

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Sigitas Lindžius

GARO KATILO AUTOMATINIO VANDENS LYGIO VALDYMO
SISTEMOS MODERNIZAVIMAS

Magistro projektas

Vadovas

Prof. Rimvydas Simutis

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

AUTOMATIKOS KATEDRA

**GARO KATILO AUTOMATINIO VANDENS LYGIO VALDYMO
SISTEMOS MODERNIZAVIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Valdymo technologijos (621H66001)

Vadovas

(parašas) Prof. Rimantas Simutis
(data)

Recenzentas

(parašas) Doc. dr. Leonas Balaševičius
(data)

Projektą atliko

(parašas) Sigitas Lindžius
(data)

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

(Fakultetas)

SIGITAS LINDŽIUS

(Studento vardas, pavardė)

VALDYMO TECHNOLOGIJOS, 621H66001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„GARO KATILO AUTOMATINIO VANDENS LYGIO VALDYMO
SISTEMOS MODERNIZAVIMAS“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 m. _____ d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Sigito Lindžiaus** baigiamasis projektas tema „Garo katilo automatinio vandens lygio valdymo sistemos modernizavimas“ 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)

Sigitas Lindžius. Baigiamojo projekto pavadinimas. Garo katilo automatinio vandens lygio valdymo modernizavimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas prof. Rimvydas Simutis; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, automatikos katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai
Kaunas, 2017. 51 p.

SANTRAUKA

Magistro baigiamajame darbe, nagrinėjama garo katilinėje naudojama įranga ir garo katilo vandens lygio palaikymo sistemos. Kadangi, šiuolaikiški garo katilai yra santykinai nedidelio tūrio ir didelio slėgio, tad garo katilo vandens lygis didės, didėjant apkrovai. Staigiai atsiradus dideliame garo nuėmimui, vandens lygis katile staigiai nukrenta. Žemas vandens lygis garo katile, gali iššaukti vamzdžių plyšimą ir taip sugadinti garo katilą. Todėl vandens lygis katile yra kritinis elementas sistemos valdyme. Siekiant užtikrinti garo katilo patikimą, saugų ir efektyvų darbą, šiame darbe išanalizuotos ir pasiūlytos vandens lygio palaikymo strategijos.

Modeliavimo metu, nustatyta, jeigu nėra trikdžio kompensavimo sistemos, garo katile esantis vandens lygis nėra palaikomas užduotose ribose. Modeliavimo rezultatai parodė, kad labiausiai tinkama lygio palaikymo sistema yra trijų matavimo elementų strategija su trikdžio kompensavimo sistema. Tokia sistema palaiko vandens lygį užduotose ribose ir sumažina vandens svyravimus garo katile.

Garo katilo modernizavimui pasirinktas „Siemens 1200“ serijos programuojamas loginis valdiklis, kuris skirtas garo katilo technologinių procesų valdymui. Loginis valdiklis, pagal išeinančio garo srautą iš katilo, įtekančio maitinimo vandens srautą ir esamą garo katilo vandens lygį – palaiko pastovų garo katile vandens lygį, reguliuodamas vykdymo elementą.

Reikšminiai žodžiai: *Garo katilas, garas, modernizacija, vandens lygis;*

Sigitas Lindžius. Title of the final project Modernization of water level control system in boiler. *Master's* thesis in title qualification degree / *supervisor assoc.* prof. Name Surname. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Automation.

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences
Kaunas, 2017. 51 p.

SUMMARY

The Master's thesis examines the equipment used in steam boiler rooms and control systems of water level in steam boilers. As the modern steam boilers are of relatively small volume and high pressure, the water level tends to rise with an increase of load in the steam boiler. A sudden removal of steam may cause the water level to fall sharply in the steam boiler. Low water level in a steam boiler can lead to pipe rupture, and thereby damage it. Therefore, water level in steam boilers is a critical element of system management. In order to ensure a reliable, safe and efficient operation of a steam boiler, the present paper analyses and proposes the strategies of water level control.

Modelling has shown that the water level in the steam boilers without the disturbance compensation system is maintained with large fluctuations. The simulation results showed that the most appropriate strategy is the three measuring elements' strategy with the disturbance compensation system. This system maintains the water level within the given limits and reduces the volatility of water in the steam boiler.

For steam boilers modernization, the Siemens 1200 programmable logic controller which is designed for the control of technological processes of a steam boiler has been chosen. The logic controller maintains a constant water level in the steam boiler by regulating the actuator according to an outgoing steam flow from the boiler, incoming feed water stream and the existing water level in the steam boiler.

Key words: steam boiler, steam, modernization, water level.

TURINYS

1	<i>Ivadas</i>	7
2	<i>Garų katilinėse egzistuojančių sistemos analizė</i>	9
2.1	<i>Garų katilo maitinimo vandens paruošimo įranga</i>	10
2.1.1	<i>Deaeratorius</i>	11
2.1.2	<i>Membraniniai deaeratoriai</i>	14
2.1.3	<i>Kondensacinis maitinimo bakas</i>	15
2.1.4	<i>Atvirkštinės osmozės sistema</i>	15
2.1.5	<i>Vandens minkštinimo filtrai</i>	16
2.2	<i>Vandens lygio palaikymas garų katilo būgne</i>	16
2.2.1	<i>Vandens lygio palaikymas, naudojant vieną matavimo elementą</i>	18
2.2.2	<i>Vandens lygio palaikymas, naudojant du matavimo elementus</i>	19
2.2.3	<i>Vandens lygio palaikymas, naudojant tris matavimo elementus</i>	20
2.3	<i>Katilo darbo režimo optimizavimas</i>	23
2.3.1	<i>Katilo efektyvumo gerinimas</i>	23
2.3.2	<i>Katilo ekonomiaizeris</i>	24
3	<i>Garų katilo vandens lygio palaikymo sistema</i>	26
3.1	<i>Proceso kintamieji, trikdžiai, kitimo ribos</i>	27
3.2	<i>Proceso modelio kūrimo prielaidos</i>	28
3.3	<i>Proceso modelio lygčių sudarymas</i>	28
3.4	<i>Proceso modelio parametrų parinkimas</i>	29
3.5	<i>Sistemos darbo modelio sudarymas</i>	30
3.6	<i>Darbo modelio sudarymas, be trikdžio kompensavimo sistemos</i>	35
3.7	<i>Darbo modelio sudarymas, naudojant trikdžio kompensavimo sistemą</i>	38
4	<i>Garų katilo modernizavimas</i>	42
4.1	<i>Naudojama įranga</i>	45
4.2	<i>Modernizuoto garų katilo grafikai</i>	46
5	<i>Rezultatai ir išvados</i>	49
6	<i>Literatūra</i>	50
7	<i>Priedai</i>	53
7.1	<i>1 PRIEDAS. Modernizuoto garų katilo vizualizacijos schema</i>	53
7.2	<i>2 PRIEDAS. Valdiklio tinklo struktūra</i>	54
7.2	<i>3 PRIEDAS. Valdiklio PID regulatoriaus blokinė schema</i>	54
7.3	<i>4 PRIEDAS. Siemens valdiklio programavimas, vandens lygio palaikymo sistemai su trikdžio kompensavimu</i>	55

1 Įvadas

Garų katilinėse pagrindinis gaminamas produktas yra garas. Garas yra naudojamas pastatų šildymui ar technologijai pramoniniuose objektuose. Pastaraisiais metais pramonės gamyba vis labiau plečiasi, tad garų poreikis nuolat didėja. Šiuolaikiškos priemonės leidžia efektyviai išnaudoti garų galimybes pramonėje [15].

Vandenyje, esančios priemaišos, tokios kaip kalkės ar geležis, nusėda vamzdžiuose, garų armatūroje ir garų katile. Dėl to mažėja katilo ekonomiškumas bei pačios įrangos darbo patikimumas. Garas yra užteršiamas medžiagomis, kurios yra ištirpusios vandenyje. Vandenyje didžiąsą dalį priemaišų sudaro įvairios ištirpusios druskos. Norint, kad garas būtų švarus, reikia mažinti ištirpusių priemaišų kiekį vandenyje [13].

Anksčiau garų katilai būdavo didelio tūrio ir žemo slėgio, o pasikeitus ekonominiams sąlygoms ir tobulėjant technologijoms, garų katilai tampa vis mažesni. Garas, katile yra gaminamas deginant kurą (dujas, mazutą ir t.t.). Degant kurui, yra išsiskiriama šiluma, kuri perduodama per įkaitusį metalą į vandenį. Kadangi šiuolaikiški garų katilai nedidelio tūrio, tai kuo didesnė šiluma išsiskiria degimo kameroje, tuo didesnis slėgis yra katile. Garų katilo vandens lygis didės didėjant apkrovai ir jeigu staiga atsirastų didelis garų vartojimas, vandens lygis katile staigiai nukristų. Tačiau garų katile su dideliu slėgiu, kai staigiai keičiasi apkrovos, dėl fizikinių savybių, atsiranda bangavimas. Tai labai dažnai galima pamatyti garų katilo lygio stikle, todėl idealiu atveju šio bangavimo neturėtų būti [37].

Darbo objektas – Garų katilo automatinio vandens lygio valdymo sistemos modernizavimas.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti, suprojektuoti ir sumodeliuoti šiuolaikišką garų katilo vandens lygio palaikymo sistemą.

Uždaviniai:

1. Atlikti garų katilinės egzistuojančios sistemos analizę;
2. Objektui atlikti detalią vandens lygio palaikymo analizę;
3. Atlikti trikdžio kompensavimo sistemos modeliavimą ir tyrimą;
4. Pasiūlyti modernizuotą, garų katilo vandens lygio palaikymo sistemą.

Darbo teorinė ir praktinė nauda:

Atlikta garo katilo vandens lygio sistemos analizė ir sumodeliuota garo katilo vandens lygio palaikymo sistema, kurią galima panaudoti garo katilinėje. Vandens lygis garo katile dėl fizikinių savybių esant garo vartojimui stipriai svyruoja, tad sistema turi užtikrinti kuo tikslesnį lygio palaikymą esant įvairioms apkrovoms.

Darbo struktūra ir apimtis:

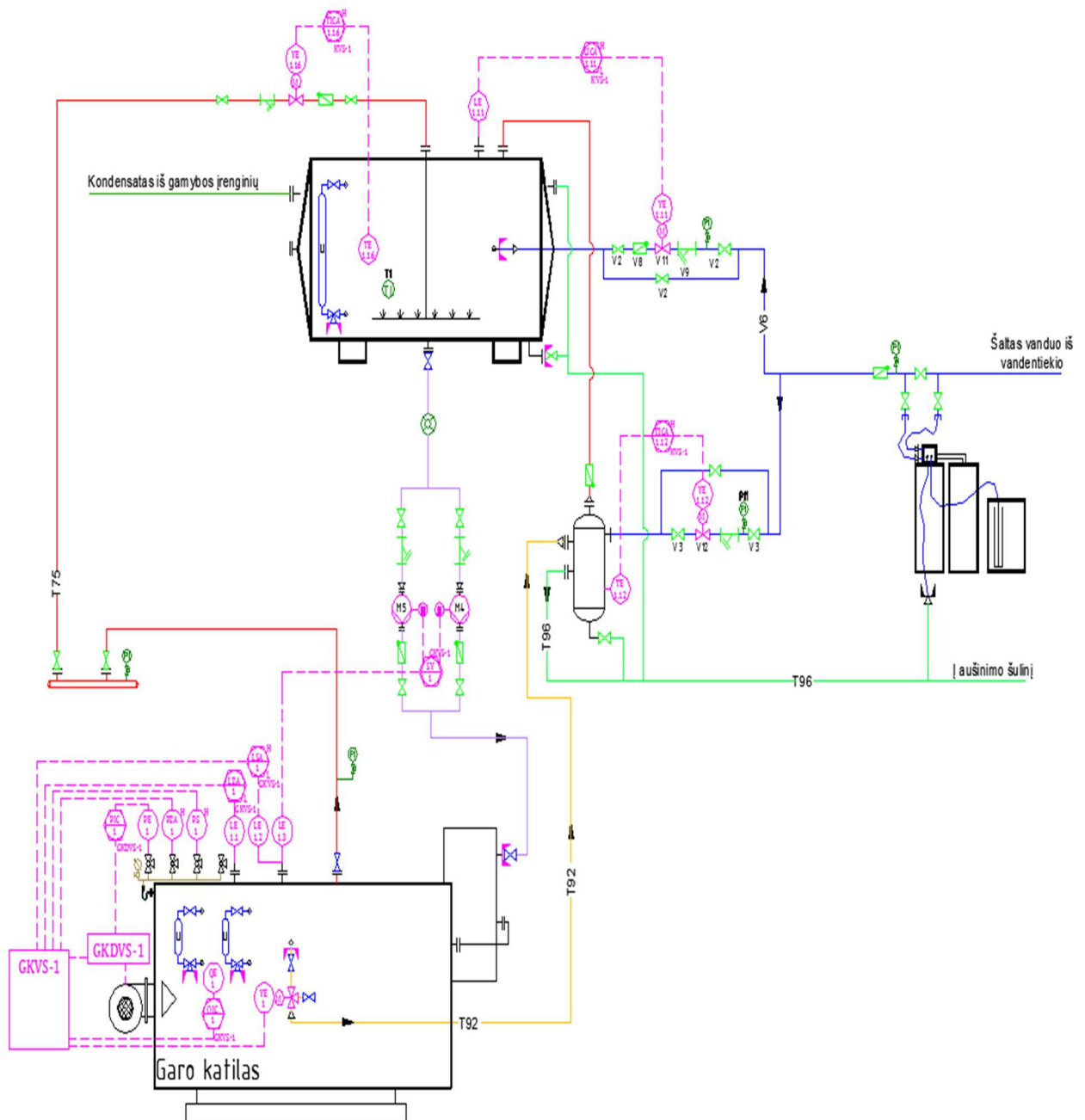
Magistro studijų baigiamojo darbą tema „Garo katilo automatinio vandens lygio valdymo sistemos modernizavimas“ sudaro:

1. Įvadas;
2. Garo katilinės egzistuojančios sistemos analizė su poskyriais;
3. Garo katilo trikdžio kompensavimo sistema su poskyriais;
4. Garo katilo modernizavimas su poskyriais;
5. Rezultatai ir išvados;

Baigiamojo darbo apimtis 52 puslapių, 38 paveikslai ir 9 lentelės.

2 Garo katilinėse egzistuojančių sistemos analizė

Automatinis garo katilo valdymas, pagerina katilo ekonomiškumą ir tikslesnį parametrų palaikymą, kintant katilo apkrovai (garo srautui). Taip pat pagerina katilo aptarnavimą, bei priežiūrą, nes nereikia nuolat prižiūrėti. Pastoviam garo katilo darbui, keičiantis katilo apkrovai, yra būtina tiksliai palaikyti garo katilo slėgį, esantį katile, vandens laidumą, katilo ir deaeratoriaus vandens lygį [10].



2.1 pav. Garo katilinės automatizavimo schema

Papildomai katilinėse susidaro įvairių šilumos ar ekonominių nuostolių. Nuostoliai atsiranda dėl deaeratoriuje esančio vandens pašildymo, katile esančių prapūtimo sistemų ir minkštinimo filtrų regeneracijos. Iš katilo nuolatinio ar periodinio prapūtimų, vanduo yra dažniausiai išleidžiamas tiesiai į kanalizaciją [9].

2.1 paveiksle, pateikta garo katilinės automatizavimo schema. Automatizavimo schemoje atvaizduota deaeratoriaus lygio ir temperatūros palaikymo sistema. Vandens lygį deaeratoriuje palaiko LICA 1.11 reguliatorius. Vandens lygį deaeratoriuje fiksuoja talpinis lygio elektrodas. Reguliatorius LICA 1.11 palaiko nustatytą deaeratoriaus lygį atidarydamas arba uždarydamas pavarą YE 1.11. Deaeratoriaus temperatūrą palaiko TICA 1.16 reguliatorius. Temperatūrą deaeratoriuje fiksuoja temperatūros daviklis TE 1.16. Reguliatorius TICA 1.16 palaiko temperatūrą deaeratoriuje, pagal nustatytą temperatūrą atidarydamas arba uždarydamas pavarą YE1.16.

Garo katilo automatikos valdymo sistema dažniausiai projektuojama, garo katilo degiklio valdymo skyde (pirmame paveiksle pavaizduotas GKVS-1). Garo katilo degiklio valdymo skyde, esantis elektroninis slėgio reguliatorius PIC-1 palaiko nustatytą katilo garo slėgį, elektriniais signalais didindamas arba mažindamas degiklio našumą. Palaikomo garo slėgio vertę fiksuoja slėgio daviklis PE-1, esantis ant katilo kolektoriaus. Katilo lygio palaikymui yra du katilo vandens papildymo siurbliai M4 ir M5. Vienas vandens papildymo siurblys yra darbinis, o kitas – rezervinis. Siurblius valdo vienas dažnio keitiklis SY-1, kuris palaiko pastovų nustatytą vandens lygį katile, reguliuodamas darbinio siurblio apsukas. Palaikomo lygio vertę, garo katile, fiksuoja talpinis lygio daviklis LE-1.1, o dažnio keitiklio vidinis PID reguliatorius, pagal nustatytą palaikyti vandens lygį katile ir esamo vandens lygį katile, reguliuoja darbinio siurblio apsukas.

Katilo nuolatinio prapūtimo sistemą sudaro elektrodas QE-1, laidumo reguliatorius QIC-1, vožtuvas su elektrine pavara YE-1. Reguliatorius QIC-1 gauna katilo vandens laidumo signalą iš elektrodo QE-1 esančio sumontuotam katile. Pagal nustatytą reguliatoriaus laidumo prapūtimo reikšmę ir esamo laidumo katile signalo skirtumą, daugiau/mažiau atidarinėjama vandens prapūtimo pavara YE-1.

2.1 Garo katilo maitinimo vandens paruošimo įranga

Katilo vandens paruošimo įranga yra viena svarbiausia katilinėje. Vandens paruošimą sudaro minkštinimo filtrai, vandens nugeležinimo įranga, chemijos dozavimo įranga, deaeratoriai, kurių pagrindinis tikslas yra apsaugoti katilo vidaus paviršių ir vamzdynus esančius katilinėje nuo korozijos. Taip pat vandens paruošimas turi didelę įtaką garo kokybei. Kad būtų galima įvertinti vandens kokybę, yra matuojami maitinimo vandens kokybės rodikliai. Geriausias katilų maitinimo

vanduo yra kondensatas. Tačiau iš gamyboje esančių įrenginių į katilinę patenka tik maža dalis kondensato, tad kad visi įrenginiai dirbtų normaliu režimu, reikia papildomo vandens, kuris imamas iš vandens telkinių ar miesto vandentiekio [33].

Norint užtikrinti garo katilų patikimumą, saugų jo darbą ir efektyvumą, reikia iš vandens pašalinti korozijai aktyvias dujas. Aktyviomis dujomis laikomos anglies dvideginis ir deguonis. Šios dujos sukelia katilo paviršiaus ir garo vamzdynų koroziją. Deaeratoriaus deaeracija yra paremta principu, kad dujų esančių vandenyje tirpumas, kai vanduo pasiekia virimo temperatūrą, yra lygus nuliui. Pašalinti deguonį iš vandens galima įvairiais būdais. Dažniausiai pramonėje yra naudojami atmosferiniai deaeratoriai arba vakuuminiai deaeratoriai. Tačiau vakuuminiai ar atmosferiniai deaeratoriai iš vandens visiškai nepašalina deguonies molekulių. Tad kur reikia visiškai pašalinti deguonies molekules, kartu su deaeratoriais yra naudojami membraniniai deaeratoriai arba osmoso sistema (dažniausiai, tokia įranga naudojama šilumos tinkluose) [14, 33].

2.1.1 Deaeratorius

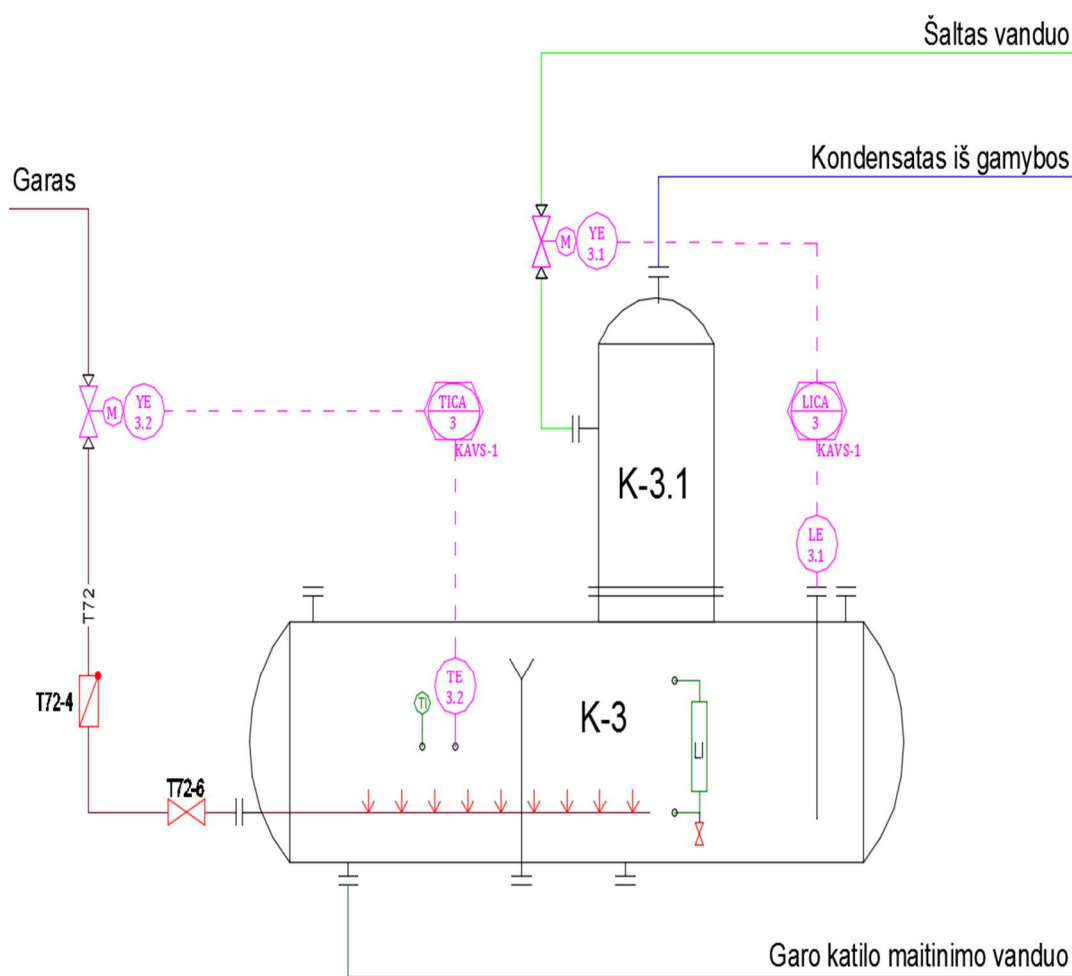
Kiekviena garo katilinė turi deaeratorių ar maitinimo baką. Deaeratoriaus arba maitinimo bako paskirtis užtikrinti, maitinimo vandens tiekimą garo katilui. Maitinimo bakas skiriasi nuo deaeratoriaus tuo, jog maitinimo bakas negali pašalinti iš vandens deguonies molekulių, kitaip tariant nevyksta jame deaeracijos procesas. Deaeratoriai būna įvairių formų ar dydžio. Jeigu deaeratoriuje esantis slėgis mažesnis už atmosferinį, tai toks deaeratoriaus yra vadinamas vakuuminiu. Vakuuminiame deaeratoriuje, vandens virimo temperatūra yra mažesnė nei 100 °C. Deaeratoriaus šildymui, garas yra išpurškiamas į vandens talpą (deaeratorių) ir talpoje susidaro vandens garai - vadinami išgaru. Deaeratoriuose išgarų slėgis yra panašus atmosferiniam (0,2-0,5 bar) slėgiui, todėl tokios talpos yra vadinami atmosferiniais deaeratoriais. Tokiuose deaeratoriuje, jei maitinimo vanduo, nors 1 °C nepasieks virimo temperatūros, deguonies molekules, esančios maitinimo vandenyje yra nepašalinamos. Tam, kad taip nenutiktų, vandens temperatūra deaeratoriuje yra palaikoma aukštesnė nei vandens virimo temperatūra [2, 4].

Deguonies molekules ir išgaras turi būti pastoviai pašalinamas iš deaeratoriaus. Iš viršutinės deaeratoriaus dalies, deguonies ir garo mišinys patenka į deaeratoriaus aušintuvą, kuriame garas kondensuojasi, o deguonies molekules patenka į atmosferą. Kartais, kai neužtenka deaeratoriaus, kad visiškai pašalintų deguonies molekules yra naudojama atitinkama chemija, kuri suriša deguonies molekules [4].

Kad sumažėtų nuostoliai ir būtų apsaugotas garo katilas, vanduo esantis deaeratoriuje yra pašildomas garu. Deaeratoriuje yra palaikoma 105 °C temperatūra. Šiuolaikiniuose deaeratoriuose

vandens temperatūros palaikymui, garas išpurškiamas per ežektorius ir garas barbotuoja per vandenį, tad svarbu užtikrinti, kad ežektorius būtų apsemtas vandeniu. Naudojant ežektorius, deaeratorius ir kita esanti įranga yra apsaugoma nuo hidraulinių smūgių, kai garas yra išpurškiamas į deaeratorių. Nenaudojant ežektorių, galima sugadinti esamą įrangą, kadangi nuo hidraulinių smūgių, gali atsirasti plyšimų deaeratoriuje ar maitinimo vandens armatūroje [4].

Deaeratoriaus lygio palaikymo sistemų yra įvairių. Dažniausiai katilinėse yra sutinkama lygio palaikymo sistema su talpiniu elektrodu. Tokia sistema yra atvaizduojama 2.2 paveiksle.

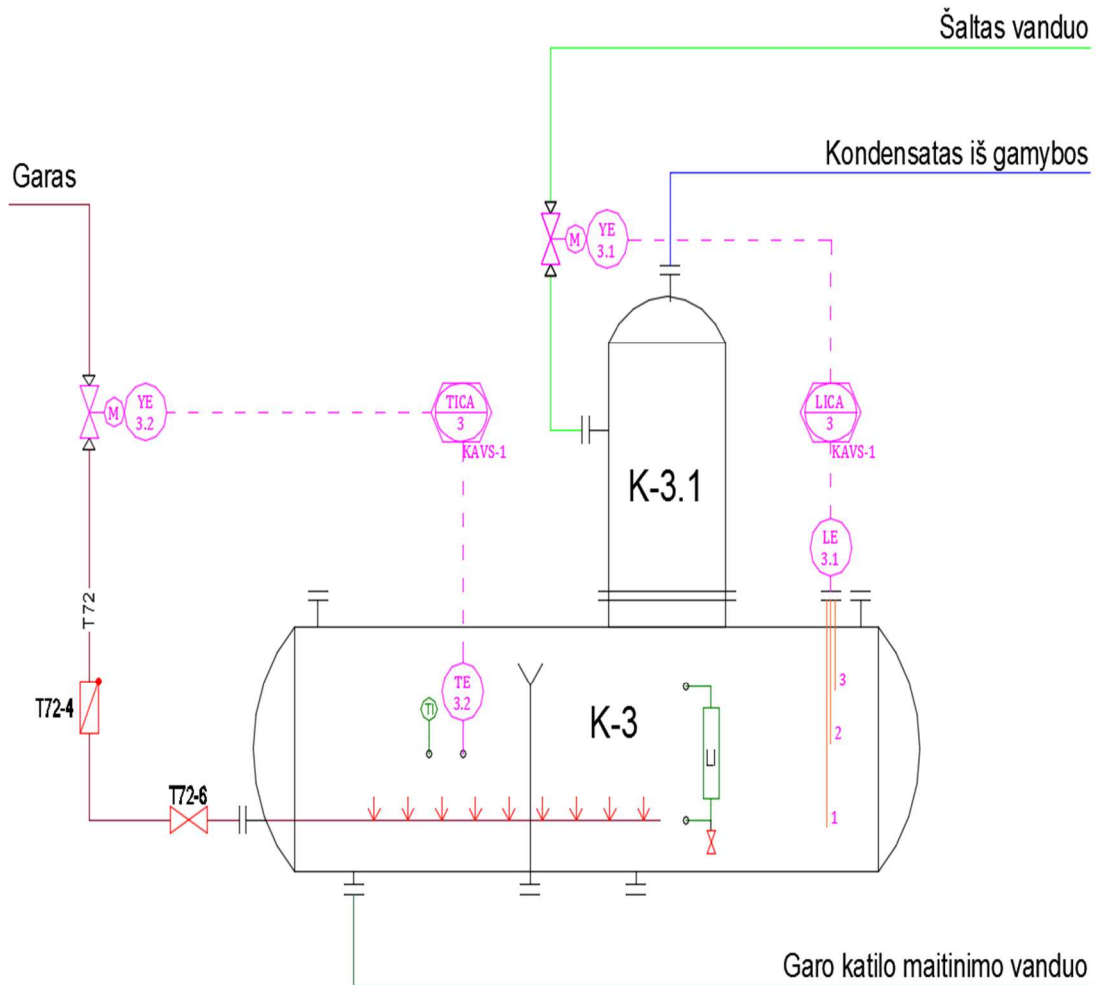


2.2 pav. Deaeratoriaus automatizavimo schema.

Kaip anksčiau minėta, deaeratoriaus lygio palaikymo sistemų yra įvairių. Tad bus apžvelgta dažniausiai dar vis sutinkamos sistemos. 2.2 paveiksle pavaizduota vandens lygio talpinis elektrodas LE-3.1, kuris matuoja vandens lygį deaeratoriuje. Lygio elektrodo signalas perduodamas į reguliatorių LICA-3 ir pagal nustatytą vandens lygio vertę reguliatoriuje, formuojamas valdymo signalas, vandens vožtuvo elektrinei pavarai YE-3.1, kuri reguliuoja įtekančio vandens srautą į deaeratorių.

Temperatūros daviklis TE-3.2 matuoja vandens temperatūrą deaeratoriuje. Temperatūros jutiklio signalas perduodamas į reguliatorių TICA-3 ir pagal nustatytą vandens temperatūros vertę reguliatoriuje, formuojamas valdymo signalas, vandens vožtuvo elektrinei pavarai YE-3.2, kuri reguliuoja garo srautą. Šiuo atveju kondensatas iš gamybos nėra reguliuojamas.

Taip pat labai populiarios buvo vandens lygio palaikymo rėlės. Vandens lygio palaikymo rėlės naudojamos kartu su trimis vandens aptikimo jutikliais (elektrodais). Tokia sistema atvaizduota 3paveiksle [4, 5].



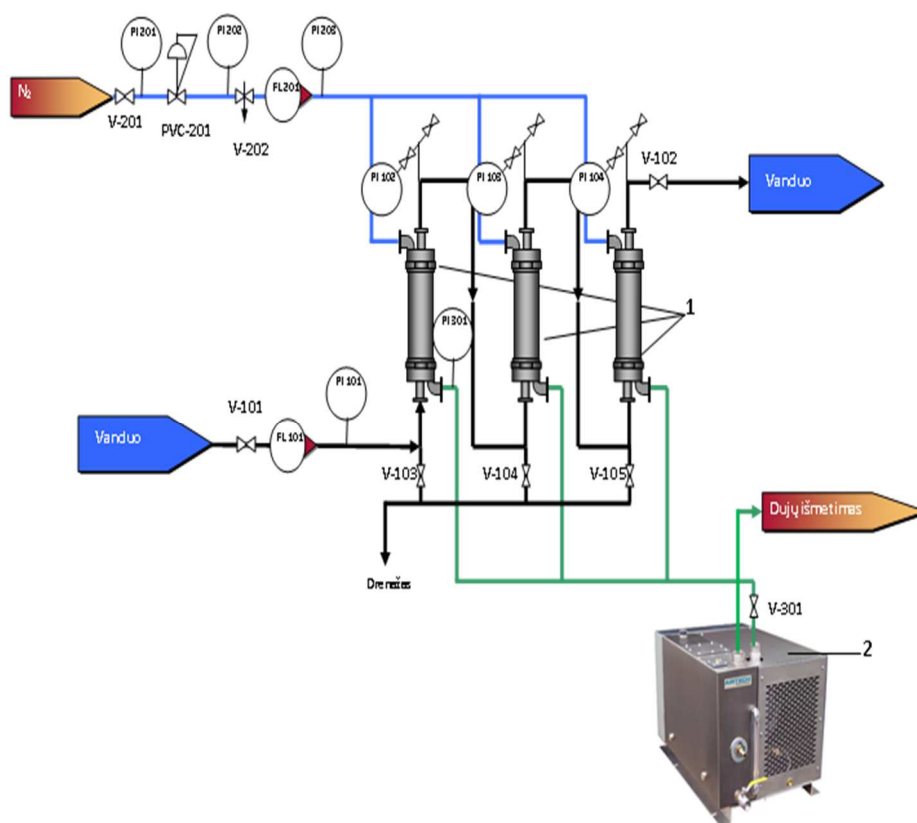
2.3 pav. Deaeratoriaus automatizavimo schema su lygio elektrodų bloku.

2.3 paveiksle matome, kad vandens lygį deaeratoriuje palaiko reguliatorius LICA-3 kontroliuodamas vandens pavarą YE3.1. Regulatorius LICA-3 gauna diskretinius signalus iš vandens lygio palaikymo elektrodų bloko. Elektrodų bloką sudaro trys elementai. Pirmas (1) elektrodas yra ilgiausias ir kai elektrodas nebeturi kontakto su vandeniu, vandens lygio relė užprogramuota, kad talpoje yra žemas vandens lygis.

Antras (2) elektrodas, įjungia talpos pildymą, atidaro deaeratoriaus papildymo vandens pavarą. Kai vanduo apsemia trečią (3) elektrodą, išjungia talpos pildymą - uždaro deaeratoriaus papildymo vandens pavarą. Tačiau tokia vandens lygio palaikymo sistema yra nenaudojama. Lygio aptikimo elektrodai matuoja kontaktą tarp deaeratoriaus korpuso ir pačio elektrodo. Tačiau gerėjant vandens kokybei, vandens laidumas mažėja, o jei mažėja vandens laidumas, mažėja tokios sistemos darbo patikimumas [8].

2.1.2 Membraniniai deaeratoriai

Membraniniai deaeratoriai pašalina deguonies molekules iš vandens. Jų pagrindinė sudedamoji dalis yra membraniniai kontaktoriai. Membraniniai kontaktoriai pagaminti iš vamzdelių formos polimerinės medžiagos. Tuose vamzdeliuose yra labai mažo diametro skylutės, dar kitaip vadinamos „akutės“ ir per tas „akutes“ gali patekti tik ištirpusios vandenyje dujos, pavyzdžiui deguonies molekulės. Kurios po to yra pašalinamos į atmosferą [11].



2.4 pav. Membraninio deaeratoriaus principinė schema

2.4 paveiksle atvaizduotas membraninio deaeratoriaus principinė schema. Į membraninį deaeratoriaus įrenginį, papildomai yra paduodamas vanduo ir azotas. Azotas suriša deguonies molekules, o vakuuminis siurblys V-301 ištraukia į atmosferą deguonies ir azoto susijungusias molekules ir taip deguonies molekules yra pašalinamos iš vandens. Tokio deaeratoriaus privalumas

yra toks, kad deguonies molekules pašalinamos iš santykinai šalto vandens (iki 35 °C temperatūros), tad deaeracijai nereikalingas garas ir mažesni šilumos nuostoliai. Bet reikia papildomų medžiagų, tokių kaip azotas [11, 21].

2.1.3 Kondensacinis maitinimo bakas

Iš gamyboje dirbančių įrenginių, kurie naudoja garą, garo kondensatas paprastai yra grąžinamas į deaeratorių. Kartais pasitaiko, jog kondensatas yra užteršiamas, dėl tam tikrų gamyboje esančių procesų. Tada kondensatas yra grąžinamas į specialią talpą, kondensato baką. Ir patikrinus specialiu elektrodu kondensato kokybę ir esant neužterštam kondensatui, siurblių pagalba yra perpumpuojama į deaeratorių. Tačiau, jeigu grįžta į kondensato baką užterštas kondensatas, tada kondensatas yra išvalomas specialiais kondensato filtrais ir tik po to grąžinama į deaeratorių [3].

2.1.4 Atvirkštinės osmozės sistema

Atvirkštinės osmozės sistema remiasi principu, kai didelės koncentracijos druskingumą turinti medžiaga, patenka į mažesnės koncentracijos medžiagą per specialią membraną. Speciali membrana praleidžia vandenį, bet nepraleidžia ištirpusių vandenyje druskų. Taip pašalinama vandenyje, esančios įvairios priemaišos, tokios kaip ištirpusios vandenyje druskos. Dažniausiai atvirkštinės osmozės įrenginys naudojamas, kai reikalingas mažo laidumo vanduo. Pavyzdžiui, garo katilinėse, jis naudojamas kartu su garo katilu. Kai katile yra mažesnis vandens laidumas, katilo prapūtimo sistema mažiau išleidžia karšto vandens į aplinką. Kadangi mažiau patenka į aplinką karšto vandens, tai ir šilumos nuostoliai - mažesni. Atvirkštinės osmozės sistema pavaizduota 2.5 paveiksle [1].

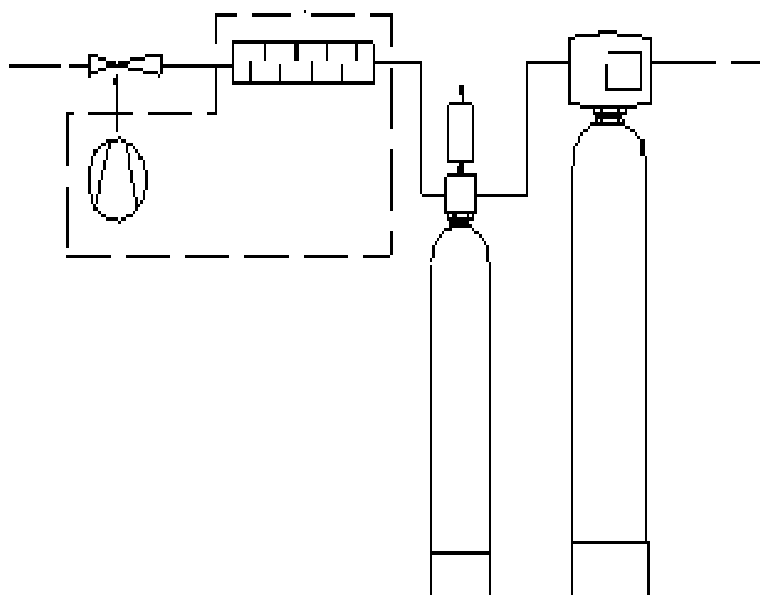


2.5 pav. Atvirkštinės osmozės sistema

2.1.5 Vandens minkštinimo filtrai

Vandenyje, esanti geležis, neigiamai įtakoja vandens kokybės rodiklius. Todėl dėl vandenyje esančios geležies, garo katile susidaro nuoviros. Nuoviroms susidaryti neleidžia vandens kokybės gerinimo būdai. Pavyzdžiui, kad vandenyje nesusidarytų kalkės, vandenį galima paveikti magnetiniu arba elektromagnetiniu poveikiu arba polifosfatais [7].

Naudojant šias išvardintas priemones, galima tik laikinai surišti kietumo druskas, kad jos nenusėstų nuovirų pavidalu. Ekonomiškai pagrįstas kietumo druskų pašalinimas iš vandens yra jonų dervų naudojimas. Vandens minkštinimo filtrų schema pavaizduota 2.6 paveiksle.



2.6 pav. Vandens minkštinimo filtrų technologinė schema

Vandens minkštinimo filtras yra naudojamas atitinkamų medžiagų pašalinimui iš vandens, pavyzdžiui, tokių kaip geležies, mangano, sieros vandenilio. Toks vanduo gali būti naudojamas buitiniams ir technologiniams reikmėms [7, 9].

2.2 Vandens lygio palaikymas garo katilo būgne

Garo katilo pagrindinė užduotis yra saugiai ir efektyviai pagaminti reikiamą kiekį aukštos kokybės garą. Garas, katile gaminamas iš šilumos, kuri yra išskiriama degant kurui degimo kameroje. Kad garo katilas saugiai ir efektyviai pagamintų garą, reikia užtikrinti, kad garo katilo būgno vandens lygis būtų toks, kokį nurodo katilo gamintojas. Garo katile, palaikyti vandens lygį yra sudėtingas

procesas. Vandens lygio valdymui užtikrinti, dažniausiai naudojama elektrinė pavara su vožtuvu arba kontroliuojamas siurblių sukimosi greitis [12, 26].

Įvykus žemam vandens lygiui katile, atsiranda tikimybė, katile esantiems vamzdžiams perkaisti ir taip sugadinti garo katilą. Kai katilo vamzdžiai yra neapsemti vandens ir neatvėsunami dėl greitai padidėjusios temperatūros, metalo stiprumas yra sumažinamas ir pasitaiko metalo įplyšimų arba įvyksta hidraulinis smūgis. Tad kartais pasitaiko katilo sproginimas. Sproginimas būna toks stiprus, kad 15 tonų sveriantis garo katilas, atsiranda ir už 50 metrų nuo katilinės [23].

Aukštas vandens lygis katile yra taip pat pavojingas kaip ir žemas vandens lygis. Kai pakyla vandens lygis katile ir kai garo vartojimas padidėja, slėgis katile sumažėja. Katilo būgne, esantis vanduo gali būti įtraukiamas į vamzdyną ir taip vanduo kartu su garu patenka iki gamyboje esančių įrenginių. Vanduo susimaišęs su garu gali sugadinti, garą naudojančius įrenginius.

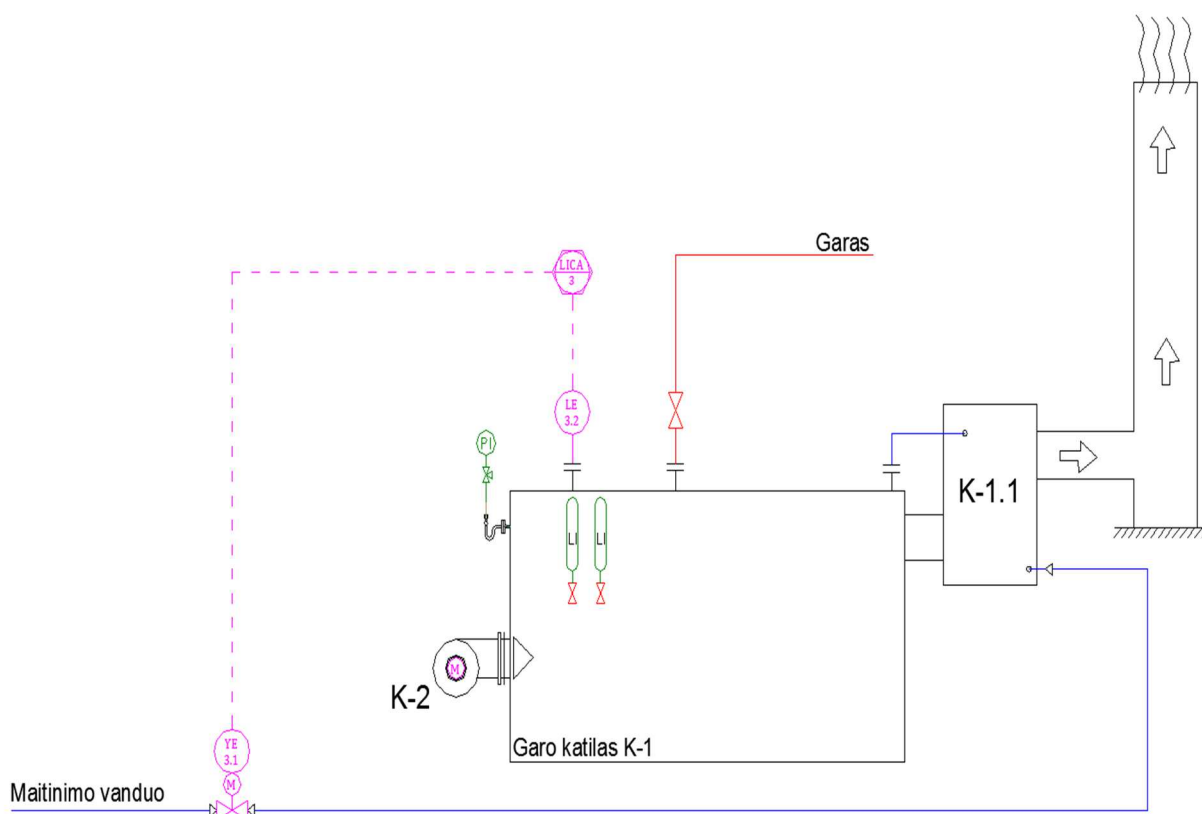
Kai garo katilo apkrova padidėja, kad išlaikytų pastovų slėgį katile, degimo kameroje yra išskiriama šilumos žymiai daugiau. O katile esantis vandens lygis taip pat padidėja, nes katilo būgno apačioje susidarę garo burbuliukai, kyla į viršų. Tad susidarę garo burbuliukai padidina vandens lygį katile ir lygio palaikymo sistema nebesugeba tam tikru momentu palaikyti vandens lygio, katilo būgne. Taip pat labai lygį įtakoja tai, kad maitinimo vanduo visada yra šaltesnis, nei vanduo esantis katilo būgne, o kaisdamas vanduo plečiasi ir didėja jo tūris. Taigi remiantis šiais dėsniais, padidinus apkrovą reikia ir padidinti maitinimo vandens padavimą į katilą. Garo katile turi būti palaikomas pastovus vandens lygis. Tad lygio valdymo sistemos turi tris tikslus [22, 15]:

- Nustatyti žemą vandens lygį ir imtis atitinkamų veiksmų, pvz. Nutraukti degiklio veikimą.
- Nustatyti aukštą vandens lygį ir greitai sumažinti maitinimo vandens tiekimą, siekiant sumažinti vandens lygį katile.
- Išlaikyti pastovų vandens lygį garo katilo būgne [22].

Priklausomai nuo apkrovos kitimo ir katilo dydžio maitinimo vandens lygio palaikymo sistemos turi vieną, du arba tris matavimo elementus. Kiekviena vandens lygio palaikymo sistema turi tiek teigiamų, tiek neigiamų savybių. Tačiau visos vandens lygio palaikymo sistemos vis dar yra plačiai naudojamos ir priklauso nuo to, kokie yra reikalavimai garo katilui ir kokio dydžio sistema [28].

2.2.1 Vandens lygio palaikymas, naudojant vieną matavimo elementą

Vandens lygio palaikymui, naudojant vieną matavimo elementą, dar kitaip vadinamu „On/Off“ valdymu. Vienas matavimo įrenginys tiek įjungia, tiek išjungia vandens lygio palaikymo vykdomo elementą. Pavyzdžiui, jei katilo vandens lygis yra žemas, sistemos valdiklis atidaro elektrifikuotą pavarą su vožtuvu ir kai vandens lygis pasiekia viršutinę ribą, lygio palaikymo valdiklis uždaro elektrifikuotą pavarą. Ši lygio palaikymo sistema yra praktiška tik mažiems katilams su vidutiniu apkrovos pokyčiu [16, 27].



2.7 pav. Vandens lygio palaikymas naudojant vieną matavimo elementą

2.7 paveiksle matome, kad vandens lygį katile matuoja LE-3.2 lygio elektrodų blokas ir atitinkamą signalą perduoda valdikliui LICA/3. Valdikliui apdorojus šiuos signalus, yra formuojamas valdymo išėjimas vandens lygio palaikymo sistemos vykdančiajam elementui. Pavyzdžiui, atidaro arba uždaro elektrifikuotą vožtuvą YE-3.1.

Apibendrinant šis valdymo būdas tinkamas, jeigu katilo apkrova yra pastovi arba mažai kintanti. Tada valdiklis gali tiksliai valdyti vandens lygį katile. Tačiau, jeigu katilo apkrovimas yra stipriai kintantis ir nenuspėjamas, ši vandens lygio palaikymo sistema neužtikrina pastovaus lygio katile [27].

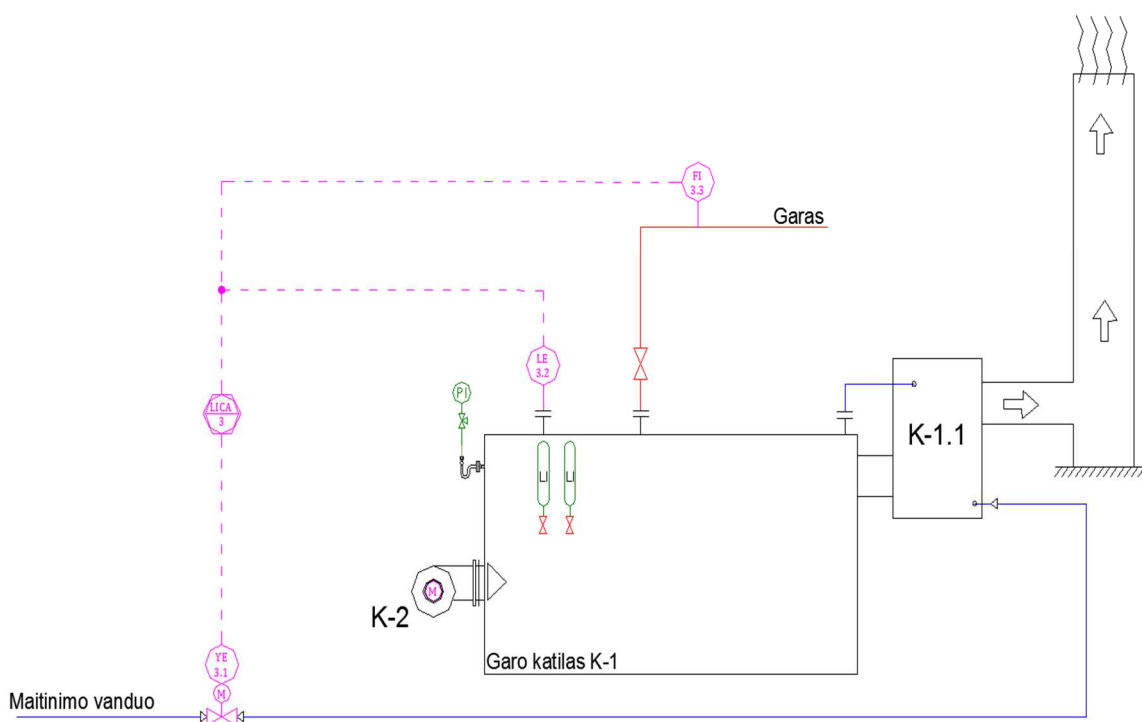
2.2.2 Vandens lygio palaikymas, naudojant du matavimo elementus

Vandens lygio palaikymas, naudojant du matavimo elementus, remiasi dviem parametrais:

- Išeinančio iš katilo garo srauto matavimu;
- Katilo būgno vandens lygio matavimu.

Vandens lygio palaikymo sistema, turinti du matavimo elementus, naudojama su bet kokio dydžio garo katilais, kurie turi vidutinį apkrovos kitimą. Vienas matavimo elementas matuoja katilo būgno vandens lygį, o antras elementas matuoja išeinančio iš katilo garo srautą. Valdikliui apdorojus šiuos du signalus, yra formuojamas valdymo išėjimas vandens lygio palaikymo sistemai [19].

Vandens lygio palaikymo sistema, turinti du matavimo elementus įvertina garo vartojimo apkrovos kitimą ir vandens lygį katilo būgne. Tad jei padidėja garo vartojamas, padidėja ir vandens lygis katile. Dviejų matavimo elementų kontrolė padidina maitinimo vandens padavimą į katilą, jei padidėja katilo apkrovimas. Ir atvirkščiai, sumažėjus garo vartojimui, lygio palaikymo sistema sumažina maitinimo vandens padavimą į katilą [29, 34].



2.8 pav. Vandens lygio palaikymas, naudojant du matavimo elementus

2.8 paveiksle matome, kad vandens lygį katilo būgne matuoja LE-3.2 talpinis elektrodas, o garo srauto apskaita FI-3.3 matuoja išeinančio iš garo katilo garo srautą ir atitinkamą signalą, abu

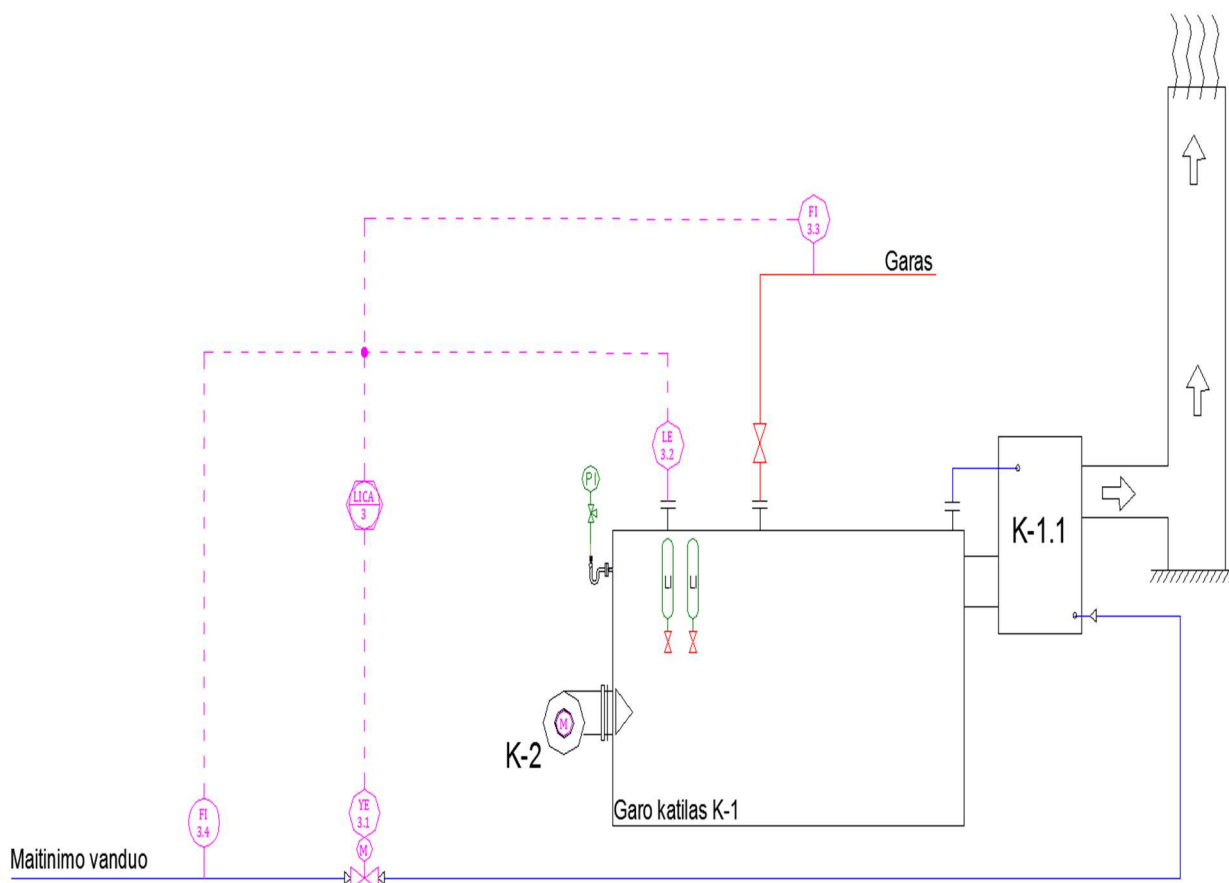
matavimo prietaisai perduoda valdikliui LICA-3. Valdiklis, apdorojęs šiuos matavimo signalus ir įvertinęs garo srautą, valdo vožtuvą YE-3.1.

Dviejų matavimų elementų kontrolė turi ir trūkumų. Ji negali kontroliuoti tiekiamo maitinimo vandens sistemos darbo sutrikimo [18].

2.2.3 Vandens lygio palaikymas, naudojant tris matavimo elementus

Vandens lygio palaikymas, naudojant tris matavimo elementus labai panašus į dviejų elementų matavimo sistemą. Dviejų elementų matavimo sistema skiriasi tuo, jog ji nematuoja įtekančio į katilą vandens srauto. Trijų matavimo sistema remiasi trimis parametrais:

- Tiekiamo į katilą maitinimo vandens srauto matavimas;
- Išeinančio iš katilo garo srauto matavimas;
- Katilo būgno vandens lygio matavimas [18].

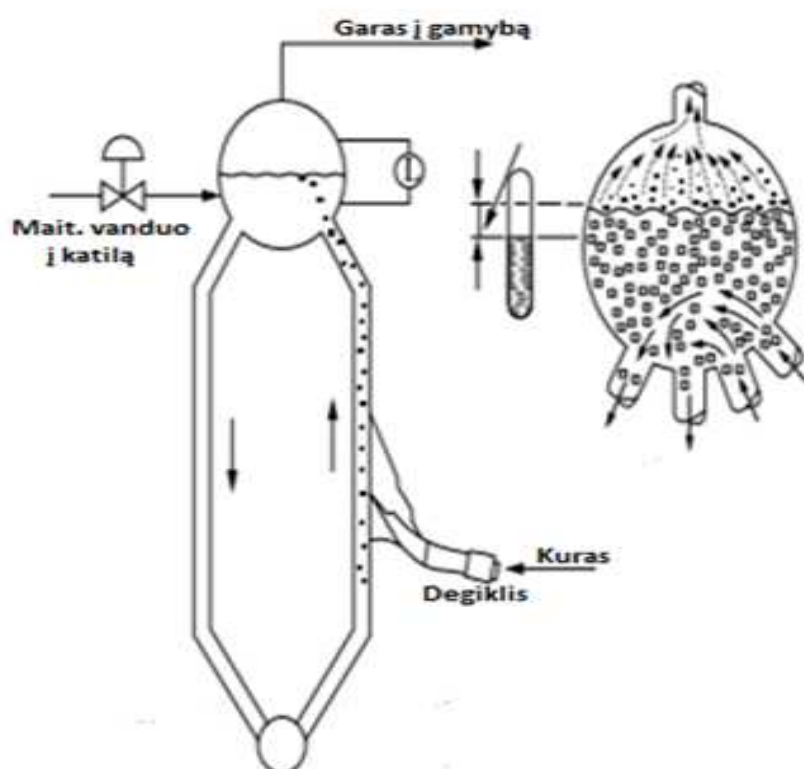


2.9 pav. Vandens lygio palaikymas, naudojant tris matavimo elementus

Tokia sistema kontroliuoja, kai katilo garo slėgis mažesnis, nei tiekiamo vandens slėgis arba katilo garo poreikis yra nenuspėjamas. Trijų matavimo elementų lygio palaikymo sistema greitai prisitaiko prie kintančio garo vartojimo [18, 30].

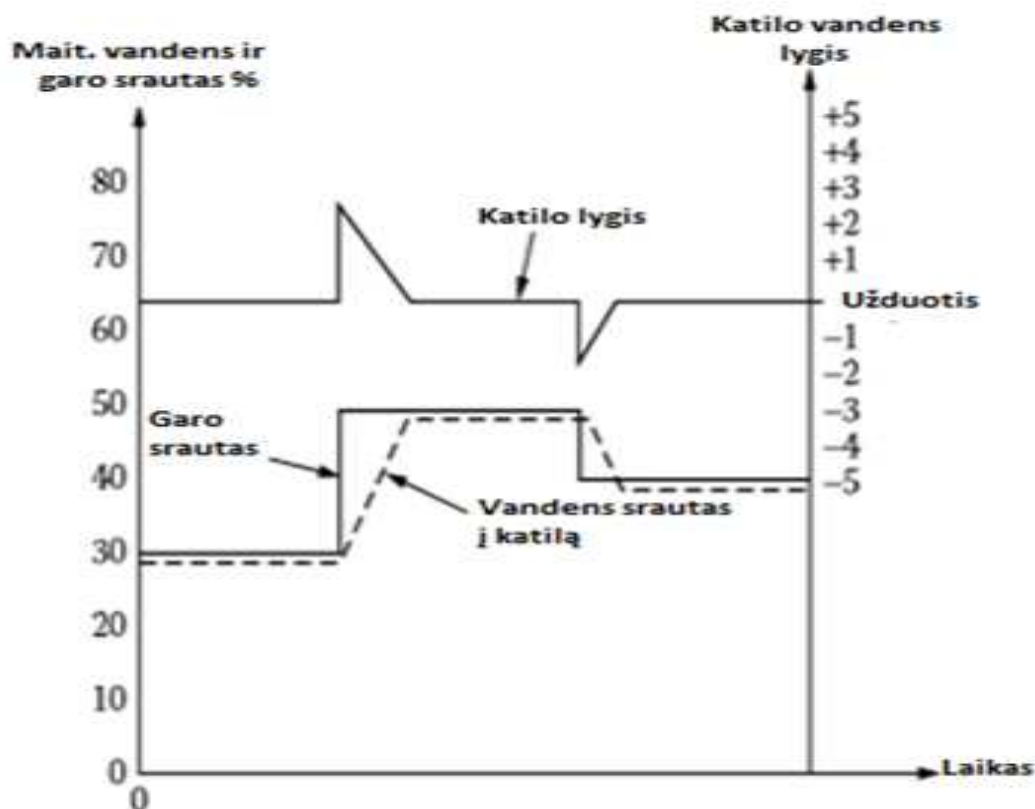
2.9 paveiksle matome, jog vandens lygį katile matuoja LE-3.2 talpinis elektrodas, o garo srauto apskaita FI-3.3 matuoja išeinančio iš garo katilo garo srautą. Taip pat vandens paskaita FI-3.4 matuoja maitinimo vandens srautą į katilą. Visi šie matavimo elementai perduoda atitinkamą signalą valdikliui LICA/3. Valdiklis apdorojęs šiuos matavimo signalus ir įvertinęs garo srautą, valdo vožtuvą YE-3.1.

Trijų matavimų elementų strategija nusako, kad į katilą įtekančio vandens srauto greitis atitinka garo srautą, išeinantį iš katilo. Garo srauto pokytis, nedelsiant paverčiamas panašiu pokyčiu, tiekiamo vandens į katilą debitui. Nors trijų matavimų elementų vandens lygio valdymo sistema yra pranašesnė, nei vieno arba dviejų elementų valdymo sistema, ji paprastai nėra naudojama, esant mažam katilo apkrovimui. Pagrindinė priežastis yra tokia, jog kai garo srautas yra nedidelis, garo srauto matavimas netikslus. O kai garo vartojamas yra didelis ir katilo apkrova yra pakankamai didelė, garo srautas yra matuojamas tiksliai [35, 36].



2.10 pav. Vandens kaitinimo procesas [39]

2.10 paveiksle pavaizduota natūrali vandens cirkuliacijos schema katilo kontūre. Susidarę garo burbuliukai, šildomame vamzdyje ir susimaišę su vandeniu kyla aukštyn, į garo katilo būgną. Čia atsiskyres garas yra nuvedamas į išorę, o į jo vietą tiekiamas maitinimo vanduo iš deaeratoriaus ar maitinimo bako. Neapšildomais garo katilo vamzdžiais vanduo iš būgno leidžiasi žemyn ir po to kyla jau apšildytais vamzdžiais aukštyn į būgną ir taip cirkuliuoja ratu [38].



2.11 pav. Garo katilo vandens lygio palaikymas [39]

Garo katile vandens lygis labai priklauso nuo garo vartojimo, staigiai padidėjus garo vartojimui, didėja ir vandens lygis katile, nors logiškai galvojam turėtų būti atvirkščiai. Kaip matome 2.11 paveiksle, padidėjus garo vartojimui, vandens lygis katile padidėja taip pat, o garo katilo pildymas maitinimo vandeniu didėja laipsniškai. Tai nutinka dėl to, kad burbuliukai esantys katile pakelia vandens lygį. Tačiau, kai garo vartojimas sumažėja, vandens lygis irgi sumažėja. Ir garo katilo pildymas maitinimo vandeniu mažėja laipsniškai [35, 39].

2.3 Katilo darbo režimo optimizavimas

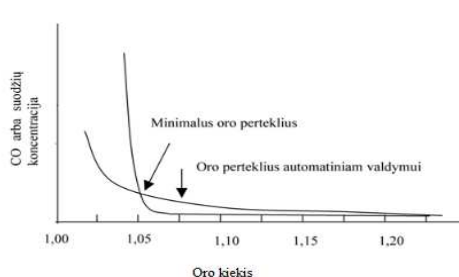
Garų katilą būtina optimizuoti, kad jis dirbtų ekonomiškai ir nebūtų teršiama aplinka. Kad saugotume aplinką, sunaudotume mažiau kuro, yra būtina teisingai reguliuoti kuro ir oro santykį, katilui dirbant įvairiomis apkrovimo sąlygomis.

Pavyzdžiui, garo katilo garo slėgiui didėjant, degiklio našumo reguliatorius siunčia signalą mažinti kuro ir oro padavimą į kūryklą. Tačiau jei slėgis mažėja, degiklio našumo reguliatorius didina kuro padavimą ir oro padavimą į kūryklą. Kad išnaudoti didžiausią katilo naudingumą, kuro ir oro padavimas į kūryklą turi būti proporcingas. Kartu su dūmais į aplinką išmetamos kietosios dalelės, tokios kaip azoto oksidai ir sieros oksidai. Azoto oksidas gali būti mažinamas keliais būdais [20, 27].

1. Mažinant degimo temperatūrą. Tai pasiekama, deginant kurą su didesniu oro pertekliaus koeficientu – oro degimo kameroje paduodama daugiau, nei reikalauja degimo procesas. Dažniausiai šis azotų oksidų padidėjimas pasireiškia maksimaliu katilo apkrovimu.
2. Iš katilo išėjusius dūmus praleidžiame pro vandens ekonomaizerį, kuriame azoto oksidas jungiasi su vandens garais ir atvėsęs kondensuojasi, virsdamas silpna azotų rūgštimi [25, 31].

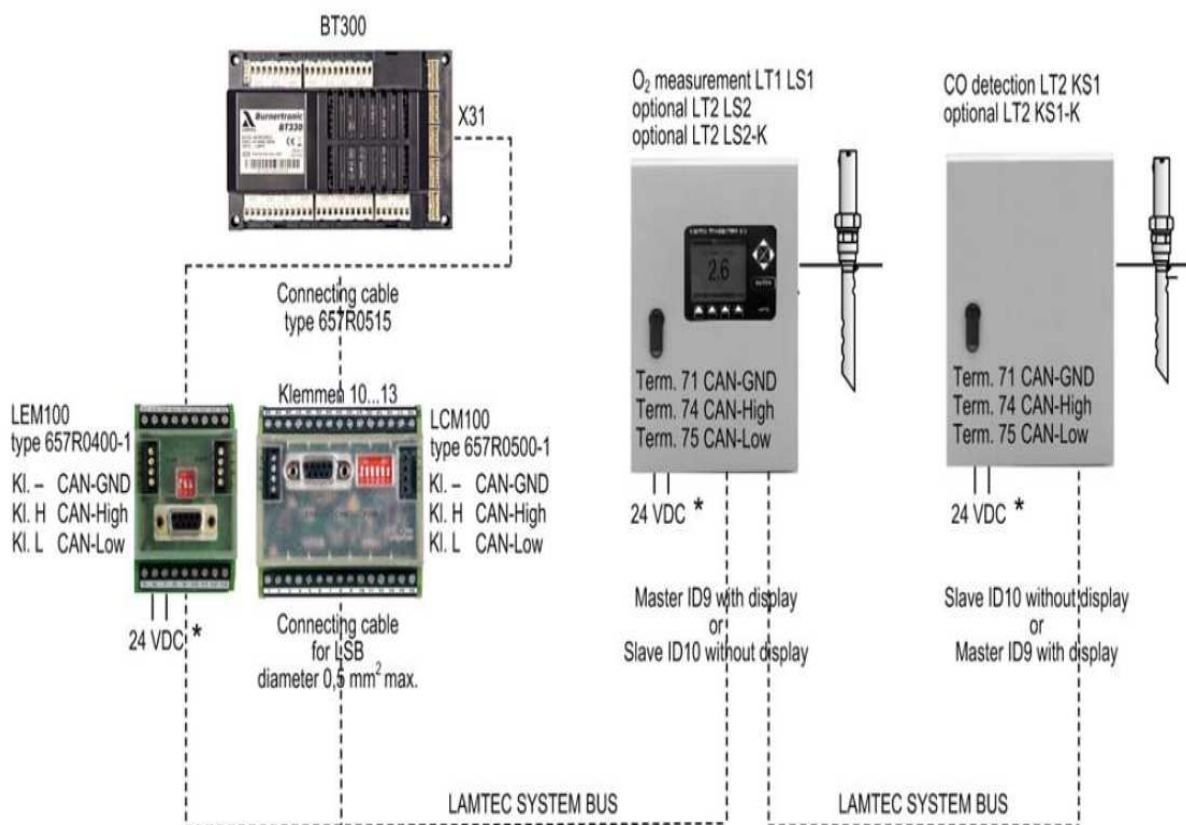
2.3.1 Katilo efektyvumo gerinimas

Pats paprasčiausias būdas pagerinti garo katilo efektyvumą yra tinkamai suderinti kuro ir oro santykį. Suderinus kuro ir oro santykį, reikia nustatyti mažiausią reikalingą oro kiekį, kuro sudegimui. Tam, kad tai nustatytume yra mažinamas oro slėgis prieš degiklį, stebima liepsna kūrykloje ir matuojama, analizatorių pagalba, išeinančių dūmų sudėtis į atmosferą. Išeinančiuose dūmuose išauga aplinkai kenksmingos medžiagos. Kai deginamos gamtinės dujos, pirmiausia pastebimas CO koncentracijos padidėjimas, deginant mazutą arba kietą kurą matomas suodžių kiekio padidėjimas. Degiklio oro pertekliaus grafikas atvaizduotas 2.12 paveiksle [13, 17].



2.12 pav. Degiklio oro perteklius [13]

Kadangi net ir oro sąlygų pasikeitimas (pvz. traukos kamine sumažėjimas) gali sukelti kuro nesudegimą ir suodžių pasirodymą. Tam, kad išvengtume suodžių ar CO atsiradimo yra sukurta lamteko sistema. Ji matuoja išeinančio iš kamino CO₂ emisija ir darbo metu pakoreguoja tiekimo oro kiekį į kūryklą, kad sumažintų CO₂ ar suodžių kiekį dūmuose. Lamteko sistema atvaizduota 2.13 paveiksle [17].



2.13 Pav. Lamteko sistema [17]

2.3.2 Katilo ekonomizeris

Iš katilo kamino išeinanti dūmų temperatūra yra apie 180-300 °C, todėl tokį šilumos kiekį būtina išnaudoti efektyviai, pavyzdžiui pašildyti vandenį, o neišleisti į lauką. Tad kuo aukštesnės temperatūros dūmai išeina iš katilo į kaminą, tuo didesnis šilumos kiekis patenka į atmosferą. Tam, kad išnaudoti šį šilumos kiekį, dūmai praleidžiami per katilo ekonomizerį. Ekonomizerio pagalba, papildomai pašildomas maitinimo vanduo, tekantis į katilą ir sumažinama išeinančių dūmų temperatūra. Taip sumažinami šilumos nuostoliai. Katilo ekonomizeris pagamintas iš nerūdijančio plieno, korpusinis - vamzdelinis šilumokaitis. Naudojant nerūdijančio plieno ekonomizerius, galima padidinti šilumos gamybą, sudeginant tiek pat kuro. Ekonomizeryje maitinimo vanduo yra papildomai pašildomas 20-30 procentų [13, 20].

Kondensaciniame ekonomiaizeryje susidaręs kondensatas yra surenkamas kondensato surinkimo talpykloje. Talpoje susikaupia kondensato perteklius, kurį reikia pašalinti. Tačiau kondensato negalima lengvai pašalinti, dėl kondensate susikaupusių kenksmingų medžiagų. Tam, kad būtų pašalintas perteklinis kondensatas, reikia jį neutralizuoti ir išvalyti [20].

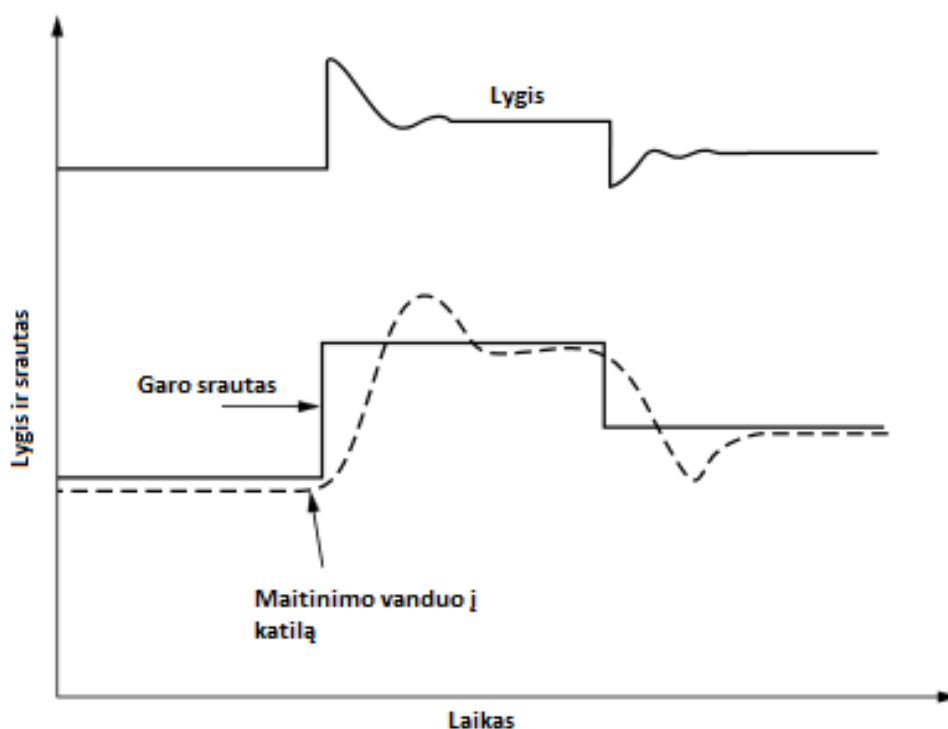
Dūmuose susikaupęs ir surinktas kondensatas, patenka į kondensato valymo sistemą, kur pirmiausiai yra neutralizuojamas jo pH lygmuo. Pasiekus reikalingą lygmenį – kondensatas išleidžiamas į kanalizaciją. Tam kad kondensatą būtų galima pašalinti, reikia kondensatą neutralizuoti. Tad į kondensatą dozuojami šarmo ir rūgšties tirpalai. Po neutralizacijos kondensatas yra paruošiamas filtravimui. Po šio cheminio ir mechaninio kondensato apdorojimo naudojami mechaniniai filtrai ir tik tuomet kondensatą galima pašalinti į kanalizaciją [13, 17].

3 Garo katilo vandens lygio palaikymo sistema

Šiuolaikiniai garo katilai, ekonominiais sumetimais yra gaminami mažesnio tūrio, bet greičiau pagaminantys garą. Dėl to esant staigiems garo pokyčiams, katilo vandens lygio palaikymo sistema nebesugeba palaikyti pastovaus vandens lygio garo katile. Staigus apkrovos padidėjimas, gali iššaukti žemą vandens lygį ir perkaitinti katilo vamzdžius [27].

Garo katilo vandens lygio palaikymo sistema su trikdžio kompensavimu palaiko nurodytą vandens lygį katilo būgne, atitinkamuose ribose. Trikdžio kompensavimo sistema sumažina vandens lygio svyravimus katile.

Pagal atliktą, garo katilo analizę, katile esamus vandens svyravimus sumažinti galima naudojant trijų matavimų elementų strategija [18, 24].



3.1 Pav. Garo katilo vandens lygio palaikymo sistema [39]

Kaip anksčiau buvo aptarta, trijų matavimo elementų strategijos sistema greičiau reaguoja į apkrovos pokyčius ir tiksliau palaiko vandens lygį. Atsiradus garo vartojimui lygis katile padidėja, o garo katilo pildymas maitinimo vandeniu turi taip pat didėti. Praktiškai įtekančio vandens srautas į katilą turi atitikti išeinančio garo iš katilo į gamybą. Visa tai, matome 3.1 paveiksle.

Šiame skyriuje, bus iširta garo katilo modelis ir įvertinta, kaip veikia katilo vandens lygio palaikymo sistema, be trikdžio kompensavimo sistemos. Taip pat bus iširta, kaip veikia katilo vandens lygio palaikymo sistema su trikdžio kompensavimo sistema [30, 35].

3.1 Proceso kintamieji, trikdžiai, kitimo ribos

Garų katilo būseną charakterizuoja pagrindiniai parametrai:

- Garo katilo slėgis P_{katile} ;
- Garo katilo būgno lygis L_{katile} ;
- Garo katilo maitinimo vandens srautas $F_{itek.}$;
- Garo srautas $Q_{isl.}$;

3.1 Lentelė. Proceso įėjimo ir išėjimo kintamieji:

Kintamasis	Aprašymas	Kitimo ribos	Vėlinimas
$F_{itek.}$	Įleidžiamo maitinimo vandens kiekis į katilą [valdomas kintamasis]	0...6 m ³ /h	0.1 min
$Q_{isl.}$	Išleidžiamo garo kiekis [trikdis]	0...6 t/h	0.1 min
$Q_{degiklis}$	Garų katilo šildytuvo galingumas [valdomas kintamasis]	350-6200 kW	-
$F_{past.}$	Išleidžiamo vandens kiekis (nuolatinis prapūtimas) [trikdis]	5 %	-
$F_{per.}$	Išleidžiamo vandens kiekis (periodinis prapūtimas) [trikdis]	1 %	-
$F_{vand.}$	Vandens lygis garo katile [valdomas kintamasis]	0...100 %	0.1 min
$T_{šv}$	Maitinimo vandens temperatūra [trikdis]	0...200 °C	0.1 min
T_{esanti}	Garų katile esanti temperatūra [valdomas kintamasis]	0...250 °C	0.1 min
P_{katile}	Garų katile esantis slėgis [valdomas kintamasis]	0-16 bar	0.1 min
L_{katile}	Garų katile esantis lygis [valdomas kintamasis]	0...100 %	0.1 min

Trikdis garo katile:

- Apkrovos trikdis, išeinantis garo srautas $Q_{isl.}$;

3.2 Proceso modelio kūrimo prielaidos

Garų slėgis katilė yra proporcingas garų temperatūrai, kuo aukštesnė garų temperatūra, tuo didesnis garų slėgis katilė, tad temperatūra priklauso nuo keturių faktorių.

- Nuo įleidžiamo maitinimo vandens temperatūra T_{sv} ;
- Garų katilė esama temperatūra T_{esanti} ;
- Šalto vandens srautas $F_{itek.}$;
- Šildytuvo galia $Q \cdot \lambda$;

Vandens tūris garų katilė priklauso nuo:

- Įleidžiamo maitinimo vandens srautas $F_{itek.}$;
- Išleidžiamo vandens kiekis (periodinis katilė prapūtimas) $F_{per.}$;
- Išleidžiamo vandens kiekis (nuolatinis katilė prapūtimas) $F_{past.}$;
- Išleidžiamo garų kiekis $Q_{isl.}$;

Vandens tankis ($105\text{ }^\circ\text{C}$) yra lygus $\rho=965\text{ kg/m}^3$, o garų tankis ($180\text{ }^\circ\text{C}$) yra lygus $\rho=4,9\text{ kg/m}^3$. Kintant temperatūrai skysčio fizinės charakteristikos C_p ir λ pakinta labai nežymiai, tad jų nevertiname. Garų katilė maitinimo vandens temperatūra iš deaeratoriaus yra $105\text{ }^\circ\text{C}$.

3.3 Proceso modelio lygčių sudarymas

Sudarome energijos balansą temperatūrai garų katilė:

1. Garų katilė kaupiamos energijos kitimas:

$$\rho C_p \frac{d}{dt}[V(T - T^*)] \quad (1)$$

2. Įvedamos šilumos kitimas (dėl įtekančio skysčio):

$$\rho F C_p (T_{sv} - T^*) \quad (2)$$

3. Įvedamos šilumos kitimas (dėl išeinančio garų):

$$\lambda Q \quad (3)$$

4. Nuvedamos šilumos kitimas (dėl ištekančio skysčio):

$$\rho F C_p (T_{is} - T^*) \quad (4)$$

5. Garo katilo tūris apskaičiuojamas:

$$V = \pi r^2 l K_3 \quad (5)$$

6. Garo katilo lygis apskaičiuojamas:

$$lygis = \sqrt{\frac{V}{\pi l K_3}} \quad (6)$$

Temperatūros diferencialinė lygtis:

$$\rho C_p \frac{d}{dt}[V(T - T^*)] = \rho F C_p (T_{sv} - T^*) + \lambda Q \quad (7)$$

Taigi supaprastinus lygtį, gauname temperatūros lygtį:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{F_{itek} \cdot [T - T_{sv}]}{V} + \frac{\lambda \cdot Q}{\rho(T,P) \cdot V \cdot C_p} \quad (8)$$

Tūris katile modeliujama diferencialinė lygtis:

$$\frac{d(V)}{dt} = \frac{F_{itek} \cdot \rho(\text{vandens}) - F_{per.} - F_{past.} - F_g \cdot \rho(\text{garo})}{\rho(T,P)} \quad (9)$$

Slėgis katile modeliujama diferencialinė lygtis:

$$\frac{dP}{dt} = K_1(T - T_a) - K_2(Q - Q_a) \quad (10)$$

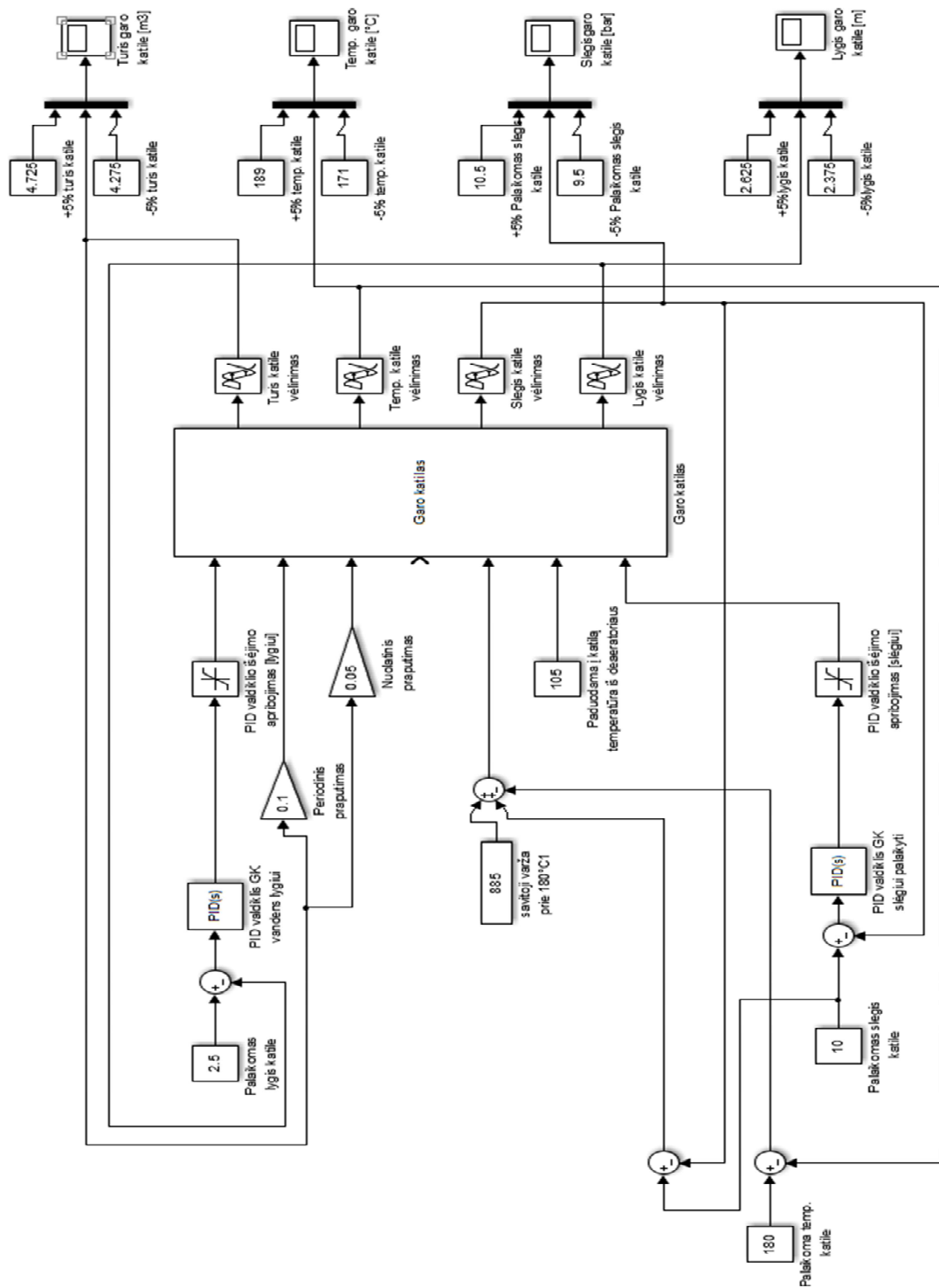
- $\frac{d(V)}{dt}$ – Garo katilo vandens tūris;
- $F_{itek.}$ – Vandens srautas į garo katilą iš deaeratoriaus;
- $F_{per.}$ – Išleidžiamo vandens kiekis (periodinis prapūtimas);
- $F_{past.}$ – Išleidžiamo vandens kiekis (nuolatinis prapūtimas);
- F_g – Išleidžiamo garo kiekis iš katilo;
- K_1 ir K_2 – Pastovūs koeficientai įvertinantys temperatūros ir slėgio įtaką;
- K_3 – Garo katilo lygio korekcija [29, 6];

3.4 Proceso modelio parametrų parinkimas

Katile, garo slėgis yra palaikomas 10 bar. O vandens lygis katile, palaikomas maitinimo vandeniu iš deaeratoriaus, ir palaikoma 2,5 metro katilo būgno aukščio. Tačiau vandens tūris katile yra palaikomas 4.5 m³. Pradiniu laiko momentu t=0 s. , garo katilo garo slėgis 2 bar, o vandens tūris katile yra 2,1 m³.

3.5 Sistemos darbo modelio sudarymas

Sudaromas garo katilo darbo modelis matlab simulink aplinkoje. Objektas aprašomas diferencialinėmis lygtimis, nurodomi proceso įėjimai ir išėjimai ir nustatomos pradinės sąlygos. Priimta, jog temperatūros, lygio ir slėgio davikliai turi 0,1 min. vėlinimą. Garo katilo modelis atvaizduotas 3.2 paveiksle.



3.2 Pav. Sistemos darbo modelis matlab simulink aplinkoje.

Naudojami proceso įėjimai pateikti 3.2 lentelėje, o išėjimai 3.3 lentelėje.

3.2 Lentelė. Proceso įėjimai.

Aprašymas	Įėjimas
F_{itek} - įleidžiamo vandens kiekis, [m ³ /h]	U(1)
$F_{\text{per.}}$ - periodinis prapūtimas 1 %	U(2)
$F_{\text{past.}}$ - nuolatinis prapūtimas 5 %	U(3)
$F_{\text{g.}}$ - išleidžiamas garo kiekis, [t/h]	U(4)
$\rho(T,P)$ - skysčio tankis (priklausomas nuo temperatūros) [kg/m ³]	U(5)
$T_{\text{šv}}$ - Paduodama vandens temperatūrą į katilą, [°C]	U(6)
P – Slėgio palaikymas garo katile, [bar]	U(7)

3.3 Lentelė. Proceso išėjimai:

Aprašymas	Išėjimas
Tūris garo katile [m ³]	X(1)
Temperatūra garo katile [°C]	X(2)
Slėgis garo katile [bar]	X(3)
Lygis garo katile [m.]	X(4)

Modelyje naudojami du PID reguliatoriai procesui valdyti:

- Garo slėgio reguliavimui;
- Vandens lygio reguliavimui;

PID reguliatoriaus parametrai K_p , T_i ir T_d apskaičiuojamos ziegler nichol's metodu. Visų pirma yra randamas objekto kritinis taškas. Norint jį rasti, reikia palaispniui didinti K_{cr} dedamąją, kol proceso švytavimas bus pastovus. Kai rastas kritinis taškas, iš proceso grafiko randame periodo trukmę sekundėmis. Reguliatoriaus parametrai apskaičiuojami, pagal 3.4 lentelę pateiktas formules. [24]

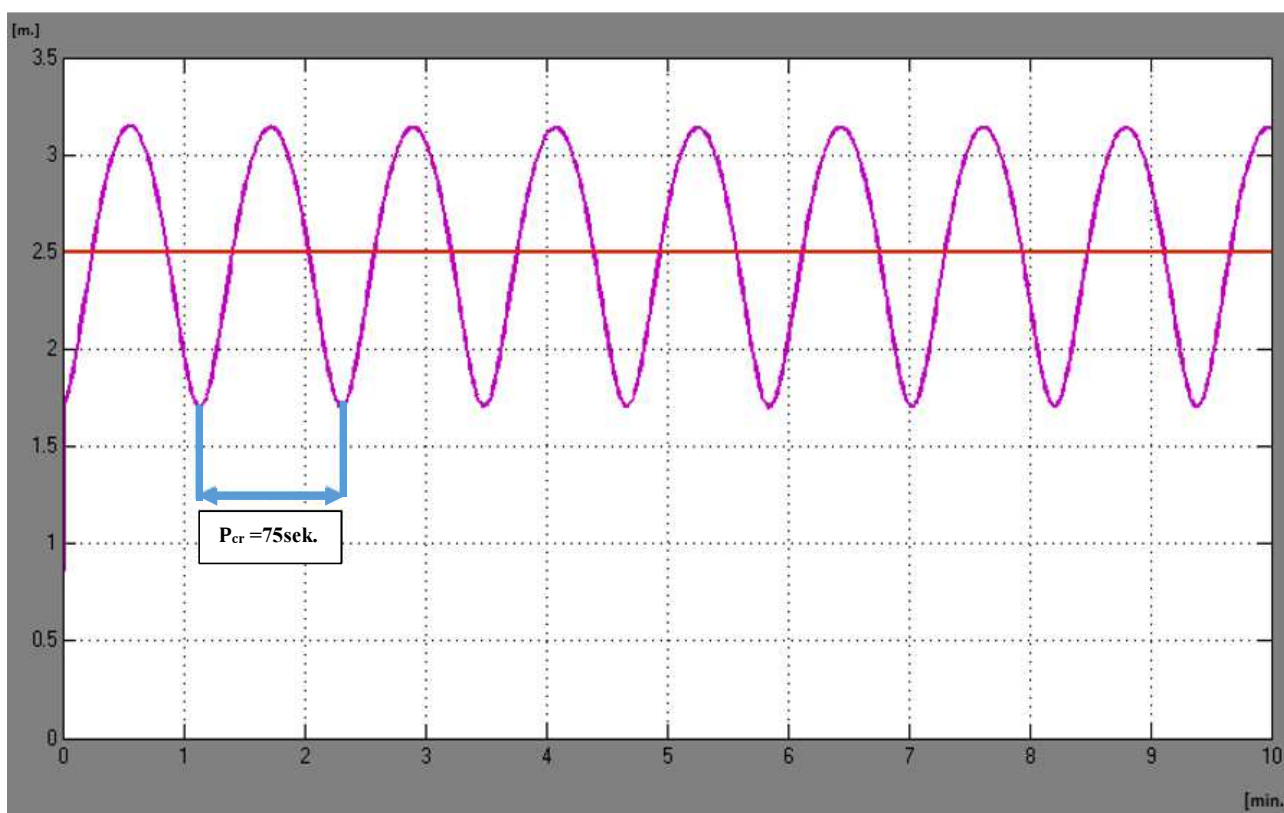
3.4 Lentelė. PID reguliatoriaus formulės [24].

Regulatorius	K_p	T_i	T_d
P	$0,5K_{cr}$	∞	0
PI	$0,45K_{cr}$	$\frac{1}{1,2}P_{cr}$	0
PID	$0,6K_{cr}$	$0,5P_{cr}$	$0,125P_{cr}$

Garų katilo vandens lygio palaikymo reguliatoriaus kritinis taškas gautas $K_{cr}=25$, o švytavimo periodo $P_{cr}=75$ sek. Taigi pagal 3.4 lentelėje pateiktas formules, apskaičiuojami vandens lygio palaikymo PID reguliatoriaus parametrai. Garų katilo vandens lygio palaikymo reguliatoriaus parametrai pateikti 3.5 lentelėje.

3.5 Lentelė. Garų katilo vandens lygio palaikymo PID reguliatoriaus parametrai.

Regulatorius	K_p	T_i	T_d
PID	15	37,5	9,375



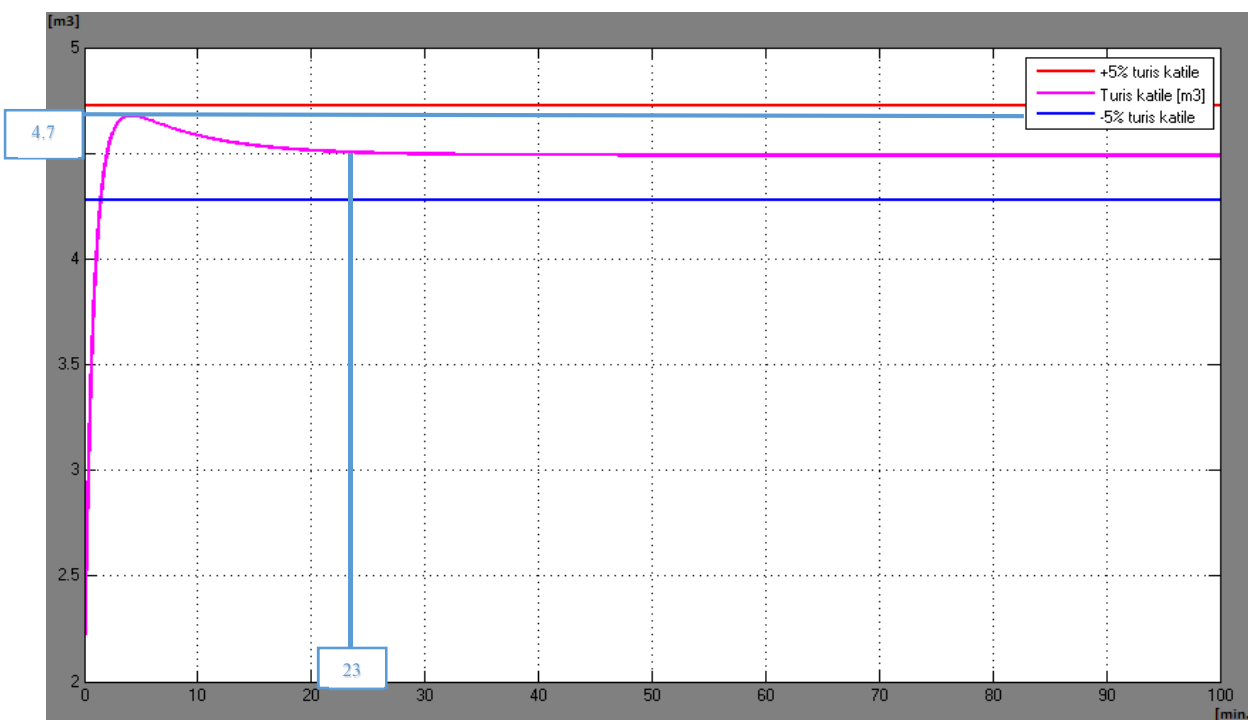
3.3 Pav. Katilo vandens lygio palaikymo PID reguliatoriaus parametų apskaičiavimas [m.]

Garų katilo slėgio palaikymo reguliatoriaus kritinis taškas gautas $K_{cr}=15$, o švytavimo periodo $P_{cr}=25$ sek. Taigi pagal 3.4 lentelėje pateiktas formules, apskaičiuojami garų slėgio palaikymo PID reguliatoriaus parametrai. Garų slėgio palaikymo reguliatoriaus parametrai pateikti 3.6 lentelėje.

3.6 Lentelė. Garų katilo slėgio palaikymo PID reguliatoriaus parametrai.

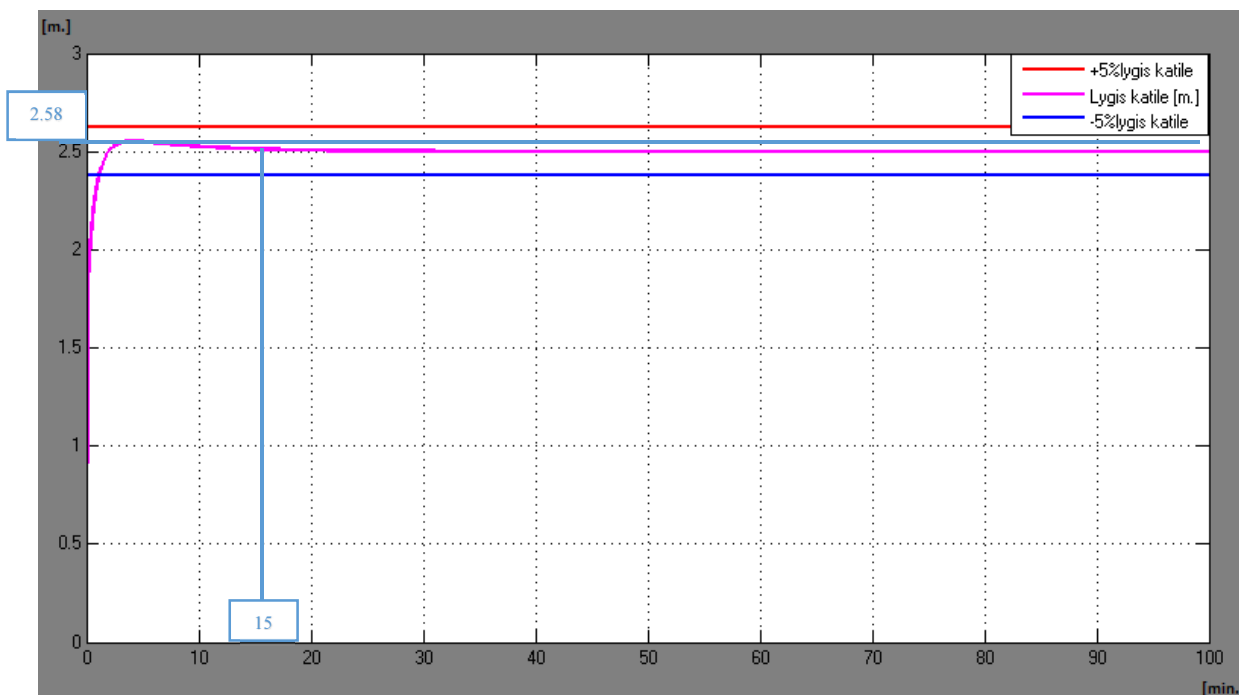
Regulatorius	K_p	T_i	T_d
PID	9	12,5	3,125

Regulatoriai suderinti taip, kad perreguliavimo paklaida neviršytų 5 %. Simulink programa, laiko intervalu nuo 0 iki 100 min. modeliuojamas vandens lygio ir temperatūros palaikymas garo katile, kai trikdis yra lygus 0. Garo katilo palaikomas tūrio grafikas atvaizduotas 3.4 pav., o pereinamojo proceso trukmė 23 min., perreguliavimas 4.4 %.



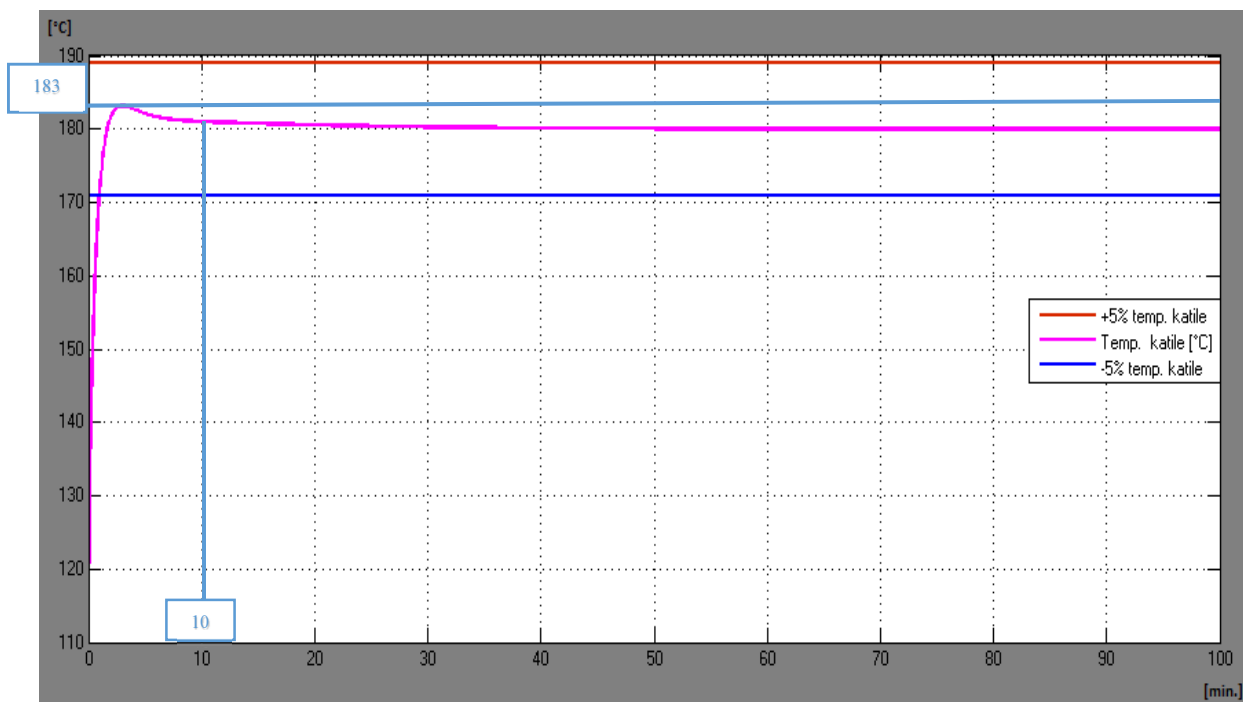
3.4 Pav. Palaikomas vandens tūris katile [m³].

Garo katilo palaikomo vandens lygio grafikas atvaizduotas 3.5 pav., pereinamojo proceso trukmė 15min., perreguliavimas 3.5 %.



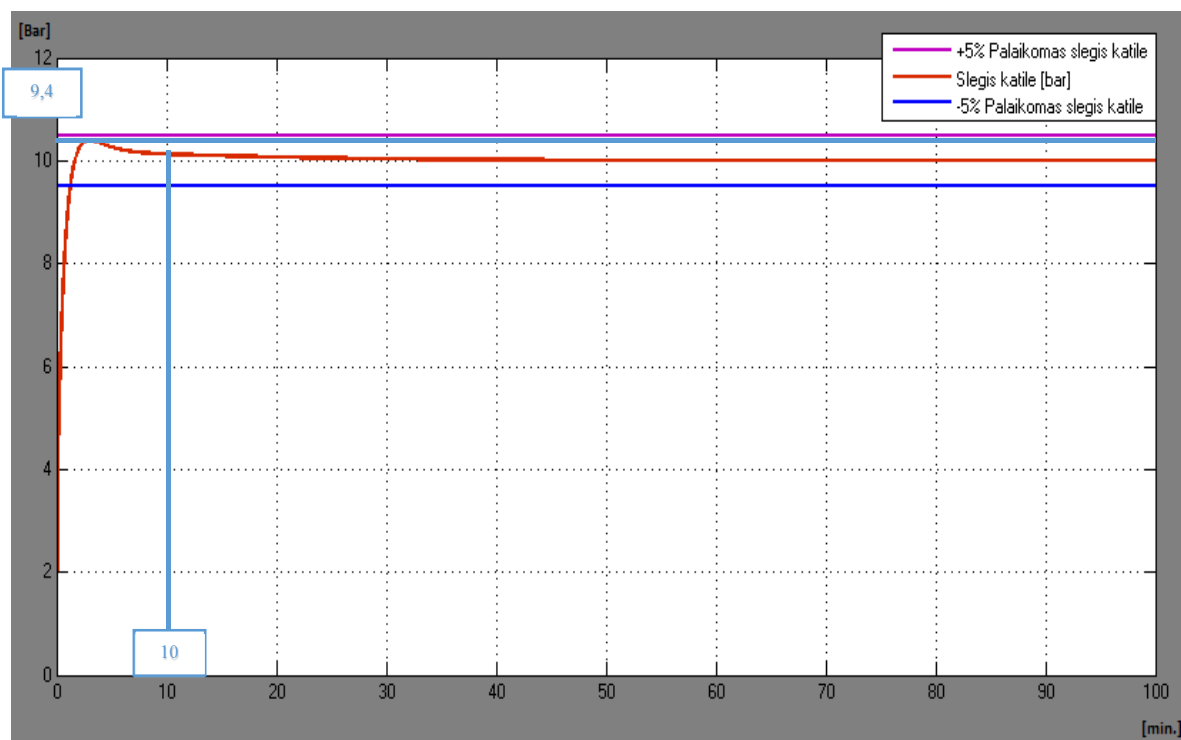
3.5 Pav. Palaikomas vandens lygis katile [m.].

Garu katilo garu temperatūros grafikas atvaizduotas 3.6 pav., pereinamojo procesa trukmē 10 min., perregulivimas 1.66 %.



3.6 Pav. Temperatūra garu katile [° C].

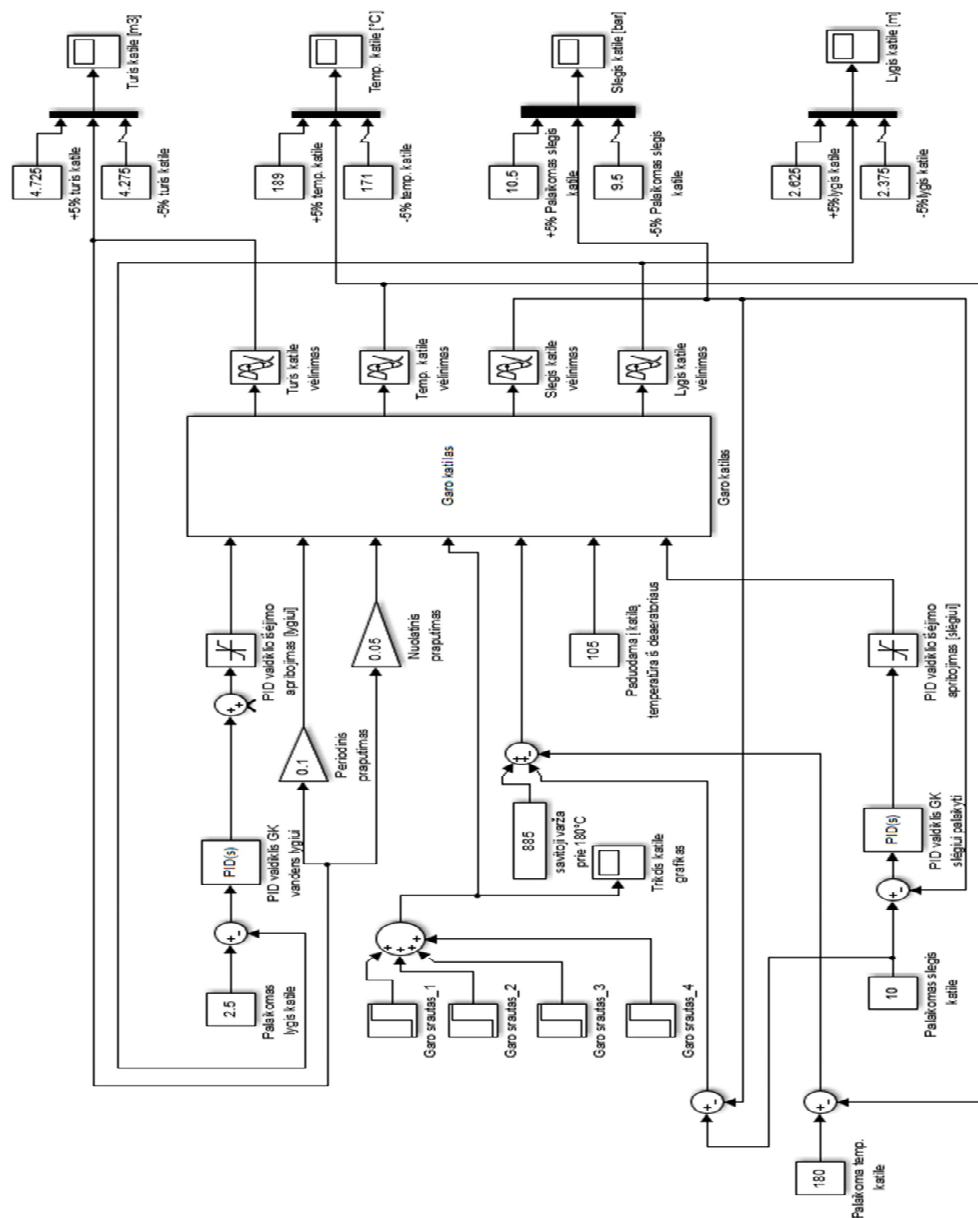
Garu katilo slēgio grafikas atvaizduotas 3.7 pav., pereinamojo procesa trukmē 10 min., perregulivimas 4.44 %.



3.7 Pav. Garu slēgis garu katile [bar].

3.6 Darbo modelio sudarymas, be trikdžio kompensavimo sistemos

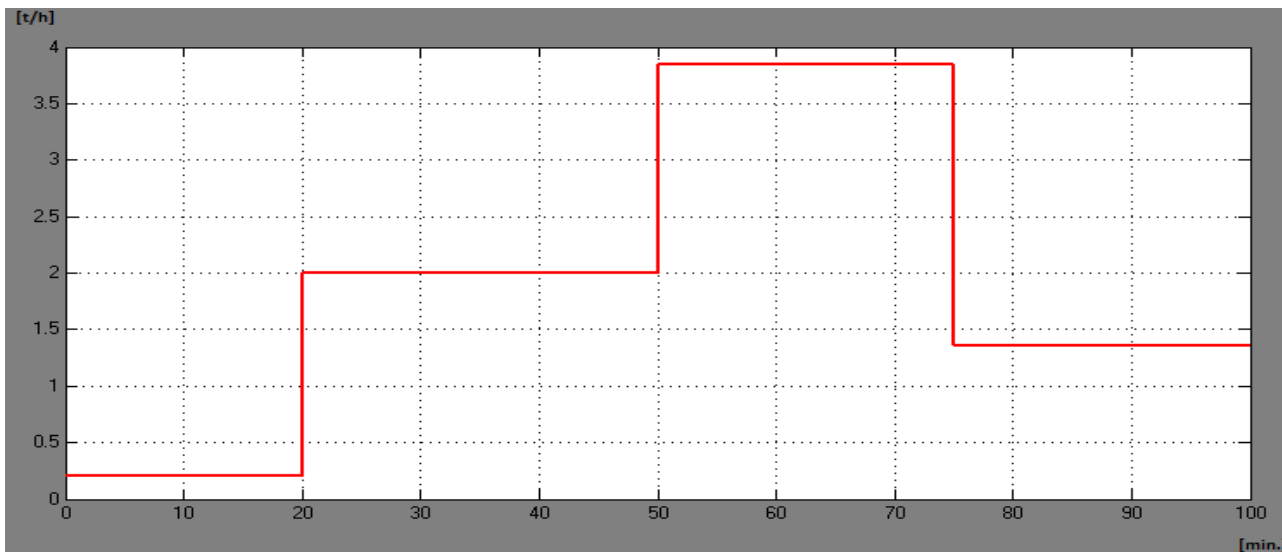
Sudaromas garo katilo modelis matlab simulink aplinkoje ir įvertinant trikdį (garo srautą). Tačiau modelis sudaromas be trikdžio kompensavimo sistemos. Sistemos darbo modelis atvaizduotas 3.7 paveiksle.



3.7 Pav. Sistemos darbo modelis, be trikdžio kompensavimo sistemos

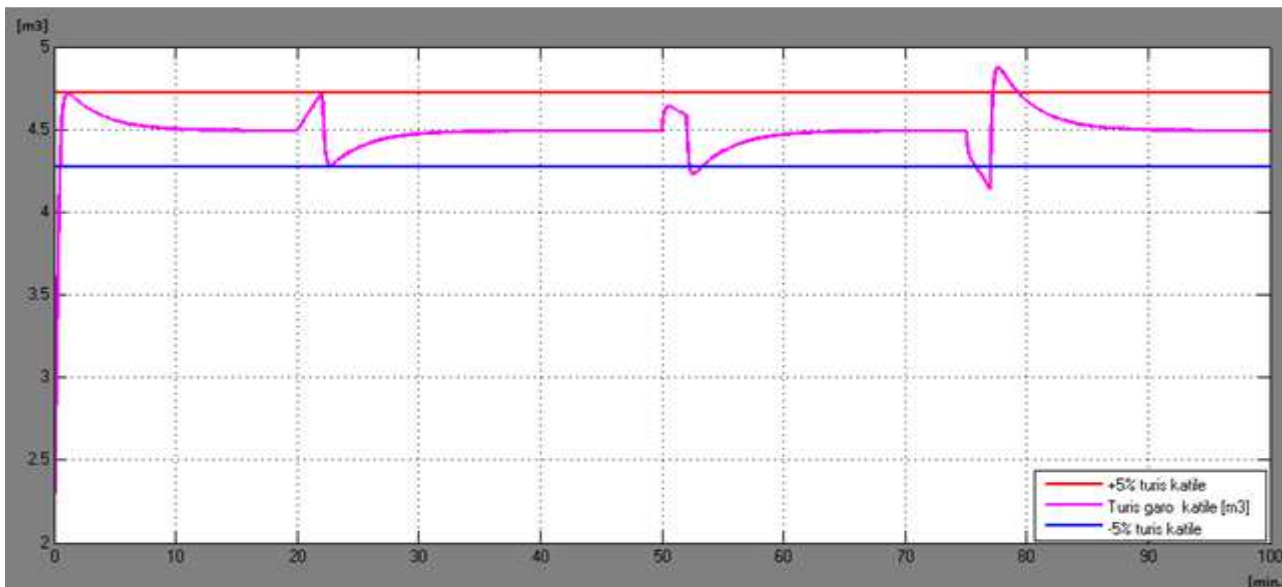
Į suderintą sistemą įvedamas šuolinis trikdys. Trikdžio grafikas pateikiamas 3.8 pav. paveiksle. Trikdžio grafikas atvaizduoja garo srautą F_g , o jam modeliuoti naudojamas stačiakampis impulsas, pasirodantis laiko momentu $t=0$ min. ir kurio aukštis yra 0,2. Po to, kai $t=20$ min. impulso aukštis padidėja 1,8 ir jo trukmė $t=30$ min. Kai $t=50$ min. impulso aukštis padidėja 1,85 ir jo trukmė

25 min. O kai $t=75$ min. impulso aukštis sumažėja 2.5. Impulso aukštis atvaizduoja ištekancio iš garo katilo garo srautą t/h.



3.8 Pav. Ištekancio iš katilo garo srautas (trikdis) [t/h]

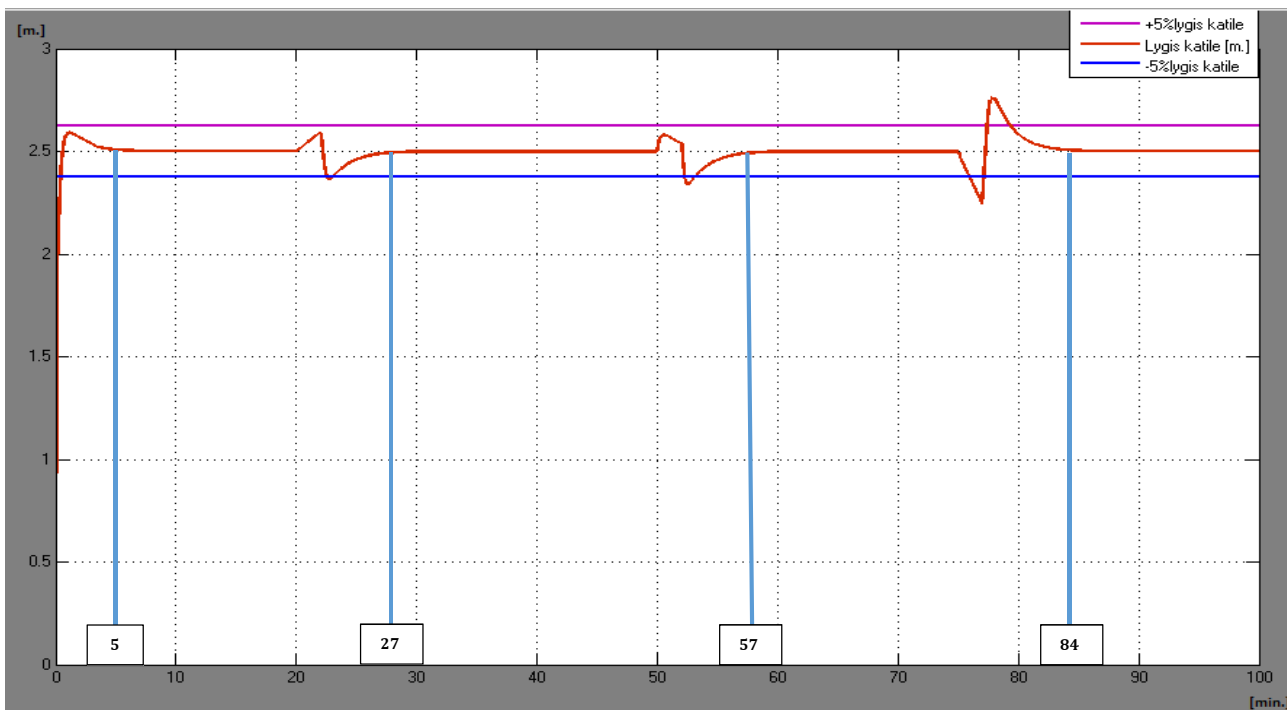
Garų katilo palaikomo vandens tūrio grafikas atvaizduotas 3.9 pav. Į suderintą sistemą įvedus trikdį, vandens tūris garo katile yra palaikomas su dideliais svyravimais. Didžiausi vandens tūrio svyravimai, pasireiškia, kai garo srautas sumažėja.



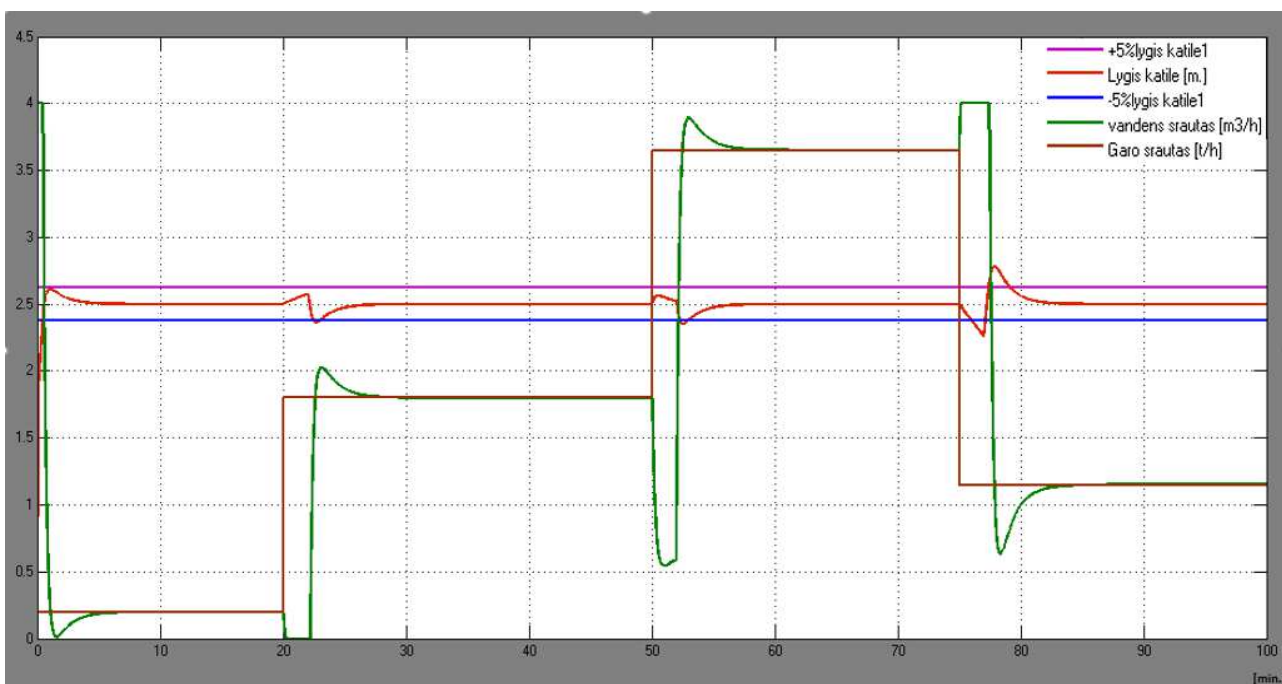
3.9 Pav. Garo katilo vandens tūris [m³], kintant apkrovai, be kompensavimo sistemos

Garų katilo vandens lygio grafikas be trikdžio kompensavimo sistemos atvaizduotas 3.10 pav., pereinamojo proceso trukmė 5min., perreguliavimas 3.84 %. Dvidešimtą minutę, padidinus garo srautą, proceso pereinamojo trukmė 7minutės, tačiau perreguliavimas neviršija 5 %. Tačiau 50 minutę, padidinus garo srautą, proceso pereinamojo trukmė 7 minutės, tačiau perreguliavimas jau

viršija 5 %. O 75 minutę, sumažinus garo srautą, proceso pereinamojo trukmė 9 minutės, tačiau perreguliavimas jau viršija 5 %.



3.10 Pav. Garo katilo vandens lygis [m.] kintant apkrovai, be kompensavimo sistemos



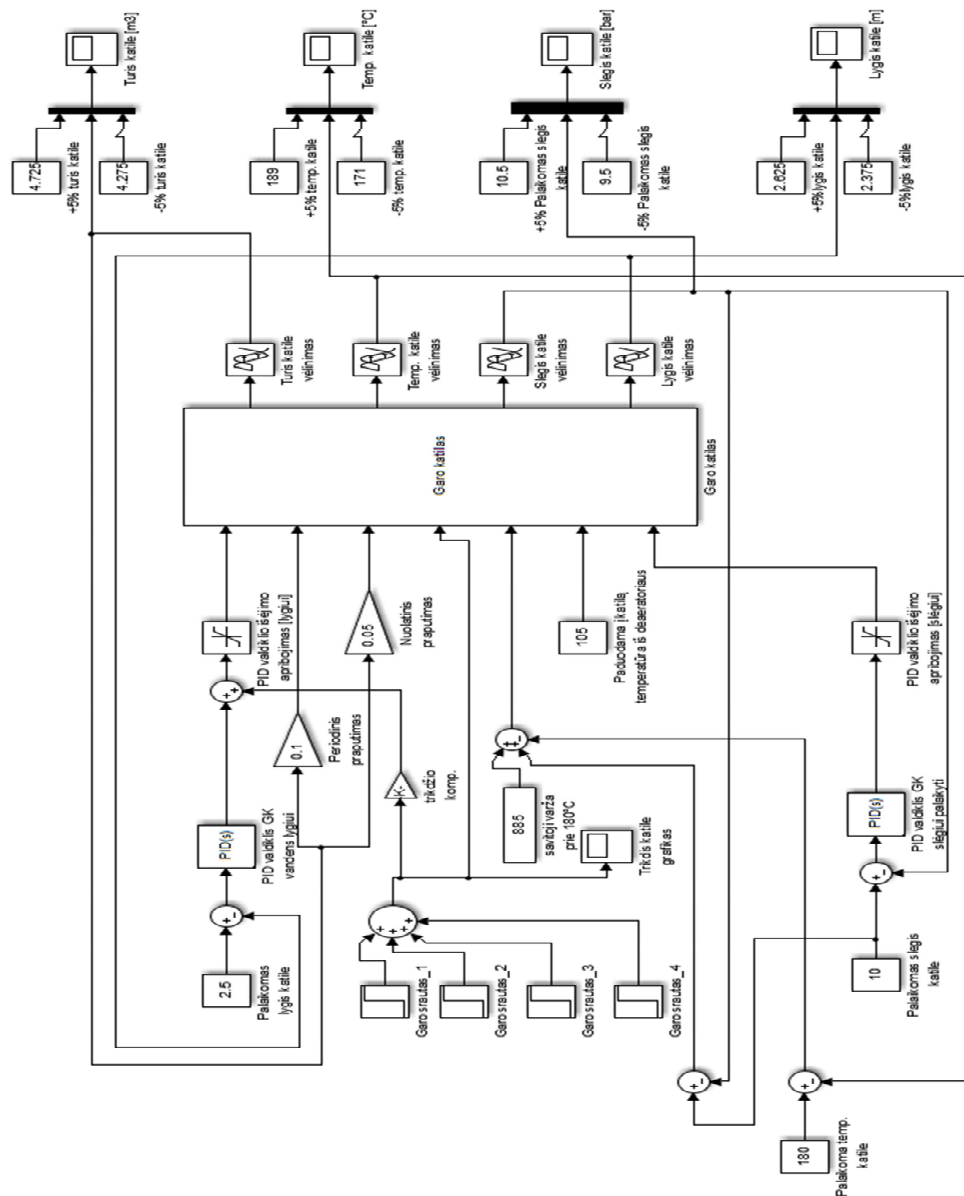
3.11 Pav. Garo katilo vandens lygio palaikymo sistema, kintant apkrovai, be kompensavimo sistemos

Kaip matome 3.11 paveiksle, padidėjus garo srautui, vandens lygis katile padidėja ir tik po kurio laiko pradeda mažėti. Vandens lygio palaikymo sistema, nepalaiko vandens lygio garo katile nurodytose ribose, kadangi, padidėjus garo srautui iš katilo, vandens lygis katile irgi padidėja. Tad tokia vandens lygio palaikymo sistema, padidėjus garo srautui, sumažina tiekiamo vandens į katilą

srautą ir kai vandens lygis katile pradeda mažėti, lygio palaikymo sistema padidina vandens srautą į katilą. Kai garo srautas sumažėja, vandens lygis sumažėja ir vandens srautas į katilą yra nedelsiant padidinamas. Kadangi garo vartojimas sumažėjo, o vandens srautas į katilą padidėjo – katile esantis vandens lygis taip pat padidėja.

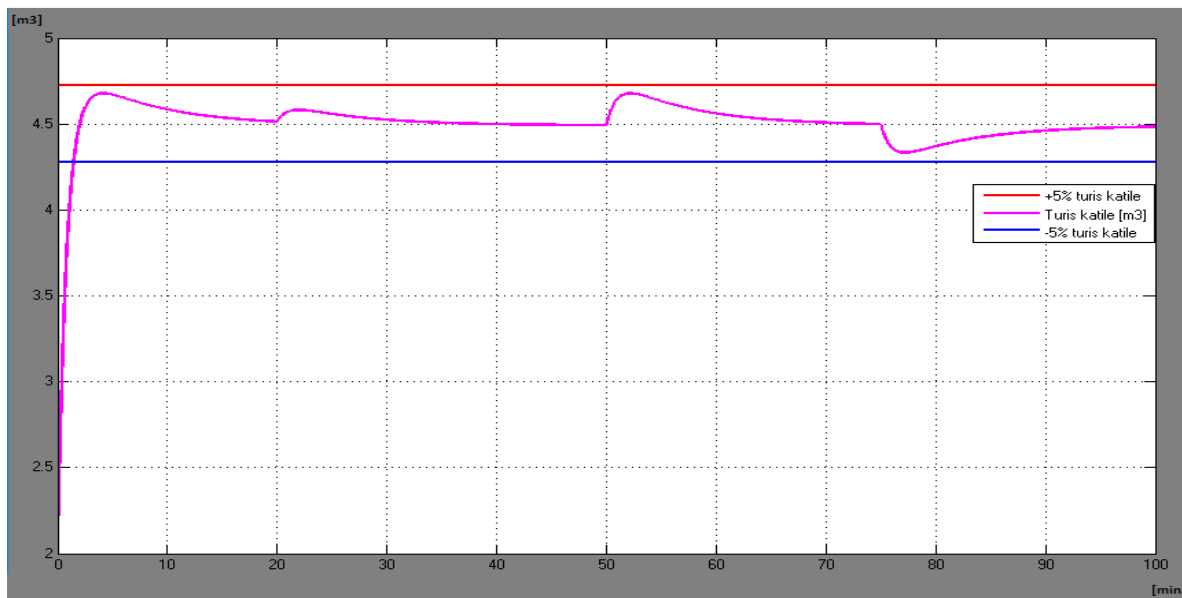
3.7 Darbo modelio sudarymas, naudojant trikdžio kompensavimo sistemą

Sudaromas garo katilo darbo modelis su trikdžio kompensavimo sistema matlab simulink aplinkoje. Kaip anksčiau buvo aptarta, išeinančio garo srautas atitinka įtekančio vandens srautą į katilą. Todėl trikdžio kompensavimo sistema, padidina vandens srautą į katilą padidėjus išeinančio garo srautui iš katilo. Sumažėjus garo srautui, vandens srautas į katilą taip pat yra sumažinamas. Darbo modelis pavaizduotas 3.12 paveiksle.



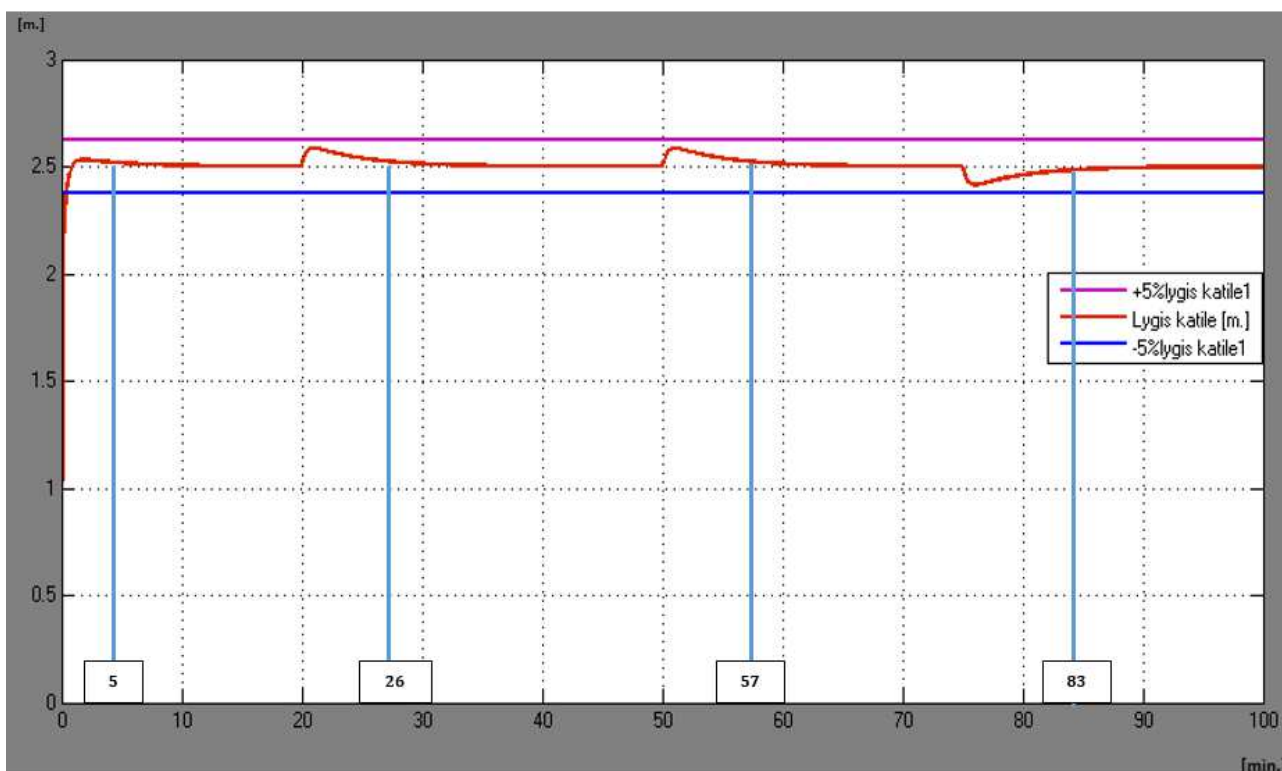
3.12 Pav. Sistemos darbo modeliavimas, su trikdžio kompensavimu

Vandens tūris katile, grafiškai atvaizduotas 3.14 paveiksle. Į suderintą sistemą įvedus trikdį, vandens tūris garo katile yra palaikomas nustatytose ribose ir vandens tūrio perreguliavimas neviršija 5 %.

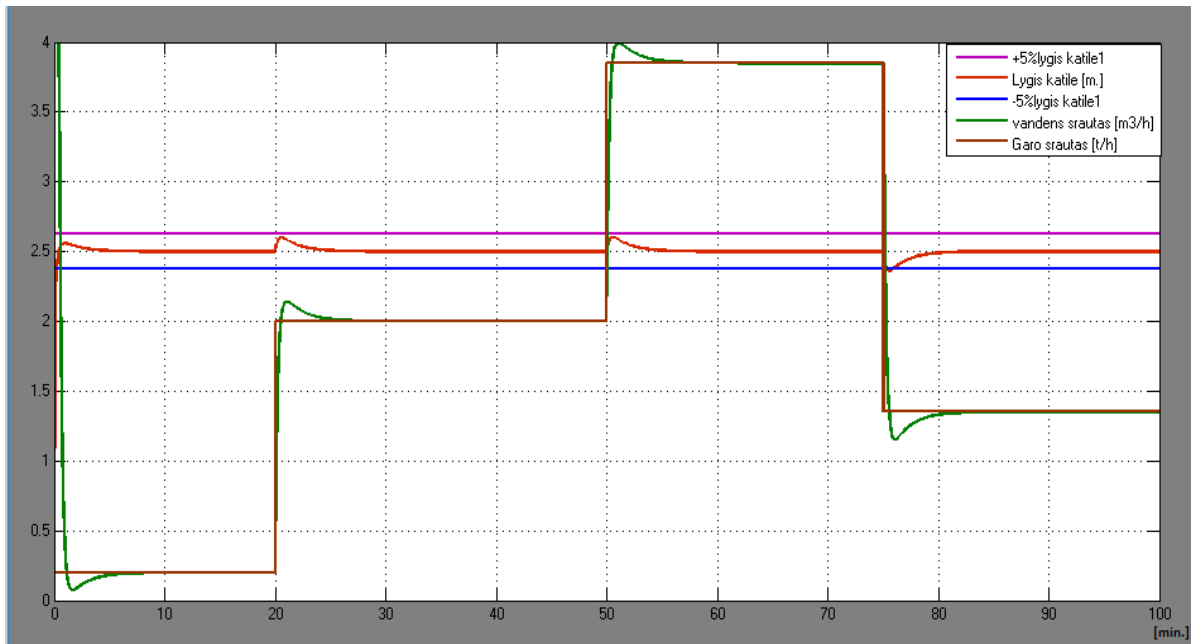


3.13 Pav. Garo katilo vandens tūris [m³]

Garo katilo vandens lygio grafikas trikdžio kompensavimo sistemos atvaizduotas 3.14 pav., pereinamojo proceso trukmė 5 min., perreguliavimas 1.82 %. Dvidešimtą minutę, padidinus garo srautą, proceso pereinamojo trukmė 6 minutės, o perreguliavimas 3.85 %. Tačiau 50 minutę, padidinus garo srautą, proceso pereinamojo trukmė 7 minutės ir perreguliavimas 4.1 %. O 75 minutę, sumažinus garo srautą, proceso pereinamojo trukmė 8 minutės ir perreguliavimas 3.92 %.

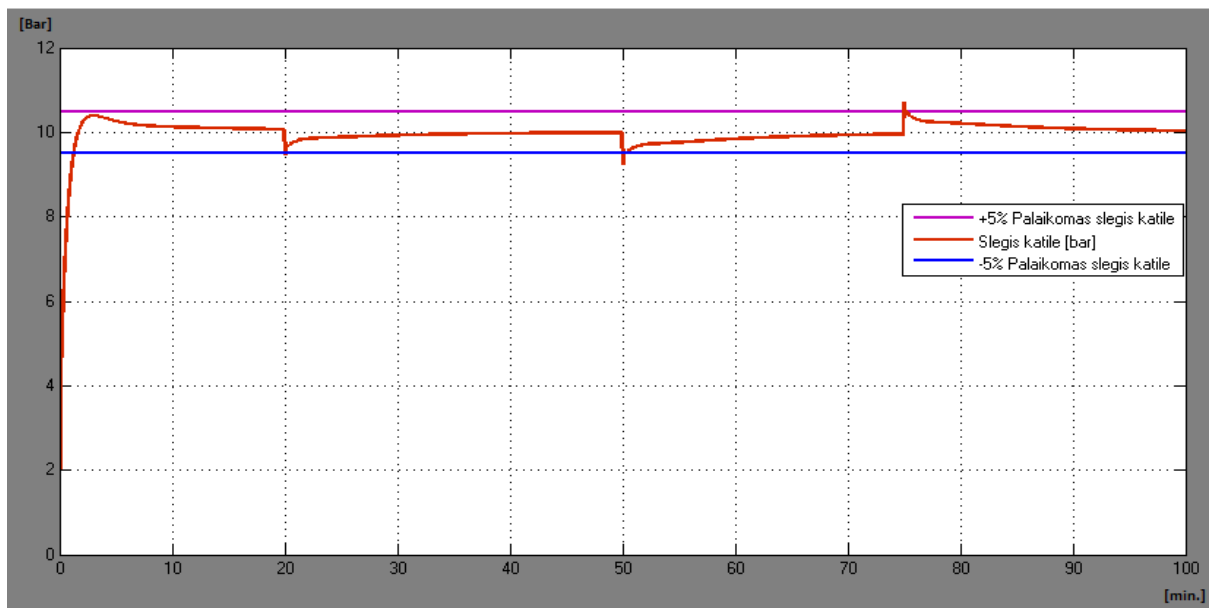


3.14 Pav. Garo katilo vandens lygis [m.]



3.15 Pav. Garo katilo vandens lygis kintant apkrovai su kompensavimo sistema

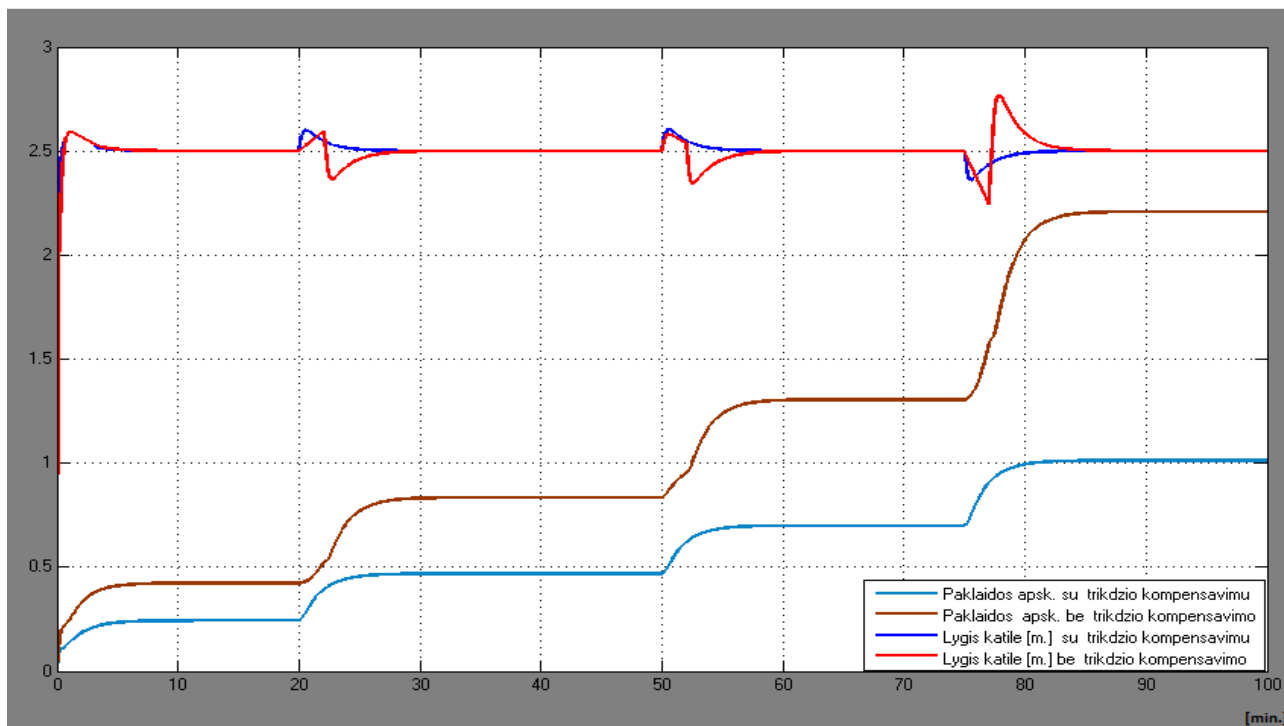
Kaip matome 3.15 paveiksle, padidėjus garo srautui, vandens lygis katile padidėja ir tik po kurio laiko pradeda mažėti. Vandens lygio palaikymo sistema, padidėjus garo srautui – padidina vandens srautą į katilą. Sumažėjus garo srautui, vandens lygio palaikymo sistema sumažina vandens srautą į katilą. Vandens lygis garo katile palaikomas nurodytose ribose.



3.16 Pav. Garo katilo slėgis [bar], kai veikia trikdys

Kaip matome 3.15 paveiksle, padidėjus garo srautui išeinančio iš garo katilo, slėgis katile sumažėja, o vandens lygis katile padidėja. Tai nutinka dėl to, kad padidėjus apkrovai ir norint išlaikyti pastovų garo slėgį katile yra didina degiklio galia. Padidinus degiklio galia yra išskiriama daugiau šilumos kūrykloje ir apšildomuosiuose vamzdžiuose susidaro daugiau garo burbulų. Tie garo burbuliukai esantys apšildomuosiuose vamzdžiuose pakelia vandens lygį.

Kad tiksliai įvertintume ir būtų galima palyginti vandens lygio palaikymą su trikdžio kompensavimo sistema ir be trikdžio kompensavimo sistema yra apskaičiuojama vandens lygio palaikymo sistemos absoliutinės paklaidos integralas. Vandens lygio palaikymo sistemų paklaidos ir absoliutinės paklaidos integralo palyginimas atvaizduotas grafiškai 3.17 paveiksle ir 3.7 lentelėje pateikta absoliutinė integralinė palaikymo paklaida (IAE) įvairiais laiko momentais.



3.17 Pav. Vandens lygio absoliutinė integralinė palaikymo paklaida (IAE), kai užduotis = 2,5m.

3.7 Lentelė. Garo katilo vandens lygio absoliutinė integralinė palaikymo paklaida (IAE) įvairiais laiko momentais

Vandens lygio absoliutinė integralinė palaikymo paklaida (IAE), kai užduotis =2,5m.	15min.	40min.	70min.	95min.
Su trikdžio kompensavimo sistemos, absoliutinė integralinė paklaida	0,243	0,468	0,699	1,012
Be trikdžio kompensavimo sistemos, absoliutinė integralinė paklaida	0,424	0,834	1,305	2,208
Vandens lygio sistemos be ir su trikdžio kompensavimo sistemos absoliutinės integralinės paklaidos skirtumas / procentai	0,181/54 %	0,366/56 %	0,606/53 %	1,196/46 %

Vandens lygio palaikymo su trikdžio kompensavimo sistema absoliutinė integralinė paklaida yra mažesnė už vandens lygio palaikymo be trikdžio kompensavimo sistemos vidutiniškai 53 %.

4 Garo katilo modernizavimas

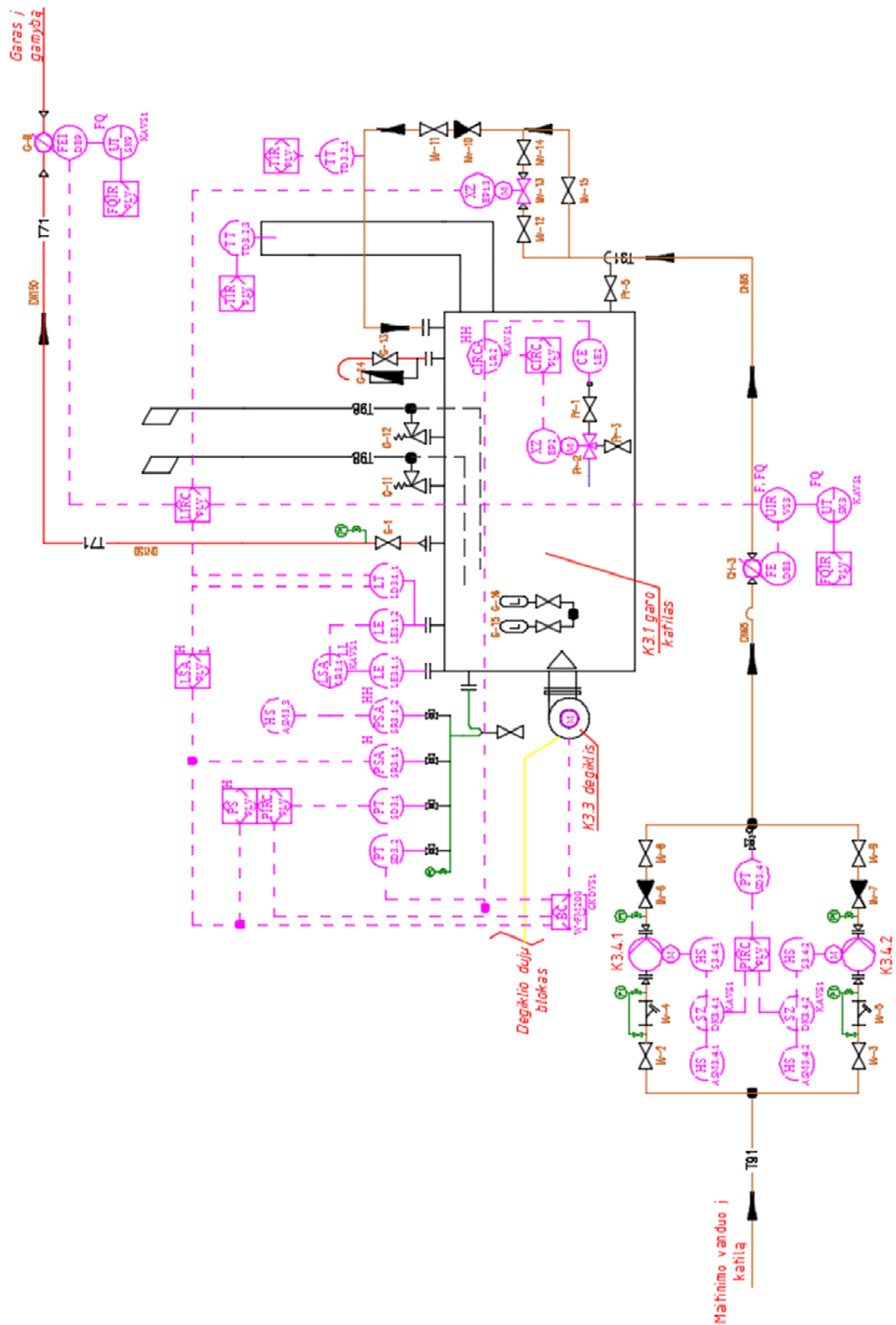
Esamoje dujinėje katilinėje, yra 4 t/h garo katilas ir esamas dviejų pakopų gamtinių dujų degiklis. Taip pat yra esami du katilo vandens papildymo siurbliai K1.3 ir K1.4. Vienas darbinis, kitas – rezervinis. Šiuos siurblius valdo vienas dažnio keitiklis DK-1. Dažnio keitiklis reguliuodamas siurblio apsukas palaiko lygio vertę katile.

Palaikomo lygio vertę, garo katile fiksuoja talpinis lygio daviklis LE-1.1 ir pagal užduotį, dažnio keitiklis palaiko vandens lygį katile. 4.1 paveiksle atvaizduota, kaip kinta vandens lygis garo katile. Matome, kad lygis katile gana stipriai svyruoja. Kadangi esamoje garo katilinėje nėra garo ir maitinimo vandens į katilą srauto apskaitos, todėl negalima įvertinti kaip katilo vandens lygis kinta, kintant apkrovai.



4.1 Pav. Palaikomas vandens lygis [%] katile (esamoje sistemoje).

Esamoje katilinėje 4 t/h katilui demontuojamas esamas dviejų pakopų suskystinto dujų degiklis ir vietoje jo yra numatomas naujas 350÷6200 kW galios moduliacinis, gamtinių dujų degiklis Weishaupt WM–G30 su dujų rampa. Taip pat bus sumontuotos vandens į katilą ir garo srauto apskaitos.



4.2 Pav. Modernizuoto katilo automatizavimo schema

Garo katilo ir katilinės automatikos valdymo sistema projektuojama katilinės automatikos valdymo skyde KAVS-1. Katilinės automatikos valdymo sistemai numatomas programuojamas

loginis valdiklis PLV ir operatoriaus pultelis OP. Programuojamas loginis valdiklis PLV skirtas garo katilo ir katilinės technologinių procesų valdymui. Operatoriaus pultelis OP skirtas garo katilo ir katilinės technologinių parametrų atvaizdavimui ir įvedimui, elektrifikuotų įrenginių būsenos atvaizdavimui ir valdymo būsenos keitimui bei reguliavimui.

Numatomas slėgio daviklis SD3.4. Daviklis montuojamas garo katilo maitinimo vandens vamzdyne už siurblių K3.4.1 ir K3.4.2. Slėgio signalas (4...20 mA) iš daviklio perduodamas į PLV, o reikšmė atvaizduojama OP.

Garo katilo maitinimo vandens slėgiui palaikyti numatomi siurbliai K3.4.1 ir K3.4.2 su dažnio keitikliais DK3.4.1 ir DK3.4.2. Vienas siurblys darbinis, kitas – rezervinis (abu siurbliai vienu metu negali dirbti). Dažnio keitikliai montuojami katilinės automatikos valdymo skyde KAVS-1. Dažnio keitiklių valdymas numatomas iš PLV.

Talpinis vandens lygio daviklis LD3.1.1. Daviklis montuojamas katilo gamintojo numatyta lygio atvamzdyje. Lygio signalas (4...20 mA) iš daviklio perduodamas į PLV, o reikšmė atvaizduojama OP. Vandens lygiui garo katile palaikyti numatomas vožtuvas su elektros pavara EP13, kuris montuojamas garo katilo maitinimo vandens vamzdyne. Vožtuvo su elektros pavara EP13 valdymas numatomas iš PLV. Vandens lygio svyravimus katile įtakoja išeinančio garo kiekis iš katilo ir maitinimo vandens kiekis į katilą tuo metu kai yra garo vartojimas. Lygio automatikos sistema turi sumažinti arba panaikinti vandens lygio svyravimus katile.

Garo katilo maitinimo vandens kiekis. Numatomas garo katilo maitinimo vandens debitomatis DB3. Debitomatis montuojamas garo katilo maitinimo vandens vamzdyne. Impulsinis momentinio vandens kiekio signalas iš debitomačio perduodamas į vandens kiekio skaitiklį VS3. Momentinio srauto signalas (4...20 mA) iš skaitiklio VS3 perduodamas į PLV. Suminio garo katilo maitinimo vandens kiekio duomenys (Mbus) per duomenų signalų keitiklį SK3 (Mbus/Modbus RTU) nuskaitomi valdiklio PLV. Šie duomenys atvaizduojami OP.

Garo katilo pagaminto garo kiekis. Numatomas garo katilo pagaminto garo debitomatis DB9. Debitomatis montuojamas garo išeinančio iš katilo vamzdyne. Momentinio srauto signalas (4...20 mA) iš debitomačio DB9 perduodamas į PLV. Suminio garo kiekio duomenys (4...20mA HART) per duomenų signalų keitiklį SK9 (4...20 mA HART/Modbus RTU) nuskaitomi valdiklio PLV. Šie duomenys atvaizduojami OP.

4.1 Naudojama įranga

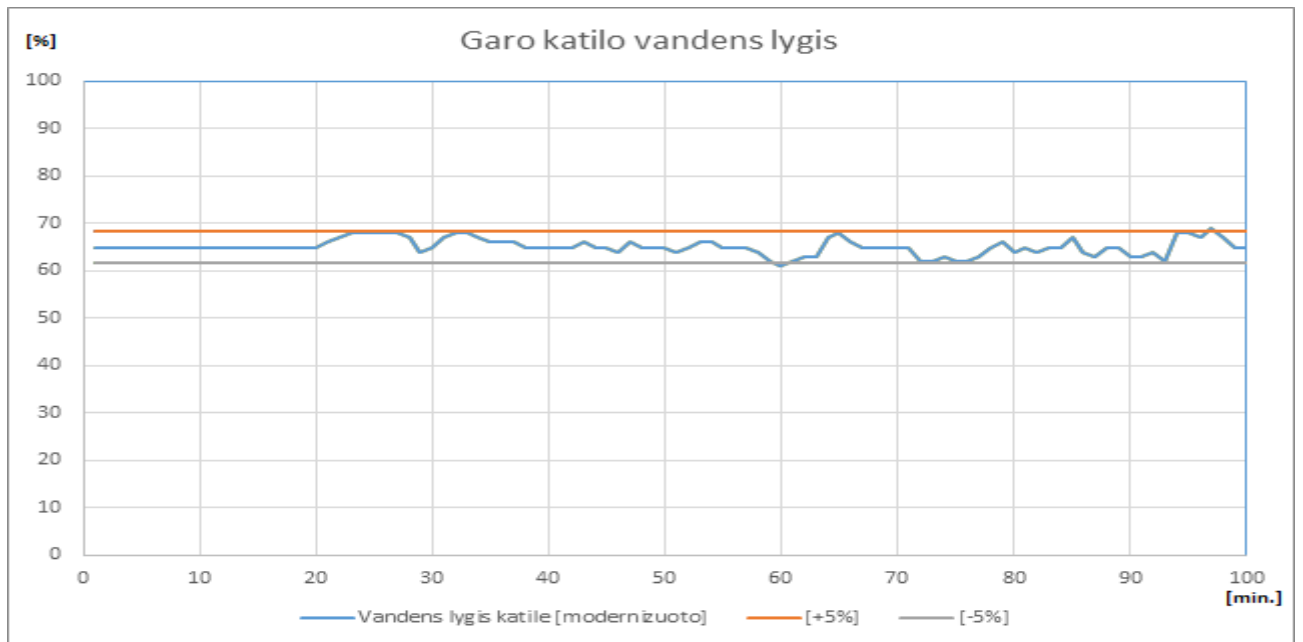
Garo katilo modernizavimui parinkta įranga pateikta 4.1 lentelėje.

4.1 Lentelė. Pagrindinė naudojama įranga.

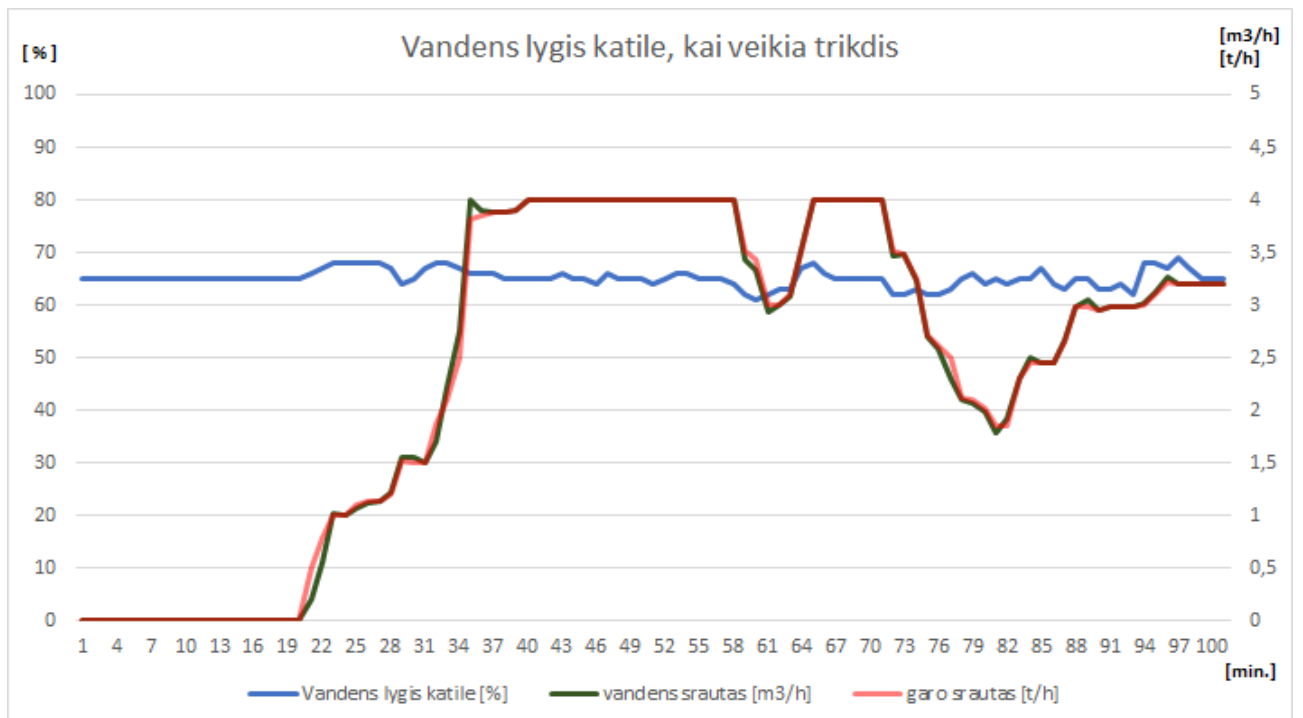
Pozicija, eil. Nr.	Pavadinimas ir techninės charakteristikos	Žymuo	vnt.	Kiekis	Pastabos
DK3.4.1, DK3.4.2	Dažnio keitiklis su operatoriaus pulteliu, 4 kW, IP20, ~400 V, 50 Hz, 10 A	[VLT Aqua FC-202 „Danfoss“]	vnt.	2	
OP	Simatic comfort panel TP1900	[TP1900, „Siemens“]	vnt.	1	
PLV	Simatic S-1200 valdiklis 14 DI / 10 DO / 2 AI, maitinimas =24 V	[6ES7 215-1HG40-0XB0, „Siemens“]	vnt.	1	
	Simatic ET 200SP išplėtimo modulis 16 DQ	[6ES7 132-6BH00-0BA0, „Siemens“]	vnt.	1	
	Simatic ET 200SP išplėtimo modulis 8 AI	[6ES7 134-6GF00-0AA1, „Siemens“]	vnt.	3	
	Simatic ET 200SP išplėtimo modulis 4 AQ	[6ES7 135-6HD00-0BA1, „Siemens“]	vnt.	2	
	Simatic ET 200SP išplėtimo modulių gnybtynas, maitinimo įtampos gnybtų pajungimo šyna iš dešinės pusės	[6ES7 193-6BP00-0DA0, „Siemens“]	vnt.	4	
	Simatic ET 200SP išplėtimo modulių gnybtynas, maitinimo įtampos gnybtų pajungimo šyna iš kairės iš dešinės pusių	[6ES7 193-6BP00-0BA0, „Siemens“]	vnt.	3	
	Simatic ET 200SP išplėtimo modulis 16 DI	[6ES7 131-6BH00-0BA0, „Siemens“]	vnt.	1	
SD3.1, SD3.2, SD3.4	Slėgio daviklis, 0...16 bar, =24 V maitinimas, 4...20 mA, proceso pajungimas G1/2, el.pajungimas - dvilaidis	[MBS1700 „Danfoss“]	vnt.	3	
DB3	Garo katilo maitinimo vandens kiekio skaitiklis 0..6 m ³ /h	Qalcomet Heat 1	vnt.	1	
DB9	Garo katilo garo debitomatis 0..6 t/h	Prowirl D200 Endress hauser	vnt.	1	
EP13	Garo katilo maitinimo vandens elektrifikuotas vožtuvas	Ari premio +2G	vnt.	1	

4.2 Modernizuoto garo katilo grafikai

Modernizuoto garo katilo vandens lygio grafikas atvaizduotas 4.3 paveiksle. Vandens lygis garo katile palaikomas nurodytose ribose.

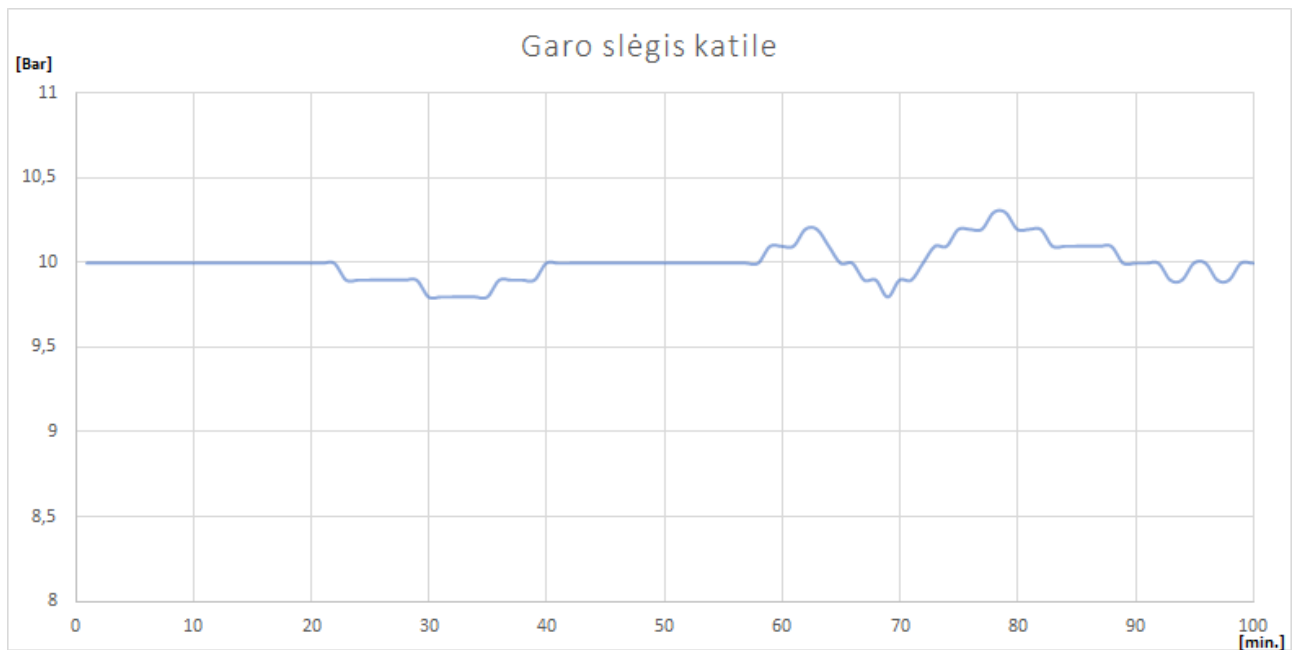


4.3 Pav. Modernizuoto garo katilo, palaikomas vandens lygis [%]



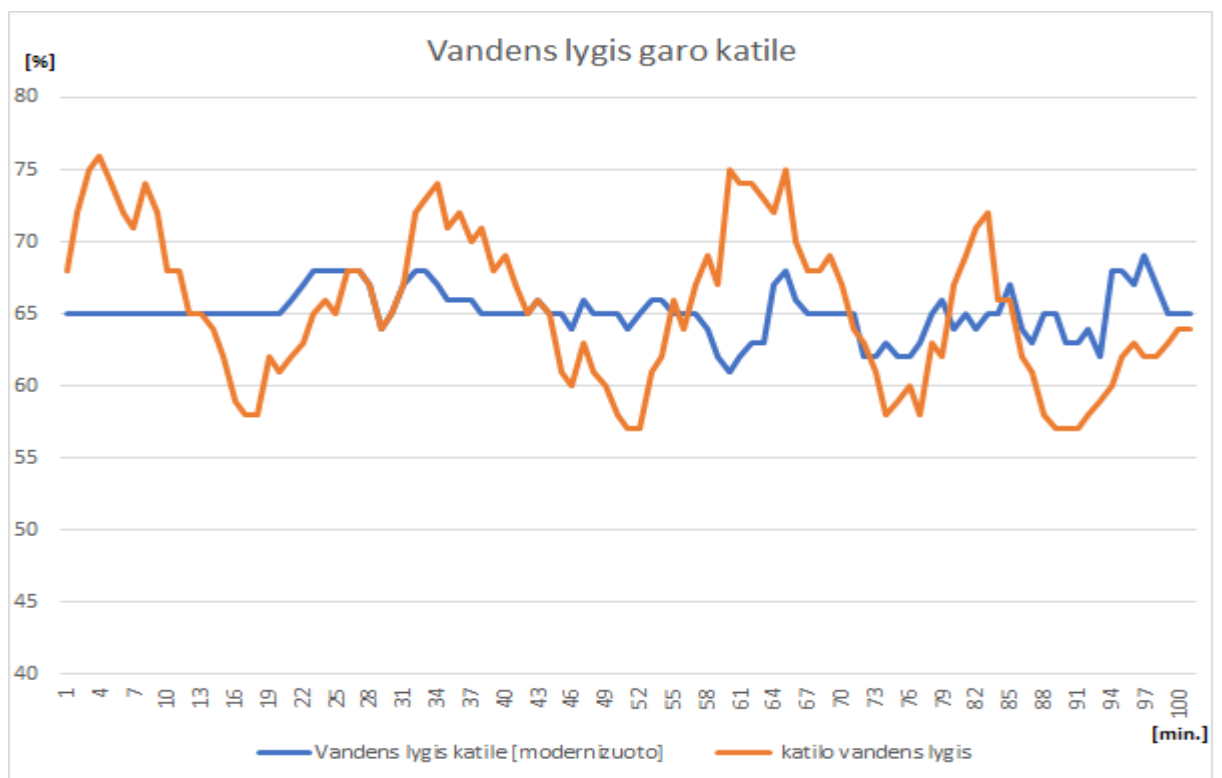
4.4 Pav. Modernizuoto garo katilo, palaikomas vandens lygis, kai veikia trikdys

Kaip matome 4.4 paveiksle, padidėjus garo srautui, padidėja ir vandens srautą į katilą. Sumažėjus garo srautui, vandens lygio palaikymo sistema sumažina vandens srautą į katilą.



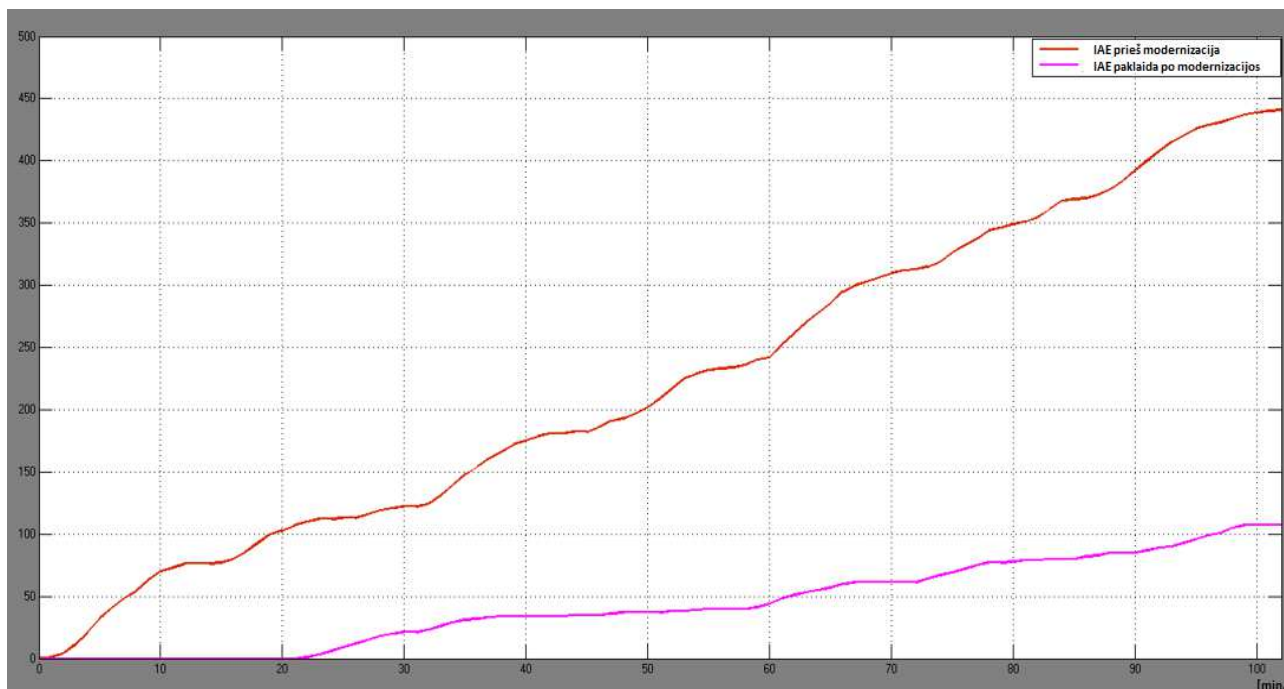
4.5 Pav. Modernizuoto garo katilo garo slėgis katile [bar], kai veikia trikdys

Taip pat palyginame kaip buvo palaikomas vandens lygis prieš modernizaciją ir po modernizacijos. Aišku, tai lyginti yra netikslinga, kadangi prieš modernizaciją mes nežinome koks buvo išeinančio iš garo katilo garo srautas. Bet 4.6 paveiksle, aiškiai matosi iš vandens svyravimų, kad vandens lygis palaikomas kur kas stabiliau - modernizuotos sistemos.



4.6 Pav. Katilo būgno vandens lygis prieš modernizaciją ir po modernizacijos palyginimas, kai užduotis =65%.

Kad būtų galima palyginti vandens lygio palaikymą, prieš ir po modernizacijos, apskaičiuojama vandens lygio palaikymo absoliutinės paklaidos integralą. Vandens lygio palaikymo absoliutinės paklaidos integralo palyginimas atvaizduotas grafiškai 4.7 paveiksle ir 4.2 lentelėje pateikta absoliutinė integralinė palaikymo paklaida (IAE) įvairiais laiko momentais.



4.7 Pav. Vandens lygio absoliutinė integralinė palaikymo paklaida (IAE), kai užduotis = 65%.

4.2 Lentelė. Garo katilo vandens lygio absoliutinė integralinė palaikymo paklaida (IAE) įvairiais laiko momentais.

Vandens lygio absoliutinė integralinė palaikymo paklaida (IAE), kai užduotis =65%	25min.	50min.	75min.	100min.
Po modernizacijos, absoliutinė integralinė paklaida	9	37	69	107
Prieš modernizaciją, absoliutinė integralinė paklaida	113	202	326	439
Prieš ir po modernizacijos absoliutinės integralinės paklaidos skirtumas	104	165	257	332

Vandens lygio palaikymas po modernizacijos, absoliutinė integralinė paklaida yra mažesnė už vandens lygio palaikymą prieš modernizaciją vidutiniškai 214 įvairiais laiko momentais.

5 Rezultatai ir išvados

1. Atlikta garo katilinių egzistuojančių sistemų analizė. Daugiausiai dėmesio buvo skirta apžvelgti šiuolaikinių garo katilų technologinius sprendimus ir egzistuojančias valdymo sistemas;
2. Atlikus garo katilo vandens lygio palaikymo analizę, nustatyta, kad vandens lygio valdymo sistemos darbas yra gana kritinis elementas užtikrinant tinkamą garo katilo darbo funkcionavimą;
3. Ištirta konkreti garo katilo automatizavimo schema ir sudaryta garo katilo vandens lygio palaikymo sistemų be trikdžio kompensavimo ir su trikdžio kompensavimu matematiniai modeliai, kurie realizuoti Matlab/Simulink aplinkoje. Vandens lygio palaikymui katile, panaudotas PID reguliatorius, kuris reguliuoja įtekančio vandens srautą į katilą.

Sudarius matematinį modelį nustatyta, jog be trikdžio kompensavimo sistemos, garo katilo būgno vandens lygis kinta nepriimtinos ribose, kadangi vandens lygis katile palaikomas pagal vieną matavimo elementą. Sistema su trikdžio kompensavimu vandens lygis palaikomas pagal tris matavimo elementus (įtekančio vandens srautą į katilą, išeinančio iš katilo garo srautą ir esamo vandens lygis garo katile). Tokia sistema sumažina vidutiniškai 53 % vandens svyravimus katile.

4. Kadangi garo katilo apkrova yra stipriai kintanti, tikslinga modernizuoti garo katilo vandens lygio palaikymo sistemą, pagal trijų matavimų elementų strategiją. Šiame darbe atlikus realios sistemos bandymus ir palyginus valdymo sistemų kokybę prieš ir po modernizacijos, nustatyta, kad po sistemos modernizacijos absoliutinė integralinė paklaida yra mažesnė vidutiniškai 214 įvairiais laiko momentais.

6 Literatūra

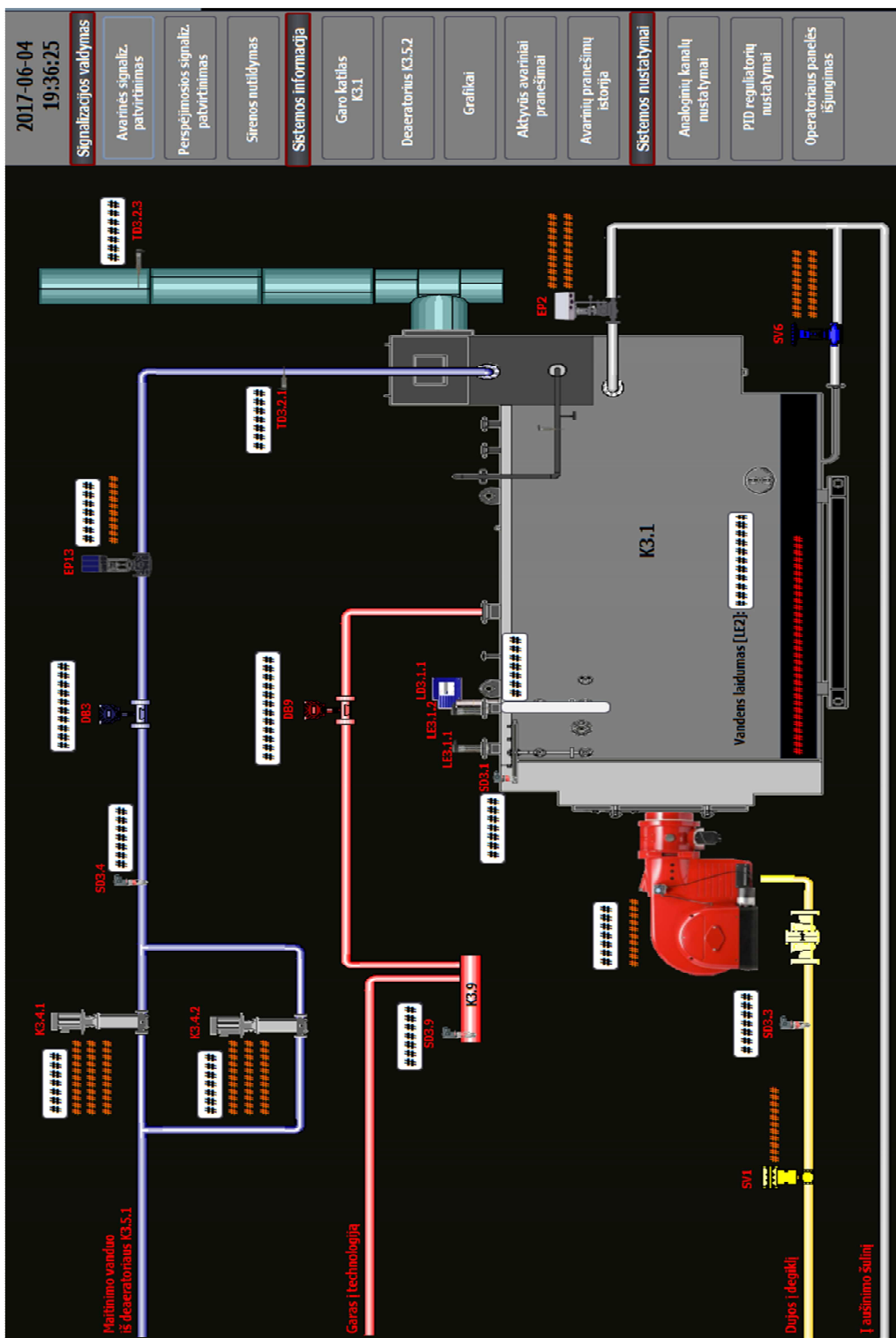
1. „Axante“. Atvirkštinio osmoso vandens paruošimo sistemos, [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016-12-17]. <http://www.axante.lt/atvirkstinio-osmoso-sistemas/>
2. „Spiraxsarco“. Slėginiai deaeratoriai, [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016-12-07]. <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/the-boiler-house/pressurised-deaerators.aspx>
3. „Flowserve“. Garo ir kondensato sistemos, [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016-11-10]. <https://www.flowserve.com/sites/default/files/2016-07/810305.pdf>
4. „Abma“. Deaeratoriai, [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016-12-05]. http://www.abma.com/assets/docs/Tech_Resources/2015%20-%20abma%20deaerator%20white%20paper%20final%20from%20meeting%202011%2001%202016.pdf
5. „Gemssensor“. Lygio palaikymo sistema (elektrodų pagalba), [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016-10-09]. <http://www.gemssensors.com/level/warrick/conductivity-based-liquid-level-control>
6. Cho, C. H., “Optimum Boiler Load Allocation, *InTech*, October. Claypoole, G. T., The Conceptual Design of a Utility, p.635-710, 1978.
7. „Journals“. Vandens minkštinimo įranga, [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016-09-09]. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0089934>
8. Criswell, R. L., Control Strategies for Fluidized Bed Combustion *InTech*, January, p. 120-185, 1980.
9. Dukelow, S. G., Combustion Controls Save Money *Instruments and Control Systems*, November 1977.
10. FRANKE, Rüdiger; RODE, Manfred; KRÜGER, Klaus. On-line optimization of drum boiler startup. In: *Proceedings of the 3rd International Modelica Conference, Linköping*. 2003.
11. „Membrana“. Membraniniai deaeratoriai, [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016-03-15]. <http://www.membrana.com/industrial-filtration/products/filtration-modules/liqui-flux-water-modules>
12. „Federalcorp“. Garo katilo būgno lygio palaikymo sistema, [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016-02-15]. <http://www.federalcorp.com/tech/drum%20level.pdf>
13. ÅSTRÖM, Karl Johan; BELL, Rodney D. Drum-boiler dynamics. *Automatica*, p. 363-378, 2000.
14. Council of Industrial Boiler Owners (CIBO), *Energy Efficiency Handbook*, Council of Industrial Boiler Owners, 1997.

15. Hockenbury, W. D., Improve Steam Boiler Control, *Instruments and Control Systems*, July 1981.
16. Lipták, Béla G., ed. *Instrument Engineers' Handbook, Volume Two: Process Control and Optimization*. CRC press, p.251-351, 2005.
17. „Compab“. Lamteko sistema, [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016-06-10].
<http://www.compab.se/wp-content/uploads/2010/09/BA-LSB-DLT6095-08-aE-00151.pdf>
18. Dimeo, Robert, and Kwang Y. Lee. Boiler-turbine control system design using a genetic algorithm. (1995)
19. „Airccse“. Garo katilo būgno lygio palaikymo sistemos, [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016-06-15]. <http://airccse.org/journal/IJICS/Paper/4214ijics01.pdf>
20. „Energysolutionscenter“. Kondensaciniai ekonomizeriai, [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016-04-04].
http://www.energysolutionscenter.org/assets/1/news/zaidi_condensing_economizer_ppt_2-08.pdf
21. Mortensen, Jan H., et al. Optimization of boiler control to improve the load-following capability of power-plant units. (1998)
22. Kulesky, R., and G. Nudelman. Power boiler control loops optimal tuning. *Electrotechnical Conference, 1998. MELECON 98., 9th Mediterranean*, 1998.
23. Chen, Pang-Chia, and Jeff S. Shamma. Gain-scheduled ℓ_1 -optimal control for boiler-turbine dynamics with actuator saturation. *Journal of process control* (2004).
24. Laijiu, Fang Yongsheng Xu Zhigao Chen. Study of Adaptive Fuzzy Control of Boiler Superheated Steam TemperatureBased on Dynamic Mechanism Analysis, (1997).
25. „Eolss“. Garo turbinų sistemos, [interaktyvus]. [Žiūrėta 2016-05-25].
<http://www.eolss.net/sample-chapters/c08/e3-10-03-04.pdf>
26. Franke, Rüdiger, Manfred Rode, and Klaus Krüger. "On-line optimization of drum boiler startup." *Proceedings of the 3rd International Modelica Conference, Linköping*. 2003.
27. Davenport, William George, and E. H. Partelpoeg. *Flash smelting: analysis, control and optimization*. Elsevier, 2015.
28. Xu, Min, Shaoyuan Li, and Wenjian Cai. Cascade generalized predictive control strategy for boiler drum level, p. 18-158, (2005).
29. Krishnakumar, K., and David E. Goldberg. Control system optimization using genetic algorithms, *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, (1992).
30. Liao, Zaiyi, and A. L. Dexter. "An inferential control scheme for optimizing the operation of boilers in multi-zone heating systems." *Building Services Engineering Research and Technology*, p. 118-189, (2003).

31. Bemporad, Alberto, and Manfred Morari. Control of systems integrating logic, dynamics, and constraints. (1999).
32. Badami, Vivek Venugopal, et al. Systems and methods for multi-level optimizing control systems for boilers. p. 151-254, 2008.
33. Franke, Rüdiger, Manfred Rode, and Klaus Krüger. On-line optimization of drum boiler startup. *Proceedings of the 3rd International Modelica Conference, Linköping*. 2003.
34. Konar, Ahmet Ferit, and Tariq Samad. Two-level system identifier apparatus with optimization, p. 118-258, 1998.
35. Kothare, Mayuresh V., et al. Level control in the steam generator of a nuclear power plant. *IEEE transactions on control systems technology* (2000).
36. Huang, Yonghong, et al. Genetic adaptive control for drum level of a power plant boiler. *Computational Engineering in Systems Applications, IMACS Multiconference on*. Vol. 2. IEEE, 2006.
37. Nichols, Randall K., and Charles M. Thatcher. Method and apparatus for power plant simulation and optimization, p. 1-85, 1994.
38. WANG, Dong-feng, Pu Han, and Guo-yu WANG. Predictive functional control for water level of boiler drum. *Journal of North China Electric Power University* 3 (2003).
39. DUKELOW, SG, et al. Boiler Control and Optimization, p. 1-60, (2006).

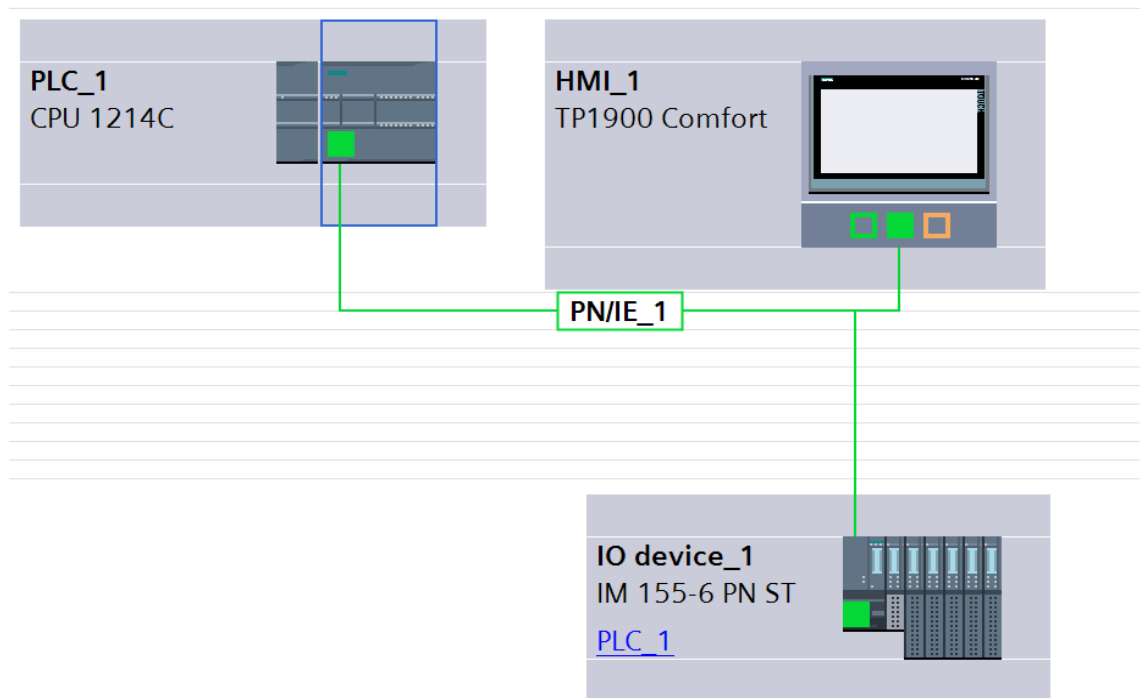
7 Priedai

7.1 1 PRIEDAS. Modernizuoto garo katilo vizualizacijos schema



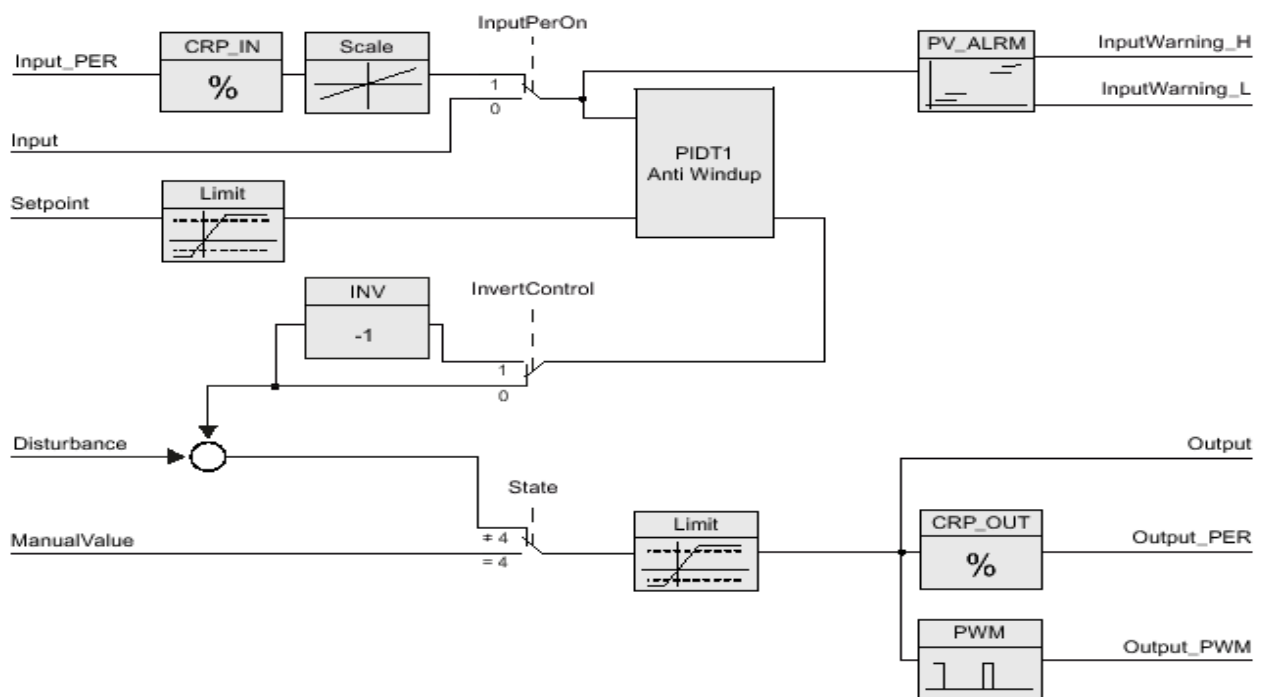
7.1 Pav. Modernizuoto garo katilo vizualizacijos schema [įrenginių paveikslai paimti iš gamintojų puslapio]

7.2 2 PRIEDAS. Valdiklio tinklo struktūra



7.2 Pav. Valdiklio tinklo struktūra

7.2 3 PRIEDAS. Valdiklio PID regulatoriaus blokinė schema



7.3 Pav. Valdiklio PID regulatoriaus blokinė schema [schema paimta iš TIA PORTAL V13]

7.3 4 PRIEDAS. Siemens valdiklio programavimas, vandens lygio palaikymo sistemai su trikdžio kompensavimu

```
//*****  
*****  
  
//      Funkcinis blokas, katilo vandens lygio palaikymui, vožtuvo EP13 valdymui  
  
//*****  
*****  
  
//*****Paskutiniu komandos įrašymas, kad tiksliai žinoti kokia buvo paskutine  
komanda*****  
  
    IF #CMD <> 0  
    THEN  
        #CMD_log := #CMD;  
    END_IF;  
    IF #CMD_Auto <> 0  
    THEN  
        #CMD_auto_log := #CMD_Auto;  
    END_IF;  
  
//Automatinio arba distancinio įjungimas / išjungimas iš scados sistemos  
  
    IF #CMD = 8  
    THEN  
        #CMD := 0;  
        #Auto_ON := 1;  
        #rezimas := #string1;  
    END_IF;  
  
    IF #CMD = 16  
    THEN  
        #CMD := 0;  
        #Auto_ON := 0;  
        #rezimas := #string2;  
    END_IF;
```

```
IF #Auto_ON OR #Remote_ON
THEN
    #CMD := 0;
END_IF;
```

//Jeigu rankinis valdymas „resetuojame“ automatinio valdymo komandą;

```
IF #Auto_ON=0
THEN
    #CMD_Auto := 0;
END_IF;
```

//sklendės užduoties ribų tikrinimas pagal maksimalias ribas

```
IF (#SP > #SP_max)
THEN
    #SP := #SP_max;
END_IF;
IF (#SP < #SP_min)
THEN
    #SP := #SP_min;
END_IF;
```

//***** Statusas *****

```
#Statusas.%X0 := #Gedimas_Nepasieke_padeties;
#Statusas.%X1 := #Gedimas_2_galinukai;
#Statusas.%X2 := #Auto_ON;
#Statusas.%X3 := #Manual_ON;
#Statusas.%X4 := #Atidaryta;
#Statusas.%X5 := #Uzdaryta;
#Statusas.%X6 := #Atsidarineja;
#Statusas.%X7 := #Uzsidarineja;
#Statusas.%X8 := NOT #Atsidarineja AND NOT #Uzsidarineja;
#Statusas.%X9 := 0;
```



```
#Statusas.%X10 := 0;
#Statusas.%X11 := 0;
#Statusas.%X12 := #Gedimas_Bendras_signalas;
#Statusas.%X13 := 0;
#Statusas.%X14 := 0;
#Statusas.%X15 :=0;
```

```
*****GEDIMU
GAUDYMAS*****
```

```
*****Suveikė abudu galinukai gedimo
gaudymas*****
```

```
IF #Atidaryta=0 AND #Uždaryta=0 AND #"2_galinukai_uzlaikymas">=4
THEN
    #Gedimas_2_galinukai := 1;
    #"2_galinukai_uzlaikymas" := 4;
ELSE
    #Gedimas_2_galinukai := 0;
END_IF;
```

```
IF #Atidaryta OR #Uzdaryta OR "Gedimai_DB".DI_Nera_itamos_ilgai
THEN
    #"2_galinukai_uzlaikymas" := 0;
END_IF;
```

```
*****Gaudom gedima, kad per ilgai tarpinėje
padėtyje*****
```

```
IF "Clock_1Hz" AND #Daryk_1_karta=0
THEN
    #Judesio_laiko_skaitliukas := #Judesio_laiko_skaitliukas + 1;
    #"2_galinukai_uzlaikymas" := #"2_galinukai_uzlaikymas" + 1;
END_IF;
#Daryk_1_karta := "Clock_1Hz";
```

```
//“Resetuojame“ judesio skaitliuką, kai yra suveikęs galiukas arba yra stop signalas
```

```
IF #Atsidarineja=0 AND #Uzsidarineja=0  
THEN  
    #Judesio_laiko_skaitliukas := 0;  
END_IF;
```

```
//Gaudome gedima kad per ilgai yra trapinėje padėtyje
```

```
IF (#Judesio_laikas <= #Judesio_laiko_skaitliukas)  
THEN  
    #Judesio_laiko_skaitliukas := #Judesio_laikas;  
    #Gedimas_Nepasieke_padeties := 1;  
    #Uzsidarineja := 0;  
    #Atsidarineja := 0;  
END_IF;
```

```
//*****  
*****
```

```
//          Garo katilo vandens lygis katile [ EP13 ] reguliavimas
```

```
//*****  
*****
```

```
"koreguotas_vandens_lygis" := "GK garo srautas(momentinis)".Perskaiciuotas_matavimas*"lygio  
korekcija";
```

```
    "PID_Lygio palaikymas katile_EP13"(Setpoint:="Sklande_GK_lygio".SP_aut,  
        Input:="AnalogoFB_GK vandens  
lygis".Perskaiciuotas_matavimas,  
        Disturbance:="koreguotas_vandens_lygis",  
        ManualEnable:="Sklande_GK_lygio".Auto_ON=0,  
        ManualValue:="Sklande_GK_lygio".SP,  
        Output_PER=>"GK maitinimo vandens vožtuvo valdymas");
```

```
IF "Sklande_GK_lygio".Auto_ON  
THEN
```

```
"Sklande_GK_lygio".SP := "Sklande_GK_lygio".PV;  
END_IF;
```

//Jeigu komanda nebuvo apdorota viso bloko metu tada ja „resetuojame“, nes ji yra bloga

```
IF #CMD <> 0  
THEN  
    #CMD := 0;  
END_IF;
```