenį perpumpuoti bei nuo vamzdžių skerspjūvių, tai pat tiekiamo vandens slėgis priklauso ir nuo aukščių skirtumo tarp vandens kėlimo stoties ir vartotojų. Tai pat norint užtikrinti patikimą vandens tiekimą vartotojams yra sužieduojami vandens tiekimo vamzdynai ir vanduo yra tiekiamas keliomis linijomis [15]. 1.6 paveikslėlyje yra pavaizduota realiai veikianti antro kėlimo vandens stotis esanti Kaune.



1.6 pav Antro kėlimo vandens siurblinė esanti Kaune, sudaryta autoriaus.

Iš 1.6 paveikslėlio matome antro kėlimo vandens siurblinę esančią Kaune, kad siurblinė sudaro 5 vandens siurblių varikliai skirti vandens slėgiui valdyti ir tiek prieš vandens siurblius tiek už jų yra įtaisyti manometrai skirti vandens slėgiui sekti ir debito matuokliai pratekėjusio vandens debitui nustatyti.

1.3 Vandens siurblių varikliai

Vandens siurbliams yra naudojami asinchroniniai varikliai, kurie susideda kaip ir kiti elektros varikliai iš statoriaus ir rotoriaus. Kaip ir visi elektromechaniniai keitikliai asinchroninės mašinos susideda iš dviejų mazgų: statoriaus ir rotoriaus. Statorius sudarytas iš feromagnetinio magnetolaidžio, kuris sutelkia magnetinį lauką, ir apvijos, kuria teka kintamoji srovė. Rotorius taip pat dažniausiai sudarytas iš feromagnetinio magnetolaidžio, kuriame suklotą apviją. Kaip ir sinchroninėje elektros mašinoje, daugiafazė statoriaus apvija sukuria asinchroninės mašinos oro tarpe sukamąjį magnetinį lauką, kurio kampinis greitis [1]:

$$\Omega_1 = \frac{f_1}{p} 2\pi \quad (1)$$

čia: f_1 – tinklo dažnis, p – polių porų skaičius.

Dažnai vietoje kampinio greičio naudojamas sukimosi greitis [1]:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \quad (2)$$

Dažniausiai yra naudojami trifaziai asinchroniniai vandens siurblių varikliai. Trifazių asinchroninių variklių statoriuje į griovelius yra suklotos trys apvijos, kurių pradžios yra perstumtos 120 elektrinių laipsnių ir jos yra maitinamos iš simetrinio trifazio įtampos tinklo. Fazių magnetovaros sinusinės lygtys yra nurodytos trečioje, ketvirtoje ir penktoje formulėje [1]:

$$F_U(\alpha, t) = F_{Um} \sin(\omega_1 t) \cos \alpha \quad (3)$$

$$F_V(\alpha, t) = F_{Vm} \sin(\omega_1 t - 120^\circ) \cos(\alpha - 120^\circ) \quad (4)$$

$$F_W(\alpha, t) = F_{Wm} \sin(\omega_1 t - 240^\circ) \cos(\alpha - 240^\circ) \quad (5)$$

čia: α – erdvinė kampinė koordinatė, $\omega_1 = 2\pi f_1$ – srovės kampinis dažnis

Asinchroninis elektros variklis veikia, kai statoriaus sukamasis magnetinis laukas kerta rotoriaus apvijos laidininkus ir juose sužadina vidines įtampas. Jeigu rotoriaus apvija yra uždara, tai jai ima tekėti srovės, kurios sąveikaudamos su statoriaus magnetiniu lauku sukuria rotoriaus apvijos laidininkuose elektromagnetines jėgas. Elektromagnetinės jėgos stengiasi pasukti rotorių statoriaus magnetinio lauko sukimosi kryptimi. Taigi rotoriaus laidininkus veikiančių magnetinių jėgų visuma sudaro rotoriaus elektromagnetinį momentą, kuris suka rotorių sukimosi greičiu n . Tokiu būdu statoriaus apvijos imamoji iš tinklo elektros energija keičiama į mechaninę energiją, kuri per rotoriaus veleną perduodama pavarai [1].

Asinchroninio variklio rotoriaus sukimosi greitis visuomet mažesnis už oro tarpo magnetinio lauko sukimosi greitį ($n < n_1$), nes tik tuo atveju rotoriaus apvijos laidininkuose sužadinamos įtampos ir srovės, kurių elektromagnetinės jėgos verčia sukėti rotorių. Asinchroninių variklių sukimosi greitis išreiškiamas slydimu s , tai santykinis nedimensinis dydis [1].

$$s = (n_1 - n) / n_1 \quad (6)$$

čia: n – rotoriaus sukimosi greitis, n_1 – oro tarpo magnetinio lauko sukimosi greitis

Slydima tai pat galima išreikšti procentais. Kai sustabdytas ($n = 0$), tuomet $s = 1$. Sukantis rotoriumi ($n < n_1$), $n = (1 - s)n_1$, $0 < s < 1$ turėsime variklinį režimą [1].

Jeigu sukime rotorių ta pačia kryptimi sukimosi greičiu ($n < n_1$), tai visuose rotoriaus apvijos laidininkuose vidinė įtampa ir srovė pakeis kryptis priešinga. Tuo atveju

elektromagnetinės jėgos tai pat pakeis kryptis priešingomis. Vadinasi, šitokiu sukimosi greičiu sukamas rotorius stabdomas. Asinchroninė mašina pereina į generatoriaus režimą. Todėl dirbant generatoriaus režimu $n < n_1$, slydimas tenkina sąlygą $s < 0$ [1].

Jeigu rotoriaus veleną suksime priešinga kryptimi negu statoriaus magnetinio lauko kryptis, turėsime stabdymo režimą [1].

$$s = ((n_1 - n) / n_1) > 1 \quad (7)$$

Rotoriaus sukimosi greitis lyginant su statoriaus magnetinio lauko sukimosi greičiu, yra skirtingas – sinchroniškas, todėl taip veikiantis variklis yra vadinamas asinchroniniu [1].

Statoriaus sukamasis magnetinis laukas kerta rotoriaus apvijas. Kiekviename rotoriaus aktyviajame laidininke vidinės įtampos kryptis priklauso nuo to koks statoriaus magnetinio lauko polius ją sužadina. Rotoriaus srovė nuo vidinės įtampos atsilieka faze ψ_2 . Šuo atveju rotoriaus magnetinio lauko ašis su statoriaus magnetinio lauko ašimi sudaro $90^\circ - \psi_2$ kampą. Yra svarbu žinoti koku sukimosi greičiu sukasi rotoriaus magnetinis laukas. Statoriaus sukamasis magnetinis laukas n_1 , o rotoriaus n . Tuomet rotoriaus sukimosi greitis išreiškiamas [1].

$$n = (1 - s) n_1 \quad (8)$$

Statoriaus sukamasis magnetinis laukas kerta rotoriaus apviją sukimosi greičiu ($n < n_1$) ir sužadina vidines įtampas. Rotoriaus apviją yra uždara grandinė ir ją teka srovės, kurios sukuria rotoriaus magnetinį lauką, kuris rotoriaus atžvilgiu sukasi greičiu [1].

$$n_2 = \frac{60f_2}{p} = \frac{60f_1}{p} = n_1 s \quad (9)$$

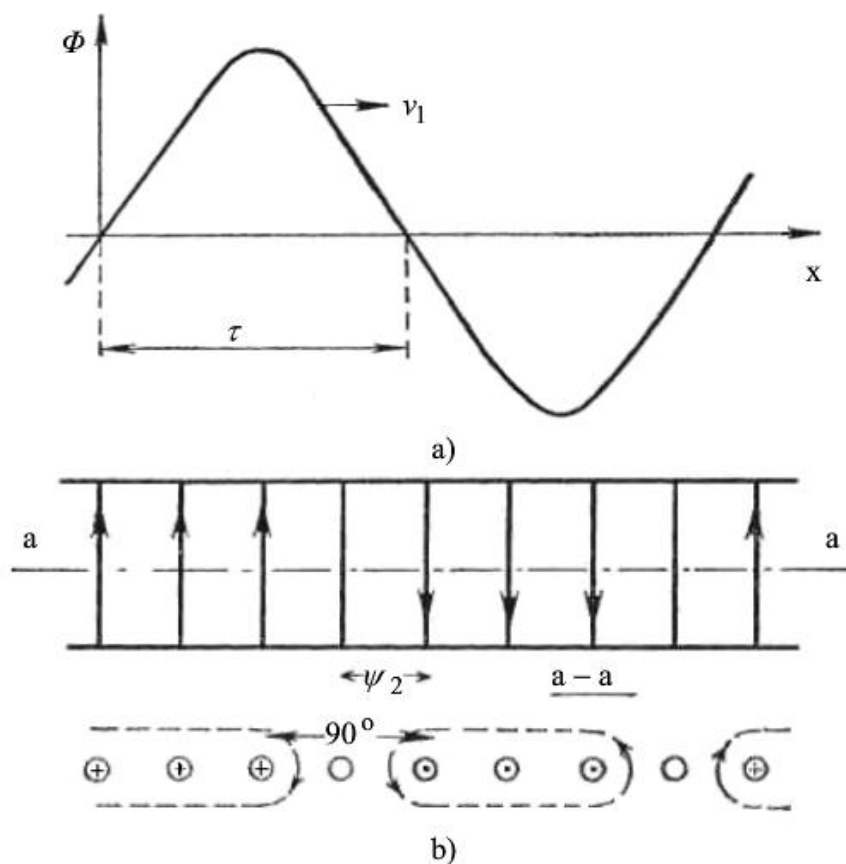
Tada rotoriaus srovės sukuriiančios p polių magnetinį lauką, dažnis yra lygus [1]:

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n)}{60} = \frac{p(n_1 - n)n_1}{60n_1} = f_1 s \quad (10)$$

Šį greitį laikant reliatyviuoju galima rasti rotoriaus sukamo magnetinio lauko greitį statoriaus atžvilgiu šis greitis lygus [1]:

$$n_2 + n = n_1 s + n = \frac{n_1(n_1 - n)}{n_1} + n = n_1 \quad (11)$$

Rotoriaus magnetinis laukas statoriaus atžvilgiu sukasi lygiai tuo pačiu greičiu kaip ir statoriaus sukamasis magnetinis laukas. Dėl šių sukamųjų magnetinių laukų sąveikos atsiranda asinchroninio variklio sukimo momentas [1]. Statoriaus ir rotoriaus magnetinių laukai yra grafiškai atvaizduoti 1.7 paveikslėlyje.



1.7 pav Statoriaus ir rotoriaus magnetiniai laukai: a – statoriaus magnetinio lauko skirstinys, b – rotoriaus aktyviuosiuose laidininkuose ir jų sukurtas magnetinis laukas [1]

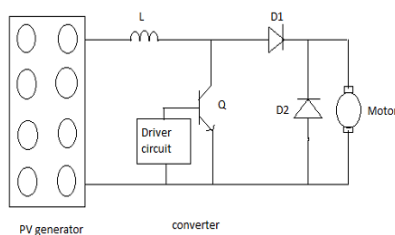
Asinchroninio elektros variklio konstrukcija pavaizduota 1.8 paveikslėlyje.



1.8 pav Asinchroninio variklio konstrukcija, šaltinis - machinedesign.com

1.8 paveikslėlyje pavaizduoto asinchroninio elektros variklio konstrukcija sudaro: 1 – velenas, 2 - rotorius, 3 – statoriaus apvijos, 4 – sujungimo dėžutė, 5 – ventiliatorius. Pagrindinė judančioji dalis variklyje yra velenas ant kurio yra sumontuotas rotorius su iš abiejų pusių esančiais guoliais ir ventiliatoriumi.

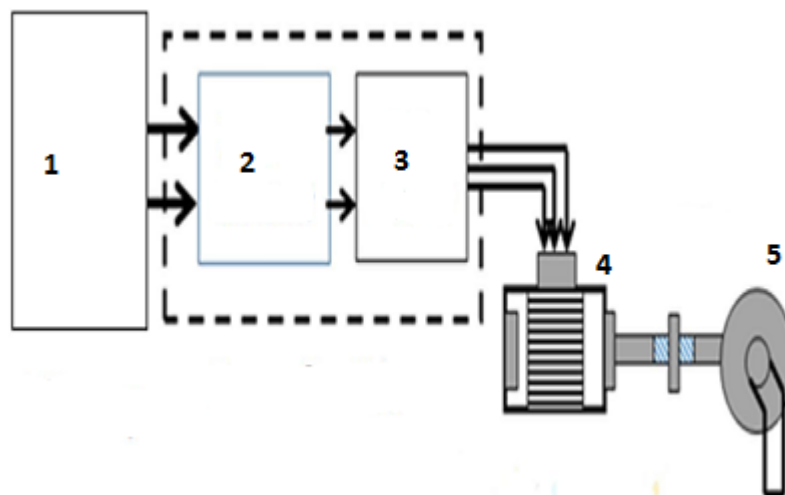
Vandens siurbliams galima naudoti ir nuolatinės srovės variklius. Tradiciniai nuolatinės srovės varikliai yra tinkami naudoti vandens siurbliams, nes atlaiko vandens sukiamas apkrovas. Nuolatinės srovės varikliai kaip alternatyva asinchroniniams varikliams gali būti naudojami vietovėse, kur nėra išvystytų elektros tiekimo tinklų ir gali būti aprūpinami elektros energija iš atsinaujinančių šaltinių, tokių kaip saulės fotovoltinės elektrinės. Ši technologija pagrinde yra naudojama atokiose vietovėse, kur vandenį reikia perpumpuoti iš vienos vietos į kitą ir yra ekonomiškai neefektyvu statyti vandens pakėlimo siurbines. 1.9 paveikslėlyje yra atvaizduota nuolatinės srovės variklio aprūpinamo elektros energija iš fotovoltinių modulių principinė schema [2].



1.9 pav Nuolatinės srovės variklio aprūpinamo elektros energija iš fotovoltinių modulių principinė schema [2].

Kaip alternatyva nuolatinės srovės varikliams yra naudojami vienfaziai asinchroniniai varikliai, dėl savo konstrukcinio paprastumo ir mažos kainos. Šiuos variklius dažniausiai naudoja vietovėse, kur yra nereikalinga įrengti didelių vandens pakėlimo stočių, nes nėra didelio geriamo vandens poreikio. Didžiausias vienfazių asinchroninių variklių privalumas yra tai, kad jiems yra reikalingas vienfazis maitinimo šaltinis, todėl yra paprasčiau juos eksploatuoti. Vienfaziuose vandens siurblių asinchroniniuose varikliuose yra naudojami paleidimo ir veikimo kondensatoriai. Paleidimo kondensatorius yra jungiamas nuosekliai į vienfazio asinchroninio variklio jėgos grandinę, o veikimo kondensatorius yra jungiamas nuosekliai. Paleidimo kondensatorius yra skirtas optimizuoti variklio sukimo momentą paleidimo metu, o veikimo kondensatorius skirtas optimizuoti variklio srovės, kad būtų pasiektas geresnis elektros energijos panaudojimo efektyvumas [2].

Vienfazius asinchroninius variklius galima pritaikyti prie maitinimo šaltinių naudojančių atsinaujinančius energijos šaltinius [2]. 1.10 paveikslėlyje yra pavaizduota vienfazio vandens siurblio variklio ir jam pritaikyto fotovoltinės elektrinės maitinimo principinė schem.



1.10 pav Vienfazis asinchronis vandens siurblio variklis pritaikytas naudoti su fotovoltinės elektrinės maitinimo šaltiniu [2].

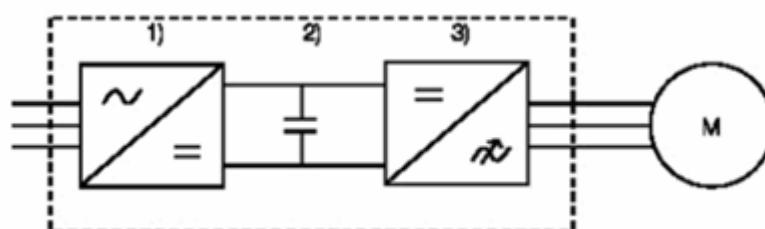
Kaip pavaizduota 1.10 paveikslėlyje 1 - fotovoltinio modulio išėjime gaminama nuolatinė srovė yra prijungama prie 2 - keliančio nuolatinės srovės keitiklio, kuris padidina nuolatinę įtampa keitiklio išėjime, o keitiklio išėjimas yra prijungtas prie 3 - kintamos srovės keitiklio, kuris nuolatinę srovę keičia į kintamą ir yra prijungtas prie 4 - vienfazio asinchroninio variklio, kuris suka 5 - vandens siurbli [2].

Vienfazio asinchroninio variklio sukimosi greitį galima keisti keičiant maitinimo šaltinio dažnį. Vienfazio asinchroninio variklio įtampa yra lygi varikli dažnio ir rotoriaus svyravimų sandaugai. Jeigu maitinimo įtampa yra pastovi ir dažnis variklio valdymo tikslais yra sumažinamas iki neleistinų verčių, tai rotoriaus svyravimai didėja. Padidėję rotoriaus svyravimai sukelia rotoriaus ir statoriaus oro tarpo įsisotinimą, todėl reaktyvioji variklio varža pradeda didėti ir dėl to variklio srovės gali tapti per didelės naudojamam maitinimo šaltiniui. Norint išvengti statoriaus ir rotoriaus oro tarpo įsisotinimo ir optimizuoti elektros energijos nuostolius valdant vienfazį asinchroninį variklį reikia palaikyti pastovų dažnio ir įtampos santykį. Tokiu atveju variklis dirbs optimaliu režimu ir sukimo momentas bus pastovios vertės. Vienfazio asinchroninio variklio efektyvumas yra nuo 50% iki 70% priklausomai nuo gamintojo. Daugumos vienfazių asinchroninių variklių galia yra nuo 70W iki 750W todėl jie yra

nepritaikyti naudoti galingose vandens pakėlimo siurblinėse, dažniausiai jie yra naudojami vietovėse nutolusiose nuo miestų, kur nėra įrengtos vandens tiekimo sistemos [2].

1.4 Dažnio keitikliai

Dažnio keitiklis yra skirtas keisti kintamosios srovės dažnį, dažnio keitiklis susideda iš lygintuvo, nuolatinės srovės grandinės filtro ir keitiklio. 1.11 paveikslėlyje yra pavaizduota dažnio keitiklio principinė schema [16].

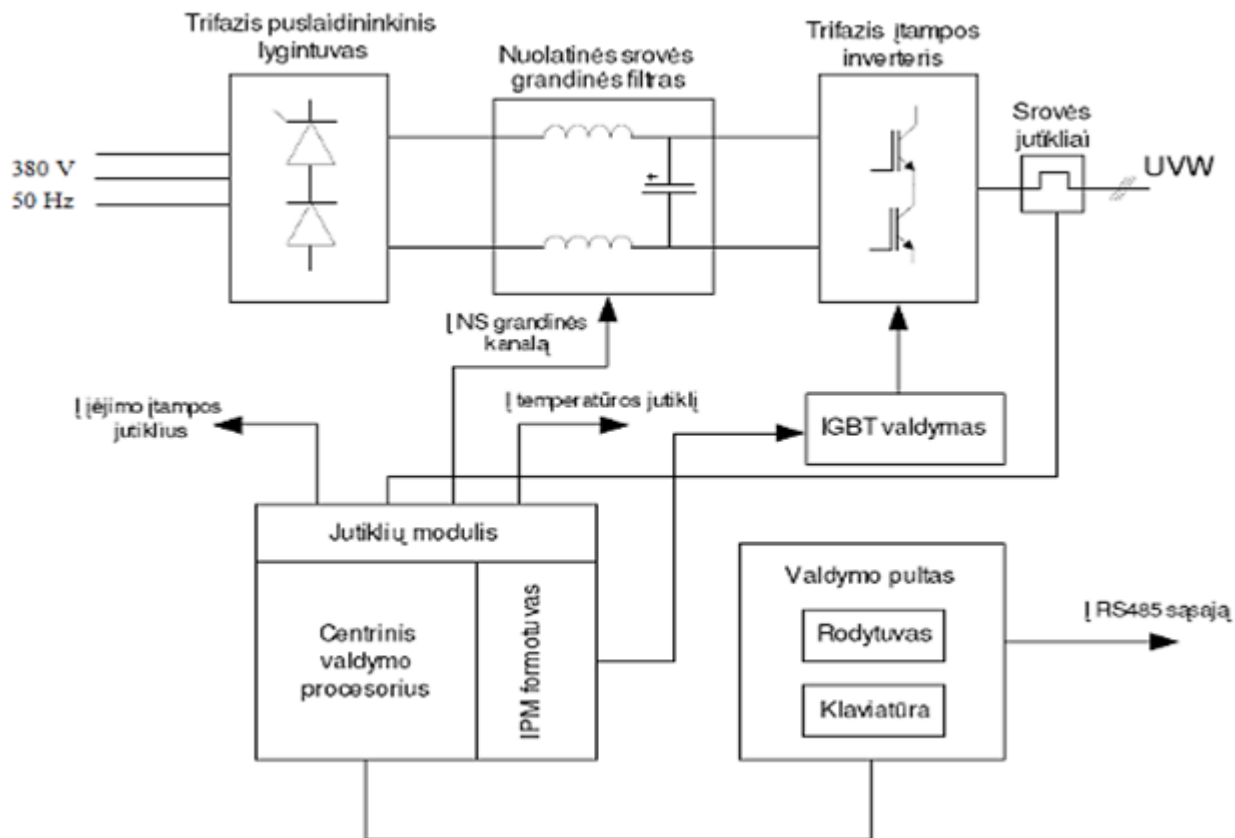


1.11 pav Trifazio dažnio keitiklio principinė schema, sudaryta autoriaus.

1.11 paveikslėlyje yra pavaizduotas trifazis dažnio keitiklis, kurio principinės dalys: 1 – lygintuvas, 2 - nuolatinės srovės grandinės filtras ir 3 - keitiklio. Reguliari trifazė srovė tiekama į lygintuvo dalį, kuri paverčia srovę į nuolatinę. Nuolatinė įtampa paduodama į nuolatinės srovės grandinę, kuri filtruoja pulsuojančią įtampą. Keitiklis tam tikra tvarka sujungia kiekvieną variklio apvijos fazę su neigiamu arba su teigiamu nuolatinės srovės grandinės dydžiu [16].

Asinchroninio variklio sukimosi greitis gali būti reguliuojamas dažnio keitikliais.

1.12 paveikslėlyje pavaizduota trifazio dažnio keitiklio struktūrinė schema.



1.12. pav Dažnio keitiklio struktūrinė schema, sudaryta autoriaus.

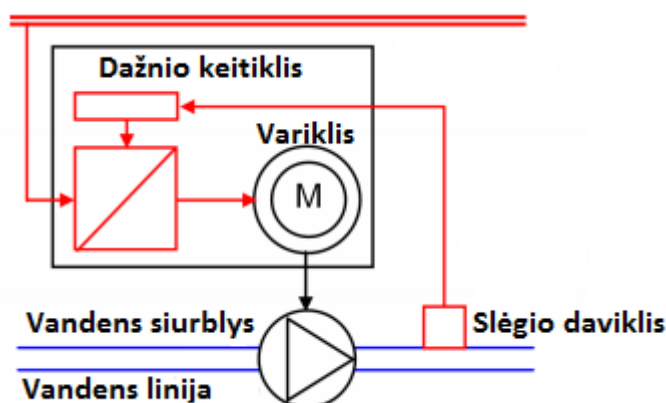
1.12 paveikslėlyje pavaizduotas dažnio keitiklis sudarytas iš: trifazio puslaidininkinio lygintuvo, kuris išlygina tinklo įtampą; filtro, skirto išlygintos įtampos pulsacijoms filtruoti; trifazio keitiklio nuolatinei įtampai keisti į kintamąją; srovės jutiklių, kuriais matuojant kiekvienos fazės variklio srovę nustatomas ne tik variklio apkrovimas, bet ir sudėtingesnio valdymo dažnio keitikliuose nustatomas variklio srauto vektoriaus padėtis. Taip pat be minėtų jutiklių, įeinančių į apsaugos grandinę, dažnio keitiklis turi įėjimo įtampos jutiklius ir temperatūros jutiklį, kuris signalizuoja apie per aukštą keitiklio raktų temperatūrą. Dažnio keitiklio valdymo sistema susideda ne tik iš daugybės jutiklių, iš kurių nuskaityta informacija ateina į jutiklių modulį, bet ir valdymo modulių. Impulso pločio moduliacijos (IPM) valdymo modulyje formuojami valdymo signalas keitiklio raktams.

Įvairiuose procesuose, kur nereikalingas tikslus variklio greičio reguliavimas ir palaikymas, dažniausiai naudojami paprasti dažnio keitikliai su realizuotu skaliariniu kintamųjų valdymu. Vienas iš populiariausių skaliarinio valdymo metodų yra vadinamas įtampos/dažnio (V/Hz) metodu. Šiuo metodu valdomi kintamųjų: dažnio ir įtampos dydžiai. Šis skaliarinio valdymo metodas naudojamas kintamosios srovės variklio greičio valdymui dėl jo labai paprasto realizavimo. Be to, įtampos/dažnio metode nebūtinai greičio grįžtamasis ryšys [16].

Vektorinio valdymo sistemos yra taikomos valdant variklius, kurie yra pritaikyti nepastoviom apkrovom, kurias yra sunkiau prognozuoti, pavyzdžiui smulkintuvų, pjūklų, presų ir t.t. [16].

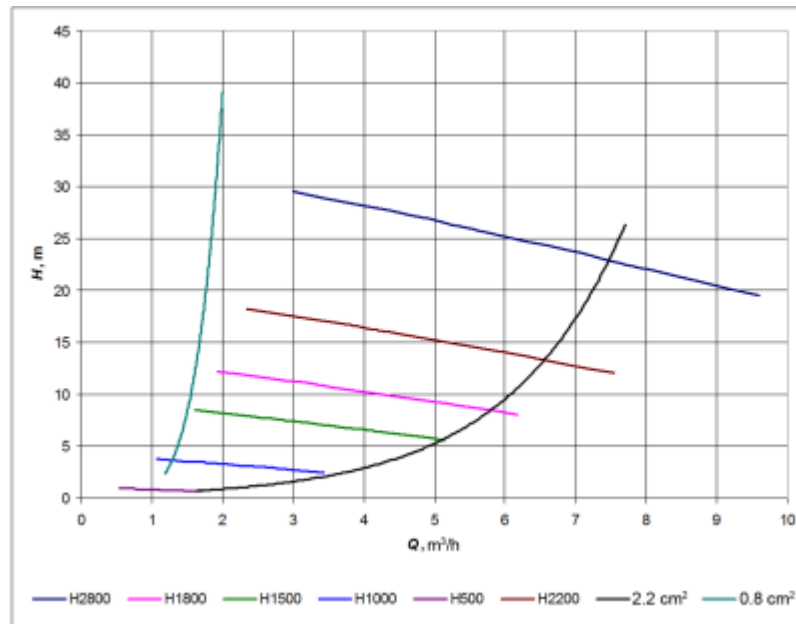
1.5 Vandens siurblių variklių sistemos

Vandens siurbliai verčia variklio kinetinę sukimosi energiją į skysčio hidrodinaminę energiją, tradicinės vandens siurblio variklio sistemos pavyzdys yra parodytas 1.13 paveikslėlyje [3].



1.13. pav Tradicinės vandens siurblio variklio sistemos pavyzdys [3].

1.13 iliustracijoje yra pavaizduotas tradicinės vandens siurblio variklio sistemos pavyzdys, kur sistemą sudaro siurblys, siurblio greičio valdymo pavara su varikliu, elektros tinklas, vandens linija ir slėgio daviklis vandens linijoje. Privalomas elementas sistemoje yra slėgio daviklis, kuris duoda grįžtamąjį ryšį siurblio greičio valdymo valdikliui, kuris valdo dažnio keitiklį ir pagal variklio dažnį yra reguliuojamas vandens siurblio sukimosi greitis. Paprastai vanduo patenka į siurbli per besisukantį darbo ratą, kurio sparnuotės kinetinė suteikia vandeniui hidrodinaminę energiją ir vanduo yra perpumpuojamas į kitą vietą. Kiekvienas vandens siurblys gamintojo yra charakterizuojamas pagal darbinius parametrus, siurblio atiduodamas debitas Q (m^3/s), siurblio pakėlimo aukštis H (m), siurblio ir variklio rotoriaus sukimosi greitis n (1/min) ir maksimalus perpumpuojamų skysčių tankis ρ (kg/m^3). Tai pat vandens siurblių variklių gamintojai pateikia netiesiogines vandens siurblių darbo charakteristikas tokias kaip HQ siurblio kėlimo aukščio ir siurblio į liniją atiduodamo vandens debito kreives esant vardiniam sukimosi greičiui. HQ charakteristikos pavyzdys yra atvaizduotas 1.14 iliustracijoje [3].



1.14. HQ Vandens siurblio charakteristikos [3].

Pagal 1.14 iliustraciją yra matomas gamintojo pateiktas vandens siurblio HQ charakteristikų sąryšis, kur yra atvaizduotas to paties siurblio darbo charakteristikos prie skirtingų variklio sukimosi greičių ir dvi kreivės (šviesiai mėlyna ir juoda) vaizduoja to paties siurblio darbą esant skirtingiems skerspjūvio plotams vandens linijoje. Iš HQ kreivių matome, kad didėjant į liniją atiduodamo vandens debitui mažėja vandens pakėlimo aukštis, tai pat matome, kad esant didesniam variklio sukimosi greičiui didėja vandens debito ir kėlimo aukščio vertės. Tai pat iš juodos ir šviesiai mėlynos kreivės matome, kad siauresnėje vandens linijoje tas pats siurblys gali pakelti aukščiau vandenį, bet jo atiduodamas vandens debitas bus mažesnis nei platesnio skerspjūvio vandens linijoje.

Vandens siurblio mechaninė galia P yra apskaičiuojama pagal formulę [3]:

$$P = gQH \quad (12)$$

kur: g – laisvo kritimo pagreitis $g = 9.8\text{m/s}^2$.

Vandens siurblio mechaninė galia tai pat priklauso nuo maitinimo šaltinio elektrinės galios ir parenkant vandens siurbliui maitinimo šaltinį reikia taikyti formulę [3]:

$$\eta = P/P_e = \eta_C * \eta_M \quad (13)$$

kur: P_e – maitinimo šaltinio elektrinė galia, η_C – dažnio keitiklio naudingumo koeficientas, η_M – variklio naudingumo koeficientas, η – bendras naudingumo koeficientas.

Vandens siurblių variklių sukimo momentas T (Nm) skaičiuojamas pagal formulę [3]:

$$T = P/\omega \quad (14)$$

kur: ω – kampinis dažnis.

Vandens siurblių ir jų variklių Q , n , T ir H charakteristikų matematiniai sąryšiai yra formulėse [3]:

$$Q_1/Q_2 = n_1/n_2 \quad (15)$$

$$H_1/H_2 = T_1/T_2 = (n_1/n_2)^2 \quad (16)$$

$$P_1/P_2 = (n_1/n_2)^3 \quad (17)$$

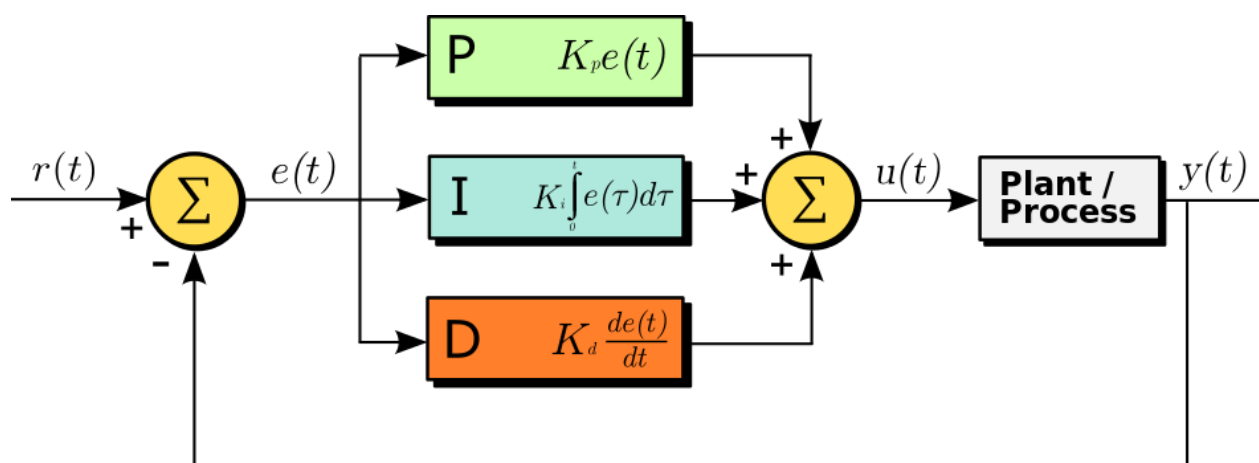
Vandens siurblių variklių atiduodamas vandens į liniją slėgis (p) gali būti paskaičiuojamas naudojant 15, 16, 17 formulėse nurodytas priklausomybes sudarant Bernulio lygtį [3]:

$$p = \rho g(H - v/2g - z) \quad (18)$$

kur: v – vandens greitis linijoje (m/s), z – taško kuriame matuojamas slėgis aukštis.

1.6 SCADA vandens siurblių variklių valdymo sistemos

Šiuo metu labiausias naudojamos vandens siurblių variklių valdymo sistemos yra SCADA (angl. supervisory control and data acquisition). Šios sistemos naudojamos kartu su kompiuteriais arba kitomis vartotojo sąsajomis ir duomenų perdavimu duomenys analizuojami ir grafiškai pateikiami vartotojui. Tai pat duomenims pateikti SCADA naudoja PLC ir PID valdiklius, kurie yra skirti loginiam variklių programavimui ir klaidos tarp norimų ir realų dydžių sistemoje [4]. PID kontrolerio blokinė schema yra pavaizduota 1.15 paveikslėlyje.



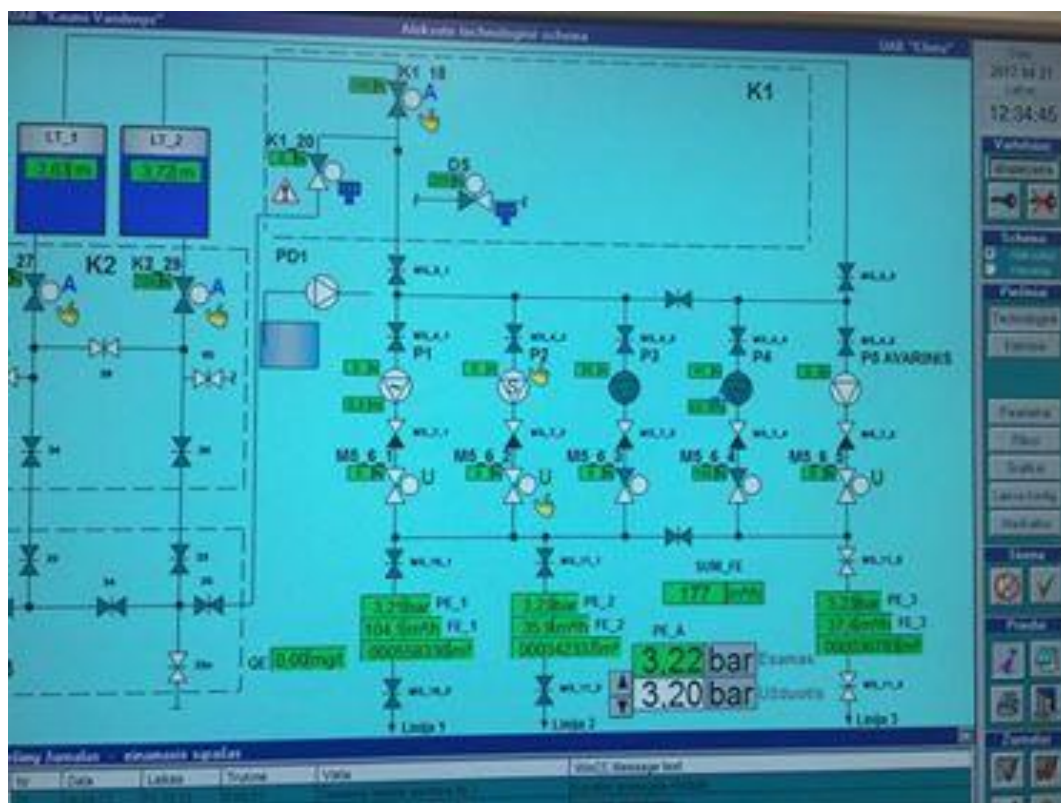
1.15 pav PID blokinė schema, šaltinis - thorlabs.com.

Iš 1.15 paveikslėlio matome kad PID kontroleris veikia kaip klaidos tarp esamo dydžio $e(t)$ ir norimo dydžio $e(\tau)$ radimo ir klaidos mažinimo. PID kontroleris veikia pagal formulę [4]:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d * (de(t) / dt) \quad (19)$$

čia: K_p ; K_i ir K_d proporcinis, integralinis ir diferencialinis koeficientas

SCADA valdymo sistema yra tinkama naudoti, kai yra prižiūrintysis operatorius kuris reguliuoja sistemos mazgus, kuriuos galima įjungti ar išjungti. Esant gedimui apsaugos esančius variklius arba jų pavarose išjungia variklį, bet sistema negali pati įjungti pakaitinio variklio, kuris būtų reikalingas technologinio proceso palaikymui, todėl sistemos darbo patikimumas priklauso nuo jį valdančio operatoriaus reakcijos. SCADA tinkama stebėti visos sistemos ir atskirų mazgų parametrus. Todėl ją naudojant galima stebėti kiekvieno variklio įtampas, sroves, dažnį ir kitus nustatytus parametrus. Galima stebėti vandens slėgį prieš siurblią ir po siurblio [4]. 1.16 paveikslėlyje yra SCADA valdymo sistemos vandens siurbliams ir jų elektros varikliams pavyzdys.



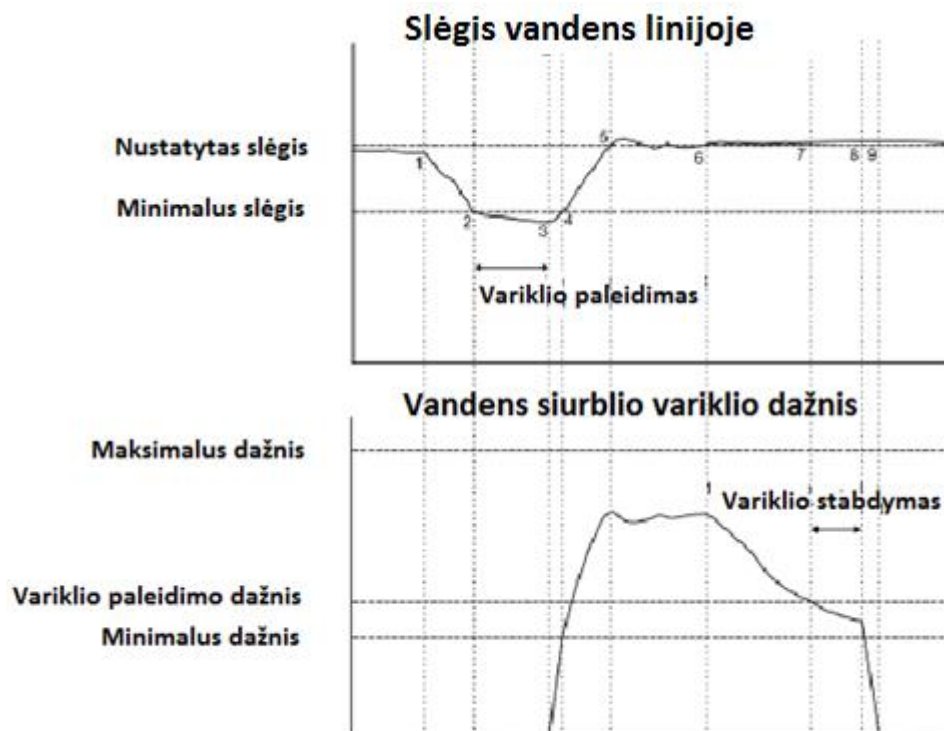
1.16 pav SCADA valdymo sistemos vandens siurbliams ir jų elektros varikliams pavyzdys, sudaryta autoriaus.

1.16 paveikslėlyje yra atvaizduota realiai veikiančios SCADA valdymo sistema. Sistemą sudaro: penki vandens siurbliai, elektromechaninės sklendės ir du geriamo vandens rezervuarai.

Šioje sistemoje galima stebėti vandens siurblių variklių parametrus, galima valdyti slėgi vandens linijose keičiant elektromechaninių sklendžių atidarymo arba uždarymo padėtį procentiniais vienetais. Šioje valdymo sistemoje yra nurodytas užduotas slėgis vandens linijoje pagal kurį operatorius turi valdyti momentinį slėgį keisdamas dirbančių vandens siurblių skaičių arba reguliuodamas elektromechanines sklendes. Tai pat sistemoje yra matomas kiekvienos vandens linijos momentinis debitas ir pratekėjusio vandens kiekis bei vandens kiekis rezervuaruose iš kurių tiekiamas vanduo į miesto tinklus. Sistema fiksuoja įvykius realiu laiku, kuriuos galima pamatyti ekrano apačioje ir pagal tai spręst apie buvusius gedimus sistemoje ir aptikti gedimo priežastis. Esant poreikiui galima kiekvieno iš vandens siurblių elektros variklių parametrų (įtampos, srovės, dažnio, galios koeficiento ir t.t.) stebėseną realiu laiku

1.7 Pump genius vandens siurblių variklių valdymo sistema

Kompanija *Weg* gaminanti elektros variklius skirtus vandens siurbliams ir jų dažnio keitiklius yra išleidusi *pump genius* programą skirtą valdyti vandens siurblių varikliams ir jų sistemoms. Sistema yra programuojama Ladder logic programavimo kalba, ir yra skirta ne tik stebėti variklių darbui, bet ir valdyti elektros varikliams pagal vandens vamzdžių linijoj esančio slėgio poreikį [7]. Pump Genius programos vandens siurblio variklio valdymo pagal reikiamą slėgį vandens linijoje algoritmas yra grafiškai atvaizduotas 1.17 paveikslyje.

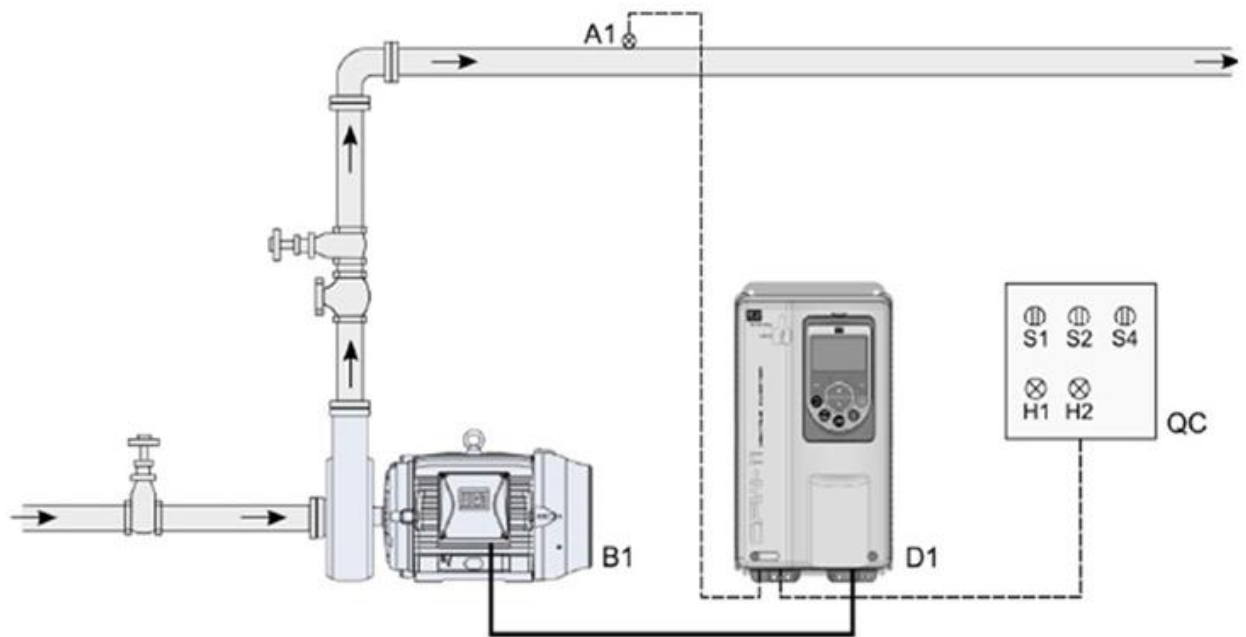


1.17. pav Vandens siurblio variklio valdymas pagal reikalingą slėgi vandens tiekimo linijoje [7]

Vandens siurblio variklio valdymas pagal nustatytą slėgį vandens linijoje yra grafiškai atvaizduotas 1.17 paveikslėlyje, kur pirmame grafike yra slėgis vandens linijoje ir jo nustatyta reikšmė bei minimali reikšmė, kurią pasiekus yra įjungiamas vandens siurblio variklis, kadangi variklis yra valdomas per dažnio keitiklį ir jo dažnis priklauso nuo reikiamo slėgio vandens tiekimo linijoje. Antrame grafike yra atvaizduotas vandens siurblio variklio valdomo per dažnio keitiklį dažnis, kur yra pažymėtos minimalaus (išjungimo) dažnio, variklio paleidimo ir maksimalaus dažnio žymės. Taip pat grafikai yra atidėti vienodose laiko ašyse ir punktyrinėmis linijomis yra atidėti momentai, kada vyksta skirtingi variklio valdymo procesai. Pirmame taške slėgis vandens tiekimo linijoje yra artimas nustatytam todėl valdymo sistema neįjungia vandens siurblio variklio. Antrame taške slėgis vandens sistemoje nukrenta iki minimalaus slėgio, kurio metu sistema ruošia vandens siurblio variklį paleidimui. Trečiame taške yra paleidžiamas vandens siurblio variklis ir jo dažnis pradeda kilti ir ketvirtame taške yra pradedamas stabilizuoti slėgis vandens tiekimo linijoje ir jis susilygina su antro taško slėgiu. Penktame taške slėgis vandens tiekimo linijoje pasiekia nustatytąją vertę. Šeštame taške slėgio augimas yra stabilizuojamas iki nustatytos vertės. Septintame taške slėgis vandens linijoje padidėja, todėl yra pradedamas stabdyti siurblys, o aštuntame taške vandens siurblio variklio dažnis pasiekia savo minimaliąją vertę ir devintame taške yra išjungiamas variklis.

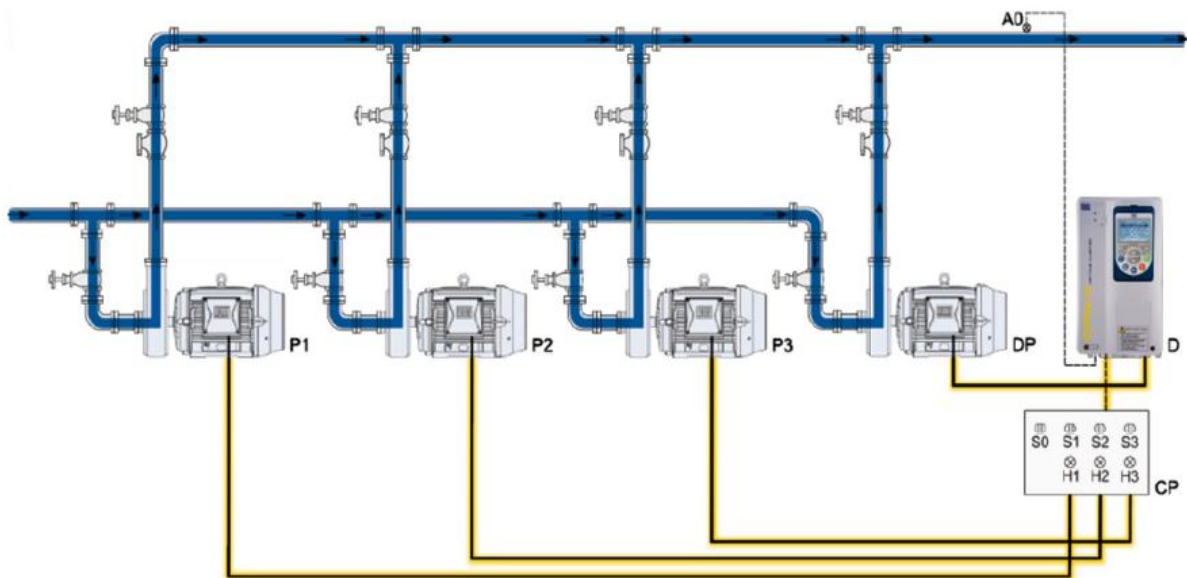
Iš vandens siurblio variklio valdymo pagal slėgį vandens linijoje grafikų yra matoma, kad galima valdyti slėgį vandens linijoje keičiant variklio dažnį per dažnio keitiklį. Variklio paleidimas ir stabdymas yra inertiški procesai, kurių metu slėgis vandens linijoje mažėja ir slėgio stabilizavimui yra naudojamas dažnio keitiklis, kuris keisdamas dažnį keičia variklio sukimosi greitį [7].

Tai pat sistema gali aptikti ir identifikuoti gedimus bei pranešti apie juos atsakingiems asmenims. Dėl esančių integruotų PLC kontrolių ir dažnio keitiklių tarpusavio ryšio nebereikia atskirai pirkti PLC kontrolių ir ryšio tarp dažnio keitiklių priemonių [7]. 1.18 paveikslėlyje yra pavaizduotos *Pump genius* sistemos su vienu dažnio keitikliu ir vandens siurblio variklio schema.



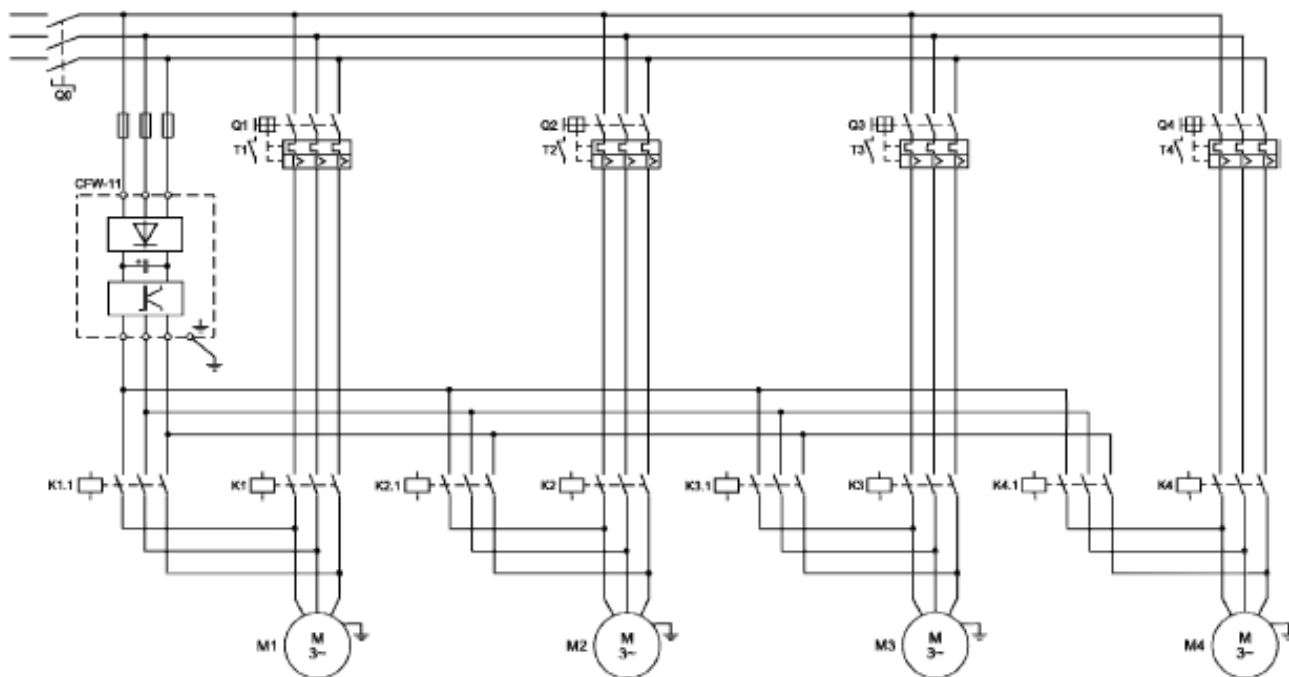
1.18 pav *Pump genius* sistema su vienu vandens siurblio varikliu ir dažnio keitikliu [7].

Naudojant *pump genius* valdymo sistemą galima ją suprogramuoti, kad skirtingų galingumų siurblių varikliai būtų jungiami pagal vandens linijoje esantį poreikį atsižvelgiant į reikiamo slėgio kiekį. Šita valdymo sistema būtų pranašesnė už dabartinę, kai operatorius savo nuožiūra parinkinėja veikiančių siurblių skaičių. Valdymo sistemai pagrindinis darbinis parametras yra esantis slėgis vandens linijoje todėl pagal jį yra bandoma optimizuoti veikiančių vandens siurblių variklių skaičių. Tam tikslui yra naudojamas vienas dažnio keitiklis, kuris paleidžia vandens siurblio variklį iki nominalaus 50Hz dažnio tada perjungia siurblių, kad jis galėtų dirbti tiesiogiai iš elektros tinklo. Esant slėgio trūkumui vandens linijos vamzdyne sistema per dažnio keitiklį gali paleisti dar vieną arba kelis vandens siurblių variklius, kurie paskui yra perjungiami tiesiogiai į elektros tinklą. Tai pat esant per dideliu vandens slėgui vamzdyne sistema gali išjungti po vieną siurblių naudodama dažnio keitiklį. 1.19 paveikslėlyje yra pavaizduota *pump genius* sistemos pavyzdys susidedantis iš 4 vandens siurblių variklių ir vieno dažnio keitiklio bei slėgio matuoklio linijoje su perjungikliais skirtais pasirinkti siurblių elektros varikliams [7].



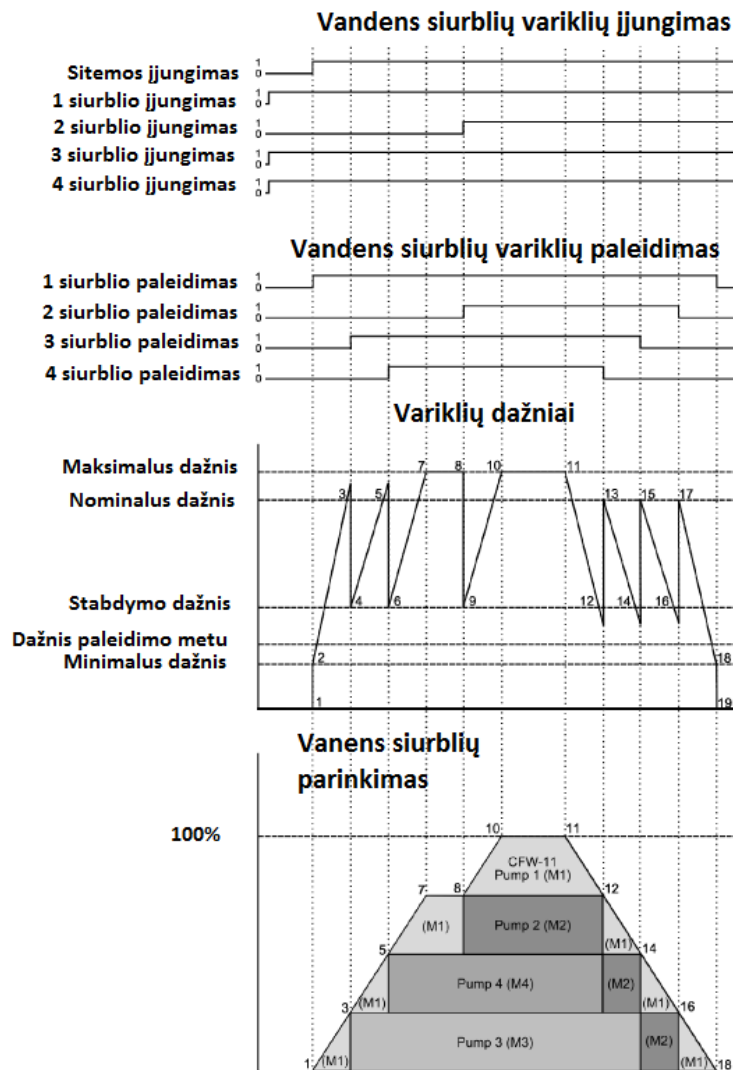
1.19 pav *Pump genius* sistema su 4 vandens siurblių varikliais ir dažnio keitikliu [7]

1.19 paveikslėlyje yra pavaizduota keturių vandens siurblių variklių su vienu dažnio keitikliu elektros schema, kurioje yra pavaizduotas vandens siurblių variklių jungimas su dažnio keitikliu ir elektros tinklu. Schemoje pavaizduota Q0 – pagrindinis automatinis jungiklis, QFW - dažnio keitiklis, Q1;Q2;Q3;Q4 - automatiniai jungiantis vandens siurblių variklius su elektros tinklu, K1;K2;K3;K4 - yra jungikliai perjungiantis vandens siurblių variklius su elektros tinklu, K1.1;K2.1;K3.1;K4.1 – jungikliai sujungiantys vandens siurblių variklius su dažnio keitikliu, M1;M2;M3;M4 – vandens siurblių varikliai. Tai pat dažnio keitiklis yra elektriškai apsaugotas saugikliais.



1.20 pav Keturių vandens siurblių variklių ir vieno dažnio keitiklio pajungimo schema [7]

Pump genius sistemos su keturiais vandens siurblių varikliais ir vienu dažnio keitikliu veikimo algoritmo pavyzdys yra grafiškai atvaizduotas 1.20 paveikslėlyje. Paveikslėlyje matome keturis grafikus, kur pirmame grafike atvaizduoti vandens siurblių variklių įjungimo (aktyvavimo) skaitmeniniai signalai, kur 1 – reiškia įjungtą siurblio variklį, o 0 – išjungtą, antrame grafike atvaizduoti vandens siurblių variklių paleidimo skaitmeniniai signalai, kur 1 – reiškia paleidimą, o 0 – stabdymą, trečiame grafike yra atvaizduoti vandens siurblių variklių dažniai, kai jie yra paleidžiami per dažnio keitiklį, o ketvirtame grafike yra atvaizduoti vandens siurblių variklių parinkimas pagal reikiamą slėgį vandens linijoje arba variklių darbo cikliškumą. Visi keturi grafikai yra atvaizduoti ant vienodu laiko ašies ir punktyrinę liniją yra atvaizduoti taškai atitinkantys etapus, kurių metu yra atliekami procesai dažnio keitiklyje paleidinėjant ir perjungiant vandens siurblių variklius [7].



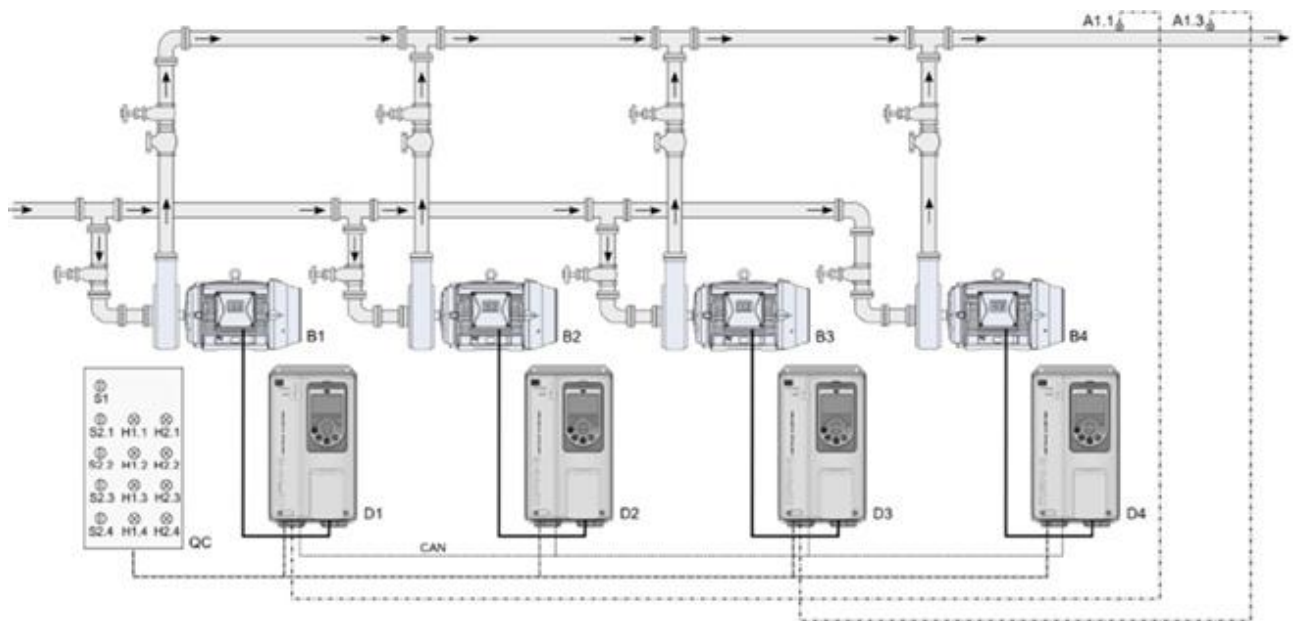
1.21 pav Vandens siurblių variklių paleidimo ir perjungimo procesų grafinis atvaizdavimas

[7]

Iš 1.21 paveikslėlio matome, kad pirmame taške įjungiamas *pump genius* sistema, tuo metu sistema yra testuojama ir pagal nustatyto slėgio vertę yra nustatoma kiek vandens siurblių reikia įjungti, pagal siurblių paleidimo grafiką per dažnio keitiklį yra paleidžiamas pirmo vandens siurblio variklį per K1.1 jungiklį. Antrame taške dažnio keitiklis pradeda kelti vandens siurblio variklio dažnį. Trečiame taške M1 siurblys pasiekia vardinį dažnį ir jis yra perjungiamas darbui elektros tinkle per K1 jungiklį, sistema toliau stebi slėgi vandens linijoje ir esant slėgio trūkumui pagal, tai kad trečiame taške M2 siurblys dar nėra įjungtas, todėl M3 siurblys yra ketvirtame taške paleidžiamas per dažnio keitiklį per K3.1 jungiklį. Penktame taške M3 vandens siurblio variklis pasiekia savo vardinį dažnį ir K3 jungikliu yra perjungiamas darbui elektros tinkle. Šeštame taške esant slėgio trūkumui yra įvertiname M2 ir M4 vandens siurblių varikliai, kadangi M2 variklis nėra dar įjungtas, todėl M4 siurblys yra paleidžiamas per dažnio keitiklį K4.1

jungikliu. Septintame taške M4 vandens siurblio variklis pasiekia savo vardinį dažnį ir variklis yra perjungiamas į elektros tinklą. Aštuntame taške yra vėl įvertinamas slėgis vandens linijoje ir esant slėgio trūkimui yra įjungiamas M2 vandens siurblio variklis ir devinto tašku laiku M2 yra paleidžiamas per dažnio keitikliu K2.1 jungikliu. Dešimtame taške M2 vandens siurblio variklis pasiekia savo vardinį dažnį ir per K2 jungiklį yra perjungiamas į elektros tinklą ir pagal vandens siurblių variklių parinkimo grafiką matosi, kad sistema veikia 100% pajėgumu, kai dirba visi vandens siurblių varikliai. Vienuoliktame taške sistema aptinka, kad vandens slėgis linijoje yra per didelis, todėl M4 vandens siurblys yra perjungiamas per K4.1 jungiklį valdymui per dažnio keitiklį ir dvyliktame taške M4 vandens siurblio variklis yra išjungiamas. Tryliktame taške vėl yra įvertinamas slėgis vandens linijoje, todėl reikia išjungti dar vieną vandens siurblio variklį todėl M3 variklis yra perjungiamas į dažnio keitiklį per K3.1 jungiklį ir keturioliktame taške m3 siurblys yra sustabdomas ir išjungiamas. Penkioliktame taške yra vėl vertinamas slėgis vandens linijoje, todėl dėl per didelio slėgio yra M2 vandens siurblio variklis yra perjungiamas į dažnio keitiklį per K2.1 jungiklį norint jį sutabdyti ir šešioliktame taške yra sustabdomas M2 siurblys. Septynioliktame taške įvertinus, kad vandens linijoje slėgis yra vis dar aukštas ir nebėra vandens poreikio M1 vandens siurblio variklis yra stabdomas per dažnio keitiklį perjungiant jį K1.1 jungikliu ir aštuonioliktame taške jis yra sustabdomas. Devynioliktame taške sistema įvertina, kad nėra vandens poreikio linijoje ir sistema reikia išsijungi.

Pump genius sistema tai pat gali būti pritaikoma jau esamoms sistemoms, kuriuose yra jau įdiegti vandens siurblių varikliai su kiekvienam iš jų parinktu ir pritaikytu dažnio keitikliu. Tada nereikia papildomai naudoti sistemoje perjungiklių, kadangi galima jau esamus dažnio keitiklius naudoti *master/slave* režime (pagrindinio/ valdomojo) ir pagal vandens slėgį vamzdyne sistema per atskirus dažnio keitiklius gali paleidinėti ir išjunginėti siurblius. Dažnio keitikliai komunikuoja tarpusavyje RS – 485 ryšio protokolu ir yra tarpusavyje sujungti RS – 485 kabeliais, kuriais sistemos valdymo duomenys yra perduodami iš pagrindinio dažnio keitiklio į valdomuosius dažnio keitiklius [7]. 1.21 paveikslėlyje yra pavaizduotas Pump Genius sistemos pavyzdys su 4 vandens siurblių varikliais ir atskirai jiems pritaikytais dažnio keitikliais bei slėgio matuokliais.



1.22 pav *Pump genius* sistema su 4 vandens siurblių varikliais ir 4 jiems pritaikytais dažnio keitikliais [7]

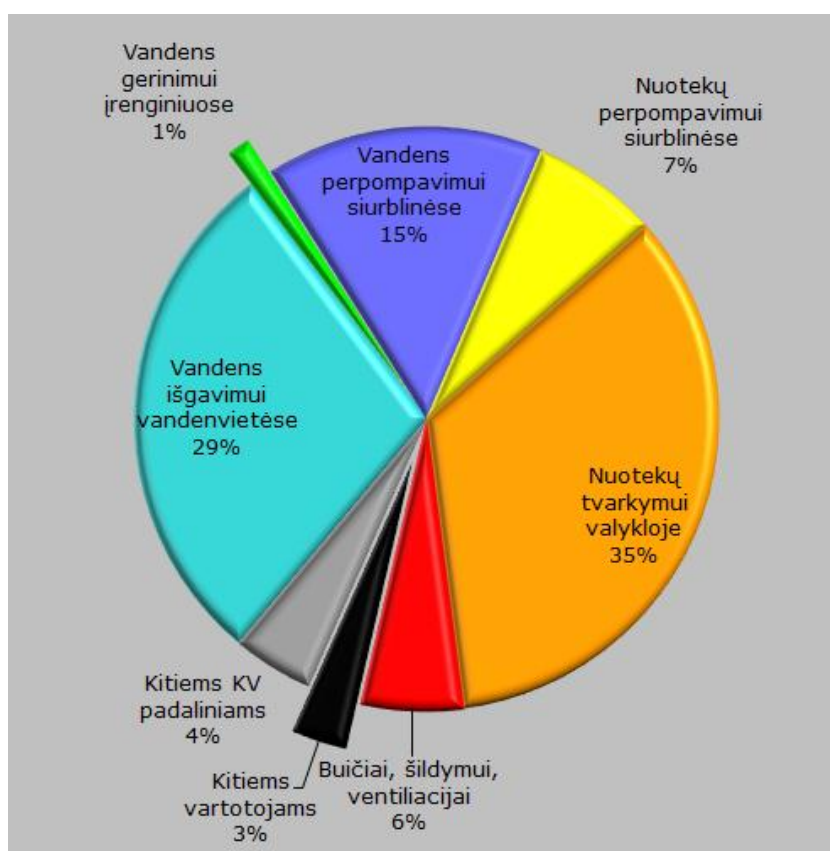
Pump genius sistema gali atpažinti tokius gedimus vandens siurblių elektros varikliuose: temperatūros padidėjimą iki neleistinos normos, vienfazį ir dvifazį trumpąjį jungimą, įžeminimo dingimą, gali atjungti trumpą jungimą iki 100kA, įtampos viršijimą, srovės viršijimą, per didelį arba per mažą variklio sukimo momentą. Sistema tai pat aptinka mechaninius gedimus tokius kaip sauso siurblio veikimas, sistemoje oro atsiradimas, variklio veleno strigimas [7].

Tai pat *pump genius* valdymo sistema stebi ir stengimasis palaikyti vandens siurblių variklių darbo cikliškumą, kad varikliai per tarnavimo laiką būtų išdirbę vienoda skaičių darbo valandų stengiantis paleidinėti vandens siurblių variklius, kurie tuo metu yra eksploatuoti mažiau darbo valandų. *Pump genius* valdymo sistema turi privalumą, kad gali pati savarankiškai atlikti vandens siurblio darbo rato profilaktikas atliekant reversavimo funkciją, kuri šalina iš darbo rato susikaupusią šukšlę dėl kurių siurblys dirba neefektyviai ir pumpuoja mažesnę vandens debitą nei turėtų [7].

Naudojant *pump genius* vandens siurblių variklių valdymo sistemą vandens tiekimo įmonėje galima sutaupyti didelę dalį pinigų, nes nereikia samdyti operatoriaus, kuris prižiūrėtų vandens tiekimo sistemos darbą. Tai pat valdymo sistema jungtų vandens siurblius pagal slėgio poreikį vamzdyne, o ne pagal operatoriaus nuožiūrą, todėl būtų jungiami siurblių varikliai, kurie optimaliai sukurtų slėgį ir jis nebūtų nei per mažas, nei per didelis [7].

1.8 Vandens siurblių variklių elektros energijos poreikio analizė vandens tiekimo įmonėje

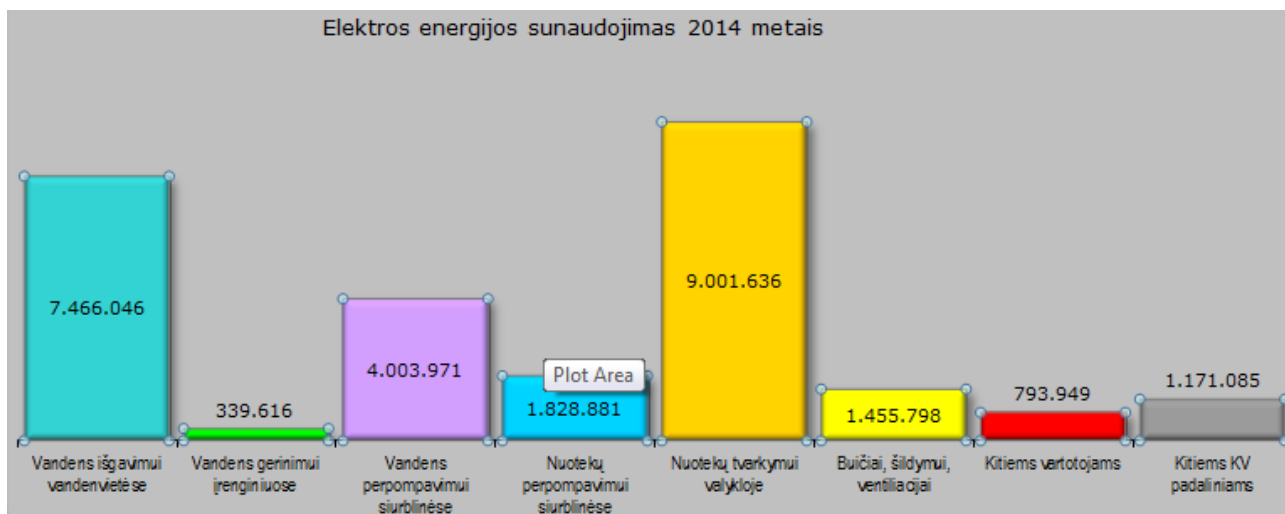
Vandens tiekimo įmonėje parduoto vandens vartotojui savikainos didžiąją dalį (iki 90%) sudaro išlaidos tenkančios elektros energijai, kurią suvartoja vandens siurblių elektros varikliai. Likusi dalis priklauso nuo įmonėje dirbančio personalo atlyginimų ir elektros įrangos bei vamzdinių tinklų remontų kaštų. Todėl yra svarbu optimizuoti elektros energijos vartojimą įmonėje norint padidinti jos pelną ir sumažinti vartotojams tiekiamo geriamo vandens kainas [17]. 1.22 paveikslėlyje matome elektros energijos procentinį pasiskirstymą tenkantį technologiniams procesams susijusiems su geriamo vandens tiekimu vartotojams įmonėje UAB „Kauno vandenys“.



1.23 pav Procentinės dalys tenkančios technologiniams procesams susijusiems su geriamo vandens tiekimu vartotojams įmonėje UAB „Kauno vandenys“ [18].

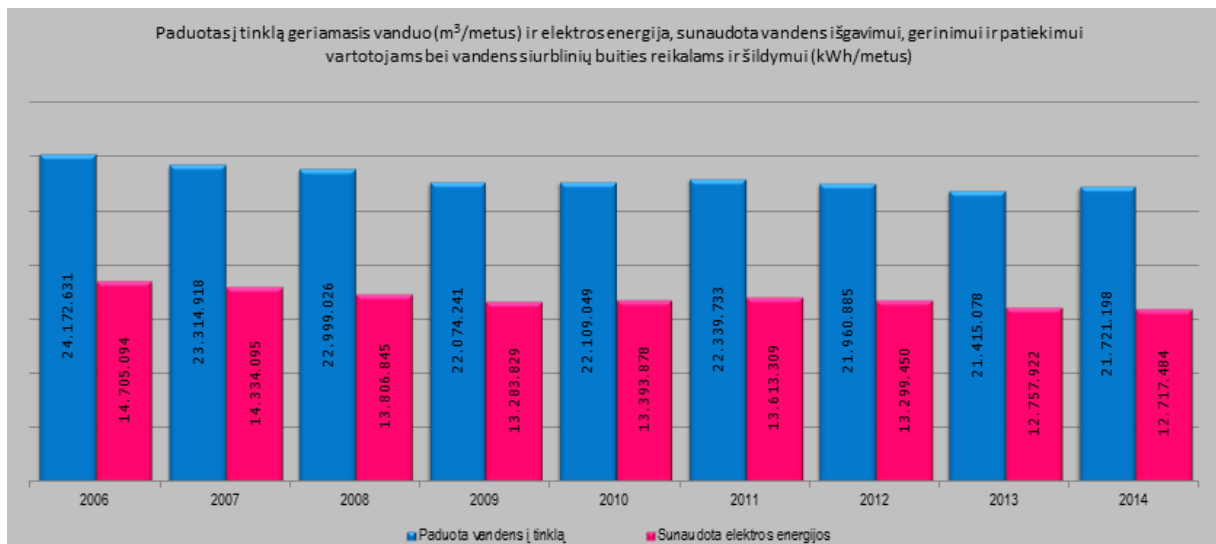
Iš 1.22 paveikslėlio matome, kad 44% elektros energijos suvartojamos įmonės UAB „Kauno vandenys“ tenka vandens išgavimui ir jo perpumpavimui vartotojams. Tai pat matome, kad apie 50% elektros energijos tenka nuotekų tvarkymo reikmėms. Taipogi 1% tenka vandens gerinimo technologiniais procesams. Visiems procesams įgyvendinti reikalingi vandens siurbLIAI kurių varikliai vartoja didžiąją dalį įmonėje suvartojamos elektros energijos. Todėl galima pritaikyti Pump Genius valdymo sistemas naudoti ne tik geriamo vandens perpumpavimo procesams valdyti, bet ir geriamo vandens išgavimui, nuotekų perpumpavimui bei nuotekų

tvarkymui nuotekų valykloje. Tokiu atveju galima būtų padidinti įmonės pelną. 1.23 paveikslėlyje yra pavaizduotas įmonės UAB „Kauno vandenys“ elektros energijos kiekis (kWh) tenkantis per metus atskiriems technologiniams procesams.



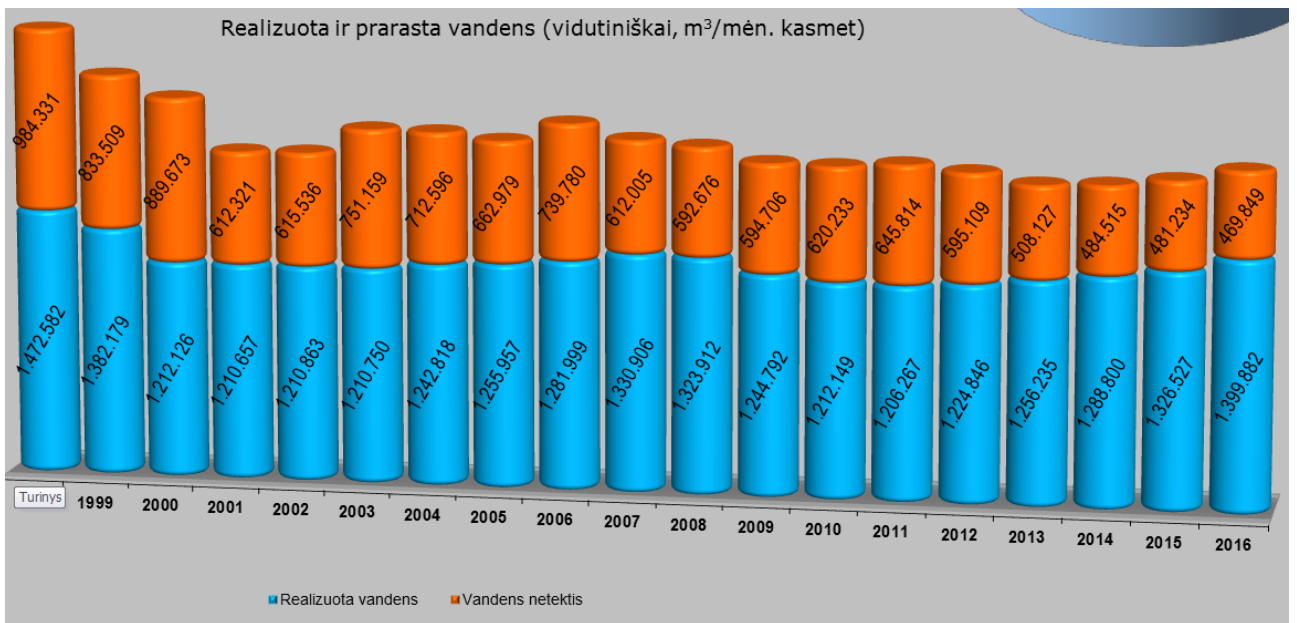
1.23 pav Elektros energijos kiekis (kWh) tenkantis per metus atskiriems technologiniams procesams [18].

Iš 1.25 paveikslėlio matome, kad geriamo vandens išgavimui tenka 7466046kWh elektros energijos, geriamo vandens perpumpavimui - 4003971kWh, nuotekų perpumpavimui - 1828881kWh ir nuotekų tvarkymui nuotekų valykloje – 9001636kWh. 1.24 paveikslėlyje mes matome parduoto geriamo vandens į tinklą per metus ir sunaudotos elektros energijos per metus diagramas įmonėje UAB „Kauno vandenys“

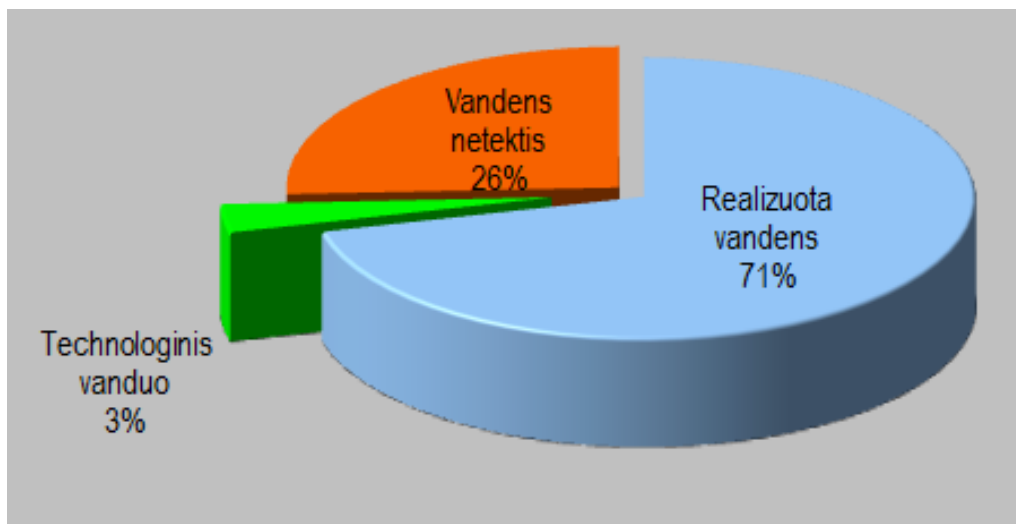


1.24 pav Elektros energijos suvartojimo per metus ir geriamo vandens perpumpuoto per metus lyginamosios diagramos įmonėje UAB „Kauno vandenys“ [18].

Tai pat didelė problema geriamo vandens tiekime yra nuotėkiai kurie atsiranda dėl trūkusių vamzdžių ir buitinių vartotojų, kurie naudojami netvarkingais vandens apskaitos prietaisais. Pagrindė vamzdžių įtrūkimai atsiranda dėl vamzdyno nusidėvėjimo, kai juo tekantis vanduo yra per didelio slėgio. 1.24 pav yra pavaizduota UAB „Kauno vandenys“ įmonės nuotėkio registracijos ir parduoto geriamo vandens vidutinio kiekio per mėnesį (m³/mėn) diagramos skirtingais metais. Tai pat 1.25 paveikslėlyje yra pavaizduota procentinė nuotekų, parduoto geriamo vandens ir vandens naudojamo technologiniams vandens gerinimo procesams 2016 metais įmonėje UAB „Kauno vandenys“.



1.25 pav Realizuoto ir prarasto vandens vidurkis mėnesiui (m³/mėn) skirtingais metais įmonėje UAB „Kauno vandenys“ [18].



1.26 pav Realizuoto, prarasto ir technologinio vandens procentinės sudėtys įmonėje UAB „Kauno vandenys“ 2016 metais [18].

Pagal 1.24 ir 1.25 paveikslėlius matyti kad vidutiniškai įmonėje UAB „Kauno vandenys“ yra prarandama 26% geriamo vandens. Pagrindiniai vandens nuostoliai priklauso nuo netvarkingų vandens apskaitos prietaisų ir avarijų vamzdyne. Avarijos vamzdyne sukelia didelių padarinių, kurie sukuria papildomas išlaidas vandens tiekimo įmonėje. Tokiu atveju įmonė atsako už aplinkai ir gyventojams padarytus nuostolius, nes įvykus avarijai įmonė turi užsiimti vamzdynu remontu ir aplinkos sutvarkymui bei žalos gyventojams atlyginimu. 1.26 paveikslėlyje yra pavaizduoti atvejai, kai vamzdyno trukimas sukelia didelės žalos vandens tiekimo įmonei ir gyventojams [18].



1.27 pav Vamzdžio trukimo atvejai, kai sukeliamą žalą įmonei ir gyventojams, šaltinis – delfi.lt

Norint sumažinti vandens nuotėkių, kai įvyksta avarija vamzdyne, skaičių reikia modernizuoti vamzdynu sistemą, tai pat stebėti vandens slėgius įvairiuose vamzdynų taškuose, kad galima būtų aptikti vandens nuotėkį greičiau negu su dabar naudojamomis priemonėmis, kol jis nepadarė didelės žalos. Todėl naudojant *pump genius* siurblių variklių valdymo sistemą galima prognozuoti nuotėkio atsiradimą iš variklio apsisukimų per minutę didėjimo atsirandant slėgio pakilimui prieš tašką, kuriame atsiranda nuotėkis. Tai pat sistemai stebint slėgių skirtumus skirtinguose vamzdynų taškuose galima pastebėti slėgių skirtumus kurie yra per dideli tam tikromis atkarpoms.

2 TYRIMO METODINĖ DALIS

2.1 Dažnio keitiklis

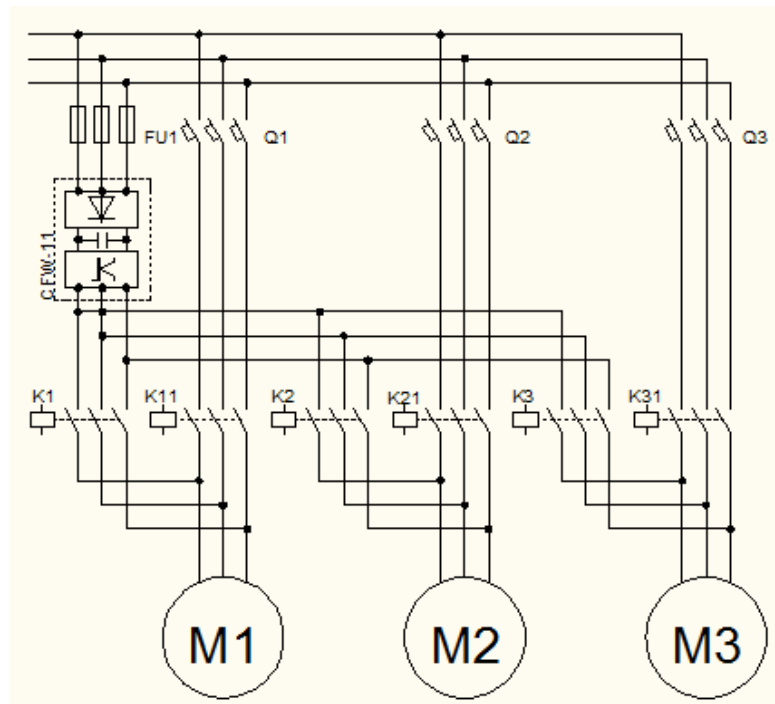
Ekperimentams atlikti buvo naudojamas 14,4kW galios Weg firmos CFW – 11 modelio trifazis dažnio keitiklis, kurs skirtas reguliuoti variklio dažniui nuo 0 iki 3000Hz, maksimali dažnio keitiklio srovė esant 400V įtampai yra 36A. Esamas dažnio keitiklis turėjo seno tipo (CC11C) valdymo plokštę, kurioje buvo įrašyta V. 3.05 programinė įranga, kuri neturėjo suderinamumo su *pump genius* sistema. Todėl buvo nutarta pakeisti seną valdymo plokštę į naujo tipo (CC11D1), kurioje būtų įrašyta V 5.31versijos programinę įrangą, kuri turi suderinamumą su WLP 10.0 (angl. Weg Ladder Programmer) programa, kuri yra skirta įdiegti ir sukongūruoti *pump genius* programa į dažnio keitiklį. 2.1 paveikslėlyje yra dažnio keitiklio valdymo plokštė.



2.1 pav Dažnio keitiklio valdymo plokštė, sudaryta autoriaus.

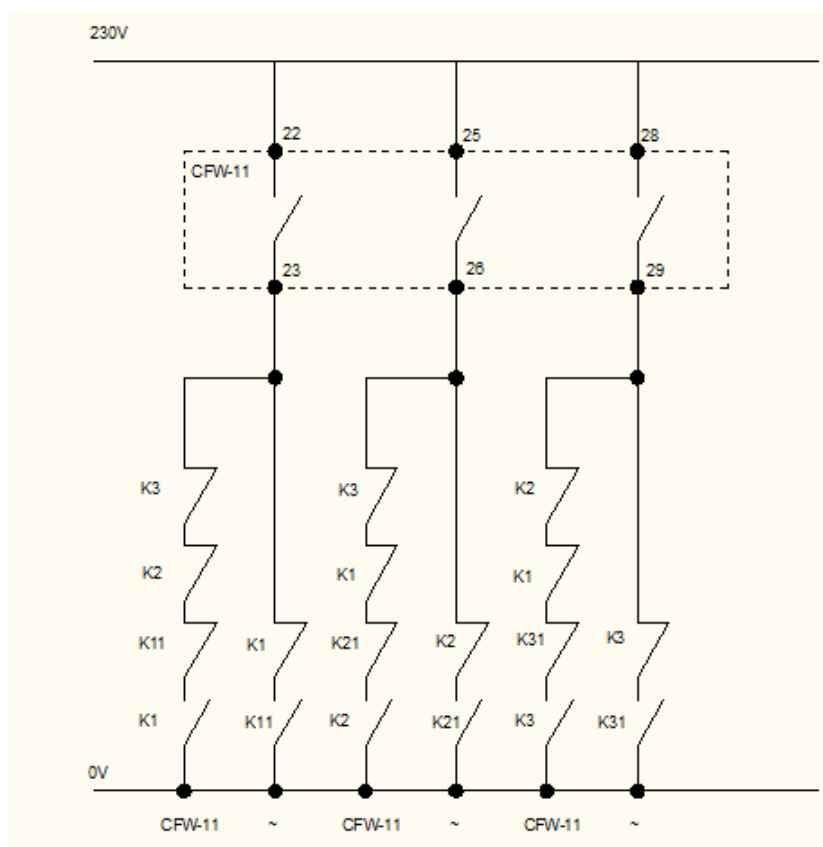
Pakeitus dažnio keitiklio valdymo plokštę buvo galima kongūruoti ir įdiegti į dažnio keitiklį *pump genius* sistemą per WLP 10.0 (angl. Weg Ladder Programmer) programa, bet prieš diegiant ir kongūruojant sistemą, teko išanalizuoti ir pritaikyti valdymo bei jėgos grandines, pagal gamintojo rekomendacijas esančias vartojimo ir įdiegimo instrukcijoje.

Pagal 1.19 paveikslėlyje apžvelgtą vandens siurblių variklių pajungimo su vienu dažnio keitikliu schema, ekperimentams daryti buvo pritaikyta vieno dažnio keitiklio ir trijų vandens siurblių variklių schema, kuri yra atvaizduota 2.2 paveikslėlyje.



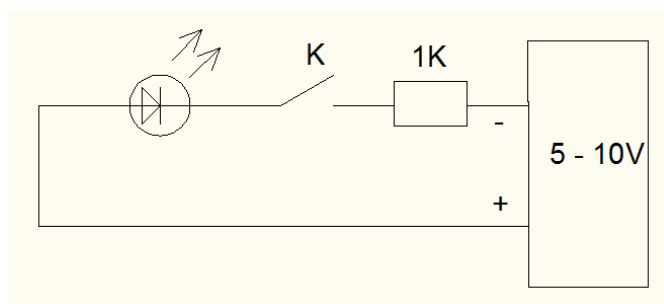
2.2 pav Trijų vandens siurblių variklių pajungimas su vienu dažnio keitikliu, sudaryta autoriaus.

Iš 2.2 paveikslėlyje matomos trijų vandens siurblių ir dažnio keitiklio jėgos grandinių pajungimo pajungimo schemas matome, kad Trys vandens siurblių varikliai (M1, M2 ir M3) yra pajungti darbui su dažnio keitikliu per magnetinius paleidiklius (K1, K2 ir K3) bei yra sujungti darbui su tinklu per magnetinius paleidėjus (K11, K21 ir K31), dažnio keitiklis (CFW -11) yra elektriškai apsaugotas per saugiklius (FU1), o varikliu tiesioginio darbo su elektros tinklu jėgos grandinės yra elektriškai apsaugotos naudojant automatinius jungiklius (QF1, QF2 ir QF3). Kuriant vandens siurblių variklių valdymo sistema buvo panaudotas algoritmas, kai pagal valdymo parametą yra paleidžiami vandens siurblių varikliai per dažnio keitiklį norint nesukelti sistemoje hidrosnūgio, tada pasiekus 50Hz dažnį vandens siurblių varikliai turi būti perjungiami darbui su elektros tinklu, o valdymo parametrai sumažėjus dažnio keitiklis turi stabdyti esamą siurblių ir persijungti variklius veikiančius tiesiogiai nuo elektros tinklo ir juos stabdyti. Esant magnetinių paleidėjų ir variklių trūkumui atlikinėjant eksperimentą buvo nutarta panaudoti 230V kintamos srovės relės vietoj magnetinių paleidėjų. 2.3 paveikslėlyje relių pajungimo su dažnio keitikliu schema, kurioje relėmis buvo pakeisti magnetiniai paleidėjai.



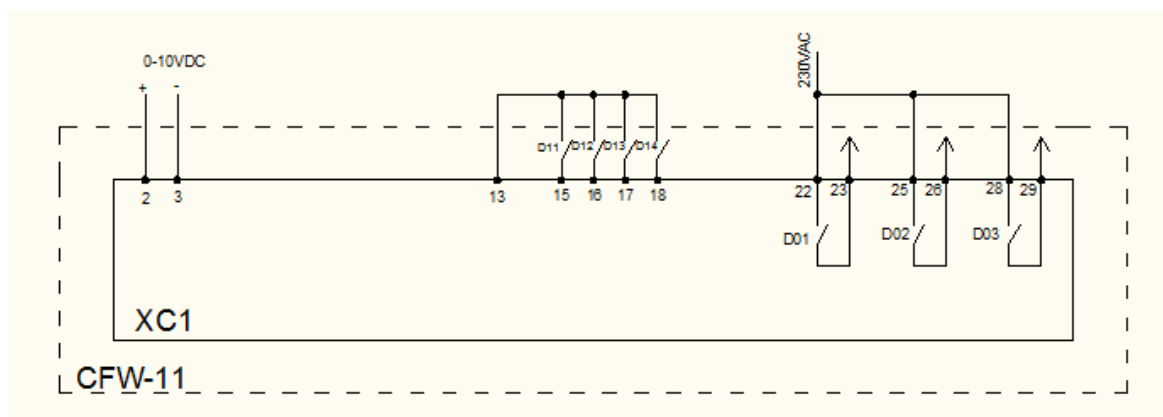
2.3 pav relių pajungimas į dažnio keitiklį, sudaryta autoriaus.

Iš 2.3 paveikslėlio matome kaip vietoje magnetinių paleidėjų prie dažnio keitiklio buvo prijungtos 230 V kintamos įtampos relės šešių relių pagrindiniai kontaktai buvo panaudoti vietoje magnetinių paleidėjų normaliai atvirų kontaktų. K1, K2 ir K3 relės imitavo magnetinius paleidėjus skirtus paleisti vandens siurblių varikliams per dažnio keitiklį, o K11, K21 ir K31 relės skirtos paleisti vandens siurblių varikliams tiesiogiai nuo elektros tinklo. CFW – 11 dažnio keitiklyje yra trys normaliai atviri kontaktai kurie skaitmeninio signalo meto yra uždaromi ir taip yra aktyvuojami vandens siurblių varikliai. Pagal 29 paveikslėlyje esančią schemą, galima matyti, kaip normaliai uždaraus kontaktais yra blokuojamas siurblio paleidimas, kad sistema nepaleidinėtų nuo dažnio keitiklio dviejų varikliu arba nepersijungtų variklio į dažnio keitiklį variklio veikiančio nuo elektros tinklo. Tai pat panaudojant papildomus normaliai atvires relių kontaktus buvo padaryta šviesos diodų indikacija parodanti kuri relė yra sudirbusi ir pagal tai identifikuoti, kuris vandens siurblys ir kokiame režime jis dirba. Vandens siurblių darbo identifikavimui skirtų šviesos diodų pajungimo schema yra atvaizduota 2.4 paveikslėlyje.



2.4 pav Šviesos diodų skirtų identifikuoti vandens siurblių darbo režimus pajungimo schema, sudaryta autoriaus.

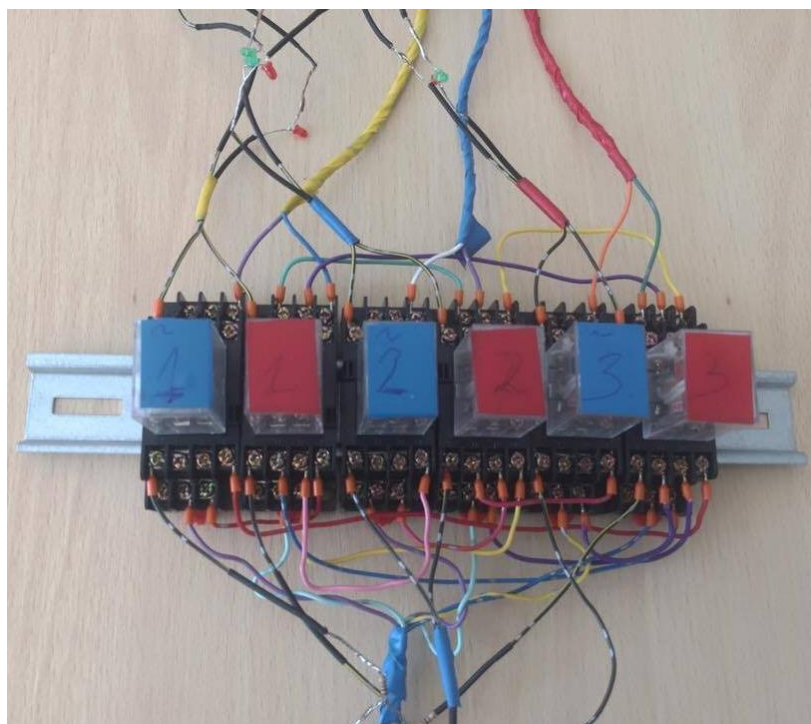
Iš 2.4 paveikslėlyje pavaizduotos šviesos diodų skirtų identifikuoti vandens siurblių darbo režimams pajungimo schemas matome, kad šviesos diodas buvo prijungtas prie relės (K) normaliai atviro kontakto ir schema buvo šuntuojiama $1k\Omega$ varža (1K), kad nesudegtų šviesos diodas. Schema buvo maitinama iš nuolatinės įtampos šaltinio nuo 5 iki 10V. Lengvesnio identifikavimo tikslais prie relių, kurios imitavo variklių darbą nuo dažnio keitiklio (K1, K2 ir K3) buvo prijungti žali šviesos diodai, o prie relių, kurios imitavo variklių darbą nuo elektros tinklo buvo prijungti raudoni šviesos diodai. Norint imituoti vandens siurblių variklių valdymą relėse reikėjo CFW – 11 dažnio keitiklio XC1 kontaktų rinkelėje susijungti valdymo procesų skaitmeninių ir analoginių įėjimų bei išėjimų schemą, kuri yra atvaizduota 2.5 paveikslėlyje.



2.5 pav Dažnio keitiklio analoginių ir skaitmeninių valdymo signalų įėjimų ir išėjimų pajungimo schema, sudaryta autoriaus.

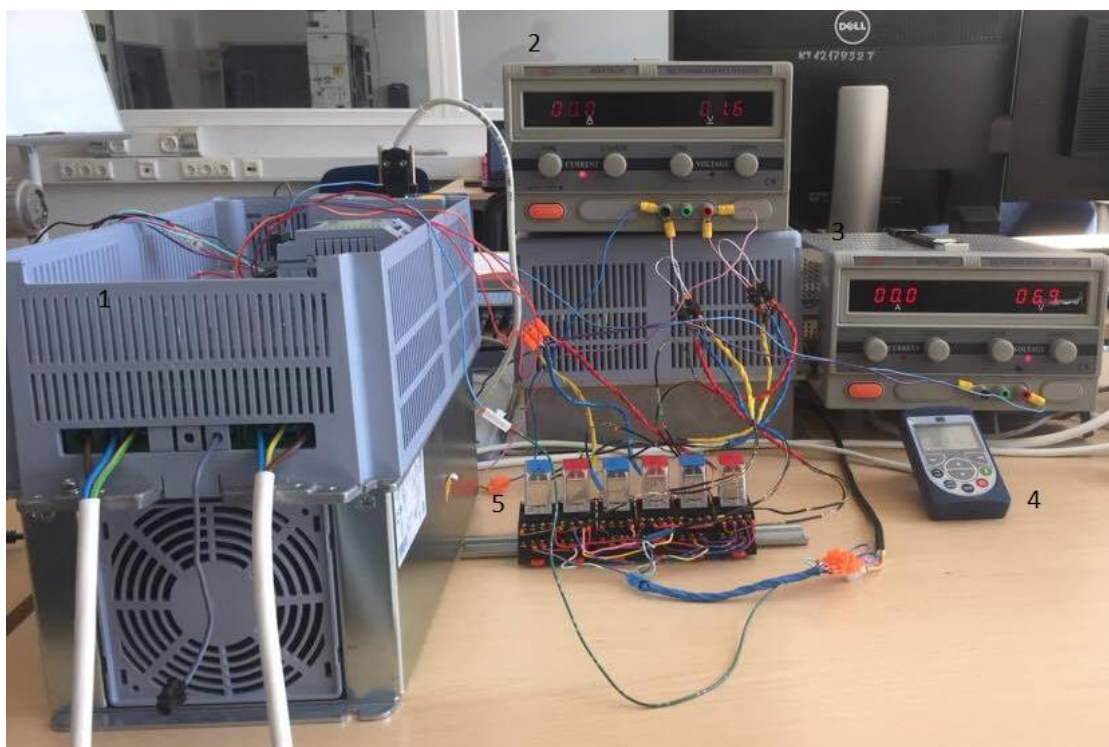
Pagal 2.5 paveikslėlyje atvaizduota analoginių ir skaitmeninių valdymo procesų įėjimų bei išėjimų schemą yra matoma, kad XC1 kontaktų rinklės esančios CFW – 11 dažnio keitiklyje 2 ir 3 kontaktus, kuriuose yra valdymo parametro analoginis įėjimas yra paduodama nuolatinė valdymo signalo įtampa, kuri svyruoja nuo 0 iki 10V. Toliau esantys analoginiai išėjimai (13, 15, 16, 17 ir 18 kontaktai) su įrengtais mygtukais (D11, D12, D13 ir D14) aktyvuoja valdymo

sistema ir vandens siurblių variklius, 13 kontakte yra 24V nuolatinės įtampos, kuri yra sujungta su mygtukais, kuriais galima rankiniu būdu išjungti arba įjungti: D11 mygtukas aktyvuoja Pump Genius sistemą, D12 aktyvuoja pirmąjį vandens siurblio variklį, D13 aktyvuoja antrąjį vandens siurblio variklį ir D14 aktyvuoja trečiąjį vandens siurblio variklį. Skaitmeniniuose įėjimuose esančiuose 22, 25 ir 28 kontaktuose yra D01, D02 ir D03 normaliai atviri kontaktai, kurie per skaitmeninius išėjimus esančius 23, 26 ir 29 kontaktuose duoda 230V kintamos įtampos signalą skirtą relių įjungimui. Pagal 29 paveikslėlyje pateikta relių skirtų imituoti vandens siurblių variklių darbo režimus schemą, sumontuotų relių ir šviesos diodų skirtų indikacijai nuotrauka yra atvaizduota 2.6 paveikslėlyje.



2.6 pav Relės skirtos imituoti vandens siurblių variklių darbo režimus su šviesos diodų indikacija, sudaryta autoriaus.

Iš 2.6 paveikslėlio matome šešias kintamos įtampos 230V reles kurios yra skirtos imituoti vandens siurblių variklių darbo režimams. Mėlynai paženklintos relės sudirba, kai vandens siurblių varikliai veikia tiesiogiai nuo elektros tinklo, o raudonai paženklintos relės sudirba, kai vienas iš vandens siurblių variklių dirba reguliuojamas dažnio keitiklio. 2.7 paveikslėlyje yra atvaizduotas dažnio keitiklis su visais reikiama komponentais skirtais vandens siurblių variklių valdymui.



3.6 pav Dažnio keitiklis su reikiamais komponentais skirtais valdyti vandens siurblių variklius, sudaryta autoriaus.

Pagal 2.7 paveikslėlyje esančia nuotrauką yra matoma, kad 1 – dažnio keitiklis valdomas analoginiu signalu iš 3 – nuolatinės įtampos šaltinio, perduoda skaitmeninį valdymo signalą į 5 – reles, kurios sudirbdamos imituoja vandens siurblių variklių magnetinius paleidėjus. Tuo metu 2 – kitas nuolatinės įtampos šaltinis yra skirtas maitinti šviesos diodus, kurie parodo vandens siurblių variklių darbo režimus. 4 – yra vaizduoklis skirtas sekti variklio valdomo iš dažnio keitiklio darbiniais parametrais, šiuos parametrus galima pasirinkti dažnio keitiklio konfigūravimo metu. Naudojantis vaizduoklyje esančiais mygtukais galima keisti valdymo parametrus vietinio valdymo būdu.

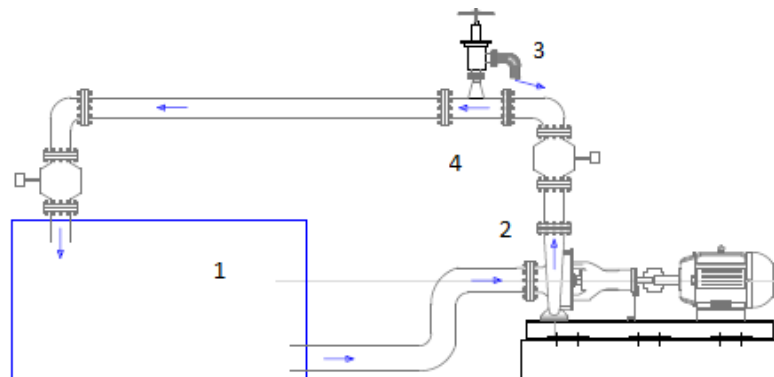
2.2 Eksperimentiniai standai

Tyrimui atlikti buvo projektuojamas eksperimentinis stendas, kurio pagalba būtų imanoma tiksliai imituoti procesus vykstančius vandens siurbliuose, jų varikliosio ir vandens linijose. 2.8 paveikslėlyje yra eksperimentinio stendo nuotrauka.



2.8 pav Eksperimentinis darbo stendas, sudaryta autoriaus.

Iš eksperimentinio darbo stendo nuotraukos matome asinchroninį elektros variklį, kurio velenas yra sujungtas su vandens siurbliu, norint realiai imituoti gedimus vandens siurblyje ir vandens linijoje ir tirti jų priklausomybes su variklio parametrais buvo reikalinga patobulinti eksperimentinį stendą ir pridėti jam papildomos įrangos. Eksperimentiniam stendui patobulinimui skitas brėžinys yra atvaizduotas 2.9 paveikslėlyje.



2.9 pav Eksperimentinio darbo stendo brėžinys, sudaryta autoriaus.

Eksperimentinio darbo stendo brėžinyje yra atvaizduotos trūkstamos dalys eksperimentiniam darbo stendui: 1 – vandens talpa, 2 – debito matuoklis skirtas vandens siurblio pumpuojamo vandens debitui nustatyti, 3 – elektromechaninė sklendė su trišakiu vožtuvu skirta

vandens nuotėkiui imituoti, 4 – debito matuoklis skirtas įvertinti imituojamos trukusios vandens linijos debitui.

Esant dalių trūkumui ir negavus reikiamų dalių buvo naudojami kiti eksperimentiniai darbo stendai 2.10 paveikslėlyje yra atvaizduotas darbo stendas skirtas apkrauti 50% tiriamą elektros variklį.



3.6 pav Eksperimentinis darbo stendas skirtas 50% apkrauti tiriamąjį elektros variklį, sudaryta autoriaus.

Eksperimentiniame darbo stende atvaizduotame 2.10 paveikslėlyje buvo naudojamas kairėje esantis 5,5kW galios Siemens reaktyvusis sinchroninis variklis, kurio vardiniai parametrai esant 50Hz dažniui yra: srovė – 13A, sukimo momentas – 35Nm, sukimosi greitis – 1500 1/min,

$\cos\varphi$ – 0,7, efektyvumas – 91,9%. Šis variklis buvo skirtas imituoti vandens siurblio variklį, o dešinėje esantis Volt firmos 2,2kW asinchroninis variklis buvo skirtas 50% apkrauti vandens siurblio variklį imituojant vandens siurblio apkrovą. Apkrovai naudojamo variklio parametrai esant 50Hz dažniui yra: srovė – 4,7A, $\cos\varphi$ – 0,79, sukimosi greitis – 1430 1/min, efektyvumas – 80,5%.

Tai pat norint pilnai apkrauti 5.5kW variklį pilnai ir imituoti vandens siurblio apkrovą buvo naudojamas dar vienas eksperimentinis stendas, kuris yra atvaizduotas 2.11 paveikslėlyje.



2.11 pav Eksperimentinis darbo stendas naudojamas apkrauti vandens siurblio variklį pilna apkrova, sudaryta autoriaus.

Norint apkrauti 5,5kW galios vandens siurblio variklį pilna apkrova buvo naudojamas 2.11 paveikslėlyje pavaizduotas eksperimentinis darbo stendas. Iš 32 paveikslėlio matome, kad 5,5kW galios elektros varikliui apkrauti buvo naudojamas sinchroninis 20kW galios generatorius, kurio vardiniai parametrai esant 50Hz dažniui yra: srovė – 36A, $\cos\phi$ – 0,8, sukimosi greitis – 1500 1/min. Sinchroninis variklis buvo sukamas 50Hz dažniu ir jo velenas buvo sukabintas su sinchroninio generatoriaus velenu, todėl variklis sukdamas generatorių gamino elektros energija, o generatoriaus išėjime buvo prijungtas elektrinis trifazis šildytuvas, kurio vardiniai parametrai yra: galia – 5kW, srovė – 7,2A.

2.3 Tyrimai atliekami naudojant eksperimentinius stendus ir dažnio keitiklį

Naudojant WEG CFW – 11 dažnio keitiklį ir eksperimentinius darbo stendus skirtus imituoti vandens siurblio apkrovas elektros varikliui buvo atlikti bandymai pagal suformuotus šio tiriamojo projekto uždavinius.

Buvo sukurta vandens siurblių variklių valdymo sistema skirta vadyti varikliams pagal reikiamą slėgį vandens linijoje. Valdomų variklių parametrai: dažnis, srovė, sukimosi greitis ir sukimo momentas kartu su imituojamu slėgiu vandens linijoje buvo grafiškai atvaizduotas laiko atžvilgiu. Grafiniuose atvaizdavimuose matomos priklausomybės tarp valdymo proceso valdymo parametro slėgio ir variklio parametrų.

Tai pat buvo imituojamas nuotėkis vandens linijoje, kai imituojamo slėgio vandens linijoje analoginis signalas buvo sumažinamas iki neleistinos ribos ir vandens siurblio variklio sukimosi greitis padidėjo iki neleistinos vertės. Valdymo sistema aptiko nuotėkį ir variklio parametrai

kartu su valdymo proceso kintamuoju buvo grafiškai atvaizduoti vandens nuotėkio aptikimo metu.

Buvo atliekamas bandymas kai buvo imituojamas nepralaidumas vandens linijoje, dėl mechaninių kliūčių, kai buvo sukeliamas valdymo proceso kintamasis. Variklio darbo parametrai ir proceso kintamo vertės linijos nepralaidumo metu buvo grafiškai atvaizduotos.

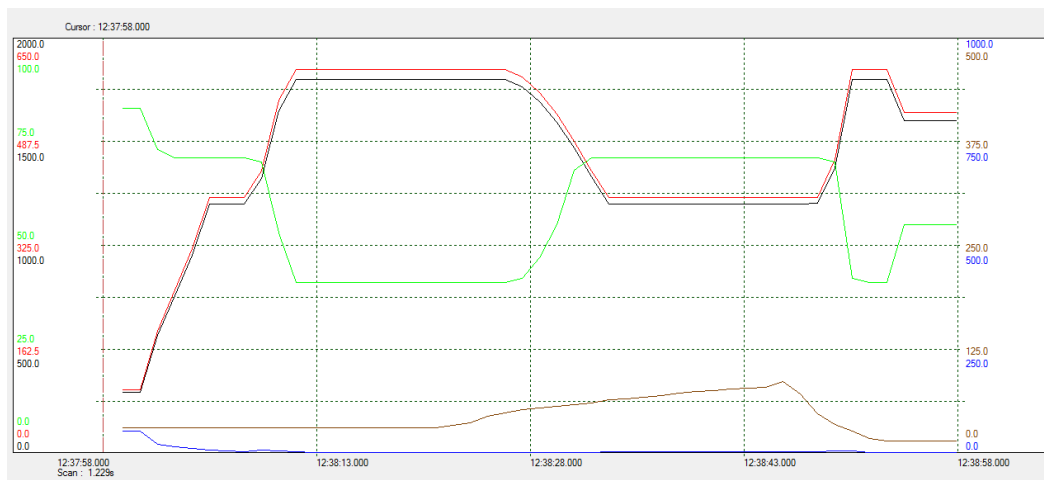
Buvo imituojamas vandens siurblio variklio gedimas kada naudojant sinchroninį generatorių ir trifazį šildytuvą generatoriaus išėjime buvo imituojami procesai vandens siurblio darbo rate, kai dėl atsiradusio oro darbo rate krenta variklio sukimo momentas. Šiam tikslui buvo atjungiamą generatoriaus apkrova, esant didesniam negu vardinis variklio sukimosi greičiui ir šio suimituoto gedimo metu buvo patikrintas sistemos reagavimas į gedimus bei grafiškai atvaizduoti variklio darbiniai parametrai su proceso valdymo kintamuoju laike.

Norint tinkamai grafiškai atvaizduoti bandomojo variklio darbinis parametrus matuojamus dažnio keitiklyje naudojantis WLP 10.0 programos funkcija skirtą variklių parametrų stebėsenai ir analizei realiu laiku buvo naudojamos skirtingos proceso valdymo ir variklių darbinių parametrų skalės. Kadangi variklio sukimosi greitis yra matuojamas tūkstančiais apsisukimų per minutę, todėl visi kiti likę parametrai (slėgis vandens linijoje, variklio srovė, variklio dažnis ir variklio sukimo momento procentinė vertė) buvo padauginti iš dešimt kartu norint aiškiai juos atvaizduoti ant vieno grafiko. Juoda kreive buvo vaizduojamas variklio sukimosi greitis (1/min), raudona kreive variklio dažnis (Hz), žalia kreive variklio srovė (A), mėlyna kreive variklio sukimo momentas (%), o proceso valdymo kintamasis (bar).

3 TYRIMO REZULTATAI

3.1 Vandens siurblių variklių valdymas pagal slėgį vandens linijoje

Sukurta vandens siurblių variklių valdymo sistema buvo nustatyta reaguoti į imituojamą slėgį vandens linijoje. Imituojamas slėgis vandens linijoje svyravo nuo 0 iki 10bar sistemoje ir jos vizualizacijuose keičiant valdymo įtampa nuo 0 iki 10V per nuolatinės įtampos šaltinį. Tarp valdymo įtampos ir sistemos valdymo parametro buvo tiesioginė priklausomybė, todėl perdavus 3V analoginį valdymo signalą valdymo sistema suprato vandens linijoje yra 3bar slėgis. Valdymo sistema buvo sukonfigūruota, kad vandens linijoje būtų palaikomas 5bar slėgis, todėl esant žemesniam slėgiui vandens siurblių varikliai turėjo būti įjungiami ir greitis bei kiekis didinamas, o esant didesniam slėgiui sistema turėjo priimti loginius sprendimus: arba mažinti valdomo variklio greitį, arba mažinti dirbančių vandens siurblių skaičių. 3.1 paveikslėlyje yra grafiškai atvaizduotas dažnio keitikliu valdomo variklio darbiniai parametrai ir proceso valdymo kintamasis.

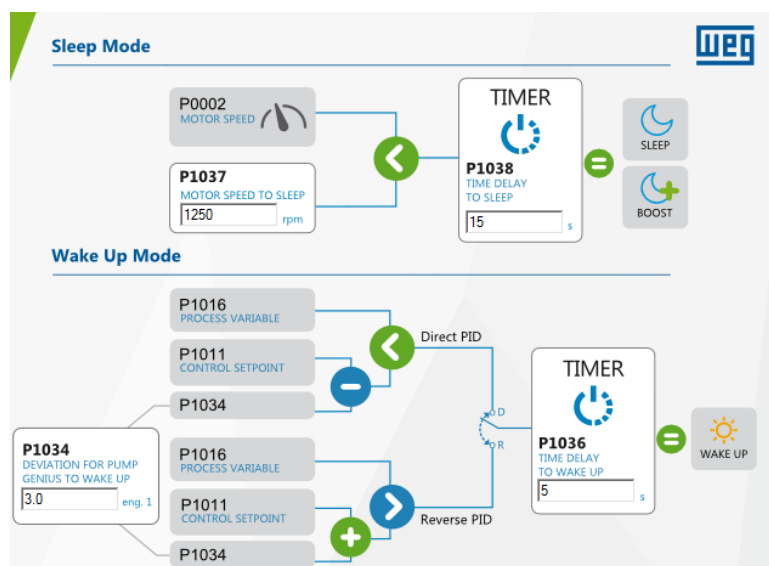


3.1 pav Dažnio keitikliu valdomo variklio darbiniai parametrai ir proceso valdymo kintamojo vertės, sudaryta autoriaus.

Pagal 3.1 paveikslėlyje pateiktus grafinius rezultatus vandens siurblio variklis valdonas dažnio keitikliu esant 3bar slėgiui imituojamoje vandens linijoje pasileido laiko momentu (12:38:00) ir per 10s laiko tarpą pasiekė minimalų sukimosi greitį 1200 1/min esant 40Hz dažniui, tada 5s vyko vandens linijos apkrovimas, juo metų variklis dirba minimaliu sukimosi greičiu nustatytą laiką (šiuo atveju 5s) norint išvengti hidrosūgio vandens linijoje, kuris gali atsirasti dėl per didelio variklio sukimosi greičio, kuris sukeltų staigų vandens debito kilimą vandens linijoje. Įvykus pilnam vandens linijos apkrovimui ir dar neviršijus 5bar slėgio vandens

linijoje variklio sukimosi greitis didinamas iki maksimalios vertės 1800 1/min, esant 60Hz dažniui. Variklio paleidimo metu padidėjusi srovė normalizuojasi iki 7,2A varikliui pasiekus 45Hz dažniui ir 1350 1/min sukimosi greičiui ir pradėjo mažėti iki 4A didinant variklio sukimosi greitį. Laiko momentu (12:38:25) slėgis vandens linijoje pakilo virš 5bar nustatytos ribos todėl variklio greitis buvo mažinamas iki minimalaus, kol laiko momentu (12:38:49) slėgis vandens linijoje sumažėjo žemiau 5bar normos ir variklis vėl buvo greitinamas, norint stabilizuoti slėgį vandens linijoje. Šiuo bandymo metu, kai buvo išbandomas valdymo sistemos sugebėjimas reaguoti į imituojamą slėgį vandens linijoje eksperimentiniame darbo stende nebuvo prijungta apkrova prie valdomo 5,5kW variklio todėl bandymo metų variklio sukimo momento reikšmė neviršijo 6% vardinės, t.y. 2,1Nm, variklis dirbo tuščiąją veika.

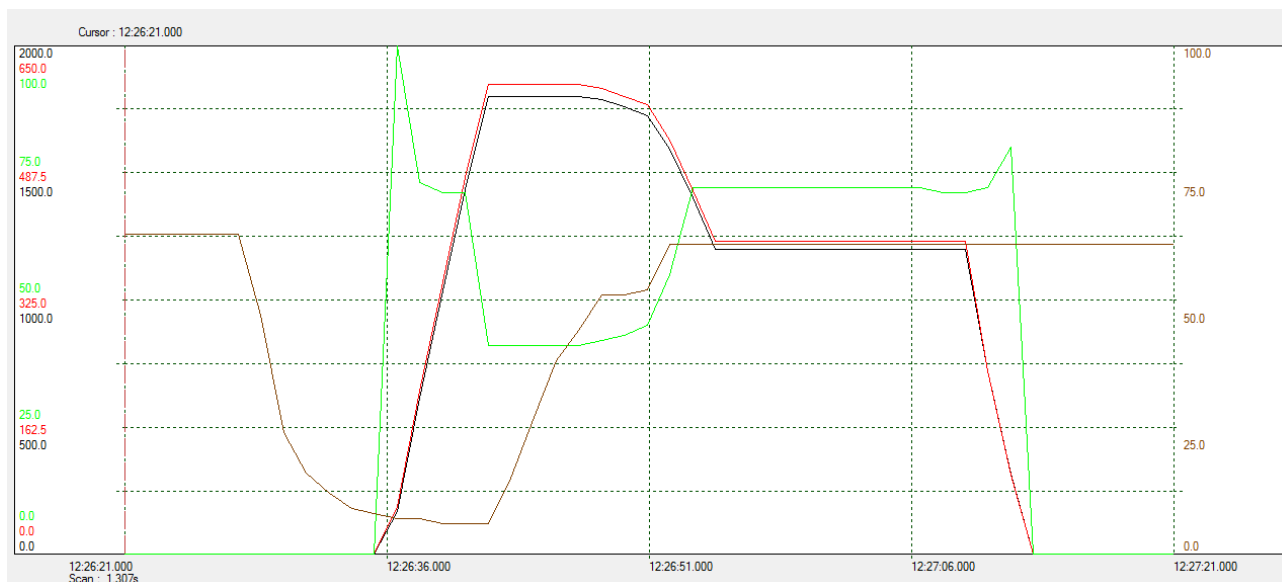
Tai pat naudojant WLP 10.0 programą galima nustatyti, kad esant pakankamam slėgiui vandens linijoje galima vandens siurblio variklis, kurį valdo dažnio keitiklis neveiktų, kol neatsirastų slėgio trūkumas, o esant per dideliui slėgiui vandens linijoje išsijungtų ir neveiktų, kol slėgis vėl nenukristų. 3.2 paveikslėlyje yra atvaizduotas *pump genius* sistemos konfigūravimo langas skirtas įjungti ir išjungti vandens siurblių varikliams pagal slėgio vandens linijoje parametą.



3.2 pav vandens siurblių variklių paleidimas ir stabdymas atsižvelgiant į slėgio parametą vandens linijoje, sudaryta autoriaus.

Pagal 3.2 paveikslėlyje matomus parametrus buvo sukonfigūruotas vandens siurblio variklio valdymas, kad esant vandens linijoje mažesniai nei 3bar slėgiui ir 5s slėgiui nedidėjant vandens siurblio variklis turi pasileisti ir stabilizuoti slėgį vandens linijoje, šis vandens siurblio variklio valdymas yra pavadintas pabudimo režimui (angl. Wake Up Mode). Tai pat esant dideliui slėgiui sistemoje, kai variklis ilgą laiką dirba greičiu artimu variklio minimaliam

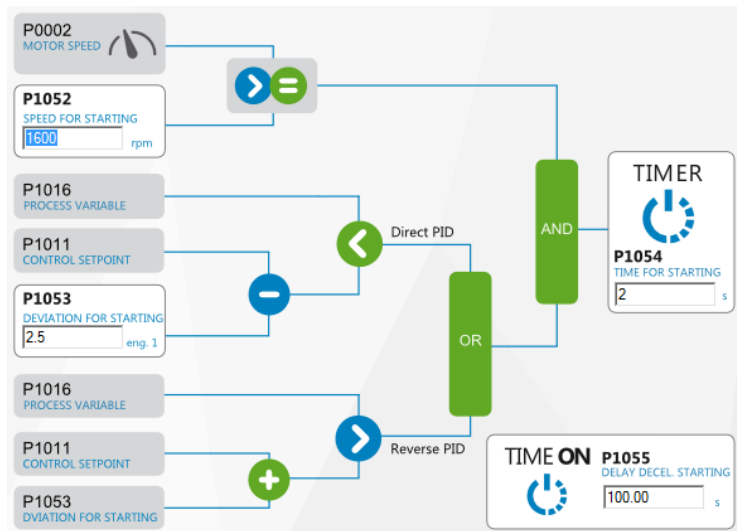
greičiui 1250 1/min, kai variklio minimalus greitis nustatytas 1200 1/min ir greitis nedidėja 15s tada variklis turi būti išjungiamas. Šis vandens siurblio variklio valdymas yra vadinamas užmigimu (ang. Sleep Mode). Šių dvejų režimu su valdymo proceso kintamojo ir variklio darbo parametrais grafinis atvaizdavimas yra pateiktas 3.3 paveikslėlyje.



3.3 pav variklio darbo parametrų kitimas pabudimo ir užmigimo režimuose, sudaryta autoriaus.

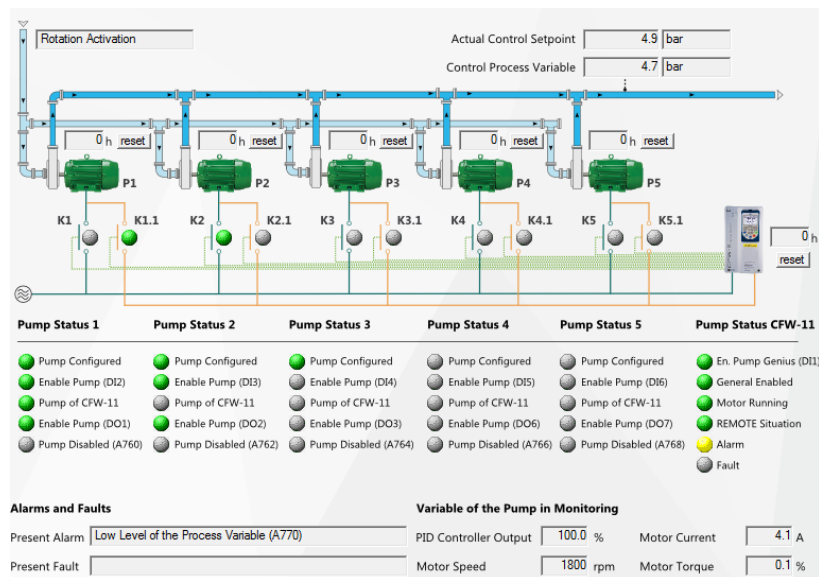
Pagal 40 paveikslėlyje pateiktą grafiką matome, kad laiko momentu (12:26:30) slėgis vandens linijoje nukrenta žemiau 5bar ribos ir po 5s laiko momentu (12:26:35) pasileidžia vandens siurblio variklis, kuris pasiekia nustatyta 1800 1/min sukimosi greitį esant 60Hz dažniui. Variklio stabdymas įvyksta, varikliui stabilizavus slėgį linijoje laiko momentu (12:26:48) ir nuo laiko momento (12:26:55) iki (12:27:10) variklio greičiui esant mažesniai nei 1250 1/min, variklis yra stabdomas.

Pagal vandens siurblių veikimo algoritmą jungiant papildomus vandens siurblių variklius, kai vandens siurblio variklis, dirbantis nuo dažnio keitiklio, sukasi didesniu nei 1600 1/min greičiu artimu maksimaliam 1800 1/min greičiui ir slėgis vandens linijoje yra mažesnis nei 2,5bar valdymo sistema jungia dirbti nuo elektros tinklo lygiagrečiai valdomam siurbliui. Toliau slėgiui nesistabilizuojant ir nekylant virš 2,5bar ribos sistema įjungia dar viena vandens siurblio variklį darbui nuo elektros tinklo, šio algoritmo kūrimo langas yra atvaizduotas 3.4 paveikslėlyje.



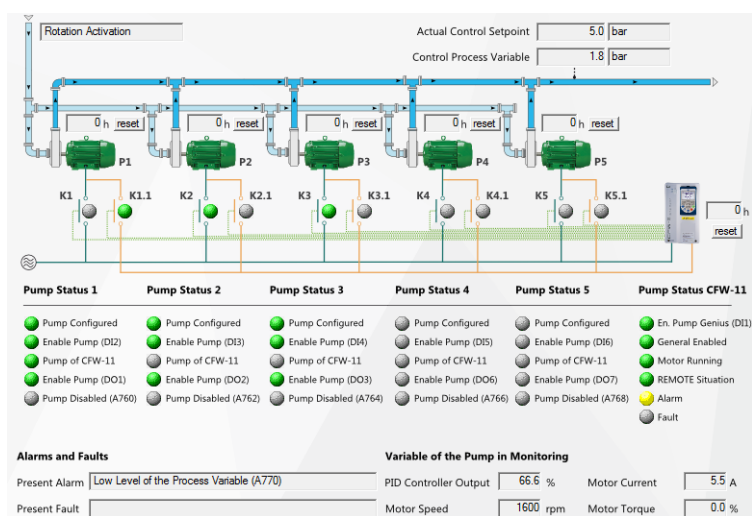
3.6 pav Papildomų vandens siurblių variklių įjungimui keliamos sąlygos, sudaryta autoriaus.

Pagal 3.4 paveikslėlyje vizualizuotas sąlygas skirtas papildomų vandens siurblių įjungimui, sudaromas algoritmas, kurio metu jeigu vandens siurblio variklis valdomas dažnio keitikliu pasiekia 1600 1/min sukimosi greitį ir slėgis vandens linijoje yra mažesnis nei 2,5bar tai po 2s yra įjungiamas papildomas vandens siurblio variklis darbui nuo elektros tinklo, o jeigu po to slėgis nesinormalizuoja ir jo dydis yra vis dar mažesnis už 2,5bar tai po 100s yra įjungiamas papildomas vandens siurblys darbui nuo elektros tinklo. Vandens siurblių valdymo sistemos stebėsenos vizualizacija, kai veikia 2 vandens siurbliai vienas nuo tinklo kitas nuo dažnio keitiklio atvaizduota 3.5 paveikslėlyje.



3.6 pav Dviejų veikiančių vandens siurblių variklių darbo stebėsenos vizualizacija, sudaryta autoriaus.

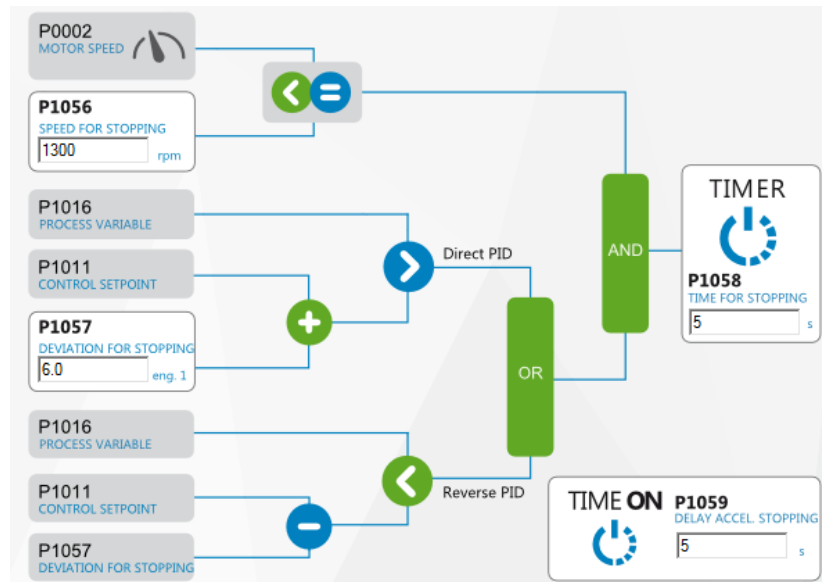
Pagal 3.5 paveikslėlyje parodyta vandens siurblių darbo vizualizacija matome, kad pirmasis vandens siurblio variklis dirba valdomas dažnio keitikliu, o antrasis vandens siurblio variklis dirba tiesiogiai iš elektros tinklo. Vizualizacijos dešiniajame viršutiniame kampe matome nustatyto slėgio palaikymo ribą 4,9bar ir 4,7bar esamą slėgį vandens linijoje. Tai pat dešiniajame apatiniame kampe galima realiu laiku stebėti variklio pagrindinius darbinius parametrus: sukimosi greitį, srovę ir sukimo momento procentinę išraišką. Analogiška vizualizacija, kai vandens siurblių valdymo sistemoje dirba trys siurbliai galima matyti 3.6 paveikslėlyje.



3.6 pav Trijų veikiančių vandens siurblių variklių darbo stebėsenos vizualizacija, sudaryta autoriaus.

Pagal 3.6 paveikslėlyje pavaizduota vandens siurblių variklių darbo vizualizaciją yra matoma, kad pirmasis vandens siurblio variklis dirba valdomas dažnio keitikliu, o du likę vandens siurblių varikliai dirba tiesiogiai nuo elektros tinklo. Tai pat iš 3.5 ir 3.6 paveikslėlio matome, kad kairiajame apatiniame kampe yra rodomi gedimai ir įspėjimai vandens siurblių valdymo sistemoje.

Papildomų vandens siurblių variklių stabdymui yra nustatytas algoritmas pagal, kurį galima išjungti nereikalingus papildomus vandens siurblių variklius, kai slėgis vandens linijoje yra didelės vertės o dažnio keitikliu valdomo vandens siurblio sukimosi greitis yra artimas nustatytam minimaliam variklio sukimosi greičiui.

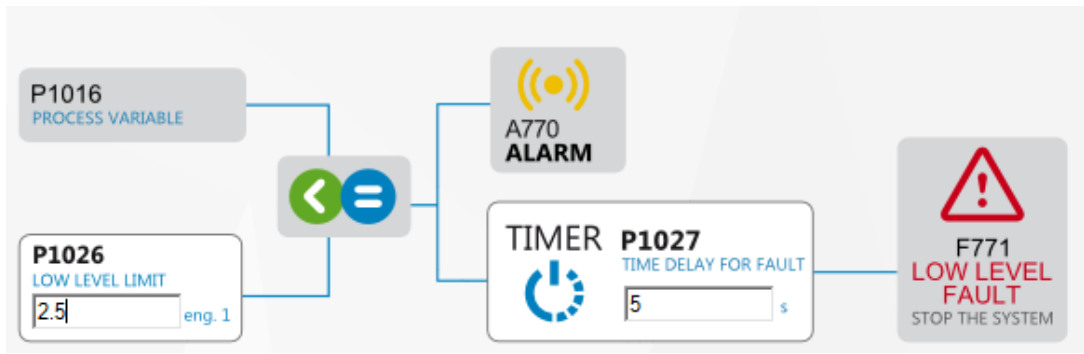


3.7 pav Papildomų vandens siurblių variklių išjungimui keliamos sąlygos, sudaryta autoriaus.

Pagal 3.7 paveikslėlyje esantį papildomų vandens siurblių variklių išjungimo algoritmą yra pastebima, kai vandens siurblio variklis, valdomas dažnio keitikliu, sukasi mažesniu nei 1300 1/min sukimosi greičiu ir slėgis vandens linijoje yra didesnis nei 6bar, todėl papildomas vandens siurblio variklis yra išjungiamas per 5s. Jeigu sistemoje toliau slėgis nekrenta žemiau 6bar vertės ir vandens siurblio variklis valdomas dažnio keitikliu sukasi žemesniu nei 1300 1/min greičiu, tai per 5s yra stabdomas dar vienas papildomas vandens siurblio variklis.

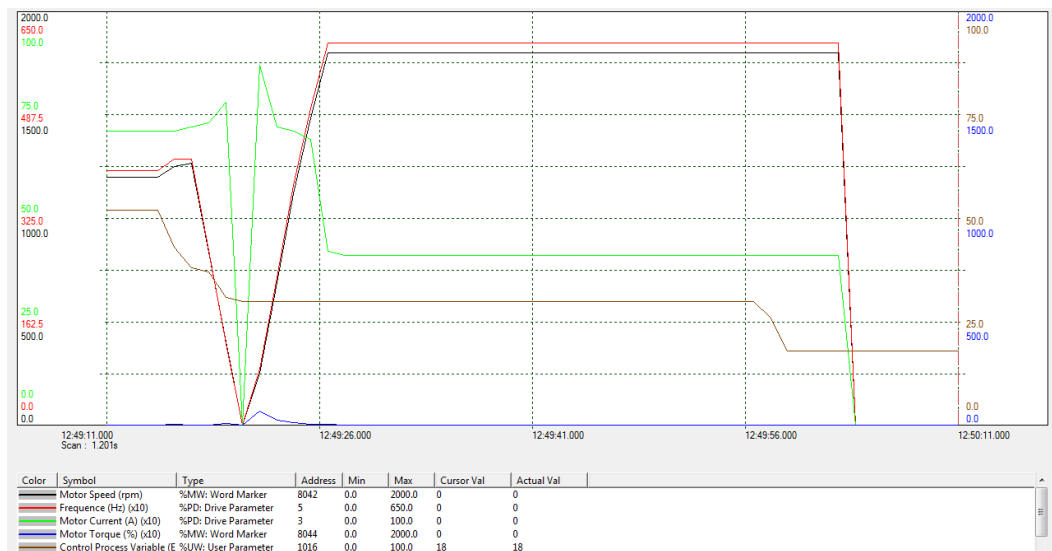
3.2 Nuotėkio vandens linijoje identifikavimas

Norint identifikuoti nuotėki vandens linijoje pagal vandens siurblio, valdomo dažnio keitikliu, darbinius parametrus. Reikia numatyti, kad vandens linijoje, kurioje įvyksta nuotėkis, krenta vandens slėgis. Vandens siurblių valdymo sistemoje slėgis vandens linijoje yra valdymo proceso kintamasis, pagal kurį yra valdomi vandens siurblių varikliai, todėl kritus slėgiui bus įjungiami visi sistemoje esantys vandens siurblių varikliai. Kad sumažinti vandens nuotėkio padaromą žalą reikia išjungti vandens siurblių valdymo sistemą diagnozavus nuotėkį, todėl nuotėkio atsiradimas yra identifikuojamas iš dažnio keitikliu valdomo vandens siurblio variklio sukimosi greičio, kuris pasiekia maksimalų greitį 1800 1/min ir slėgio vandens linijoje kritimo. Tam tikslui yra nustatomos sąlygos valdymo algoritmui, skirtam identifikuoti nuotėkiui, šio algoritmo sąlygos yra pateiktos 3.8 paveikslėlyje.



3.8 pav Sąlygos valdymo sistemai identifikuoti nuotėkį vandens linijoje, sudaryta autoriaus.

Pagal sudarytas sąlygas aptikti nuotėkį vandens linijoje, buvo nustatyta, kad kritus valdymo sistemos kintamojo (slėgio vandens linijoje) vertei iki 2,5bar valdymo sistemoje atsiranda įspėjimas apie per mažą slėgį vandens linijoje. Proceso valdymo kintamajam nesistabilizuojant ir esant žemesniam nei 2,5bar dar 5s sistema turi stabdyti visus vandens siurblių variklius. Pagal 45 paveikslėlyje pateiktas sąlygas skirtas identifikuoti nuotėkiui vandens linijoje 3.9 paveikslėlyje yra grafiškai atvaizduoti, dažnio keitikliu valdomo, vandens siurblio variklio darbo parametrai kartu su valdymo proceso kintamuoju, nuotėkio vandens linijoje identifikavimo metu.



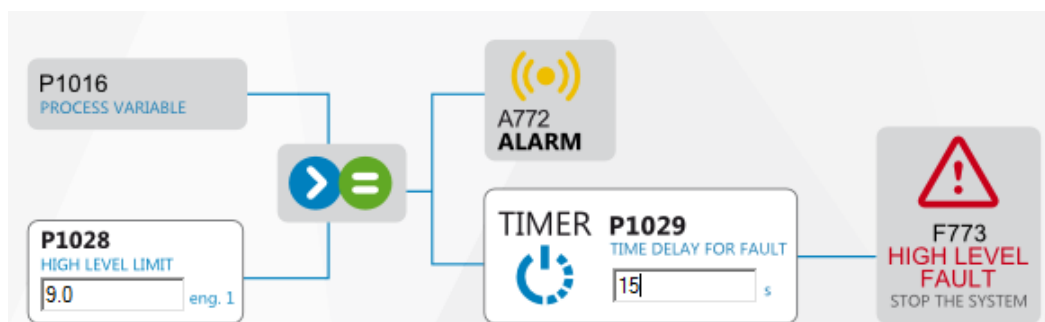
3.9 pav Vandens siurblio variklio darbiniai parametrai ir valdymo proceso kintamojo vertės nuotėkio vandens linijoje identifikavimo metu, sudaryta autoriaus.

Pagal 3.9 paveikslėlyje grafiškai atvaizduotus vandens siurblio variklio darbinius parametrus valdymo proceso kintamąjį, nuotėkio vandens linijoje aptikimo metu yra pastebima, kad laiko momentu (12:49:59) slėgis vandens linijoje krenta žemiau nustatytos 2,5bar ribos slėgiui nepakilus aukščiau 2,5barų per 5s, laiko momentu (12:50:04) buvo išjungtas vandens

siurblio variklis. Nuotėkiui vandens linijoje metu iki valdymo sistemos išjungimo vandens siurblio variklis dirbo maksimaliu 1800 1/min greičiu esant 60Hz dažniui. Kadangi variklis nuotėkio identifikavimo bandymo metu nebuvo apkrautas (veikė tuščia eiga), todėl sukimo momentas neviršijo 6% arba 2,1Nm vertės, o variklio srovė irgi nepasiekė nominalios 13A vertės.

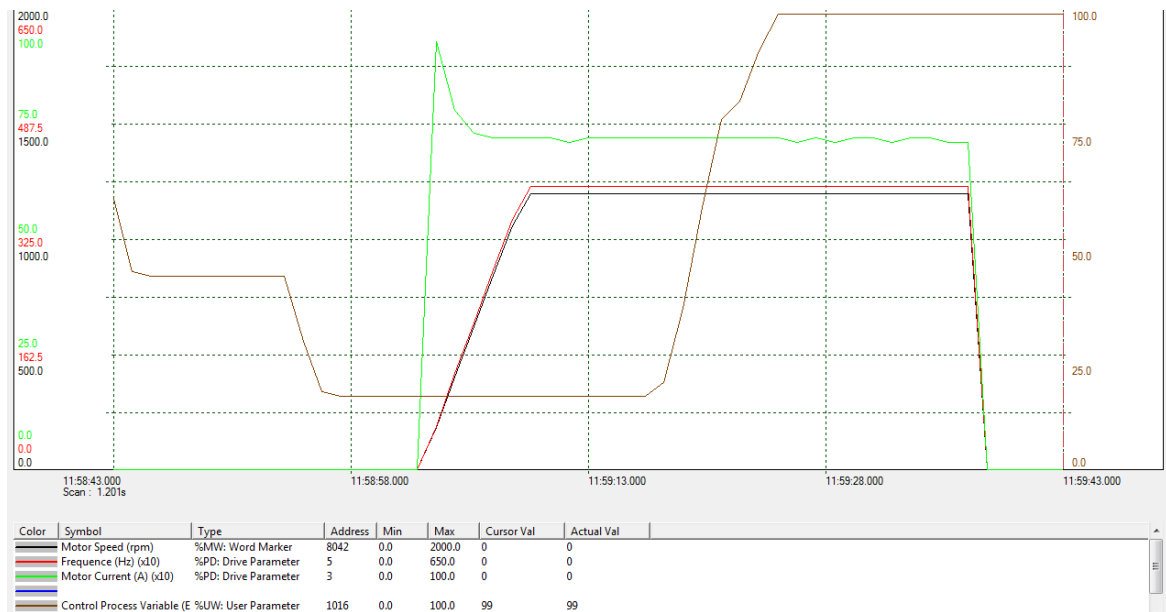
3.3 Kliūtis vandens linijoje identifikavimas

Norint identifikuoti kliūtį vandens linijoje, kuri mažina vandens linijos pralaidumą reikia pagal vandens siurblio variklio, valdomo dažnio keitikliu parametrus, reikia atsižvelgti į tai, kad valdomas vandens siurblys dirbs minimaliu greičiu 1200 1/min. O valdymo proceso kintamasis (slėgis) viršys nustatytą normą 9bar, kuriai esant galima identifikuoti, kad vandens linijoje yra susidariusi kliūtis, dėl kurios atsiranda nepralaidumas ir veikiantis vandens siurblio varikliai gali sukelti mechaninius pažeidimus vandens linijoje. 3.10 paveikslėlyje yra atvaizduotos sąlygos, kuriomis esant valdymo sistema turi išjungti visus vandens siurblių variklius.



3.10 pav Sąlygos skirtos identifikuoti kliūtį vandens linijoje ir išjungti vandens siurblių valdymo sistemą, sudaryta autoriaus.

Pagal 3.10 paveikslėlyje nurodytas sąlygas kliūtis vandens linijoje identifikavimui, buvo sudarytas algoritmas, kai proceso valdymo kintamasis pasiekia 9bar slėgį valdymo sistemos vizualizacijoje atsiranda įspėjimas, dėl per didelio slėgio vandens linijoje. Jei slėgis nenukrenta žemiau 9bar per 15s valdymo sistema išjungia visus veikiančius vandens siurblių variklius. 3.11 paveikslėlyje yra grafiškai atvaizduoti vandens siurblio variklio, valdomo dažnio keitikliu, darbiniai parametrai kliūtis vandens linijoje identifikavimo metu.



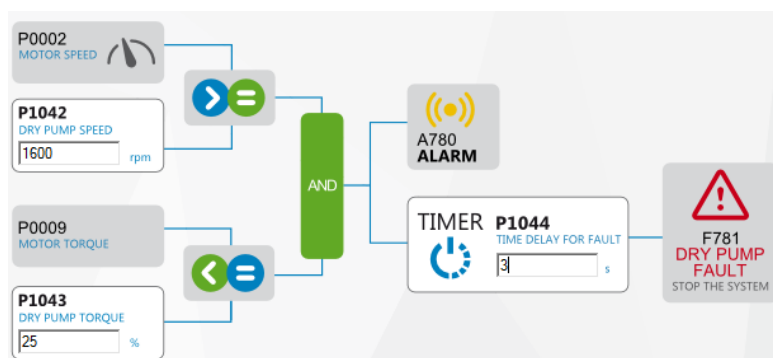
3.11 pav Vandens siurblio variklio darbiniai parametrai ir valdymo proceso kintamojo vertės kliūties vandens linijoje identifikavimo metu, sudaryta autoriaus.

Pagal 3.11 paveikslėlyje grafiškai atvaizduotus vandens siurblio variklio darbinis parametrus ir valdymo proceso kintamojo vertes kliūties vandens linijoje identifikavimo metu yra pastebima, kad laiko momentu (11:59:25) valdymo proceso kintamasis pasiekia 9bar ribą, kurios metu valdymo sistema išpėja apie vandens linijoje susidariusią kliūtį. Valdymo proceso per 15s nesumažėjus valdymo proceso kintamajam iki 9bar slėgio, sistema pradėjo stabdyti vandens siurblio variklį laiko momentu (11:59:25). Vandens siurblio variklio sukimosi greitis kliūties vandens linijoje aptikimo metu buvo lygu 1200 1/min esant 40Hz dažniui. Tai pat šio eksperimento metu variklio srovė nepasiekė nominalios 13A vertės, nes variklis nebuvo apkrautas.

3.4 Gedimo vandens siurblio darbo rate identifikavimas

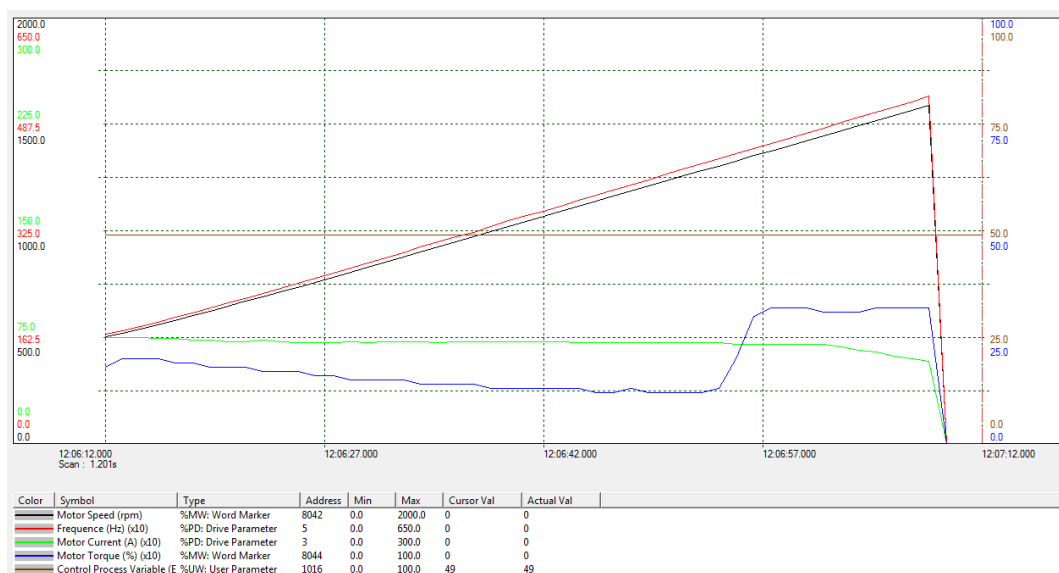
Dažnas gedimas eksploatuojant vandens siurblius yra, kai i vandens siurblio darbo ratą kartu su vandeniu patenka ir oras, todėl vandens siurblio variklis neapsikrauna, jo sukimo momento vertės būna mažesnės negu nominalus ir sukimosi greitis būna padidinamas dėl slėgio vandens linijoje palaikymo. Norint identifikuoti šį gedimą reikia užsiduoti sąlygas, vandens siurblio varikliui valdomam iš dažnio keitiklio, kad pasiekus didesnę sukimosi greitį (1600 1/min) artimą maksimaliajam (1800 1/min), ir esant sukimo momento sumažėjimui iki 25% (8.75Nm) pirmo bandymo metu ir 35% (12.25Nm) antro bandymo metu, valdymo sistema išpėtų vartotoją apie gedimą, o po nustatyto laiko išjungtų visus vandens siurblių variklius.

Užduodamos sąlygos sistemai identifikuoti gedimą ir išjungti visus vandens siurblių variklius yra 3.12 paveikslėlyje.



3.12 pav Sąlygos skirtos vandens siurblio gedimo darbo rate identifikavimui, sudaryta autoriaus.

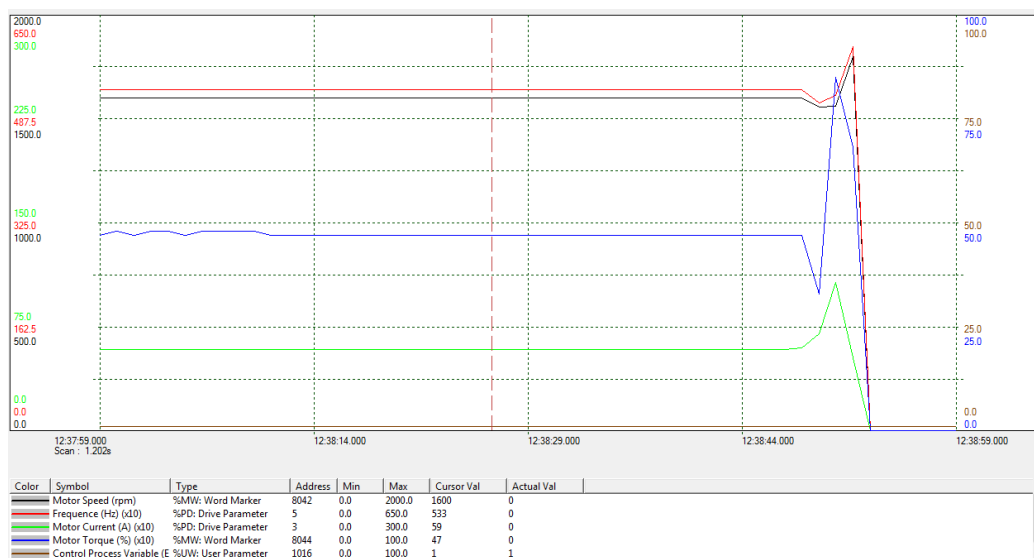
Pagal 3.12 paveikslėlyje pateiktas sąlygas identifikuoti gedimą vandens siurblio darbo rate buvo išbandytas 5,5kW variklis kartu su eksperimentiniame darbo stende sujungtu per velenus 2,2kW varikliu skirtu imituoti vandens siurblio apkrovai. Bandymo metu abu varikliai sukosi į skirtingas puses, norint gauti bandomojo vandens siurblio variklio sukimo momento kreivę. Norint sumažinti variklio sukimo momento vertę iki 25% variklis skirtas imituoti apkrovai buvo maitinamas iš žeminančio autotransformatoriaus, kad būtų galima reguliuoti apkrovos dydį. Bandymo rezultatai yra grafiškai atvaizduoti 3.13 paveikslėlyje.



3.13 pav Vandens siurblio variklio darbiniai parametrai pirmojo gedimo vandens siurblio darbo rate identifikavimo bandymo metu, sudaryta autoriaus.

Pagal 3.13 paveikslėlyje grafiškai atvaizduotus vandens siurblio variklio darbo parametrus, pagal kuriuos buvo identifikuotas imituojamas gedimas vandens siurblio darbo rate, Proceso valdymo kintamasis buvo nustatytas 4,9bar, kad vandens siurblio variklis pasiektų 1600 1/min sukimosi greitį ir pasiekus nominalų vandens siurblio variklio sukimosi greitį, laiko momentu (12:07:00), 2,2kW variklis sukėlė bandomajame variklyje 35% (12,25Nm) sukimo momentą. Laiko momentu (12:07:03) variklio sukimo momentas nukrito iki 25% (8,75Nm) ribos, todėl sukimo momentui toliau krentant žemyn po 3s laiko momentu (12:07:05) buvo stabdomas vandens siurblio variklis.

Antrojo bandymo metu 5,5kW variklis buvo apkraunamas naudojant kita eksperimentinį darbo standą, kuriame variklis suko sinchroninį generatorių, kurio išėjime buvo prijungtas 5kW elektrinis šildytuvas. Keičiant sinchroninio generatoriaus žadinimą reguliuojant išėjimo įtampą, buvo bandoma apkrauti variklį, taip kad jo sukimo momentas kistų eksperimento metu. Keičiant imituojamos vandens siurblio apkrovos dydį buvo nutarta 35% (12.25Nm) ir mažesnę sukimo momento vertę taikyti, norint identifikuoti gedimą vandens siurblio darbo rate. Variklio darbiniai parametrai atliekant gedimo vandens siurblio darbo rate identifikavimo bandymą yra grafiškai atvaizduoti 3.14 paveikslėlyje.



3.14 pav Vandens siurblio variklio darbiniai parametrai antrojo gedimo vandens siurblio darbo rate identifikavimo bandymo metu, sudaryta autoriaus.

Antrojo bandymo metu bandomojo 5,5kW vandens siurblio variklio sukimo momentas siekė 47% (16,45Nm) varikliui sukantis 1600 1/min greičiu esant 53,3Hz dažniui. Laiko momentu (12:38:51) variklio sukimo momentas nukrito iki 35% (12.25Nm) vertės todėl po 3s laiko momentu (12:38:54) buvo išjungtas bandomas variklis.

Visų WLP 10.00 programoje naudojami kodai bandymams atlikti yra pateikti priedose.

IŠVADOS

1. Sukurta vandens siurblių variklių valdymo sistema palaiko 5bar slėgį vandens linijoje atsižvelgiant į kintantį slėgį vandens linijoje. Dažnio keitiklis vektoriniu valdymu keičia vandens siurblio variklio sukimosi greitį nuo 1200 1/min esant 40Hz dažniui iki 1800 1/min esant 60Hz dažniui. Slėgiui vandens linijoje nukritus žemiau 3bar variklis yra įjungiamas ir varikliui dirbant mažesniu nei 1250 1/min esant 41,66Hz dažniui sukimosi greičiu variklis yra išjungiamas. Papildomi vandens siurblių varikliai yra įjungiami esant 2,5bar ir išjungiami esant 6bar slėgiui vandens linijoje.
2. Dirbant vandens siurblių varikliams slėgio vandens linijoje nukritimo iki 2,5bar metu yra identifikuojamas nuotėkis vandens linijoje. Slėgio vertei nepadidėjus daugiau nei 2,5bar per 5s nuotėkis vandens linijoje yra patvirtinamas ir visi vandens siurblių varikliai yra išjungiami.
3. Dirbant vandens siurblių varikliams slėgio vandens linijoje iki 9bar pakilimo metu yra identifikuojama kliūtis vandens linijoje. Slėgio vertei nenukritus žemiau 9bar per 15s yra patvirtinamas kliūtis vandens linijoje atsiradimas ir visi vandens siurblių varikliai yra išjungiami.
4. Imituojant gedimą vandens siurblio darbo rate pirmojo bandymo metu vandens siurblio variklis valdomas dažnio keitikliu pasiekęs 1600 1/min sukimosi greitį esant 53,33Hz dažniui ir jo sukimo momentui sumažėjus nuo 12,25Nm iki 8,75Nm buvo identifikuotas vandens siurblio darbo rato gedimas, o sukimo momento vertei nedidėjant 3s buvo patvirtintas gedimas ir vandens siurblio variklis išjungtas. Antrojo bandymo metu esant 1600 1/min variklio sukimosi greičiui ir sukimo momentu reikšmei sumažėjus nuo 16,45Nm iki 12,25Nm buvo identifikuotas vandens siurblio darbo rato gedimas ir po 3s variklis buvo išjungtas.

REKOMENDACIJOS

Norint pasiekti tikslesnius rezultatus ir tiksliau imituoti slėgį vandens linijoje, reikia naudoti eksperimentinį darbo stendą, kurio brėžinys buvo pateiktas 2.9 paveikslėlyje. Atliekant eksperimentus su eksperimentiniu darbo stendu, kuriame yra vandens linija su slėgio davikliu, kuris tiksliau pateiktų valdymo proceso kintamąjį sistemai, nei slėgio daviklį imituojantis nuolatinės įtampos keitiklis.

Norint gauti tikslesnes vandens siurblių variklių darbinis parametru, eksperimento metu reikia naudoti tris vandens siurblių variklius ir šešis magnetinius paleidėjus juos sujungiant pagal 2.2 paveikslėlyje pateiktą schemą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Steponas Gečys, Artūras Kalvaitis, Pranas Smolskas, „Elektros mašinos I dalis, Transformatoriai, Asinchroninės mašinos“, KTU, 2009, kaunas p. 216.
2. Pragati Sharma, A. S. Sindekar Suitability and Comparison of Electrical Motors for Water Pump Application, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 5, Issue 3, March 2016, p. 1356 – 1362.
3. Valery Vodovozov, Levon Gevorkov, Zoja Raud, Modeling and Analysis of Pumping Motor Drives in Hardware-in-the-Loop, Environment, Journal of Power and Energy Engineering, 2014, 2, p. 19-27.
4. Boyer, Stuart A. SCADA Supervisory Control and Data Acquisition. USA: ISA - International Society of Automation. pp. 179. 2010
5. European Environment Agency, Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought, EEA report no 2, 2009, pp. 55.
6. UAB „Kauno vandenys“ tinklapyje pateikti duomenys. Prieiga internete: www.kaunovandenys.lt
7. *Pump genius* sistemos taikymo, programavimo ir konfigūravimo instrukcija. Prieiga internete: www.weg.net/catalog/weg/LT/en/Drives/PumpGenius/c/DRV_SW_Pump_Genius
8. Lyons (ed), Standard Handbook of Petroleum & Natural Gas Engineering", p. 662
9. Votruba, Ladislav; Broža, Vojtěch. Water Management in Reservoirs. Developments in Water Science. 33. Elsevier Publishing Company. p. 187.
10. Kawamura, Susumu. Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities. John Wiley & Sons. p. 74-75. 2017
11. Environmental Assessment of Air to Water Machines. International Journal of Life Cycle Assessment, p. 1149-1157
12. Fritzmann, C; Lowenberg, J; Wintgens, T; Melin, "State-of-the-art of reverse osmosis desalination". Desalination, pp 1–7 2007.
13. Van der Bruggen, Bart; Vandecasteele, Carlo. "Distillation vs. membrane filtration: overview of process evolutions in seawater desalination".Desalination. pp.207–218 2002.

14. Zhu, Qiang. Rainwater Harvesting for Agriculture and Water Supply. Beijing: Springer. pp. 20, 2015.
15. Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers. New York: American Society of Civil Engineers, pp. 288, 1970.
16. Kibinski, Gary; Breit, Stephen (2004). "Line and Load Friendly Drive Solutions for Long Length Cable Applications in Electrical Submersible Pump Applications". Fifty-First Annual Conference Petroleum and Chemical Industry Technical Conference. IEEE: pp. 269–278 2004.
17. UAB „Kauno vandenys“ darbuotojų surinkti duomenys ir išvalgos.
18. Jeff Hieb (2008). Security Hardened Remote Terminal Units for SCADA Networks. University of Louisville.
19. Edward W. Kamen Industrial Controls and Manufacturing, (Academic Press, 1999) ISBN 0123948509, Chapter 8 Ladder Logic Diagrams and PLC Implementations
20. Li, Y., et al. (2004) CAutoCSD - Evolutionary search and optimisation enabled computer automated control system design, Int J Automation and Computing, vol. 1, No. 1, pp. 76-88. ISSN 1751-8520. http://userweb.eng.gla.ac.uk/yun.li/ga_demo/.
21. Fault Detection In compressor Using FFT Algorithm, Vittaya Tipsuwanporn, Mongkol Leawsoong, Arjin Numsomran, and Chanwit Wongratanapornkul, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2013 Vol IWCECS 2013, 23-25 October, 2013, San Francisco, USA.
22. Timothy R. McJunkin, Vivek Agarwal, Nancy J. Lybeck Light Water Reactor Sustainability Program Online Monitoring of Induction Motors, U.S. Department of Energy Office of Nuclear Energy, 2016.
23. Aditya Korde B. E., oN-LINE CONDITION MONITORING OF MOTORS USING ELECTRICAL SIGNATURE ANALYSIS, Diagnostic Technologies India Pvt. Ltd, 2016.
24. Voitto Koko, CONDITION MONITORING OF SQUIRREL-CAGE MOTORS BY AXIAL MAGNETIC FLUX MEASUREMENTS, Department of Electrical Engineering, Optoelectronics and Measurement Techniques Laboratory, University of Oulu, Oulu 2003.
25. Mohd. Afaque Iqbal and Vaibhav Agarwal Investigation & Analysis of Three Phase Induction Motor Using Finite Element Method for Power Quality Improvement, International Journal of Electronic and Electrical Engineering. ISSN 0974-2174 Volume 7, Number 9 (2014), p. 901-908, 2014.

26. Pinjia Zhang, Bin Lu, Thomas G. Habetler ACTIVE STATOR WINDING THERMAL PROTECTION FOR AC MOTORS, Georgia Institute of Technology 777 Atlantic Dr Atlanta, GA 30332 USA, 2014
27. Sukhjeet Singh, Amit Kumar, Navin Kumar, DETECTION OF BEARING FAULTS IN MECHANICAL SYSTEMS USING MOTOR CURRENT SIGNATURE AND ACOUSTIC SIGNATURES, 21st International Congress on Sound and Vibration (ICSV21), Beijing, China, 13-17 July 2014
28. R. Bayindir, S. Vadi Real-Time Monitoring and Control of the Parameters of an Induction Motor, ELEKTRONIKA IR ELEKTROTEHNIKA, ISSN 1392-1215, VOL. 19, NO. 10, p 145 – 150, 2013
29. "Cyberthreats, Vulnerabilities and Attacks on SCADA Networks" (PDF). Rosa Tang, berkeley.edu. Archived from the original (PDF) on 13 August 2012. Retrieved 1 August 2012.
30. Schneider electric, telemetry and remote SCADA solutions, SCADA Systems, March 2012, pdf.
31. Jim Lepkowski, Motor Control Sensor Feedback Circuits, 2003, Microchip Technology Incorporated U.S.A.
32. Intesar Ahmed, Manzar Ahmed, Kashif Imran, M. Shuja Khan, Member IACSIT, S. Junaid Akhtar, Detection of Eccentricity Faults in Machine Using Frequency Spectrum Technique, International Journal of Computer and Electrical Engineering, Vol.3, No.1, February, 2011 1793-8163, p. 111-119.
33. Dr.P.Selvam, T.Asaithambi, A Novel Topology for WSN Based Monitoring and Controlling of Induction Motor, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering (An ISO 3297: 2007 Certified Organization) Vol. 5, Issue 6, June 2016 p. 4687 – 4693.

PRIEDAI

0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14

(* ***** *)

(* File: PGMPM_CFW11_en *)

(* Author: WEG *)

(* Date: 06/07/2016 *)

(* Minimum version required: WLP V10.00 - CFW-11 Ve5.31
Development version: V2.01 - Size: 12260 bytes *)

(* Description: SOFTWARE FOR PUMP GENIUS MULTIPUMP *)

(* DEVELOPED FOR SOFTPLC CFW-11 FREQUENCY INVERTER *)

(* Client: *)

(* V2.01 - Compiled for WLP V10.00 *)

(* *)

(* *)

(* *)

(* *)

(* ***** *)

(* Copyright (C) 2004 - 2016 WEG S.A. - All rights reserved *)

