

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Eugenijus Jankauskas

ATLIEKŲ DEGINIMO KOGENERACINĖS JĖGAINĖS
DALYVAVIMO PIRMINIAME DAŽNIO REGULIAVIME
TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Audrius Jonaitis

KAUNAS, 2018

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

ATLIEKŲ DEGINIMO KOGENERACINĖS JĖGAINĖS
DALYVAVIMO PIRMINIAME DAŽNIO REGULIAVIME
TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Elektros energetikos sistemos (kodas 621H63005)

Vadovas

_____ Doc. dr. Audrius Jonaitis

Recenzentas

_____ Lekt. dr. Donata Putnaitė

Projektą atliko

_____ Eugenijus Jankauskas

KAUNAS, 2018



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Eugenijus Jankauskas

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos, 621H63005

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pavadinimas“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 18 m. gegužės mėn. 28 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Eugenijaus Jankausko**, baigiamasis projektas tema „Atliekų deginimo kogeneracinės jėgainės dalyvavimo pirminiame dažnio reguliavime tyrimas“ 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)

Eugenijus, Jankauskas. **Atliekų deginimo kogeneracinės jėgainės dalyvavimo pirminiame dažnio reguliavime tyrimas.** *Magistro* baigiamasis projektas. Vadovas doc. dr. Audrius Jonaitis Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

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

Reikšminiai žodžiai: kogeneracinė jėgainė, pirminis dažnis, dažnio reguliavimas.

Kaunas, 2018. 39 p.

SANTRAUKA

Šiame darbe yra nagrinėjama pirminio dažnio reguliavimo galimybė panaudojant buitines atliekas deginančias kogeneracines jėgaines.

Teorinėje dalyje yra apžvelgiama buitinių atliekų deginimo kogeneracinė jėgainė ir jos komponentai. Nagrinėjami pagrindiniai blokai, dalyvaujantys technologiniame procese. Įvertinamos techninės charakteristikos ir inertiškumas.

Projektinėje dalyje atliekamas sistemos modeliavimas tam, kad išsiaiškinti tokio tipo kogeneracinių jėgainių galimybes dalyvauti pirminio dažnio reguliavime. Tam tikslui yra sudaromi dinaminiai modeliai ir MATLAB/SIMULINK programinės įrangos pagalba atliekamos simuliacijos. Rezultate matome skirtingų modelių galimybę dalyvauti pirminio dažnio reguliavime.

Jankauskas, Eugenijus. **Research Of Participation Of Combined Heat And Power Plant Of Burning Waste In Primary Frequency Control:** *Master's* thesis in supervisor assoc. Doc. Dr. Audrius Jonaitis. 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: Primary frequency, Frequency Control, Combined heat plant.

Kaunas, 2018. 39 p.

SUMMARY

In this work, the possibility of regulating primary frequency using municipal waste co-generation power plants is considered.

The theoretical part reviews the municipal waste incineration cogeneration plant and its components. The main blocks involved in the technological process are analyzed. The technical characteristics and inertia are evaluated.

In the project part a system modeling is carried out in order to find out the possibilities of such type of cogeneration power plants to participate in the regulation of the primary frequency. For this purpose, dynamic models are created and simulations are carried out using MATLAB / SIMULINK software. As a result, we see the ability of different models to participate in primary frequency regulation.

TURINYS

ĮVADAS.....	8
SAŲOKOS.....	10
1. KOMUNALINĖS ATLIEKAS DEGINANČIOS KOGENERACINĖS JĖGAINĖS SANDARA	11
1.1. Kogeneracinės jėgainės aprašymas.....	11
1.1.1. Kuro tiekimo sistema.....	12
1.1.2. Kuro deginimo sistema.....	13
1.1.3. Garo gamybos sistema.....	18
1.1.4. Elektros gamybos sistema.....	20
2. AKTYVIOS GALIOS VALDYMO METODAI.....	22
2.1. Aktyvios galios ir dažnio valdymo metodas.....	22
2.1.1. Greičio reguliavimo metodas	24
2.1.2. Generatoriaus reakcijos į apkrovos pasikeitimą metodas	24
3. GARO TURBINOS MODELIAVIMAS.....	26
3.1.1. Garo turbinos struktūrinė schema	26
3.1.2. Turbinos reguliatorių modelis	28
3.1.3. Generatoriaus agregato valdymo režimo modeliavimas.....	29
IŠVADOS.....	37
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	38

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

- 1 pav.** Schematinis, atliekas deginančios kogeneracinės jėgainės, vaizdas [11].
- 2 pav.** Buitinių atliekų tiekimo sistema [11].
- 3 pav.** Ardyno vaizdas [14].
- 4 pav.** Kuro degimo etapai per visą grotelių ilgį (schematinis brėžinys) [10].
- 5 pav.** Katilo pakuros pjūvio vaizdas [10].
- 6 pav.** Degimo metu pakuros vaizdas [14].
- 7 pav.** Pelenų šalinimo sistema [14].
- 8 pav.** Elektrostatinio filtro vaizdas [13].
- 9 pav.** Atbulinės osmozės įrenginių salė [15].
- 10 pav.** Natūralios cirkuliacijos katilas [12].
- 11 pav.** 440 MW galios garo turbinos schematinis vaizdas [16].
- 12 pav.** Bendras turbinos ir elektros generatoriaus vaizdas [17].
- 13 pav.** Generatoriaus tiekiamą galią izoliuotai apkrovai [2].
- 14 pav.** Perdavimo funkcija susijusi su greičiu ir sukimo momentu [2].
- 15 pav.** Perdavimo funkcija išreikšta per greitį ir galią [2].
- 16 Pav.** Blokinė diagrama su apkrovos slopinimo moduliu [2].
- 17 pav.** Suprastinta turbinos dinaminio modelio struktūrinė schema, kurioje neatsižvelgiama į TGT ($TGT = 0$) [18].
- 18 pav.** Klasikinio išpildymo garo turbinos dinaminio modelio struktūrinė schema [18].
- 19 pav.** Pagrindinio garo turbinos reguliavimo vožtuvo valdymo supaprastinta struktūrinė schema [18].
- 20 pav.** Agregato valdymo už savęs režimo modeliavimo schema.
- 21 pav.** Dažnio atsistatymo kreivė.
- 22 pav.** Galios atstatymo kreivė.
- 23 pav.** Generatoriaus agregato valdymo už savęs modeliavimo schema (ideali).
- 24 pav.** Dažnio atsistatymo kreivė (ideali).
- 25 pav.** Galios atstatymo kreivė (ideali).

ĮVADAS

Sistemos dažnis parodo aktyvios galios balansą tarp elektros energijos generavimo ir vartojimo. Bet koks neatitikimas tarp šių dviejų dedamųjų sąlygos sistemos dažnio nuokrypį nuo nominalios reikšmės. Normaliu režimu veikiant sistemai, elektros energijos generavimas ir vartojimas niekada nebūna tobulai subalansuoti. Taigi yra leidžiami tam tikri dažnio nuokrypiai, kurių ribų neviršydamą sistema veikia be sutrikimų. Lietuvoje galiojanti elektros sistemos nejautrumo zona yra ± 10 mHz, tačiau turi būti galimybė ją padidinti iki ± 20 mHz arba ± 200 mHz. Nejautrumo zona skaičiuojama nuo nominalaus sistemos dažnio 50 Hz. Taigi dažniui nukritus žemiau 49,8 Hz bus panaudotas pirminio dažnio reguliavimo mechanizmas [1].

Šiuo metu vis didesnę pagreitį įgauna atsinaujinančios energetikos plėtra. Pagrindiniai atsinaujinančios energijos šaltiniai yra saulės, vėjo ir bio-kuro. Saulės ir vėjo jėgainės yra labai priklausomos nuo klimatinės sąlygų, todėl yra labai sudėtinga jas integruoti į pirminio dažnio reguliavimo sistemą. Tačiau bio-kuro kūrenamos kogeneracinės jėgainės yra patikimos ir lengvai prognozuojamos, išskyrus „force majeure“ aplinkybes.

Taipogi populiarėja ir komunalinių atliekų deginimo jėgainės. Tai vyksta dėl pasaulyje plėtojamos žiedinės ekonomikos koncepcijos. Pasaulyje kas metai yra surenkama apie 1,24 mlrd. tonų komunalinių atliekų [8]. Atliekų kiekiai beveik tiesiogiai priklauso nuo valstybės išsivysimo lygio. Labiau išsivysčiusiose šalyse proporcijos tarp organinių atliekų ir įvairiausių pakuočių artėja prie santykio 1:1. Tai reiškia jog išmetus 1 toną biologiškai degraduojančių atliekų, susidarys 1 tona nereikalingų pakuočių.

Europos sąjungoje griežtėjant atliekų tvarkymo taisyklėms, daugelis jos narių pradėjo naudoti komunalinių atliekų deginimo technologijas. Šios technologijos ir jų sukuriamas procesas įgalina sumažinti atliekų masę iki 70% bei jų tūrį sumažinti iki 90%. Europoje jau yra pastatyta ir funkcionuoja daugiau nei 400 komunalines atliekas deginančių gamyklų [8]. Tačiau pasaulyje vis dar yra apie 80% atliekų išmetama į sąvartynus. Didžioji jų dalis nėra pritaikyti metano dujų surinkimui, todėl daro didelę žalą gamtai ir didina šiltnamio efektą [9]. Taigi buitines atliekas deginančių kogeneracinių jėgainių koncentracija pasaulyje sparčiai auga. Todėl atsiranda klausimas, ar tokio tipo kogeneracinės jėgainės galėtų dalyvauti pirminiame elektros dažnio reguliavimo procese.

Dar vienas svarbus aspektas norint palaikyti sistemos dažnį yra sistemos inercija, kuri oponuoja dažnio pokyčiui. Bet kuris besisukantis generatorius, prijungtas prie elektros sistemos, suteikia jai inercijos, bet tipiniai atsinaujinančios energijos generatoriai, tokie kaip vėjo turbinos ir saulės panelės, riboja šias galimybes. Vartotojo pusėje esantys varikliai taipogi galėtų suteikti

inercijos sistemai, tačiau didėjant dažnio keitiklių instaliacijoms ši galimybė mažėja. Inercija ir pirminio dažnio atsakas (PDA) sistemos viduje diktuoja dažnio kitimo dinamiką, kuri yra naudojama tam tikros apsaugai skirtos įrangos gebėjimui atjungti integruotus į sistemą generatorius. Matuoti DPA yra metodas, kuris padeda išvengti dažnio mažėjimą. Staigus dažnio sumažėjimas gali būti pastebėtas prieš jam pasiekiant kritinę reikšmę. Tačiau šis metodas gali sukelti netikrų aliarmų, kadangi sistemai dirbant normaliu režimu vyksta dažnių svyravimai. Taigi šis metodas turi būti naudojamas kartu su kitais metodais, padedančiais išvengti klaidingų rodmenų [1].

Šiuo metu Lietuva priklauso BRELL sistemai. Tai yra sistema kuriai priklauso Lietuva, Latvija, Estija, Baltarusija ir Rusija. Šiuo metu Lietuva neturi didelių problemų dėl pirminio dažnio reguliavimo, kadangi yra sąlyginai maža ir negali paveikti dažnio pokyčių sistemos. Bet netgi tokioje sistemoje Lietuva turi įsipareigojimų palaikyti vidinės sistemos balansą ties +/- 50 MW. Sistemos neįmanoma visiškai subalansuoti, tai įgyvendina pirminio dažnio regulatoriai, esantys Rusijoje.

Lietuvos planuose 2025m. yra numatytas sinchronizavimas su Europos energetine sistema. Tai daroma, norint atsiriboti nuo politinės Rusijos įtakos Lietuvai. Taigi norint įgyvendinti šiuos planus yra būtina užtikrinti patikimą pirminio dažnio reguliavimą mūsų elektros tinkle. Vienas iš būdų reguliuoti pirminį dažnį yra panaudoti atliekų deginimo kogeneracines jėgaines [6].

Šio **darbo tikslas** yra sudaryti dinامينius, atliekų deginimo kogeneracinės elektrinės modelius ir ištirti jų galimybę dalyvauti pirminiame dažnio reguliavime.

Darbo uždaviniai yra sekantys:

1. Išnagrinėti, atliekas deginančios kogeneracinės jėgainės, sandarą, jos privalumus ir trūkumus, norint dalyvauti pirminio dažnio reguliavime.
2. Sudaryti ir ištirti, atliekas deginančios kogeneracinės jėgainės, dinaminį modelį, bei jo galimybes dalyvauti pirminio dažnio reguliavime.
3. Matlab/Simulink aplinkoje sukurti idealų ir realų sistemų modelius.
4. Atlikti abiejų modelių simuliaciją ir gauti rezultatus.
5. Atlikti gautų rezultatų analizę.

Sąvokos

Pirminis reguliatorius – generatoriaus automatinis įtaisas, valdantis paduodamo į pirminį variklį (turbina) energijos nešiklio kiekį pagal generatoriaus veleno sukimosi dažnio nuokrypį. Jis formuoja generatoriaus statinę charakteristiką. Jei nereguliuoja dažnio, pirminis reguliatorius stabilizuoja generatoriaus galią. Pirminis reguliatorius gali dirbti tiek su antriniu reguliatoriumi, tiek ir be jo [1].

Pirminis reguliavimas – tai automatinis generatorių galios keitimas pirminiais reguliatoriais pagal iš anksto numatytą dažnio ir galios priklausomybę. Pirminis reguliavimas stabilizuoja dažnį su atitinkamu statizmu [1].

Pirminio reguliavimo diapazonas – pirminio reguliavimo galios keitimo ribos, kuriose pirminis reguliatorius, atsiradus dažnio nuokrypiui, gali automatiškai keisti generatoriaus generuojamą galią į abi puses (mažinti arba didinti) [1].

Reguliavimas „prieš save“ – tai aštraus garo slėgio prieš turbiną stabilizavimas, veikiant į turbinos reguliuojančius vožtuvus. Šis reguliavimo būdas užtikrina pirminio reguliavimo darbą likviduodamas pirminio reguliavimo rezultatą pereinamojo proceso metu, kurio trukmę nustato garo katilo arba branduolinio reaktoriaus dinaminės savybės. Elektrinės blokas, esant dažnio nuokrypiams, trumpam (10–20 sek.) keičia savo galią [1].

Reguliavimas „po savęs“ – tai aštraus garo slėgio prieš turbiną stabilizavimas, veikiant kuro padavimo į katilą reguliuojančius vožtuvus. Šis būdas leidžia veikti generatoriaus pirminiam dažnio reguliatoriui. Elektrinės blokas keičia savo galią, esant dažnio nuokrypiams. Elektros energetikos sistema (valdymo blokas ar jungtinė sistema), kurioje nėra vienas elektrinės blokas nedirba reguliavimo režime „prieš save“, turi geriausias savireguliacinio reguliavimo savybes dažnio nuokrypiams, taip pat efektyviausiai ir ekonomiškiausiai užtikrinamas dažnio stabilizavimas [1].

Nejautrumo zona – dažnio kitimo diapazonas, kuriame pirminis reguliatorius dėl jo elementų netobulumo nereaguoja į dažnio nuokrypius. Pageidautina, kad nejautrumo zona būtų galimai mažesnė, bet ne didesnė už ± 10 mHz. Specialiai nustatyta nejautrumo zona vadinamo neveikimo zona. Turi būti galimybė nustatyti neveikimo zoną ± 20 mHz arba ± 200 mHz (± 150 mHz). Pirminio reguliatoriaus ir antrinio reguliatoriaus nejautrumo zonos yra skirtingos [1].

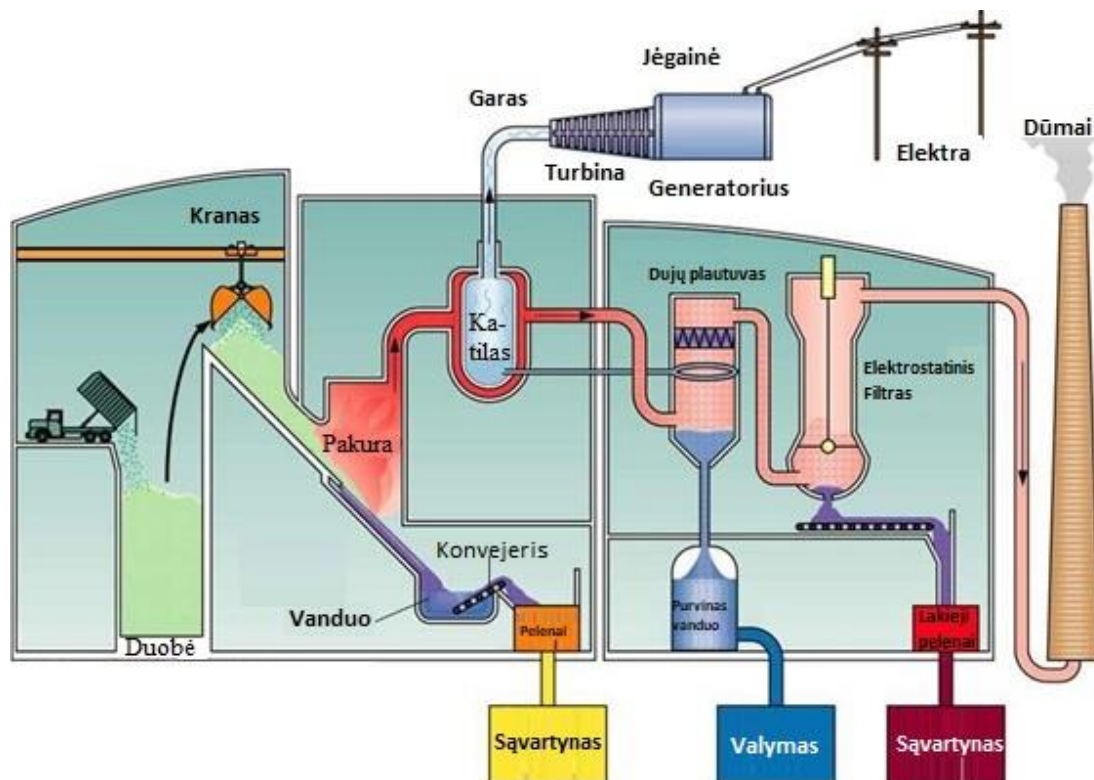
ADKJ – Atliekas deginanti kogeneracinė jėgainė.

1. KOMUNALINES ATLIEKAS DEGINANČIOS KOGENERACINĖS JĖGAINĖS SANDARA

1.1. Kogeneracinės jėgainės aprašymas.

Kogeneracinė jėgainė tai yra jėgainė kuri degina pirminį energijos šaltinį ir transformuoja į du antrinius energijos šaltinius. Kogeneracinė jėgainė apjungia savyje dvi technologijas: šilumos gamybą ir elektros energijos gamybą. Šie du procesai yra neatsiejami kogeneracijos komponentai. Taigi nagrinėjant tokios jėgainės parametrus reikia vertinti abiejų dedamųjų įtaką galutiniam rezultatui gauti.

Šiame darbe bus nagrinėjama atliekas deginanti kogeneracinė jėgainė. Kaip visa tai galima pavaizduoti schema, yra pateikiama paveikslėlyje (1 pav.).



1 pav. Schematinis, atliekas deginančios kogeneracinės jėgainės, vaizdas [11].

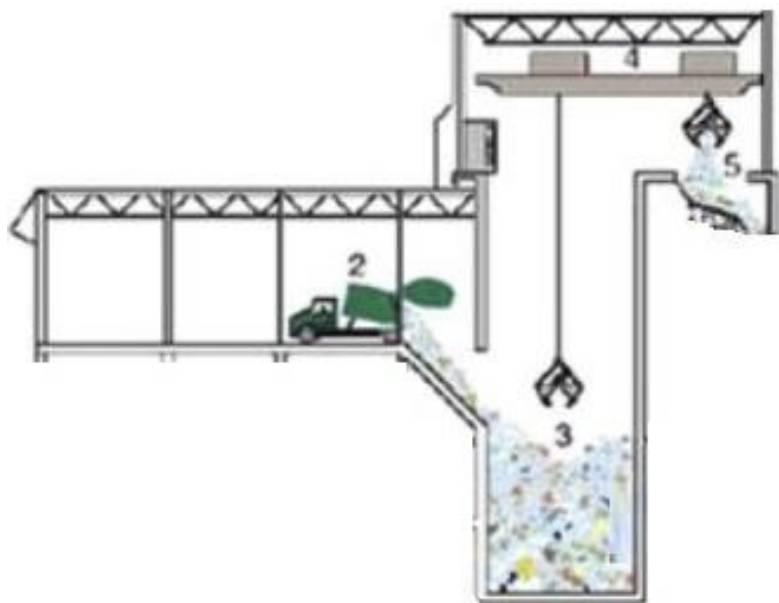
1.1.1. Kuro tiekimo sistema

Kaip matosi paveikslėlyje 1, pagrindiniai kuro padavimo elementai yra šie:

1. Bunkeris - skirtas atliekoms sandėliuoti;
2. Kranas – skirtas atliekoms tiekti iš bunkerio į katilo kuro padavimo sistemą;

Bunkeris dažniausiai skaičiuojamas su 3 dienų atsarga tam, kad kuro užtektų savaitgalių metu kai kurą transportuojančios įmonės nedirba. Yra galimybė bunkerį sumažinti, tačiau atsiranda rizika jėgainei sustoti dėl kuro tiekimo sutrikimų.

Bunkeris užpildomas panaudojant autotransportą. Kiekviena transporto priemonė yra pasveriami ir po to nukreipiama į buitinių atliekų iškrovimo vietą. Transporto priemonės gabenančios atliekas privalo turėti hidraulinius mechanizmus joms iškrauti. Išpiltos atliekos gravitacijos pagalba nuslysta į vimo bunkerį.



2 pav. Buitinių atliekų tiekimo sistema. 2 – išpylimo grindys; 3 – atliekų bunkeris; 4 – kranai; 5 – tarpinė atliekų tiekimo talpa. [11]

Jėgainėje įrengiami 2 kranai skirti atliekoms tiekti iš bunkerio į katilo kuro padavimo sistemą. Kiekvienas kranas turi turėti galimybę 100% aprūpinti katilo kuro poreikį. Tai daroma tam, kad įvykus vieno krano gedimui, kitas galėtų visiškai aprūpinti katilą kuru. Tokiu atveju yra didinamas kuro sistemos patikimumas (prieinamumas). Kranai funkcionuoja visiškai automatizuotu režimu. Kiekvienas turi lazerinę sekimo sistemą, kurios pagalba gali nustatyti

kuro aukštį bunkeryje. Automatinė krano valdymo sistema užprogramuota taip, kad kuras būtų semiamas vis iš kitos vietos ir tokiu būdu neužsistovėtų. Kurui užsistovėjus vienoje vietoje atsiranda pavojus savaiminiam užsiliepsnojimui. Tai atsitinka dėl bio-terminių procesų, kurių metu išsiskiria šiluma.

Taipogi tam, kad išvengti gaisro, bunkerio viršutiniame perimetre išdėstomi automatiniai gesintuvai su liepsnos jutikliais. Atsiradus pirmiems gaisro signalams, gesintuvai aktyvuojasi ir užpila vandeniu gaisro židinį.

1.1.2. Kuro deginimo sistema

Kaip matosi paveikslėlyje Pav.1, pagrindiniai kuro deginimo sistemos komponentai yra šie:

1. Ardynas (grotelės) – iš atskirų ardelių sudarytas konvejerinis mechanizmas;
2. Pakura – katilo vieta kur vyksta degimo procesas;
3. Dujiniai degikliai – reikalingi pirminiam kuro uždegimui;
4. Oro padavimo sistema – reikalinga kuro degimui reikalingo oro tiekimui;
5. Elektrostatinis filtras
6. Pelenų šalinimo konvejeris – skirtas pelenas šalinti iš katilo apatinės dalies;
7. Pelenų konteineris – skirtas pelenų sandėliavimui.



3 pav. Ardyno vaizdas [14].

Ardynas sudarytas iš metalinių ardelių, atsparių karščiui. Dažnai ardelės būna padengtos chromo sluoksniu. Tokiu būdu jos įgyja papildomą cheminį ir terminį atsparumą. Kranui patiekus kurą ant ardyno, jis lėtai juda žemyn katilo pakuroje. Kuro judėjimo greitis sureguliuojamas taip, kad galutiniame taške būtų pilnai sudegęs. O tai reiškia, kad yra maksimaliai panaudojama kuro energija. Degimo procesas prasideda kuro sluoksnio paviršiuje ir skverbiasi į gilesnius sluoksnius.

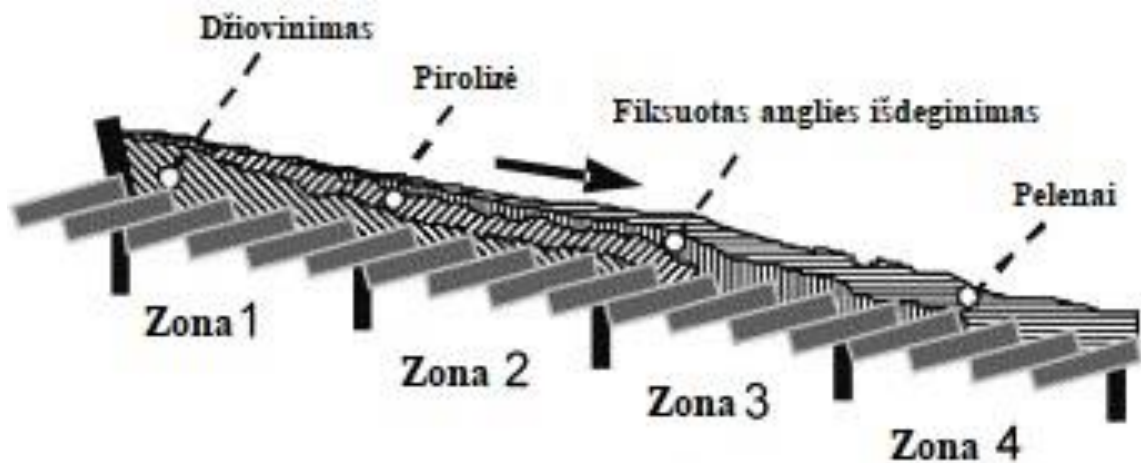
Galimi sekantys neefektyviai deginamo kuro scenarijai:

- a. Jeigu kuro kiekis tiekiamas ant grotelių yra pastovus.
 - a.1. Grotelės juda greičiau nei optimaliu apskaičiuotu greičiu, tada kuro sluoksnis ant grotelių bus plonesnis nei reikalaujama. To pasekmė – ne pilnai sudegęs kuras;
 - a.2. Grotelės juda lėčiau nei optimaliu apskaičiuotu greičiu, tada kuro sluoksnis ant grotelių bus storesnis nei reikalaujama. To pasekmė – ne pilnai sudegęs kuras.
- b. Jeigu grotelių judėjimo greitis yra pastovus.
 - b.1. Kuro kiekis tiekiamas ant grotelių yra mažesnis nei reikalaujama. To pasekmė – kuras sudegs anksčiau laiko;
 - b.2. Kuro kiekis tiekiamas ant grotelių yra didesnis nei reikalaujama. To pasekmė – ne pilnai sudegęs kuras.

Komunalinės atliekos patenkančios ant katilo grotelių dažniausiai turi savyje 20 – 25 % drėgmės. Norint tinkamai sudeginti šias atliekas, būtina ją išgarinti. Tam kad procesas veiktų optimaliai, būtina išlaikyti tris pagrindines deginimo sąlygas: laiką, temperatūrą ir turbulenciją.

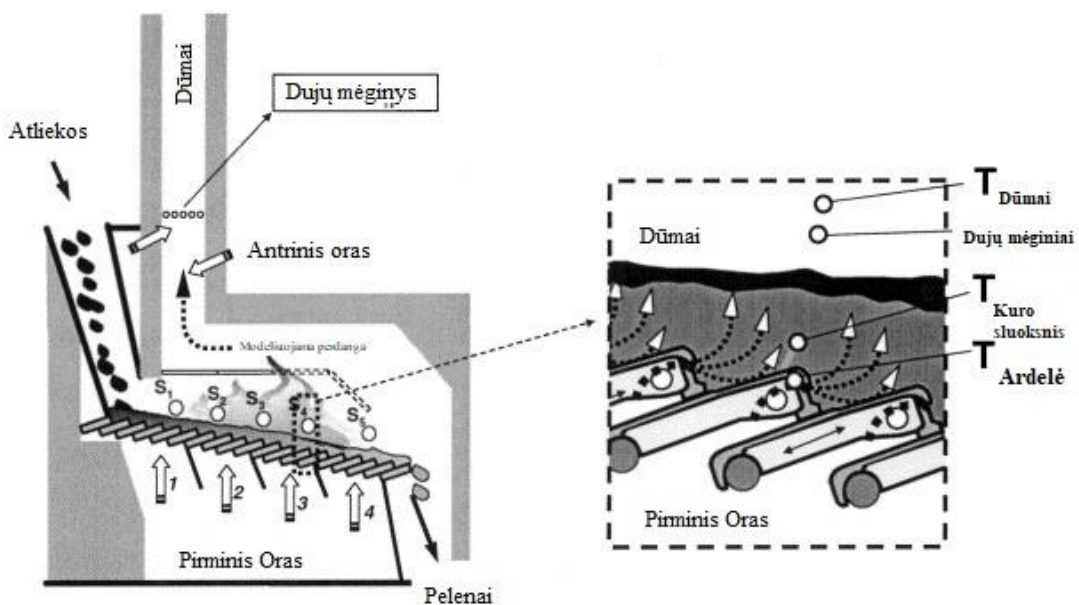
- Laikas – tai laiko tarpas per kurį komunalinės atliekos pereina per visas deginimo stadijas.
- Temperatūra – pakuroje įprastai siekia 982 °C ir yra tiesiogiai proporcinga laikui. Jeigu komunalinių atliekų buvimo pakuroje laikas nėra suderintas, tada temperatūra mažės.
- Turbulencija – ją sukuria pagalbinės sistemos, kurios padeda atliekoms judėti žemyn pakura. Judanti masė veikiama oro srautų sukuria turbulenciją[11].

Kaip matome paveikslėlyje 4 pav., nėra atskirų vertikalų kuro fazių džiovinimo, pirolizės, fiksuoto anglies išdegimo ir pelenų. Šie daliniai procesai persidengia vienas su kitu išilgai grotelių ašiai[10]. Matome jog kuro džiovinimo fazė vyksta pirmoje ir antroje zonose. Pirolizė vyksta pirmoje, antroje ir trečioje zonose. Fiksuotas anglies išdeginimas vyksta antroje, trečioje ir ketvirtoje zonose. Pelenai susidaro antroje, trečioje ir ketvirtoje zonose [10].



4 pav. Kuro degimo etapai per visą grotelių ilgį (schematinis brėžinys) [10].

Kuro degimo procesas taipogi reguliuojamas ir oro padavimo sistemos pagalba. Oro padavimo kiekis reguliuojamas pagal išmetamų dūmų sudėties analizatoriaus rodmenis. Analizatoriaus rodmenis analizuoja automatinė sistema ir reguliuoja paduodamo oro kiekį į atitinkamą pakuros vietą. Kaip matome paveikslėlyje 5, pirminis oras paduodamas į atskiras grotelių zonas pagal iš anksto sudarytą algoritmą, kurio parametrai koreguojami atlikus matavimus tam tikrose pakuros vietose. Šis oras taipogi padeda atšinti groteles ir saugoja jas nuo perkaitimo. Antrinis oras, cirkuliuoja virš deginimo masės ir užtikrina, jog būtų tiekiamas pakankamas kiekis deguonies, degimo procesui palaikyti.



5 pav. Katilo pakuros pjūvio vaizdas [10].



6 pav. Degimo metu pakuros vaizdas [14]

Pelenų šalinimo sistemoje yra numatytas pelenų drėkinimas, tokiu atveju pelenai patenkantys ant pelenų konvejerio būna atvėsinti ir nedulka. Jeigu šio technologinio proceso nebūtų, tuomet susidarytų sprogimui pavojinga aplinka ir įrenginį būtų pavojinga eksploatuoti.



7 pav. Pelenų šalinimo sistema [14].

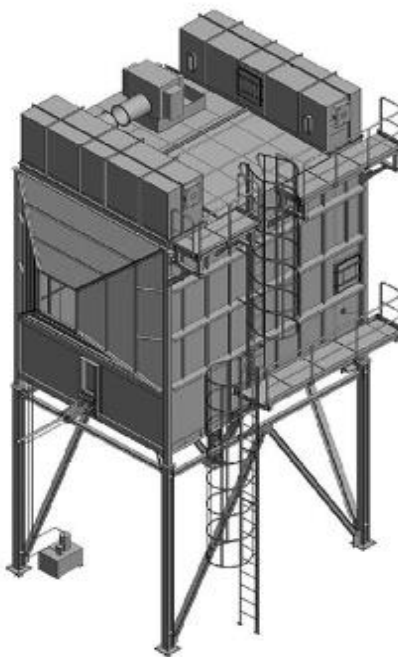
Pelenai patekę į pelenų konteinerį. Konteineris yra uždaro tipo ir turi savyje lygio jutiklius. Kai lygio jutikliai užfiksuoja, jog konteineris užsipildė, signalas perduodamas į centrinį valdymo pultą. Operatorius gavęs signalą, pagal numatytą procedūrą ištuština konteinerį. Pelenai išvežami į sąvartyną arba neutralizuojami kitais būdais.

Ne ką mažiau reikalinga yra ir dūmų valymo sistema. Šiuo atveju jėgainėje yra naudojamas elektrostatinis filtras. Elektrostatiniai filtrai yra skirti bio-kuro katiluose, degimo metu susidariusiems dūmams valyti. Kadangi katilai nesudegina kuro 100% tai dūmuose lieka kietųjų dalelių, kurių norma šiose dujose reglamentuoja aplinkosauginiai reikalavimai [13].

Ištyrus arba apskaičiavus dūmuose esančių kietųjų dalelių kiekį ir žinant aplinkosauginius reikalavimus konkrečioje vietovėje, parenkama elektrostatinio filtro konstrukcija ir aktyvių valymo elementų skaičius. Dažniausiai pakanka vieno arba dviejų aktyvių valymo elementų.

Sugaudytų dalelių šalinimas vyksta per filtro dugne esančius kūgio formos talpas. Gravitaciniu būdu nešvarumai sukrenta į talpos dugną ir per angą, esančią šios talpos apačioje, sukrenta ant sraigtinio transporterio. Galiausiai sraigtinis transporteris nutransportuoja nešvarumus į pelenų talpas ir iš ten išgabenami utilizavimui [13].

Elektrostatinio filtro vaizdą galite matyti paveikslėlyje 8.



8 pav. Elektrostatinio filtro vaizdas [13].

1.1.3. Garo gamybos sistema

Kaip matosi paveikslėlyje 1, garo gamybos sistemos komponentai yra šie:

1. Dūmų kanalas – aukštos temperatūros degimo produktai šalinami per dūmų kanalą;
2. Skruberis – skirtas atvėsintų dūmų pirminiam valymui ir likutinės energijos panaudojimui;
3. Garo katilas – jame vanduo verčiamas garu, kuris panaudojamas turbinos sukimui;
4. Vandens paruošimo sistema – vykdomas vandens minkštinimas ir geležies šalinimas.

Tam, kad išgauti švarų garą yra svarus geras vandens paruošimas (išvalymas nuo kenksmingų garo katilui ir turbinai priemaišų). Tai daroma norint išvengti tiek garo katilo, tiek garo turbinos sudedamųjų dalių korozijos ir mechaninių pažeidimų. Ypatingai jautri yra turbinos menčių sistema. Dėl blogos kokybės garo atsiradus garo turbinos menčių pažeidimai gali sunaikinti turbiną. Kadangi turbina sukasi ypatingai dideliais greičiais ir bet koks disbalansas gali ją negrįžtamai sugadinti.

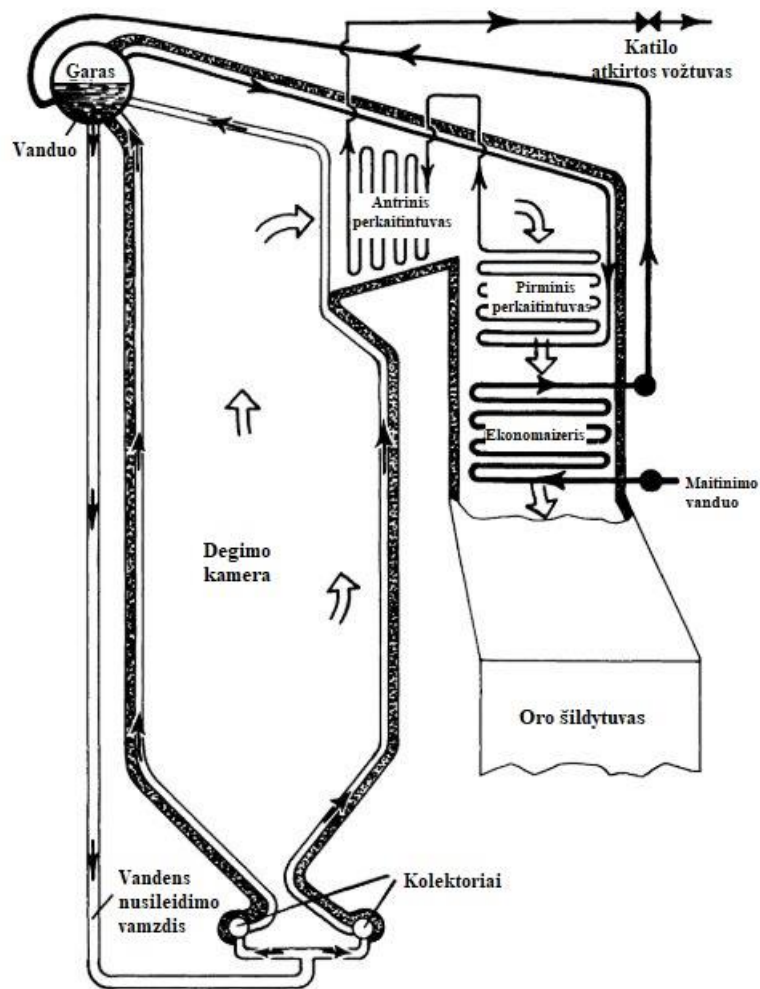
Taigi garo gamybai tiekiamas vanduo yra apdorojamas atbulinės osmozės įrenginiuose, kuriuos matome paveikslėlyje 9 [15].



9 pav. Atbulinės osmozės įrenginių salė [15].

Atbulinės osmozės įrenginiai sunaikina bakterijas, pašalina iki 90% organinių junginių ir iki 99% ištirpusių vandenyje druskų. Šių įrenginių privalumas yra, jog nereikia dozuoti cheminių medžiagų vandens valymui. Šių įrenginių aptarnavimas nereikalauja pastovios priežiūros ir yra nesudėtingas [15].

Pagrindinis katilinės komponentas yra katilas.



10 pav. Natūralios cirkuliacijos katilas [12].

Katilai, kurie veikia žemesniu nei 160bar slėgiu, dažniausiai yra natūralios cirkuliacijos. Tokio tipo katilai pavaizduoti paveikslėlyje 10. Su tokia katilo struktūra, vanduo tiekiamas į katilo būgną yra žemesnės nei virimo temperatūros. Iš katilo būgno vanduo leidžiasi žemyn vandens nusileidimo vamzdžiais ir pasiskirsto apatiniame kolektoriuje. Kolektoriai aprūpina degimo kameros sienelėse sumontuotus vamzdžius vandeniu. Šiuose vamzdžiuose dalis vandens virsta garu. Vandens tankis nusileidimo vamzdžiuose yra didesnis nei vamzdžiuose kuriais vandens ir garo mišinys patenka į katilo būgną. Taigi dėl šios priežasties ir vyksta natūrali vandens cirkuliacija katile. Tačiau jeigu katilo darbinis slėgis viršija 160bar, tuomet natūrali vandens cirkuliacija pasidaro negalima ir cirkuliacijai palaikyti naudojami cirkuliaciniai siurbiai [12].

Tam, kad padidinti garo katilo efektyvumą, vanduo tiekiamas per dūmų kanale sumontuotą šilumokaitį kurį vadina „ekonomaizeriu“. Šilumokaitis yra dūmai-vanduo tipo. Išvalytą vandenį siurbliai tiekia per „ekonomaizerį“ į katilo būgną. Vanduo pakaitinamas beveik iki virimo temperatūros.

Tam, kad būtų galima pasiekti reikiamus garo parametrus, reikalingų garo turbinos veikimui, yra naudojami garo perkaitintuvai. Garo katilo būgne esantis garas tiekiamas į pirminį perkaitintuvą, o vėliau į antrinį garo perkaitintuvą. Pirminis ir antrinis garo perkaitintuvai yra išdėstyti katilo dūmų kanale taip, jog efektyviai išnaudotų dūmų energiją. Mūsų atveju garo pasiekiami sekantys garo parametrai: slėgis – 7MPa, temperatūra – 450C°, kiekis – 26kg/s. Šis garas yra tiekiamas į garo turbiną tolimesnei energijos konversijai.

Skruberyje papildomai yra apdorojami dūmai. Į skruberio vidų yra purškiamas vanduo ir tokiu būdu pašalinama dalis kietųjų dalelių esančių dūmuose. Vanduo su kietosiomis dalelėmis patenka į įrenginio apačioje esantį surinkimo rezervuarą ir pagal numatytas procedūras utilizuojamas. Šis įrenginys pašalina didelę dalį kietųjų dalelių tačiau, norint išvalyti dūmus iki reikalaujamų parametru, reikia sumontuoti elektrostatinis filtras. Taigi pirminis dūmų valymas vyksta skruberyje, o galutinis dūmų valymas vyksta elektrostatiniam filtre.

1.1.4. Elektros gamybos sistema

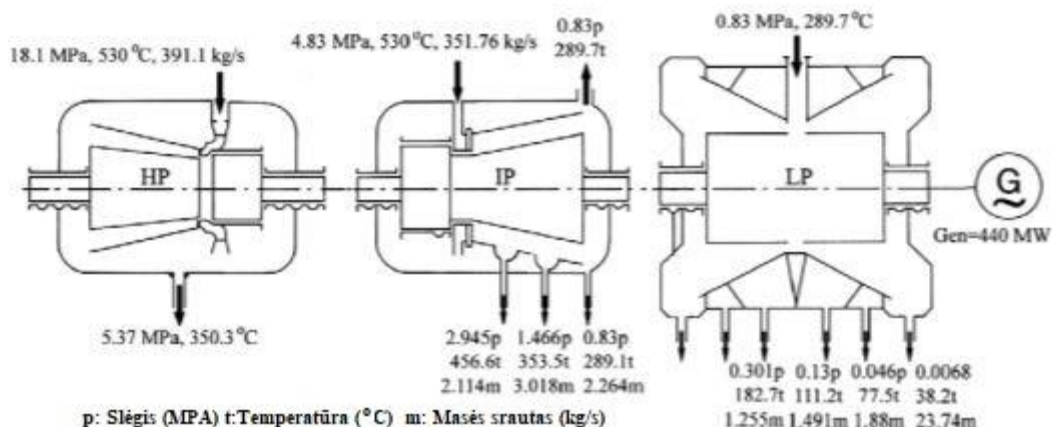
Kaip matosi paveikslėlyje 1, elektros gamybos sistemos komponentai yra šie:

1. Garo turbina – skirta garo energiją paversti mechanine energija;
2. Elektros generatorius – skirtas mechaninę energiją paversti elektros energija;

Atsižvelgiant į reikalingą galią, instaliacijos pobūdį ir pageidaujamą rezultatą, yra montuojamos skirtingo sudėtingumo turbinos. Kogeneracinėms jėgainėms dažniausiai naudojamos daugiapakopės turbinos, kurių naudingo veikimo koeficientas yra didžiausias.

Garų turbinos yra suskirstytos į tris dalis: aukšto slėgio, vidutinio slėgio ir žemo slėgio.

Aukštų parametru garas patenka į garo turbiną. Garo turbinoje ant veleno, keliomis eilėmis, yra išdėstytos mentės. Garas patenka į garo turbinos centrinę dalį ir sukauptą energiją perduoda į jos menčių sistemą bei suteikia energiją kuri suka garo turbinos veleną. Likutinė garo energiją po turbinos kondensatorių yra tiekama šilumos pavidalu į centralizuotos šilumos tiekimo sistemą. 440MW elektrinės galios garo turbinos konfigūracija pavaizduota paveikslėlyje 11 [16].



11 pav. 440 MW galios garo turbinos schematinis vaizdas [16].

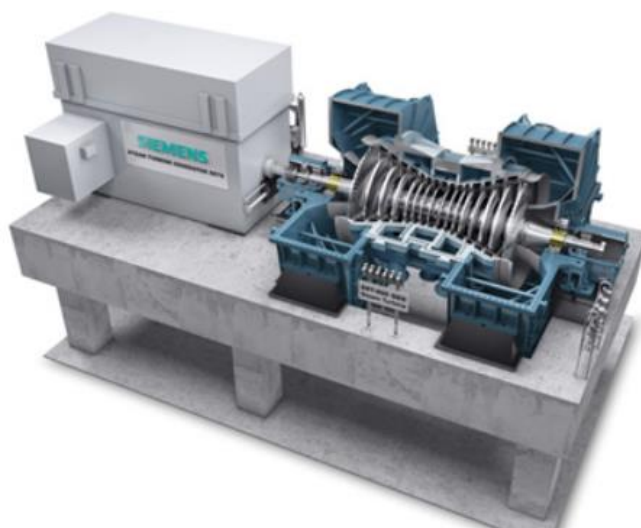
Žymėjimai turi atitinkamas reikšmes: HP – aukšto slėgio dalis, IP – vidutinio slėgio dalis, LP – žemo slėgio dalis.

Aukšto slėgio perkaitintas garas perneša energiją į turbiną. Pirmiausia jis patenka į aukšto slėgio turbinos dalį. Ten garas plečiasi ir suteikia energijos turbinos mentėms. Vėliau garas patenka į garo kaitintuvo vamzdyną. Paveikslėlyje Pav. 20 pavaizduotu atveju aukšto slėgio turbinos išėjime garo parametrai yra sekantys: temperatūra – 351 °C ir slėgis – 5,37MPa. Atvėšęs garas prateka pro drėgmės atskyriklį, kur tampa sausu. Atskirta drėgmė transportuojama į aukšto slėgio šildytuvą, o sausas garas į pakaitinimo šildytuvus.

Pašildytas garas 535 °C, bet jau žemesnio slėgio – 4,83MPa tiekiamas į vidutinio slėgio turbiną. Čia garas perduoda dalį savo energijos turbinos mentėms. Panaudotas garas tiekiamas į žemo slėgio turbiną. Šio garo parametrai, prieš patenkant į žemo slėgio turbiną, yra sekantys: 289 °C ir slėgis – 0,83MPa [16].

Likęs garas panaudojamas vandens šildymo sistemoms ir dalyvauja garo gamybos cikle.

Garų turbinos velenas yra mechaniškai sujungtas su elektros generatoriaus vėlu. Sujungimo vietoje yra naudojamos specialios guminės movos, kurios padeda sumažinti garo turbinos veleno perduodamas vibracijas. Bendras turbinos ir generatoriaus vaizdas parodytas paveikslėlyje 12.



12 pav. Bendras turbinos ir elektros generatoriaus vaizdas [17].

Elektros generatorius iš garo turbinos perduotą mechaninę jėgą verčia elektros energija, kuri per skirstomuosius įrenginius tiekama į elektros tinklą. Generatoriaus galios kėlimo greitis yra 10%/min. Galios reguliavimo ribos yra nuo 60% iki 100%.

2. AKTYVIOS GALIOS VALDYMO METODAI

2.1. Aktyvios galios ir dažnio valdymo metodas

Normaliam elektros sistemos funkcionavimui yra būtina jog sistemos dažnis būtų beveik nekintantis (50Hz). Santykinai tikslus dažnio reguliavimas užtikrina sinchroninių ir indukcinų variklių greičio stabilumą. Generatorių greičio stabilumui įtakos turi visos kogeneracinės sistemos komponentai, tokie kaip kuro padavimo sistema, vandens tiekimo sistema, oro tiekimo sistema ir kt. dažnio sumažėjimas elektros sistemoje gali sukurti dideles įmagnetinimo sroves indukcinuose varikliuose ir transformatoriuose [2].

Rimtos pasekmės gali atsirasti jeigu sistemos dažnis sumažės iki kritinių reikšmių. Tokiu atveju gali atsirasti izoliuotos zonos, kurios bus atjungtos nuo tinklo. Tokiose zonose gali atsijunginėti turbinos ar kiti elektrą generuojantys šaltiniai ir taip sukelti elektros tinklo griūtį.

Yra dvi pagrindinės problemos susijusios su įrangos veikimu žemo dažnio elektros tinkle. Abi šios priežastys yra susijusios su šiluminėmis jėgainėmis.

Pirmoji problema gali sukelti nepageidautinas ir pavojingas turbinos menčių vibracijas. Eksploatuoti turbinas prie mažesnio nei 58,5 HZ dažnio yra griežtai ribojama. Turbinos

vibracijos gali sukelti metalo nuovargį kuris įtakotų visišką turbinos sunaikinimą prie nominalių apsukų.

Antroji problema susijusi su jėgainės periferine įranga, kuri veikia naudodama indukcinis variklius. Kai elektros tinklo dažnis sumažės daugiau nei 57Hz, jėgainės pajėgumai gali drastiškai sumažėti dėl sumažėjusios vandens tiekimo siurblių ir oro tiekimo ventiliatorių galios. Dažniui pasiekus kritines reikšmes, jėgainė bus atjungta nuo elektros tinklo.

Taigi norint išvengti minėtų pasekmių yra būtina atstatyti darbinį dažnį kaip įmanoma greičiau. Tai atlikus izoliuotos sistemos vėl galės sinchronizuotis su tinklu ir išvengti avarijos.

Pirminės kogeneracinės sistemos dalys turi tam tikrų apribojimų, kurie įtakoja jos galimybes dalyvauti pirminio dažnio reguliavime. Šie apribojimai yra sekantys:

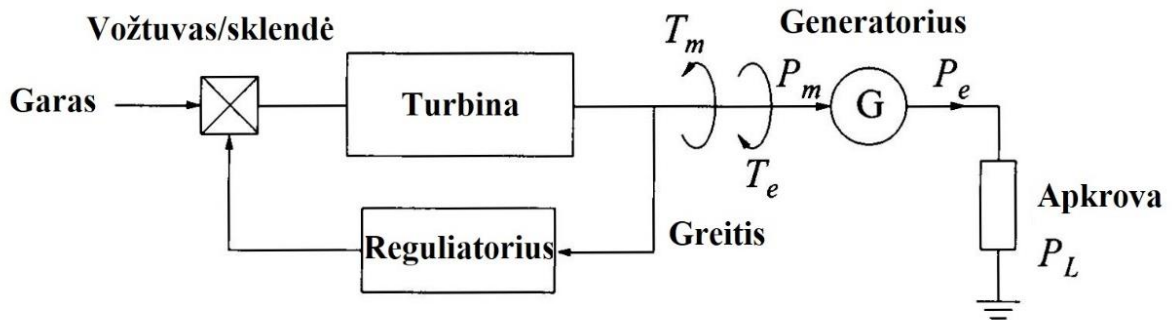
1. Generavimas gali būti padidintas tik iki besisukančio rezervo, paveiktoje zonoje, ribų.
2. Šiluminės dalies galia, kuri gali būti padidinta, apribota šilumine perkrova turbinoje. Normaliomis sąlygomis greitai galima padidinti tik apie 10% turbinos nustatytos galios, neperkraunant turbinos termodinaminėmis jėgomis.
3. Katilo galimybė staigiai padidinti galią yra ribota. Kai atidaromos, garo tiekimo į turbiną, sklendės, garo slėgis katile pradeda mažėti. Slėgio atstatymui katile reikalingas papildomas kuro kiekis. Tačiau šita dalis yra inertiškiausia ir visai netinka dalyvauti pirminio dažnio reguliavime.
4. Valdymo sistema taipogi turi nuo 3 iki 5 sekundžių uždelsimą.

Sistemos dažnis priklauso nuo aktyvios galios balanso. Kadangi dažnis yra bendras visos sistemos veiksnys, taigi pakitus aktyvios galios poreikiui atitinkamai gali pakisti ir dažnio reikšmė. Kadangi sistemoje yra daug generuojančių šaltinių, turi būti numatytos tam tikros priemonės, leidžiančios apkrovos pokyčius paskirstyti generavimo šaltiniams. Kiekvieno generatoriaus greičio reguliavimas suteikia pirminio greičio reguliavimo funkciją, kai tuo tarpu papildomas valdymas centralizuotai paskirsto generavimą. Generavimo ir dažnio valdymas dažniausiai suprantamas kaip *apkrovos-dažnio reguliavimas* (ADR) [2].

Pirmiausiai apžvelgsime pirminio greičio reguliavimo reikalavimus, o vėliau aptarsime papildomus valdymo būdus.

2.1.1. Greičio reguliavimo metodas

Pagrindines greičio reguliavimo koncepcijas geriausiai iliustruoja izoliuoto generatoriaus energijos tiekimas vietinei apkrovai, paveikslėlyje 13. Valdymo sistema reguliuoja, garo tiekimo į turbiną, sklendę tam, kad sugrąžinti dažnio reikšmę į darbinę būseną.

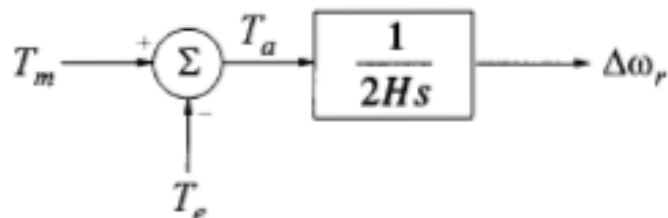


13 pav. Generatoriaus tiekama galia izoliuotai apkrovai [2].

T_m – mechaninis sukimo momentas, P_m – mechaninė galia, T_e – elektrinis sukimo momentas, P_e – elektrinė galia, P_L – apkrovos galia

2.1.2. Generatoriaus reakcijos į apkrovos pasikeitimą metodas

Kai atsiranda apkrovos pokytis, jis akimirksniu pasireiškia kaip pokytis generatoriaus elektrinio sukimo momento išėjime T_e . To pasekmė yra atsiradęs nesutapimas tarp mechaninio sukimo momento T_m ir elektrinio sukimo momento T_e , kuris įtakoja greičio svyravimus apibūdintus judesio lygtyje [2].



14 pav. Perdavimo funkcija susijusi su greičiu ir sukimo momentu [2].

s – Laplaso operatorius, T_m – mechaninis sukimo momentas (sv), T_e – elektrinis sukimo momentas (sv), T_a – greitėjimo sukimo momentas (sv), H – inercijos konstanta (MW-sec/MVA), $\Delta\omega_r$ – rotoriaus greičio nuokrypis (sv).

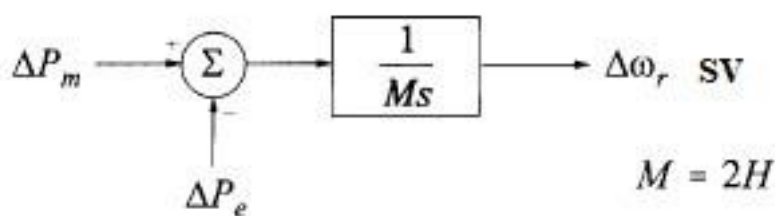
Apkrovos-dažnio analizei, pageidautina išreikšti santykį tarp mechaninės ir elektrinės galių, o ne sukimo momento. Santykis tarp galios P ir sukimo momento T aprašoma taip:

$$P = \omega_r T. \quad (1)$$

Išspendę lygčių sistemas gauname, kad

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \Delta T_m - \Delta T_e. \quad (2)$$

Taigi paveikslėlyje (15 pav.) parodyta funkcija gali būti išreikšta per ΔP_m ir ΔP_e .



15 pav. Perdavimo funkcija išreikšta per greitį ir galią [2].

Mums rūpimame greičio svyravimo diapazone, turbinos mechaninė galia iš esmės yra vožtuvo padėties funkcija ir nepriklauso nuo dažnio [2].

Bendruoju atveju elektros sistemos apkrova susideda iš įvairių elektros sistemos įrenginių. Varžos apkrovoms, tokioms kaip apšvietimas ir šildymas, elektrinė galia nepriklauso nuo dažnio. Tačiau elektros variklių galia kinta, kintant dažniui. Bendruoju atveju galios priklausomybė nuo dažnio gali būti išreikšta sekančiai:

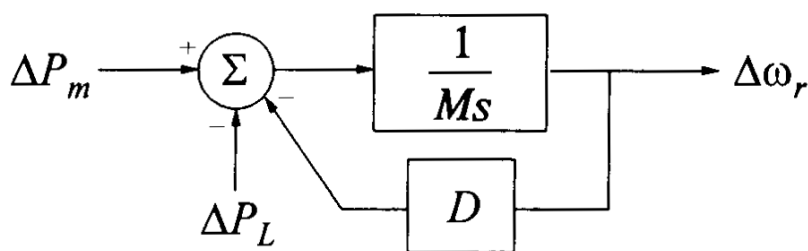
$$\Delta P_e = \Delta P_L + D \Delta \omega_r \quad (3)$$

ΔP_L – apkrovos pokytis (nejautrus dažnio pokyčiams);

$D \Delta \omega_r$ - apkrovos pokytis (jautrus dažnio pokyčiams);

D – apkrovos slopinimo pastovioji.

Slopinimo pastovioji yra išreikšta kaip apkrovos procentinis pokytis vienam procentiniam dažnio pokyčiui. Tipinės D reikšmės yra tarp 1 ir 2 procentų. Reikšmė $D=2$ reiškia jog 1% dažnio pokytis įtakos 2% apkrovos pokytį [2].



16 Pav. Blokinė diagrama su apkrovos slopinimo moduliu [2].

3. GARO TURBINOS MODELIAVIMAS

3.1.1 Garo turbinos struktūrinė schema

Standartinėse garo turbinose, garui plečiantis, šiluminė garo energija yra paverčiama mechanine. Pilnoji garo turbinos galia PT yra visų turbinos galių suma. Kiekvieno garo turbinos cilindro galia proporcinga atitinkamam cilindru tekančio garo srautui [18]:

$$PT = PA + PV + PŽ = QA \cdot KA + QV \cdot KV + QŽ \cdot KŽ; \quad (4)$$

žymėjimai $PA, PV, PŽ$ yra atitinkamos aukšto, vidutinio bei žemo slėgio cilindų galios, o žymėjimai $QA, QV, QŽ$ yra atitinkami aukšto, vidutinio ir žemo slėgio garo srautai. $KA, KV, KŽ$ - vidutinio ir žemo slėgio garo proporcingumo faktoriai. Kai nėra tarpinio garo nuėmimo galime manyti, jog visų cilindų garo srautai yra vienodi. Tuomet galios turbinos išraiška supaprastėja [18]:

$$PT = QT (KA + KV + KŽ); \quad (5)$$

QT yra turbina pratekančio garo srautas.

Turbinai veikiant normaliu režimu, ja tekantis garo srautas yra lygus aukšto slėgio cilindro garo srautui ($QT = QA$) [18].

Turbinos garo srautų ir galios dinamiškai pereinamųjų procesų metu didelę įtaką turi šilumą akumuliuojančios turbinos talpos: tarpinis garo perkaitintuvas, pagrindinio reguliavimo vožtuvo

garo dėžė, cilindrus jungiantys vamzdiniai. Klasikinio išpildymo garo turbinos, sudarytos iš aukšto, vidutinio ir žemo garo slėgio cilindų, tarpinio garo perkaitintuvo, garotakio tarp vidutinio ir žemo slėgio cilindų bei turbinos pagrindinio reguliavimo ir vidutinio garo slėgio reguliavimo vožtuvų, dinaminio modelio struktūrinė schema pateikta paveikslėlyje 17. Čia pT , pV , μT , μV , – garo slėgiai turbinos įėjime ir tarpiniame garo perkaitintuve bei pagrindinio reguliavimo vožtuvo ir vidutinio slėgio reguliavimo vožtuvų plotai; TGD , TP , TGT – garo dėžės, tarpinio garo perkaitintuvo ir garotakio tarp vidutinio ir žemo slėgio cilindų laiko pastoviosios; QA , QV , $Q\check{Z}$ – aukšto, vidutinio ir žemo slėgio turbinos cilindų garo srautai. Didžiausios šilumą akumuliuojančios talpos yra tarpiniame garo perkaitintuve. Dėl jų šuoliškai pasikeitus reguliuojančių vožtuvų padėčiai tik dalis galios su nedidele inercija, kuri charakterizuojama garo dėžės šilumos akumuliacija, perduodama turbinos velenui. Kita galios dalis, kurią išvysto vidutinio ir žemo slėgio cilindrai, velenui perduodami su daug didesniu inertiškumu, kuris apibūdinamas tarpinio garo perkaitintuvo šiluminės akumuliacijos geba.

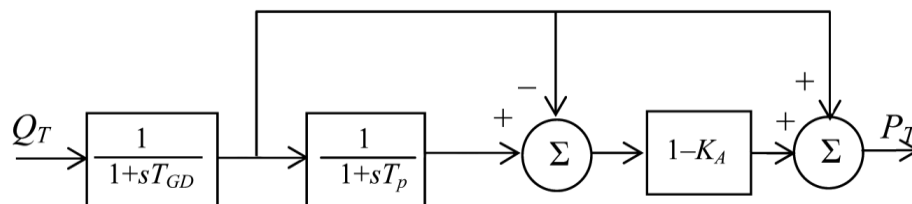
Be tarpinio garo nuėmimo turbinos aukšto, vidutinio ir žemo slėgio cilindų santykinių galių suma yra lygi vienetui :

$$KA + KV + K\check{Z} = K = 1. \quad (6)$$

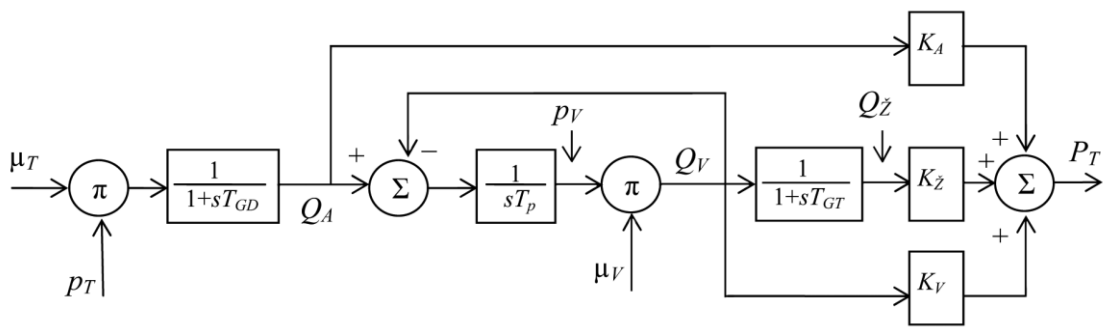
Suminę santykinę galią K įstačius į perdavimo funkciją, gausime sekančią išraišką [18]:

$$W_T = \frac{1}{1+T_{GD}\cdot s} \cdot \left[K - K_V \cdot \frac{T_P \cdot s}{1+T_P \cdot s} - K_{\check{Z}} \cdot \left(\frac{T_P \cdot s}{(1+T_P \cdot s) \cdot (1+T_{GT} \cdot s)} + \frac{T_{GT} \cdot s}{(1+T_{GT} \cdot s)} \right) \right]. \quad (7)$$

Panaudojus šią perdavimo funkciją sudarome paprastesnę turbinos modelio schemą. Kadangi suminė santykinė galia lygi vienetui ir neatsižvelgiame į laiko pastoviąją kuri yra garo tiekimo vamzdyno tarp vidutinio ir žemo slėgio turbinos sekcijų, laikant $TGT = 0$, turbinos modelio schema supaprastėja. Tai matome paveikslėlyje 17 [18].



17 pav. Suprastinta turbinos dinaminio modelio struktūrinė schema, kurioje neatsižvelgiama į TGT ($TGT = 0$) [18].

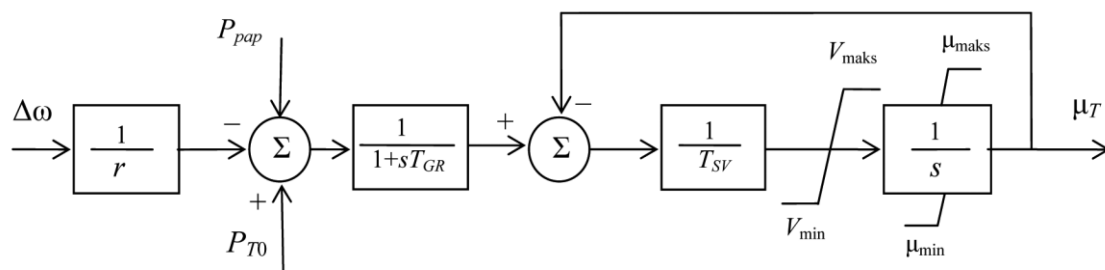


18 pav. Klasikinio išpildymo garo turbinos dinaminio modelio struktūrinė schema [18]

3.1.2 Turbinos reguliatorių modelis

Greičio reguliatorius, bei turbinos valdymo mechanizmas yra pagrindiniai turbinos galios reguliavimo įrenginiai. Greičio reguliatorius reaguoja į turbinos mechaninio veleno sukimosi greičio nuokrytį nuo iš anksto nustatytos vertės. Turbinos valdymo mechanizmo paskirtis yra keisti jos darbo tašką PT_0 . Turbinos mechaninio veleno sukimosi greičio pokytis ir jos galia PT_0 nusako pagrindinio turbinos reguliavimo vožtuvo plotą. Reguliavimo metu reguliavimo vožtuvo elgsena priklauso nuo turbinos greičio regulatoriaus R ir jo statizmo, bei variklių, dalyvaujančių reguliavime, laiko pastoviųjų TGR , TSV [18].

Pagrindinio garo turbinos reguliavimo vožtuvo valdymo supaprastinta struktūrinė schema pateikta paveikslėlyje 19. Schemoje pavaizduotos V_{maks} , V_{min} , yra maksimalios pagrindinio reguliavimo vožtuvo atidarymo ir uždarymo greičių vertės, o μ_{maks} , μ_{min} – yra maksimalios ir minimalios leistinos garo vožtuvo ploto vertės [18].



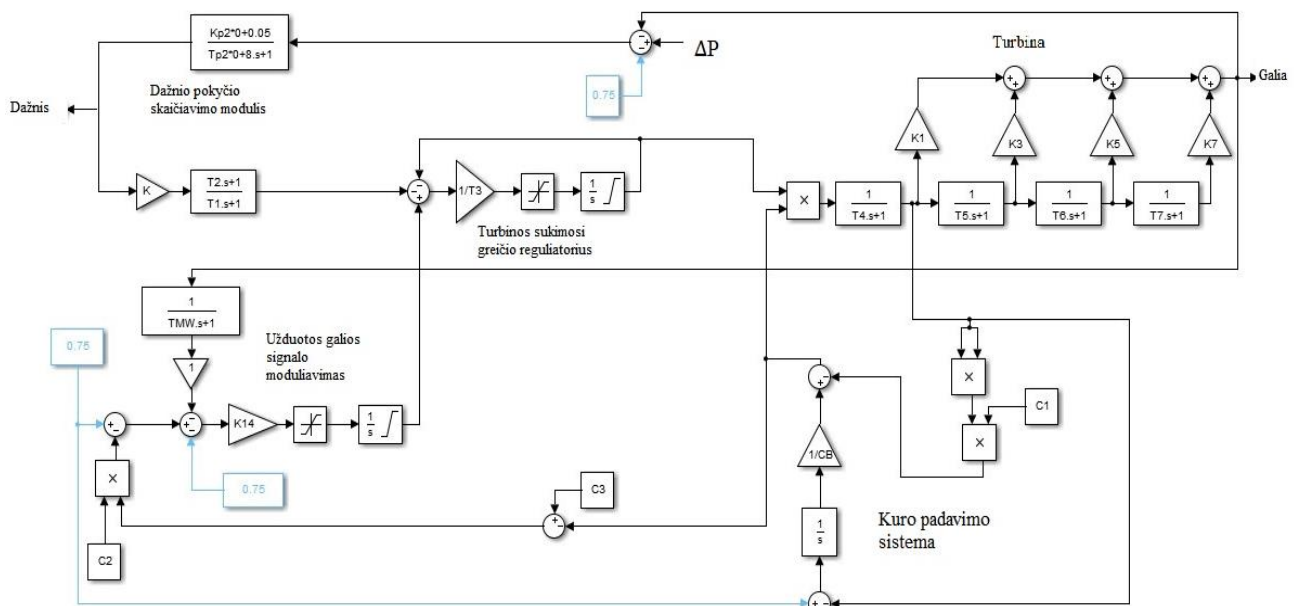
19 pav. Pagrindinio garo turbinos reguliavimo vožtuvo valdymo supaprastinta struktūrinė schema [18]

3.1.3 Generatoriaus agregato valdymo režimo modeliavimas

Tradicinio valdymo garo agregatai yra valdomi „už savęs“ principu. Čia elektros generavimo pokyčiai yra valdomi turbinos valdymo vožtuvų pagalba. Katilo valdymo sistema aktyvuojasi tik atsiradus slėgio pokyčiui garo katilo talpoje arba garo sraute, tekančiame per valdymo sklendes.

Tokio valdymo metu turbinai yra prieinamas energijos resursas kurį sukaupė katilo garo talpa ir garo perkaitintuvas, bei vamzdynas. Taigi atsiradus staigiam galios poreikiui, garo turbinos vožtuvas pilnai atsidaro ir naudoja susikaupusią šiluminę energiją apsisukimams didinti. Tokio režimo metu kogeneracinė jėgainė gali dalyvauti pirminiame dažnio reguliavimo procese.

Agregato valdymo už savęs režimo modeliavimo schema parodyta paveikslėlyje 20.



20 pav. Agregato valdymo už savęs režimo modeliavimo schema

Modeliavime priimame, jog kogeneracinės jėgainės instaliuota elektrinė galia yra 100 MW. Modeliavimui reikalingus duomenis rasite lentelėje 1.

Lentelė 1. Modeliavimo duomenys [19] [20].

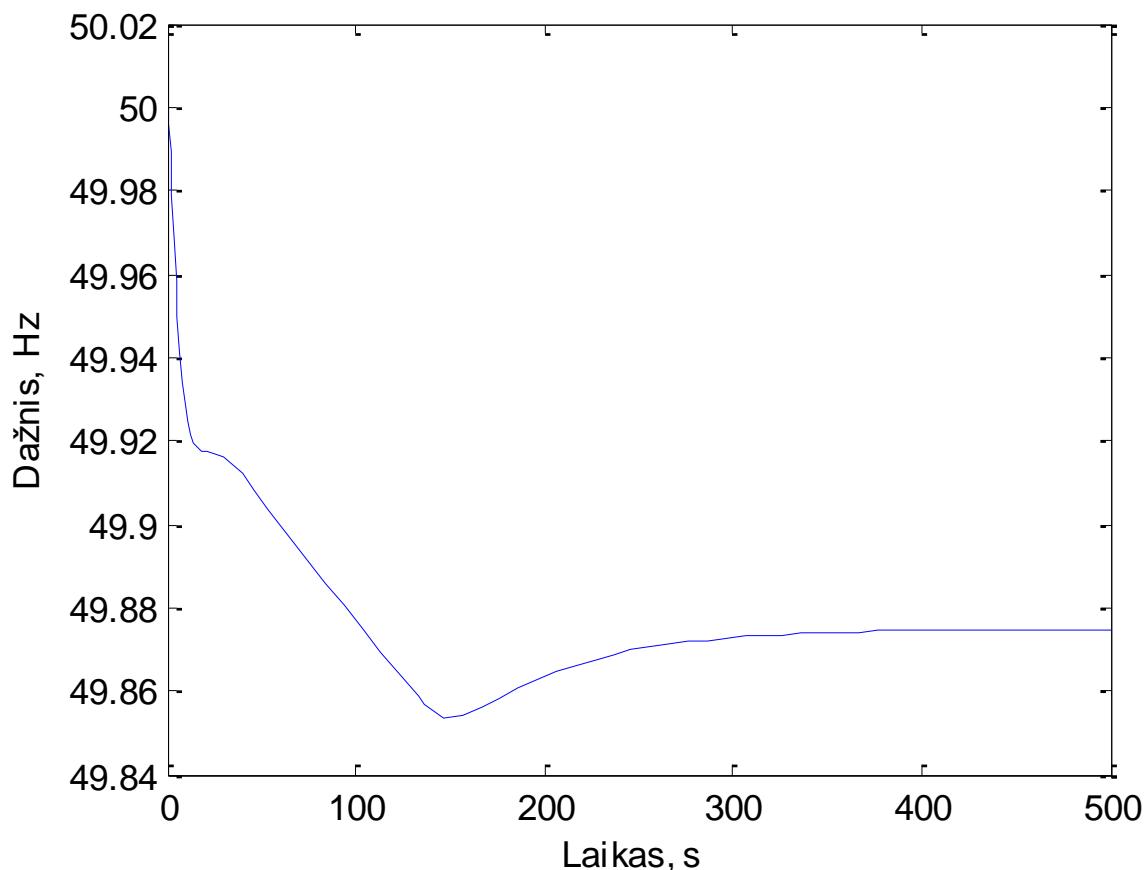
Dydis	K	T ₁	T ₂	T ₃	U ₀	U _c	V _{MAX}	V _{MIN}	T ₄
Reikšmė	20	0	0	0,15	0,4	-0,4	0,9	0,2	0,4
Dydis	K ₁	K ₂	T ₅	K ₃	K ₄	T ₆	K ₅	K ₆	T ₇
Reikšmė	0,3	0	9	0,4	0	0,5	0,3	0	0
Dydis	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂	K ₁₃	K ₁₄	R _{MAX}
Reikšmė	0	0	0	0	1	0	0	5	0,0005
Dydis	R _{MIN}	L _{MAX}	L _{MIN}	C ₁	C ₂	C ₃	B	C _B	K _I
Reikšmė	-0,0005	0,9	0,2	0,2	15	1	20	200	0
Dydis	T _I	T _R	T _{R1}	C _{MAX}	C _{MIN}	T _D	T _F	T _W	P _{SP}
Reikšmė	90	60	6	1,1	0	60	25	7	1
Dydis	T _{MW}	K _L	K _{MW}	Δ _{PE}					
Reikšmė	10 ⁶	0	1	0					
Dydis	K _{p2}	B ₂	K _{i2}	T _{g2}	T _{co2}	FIP ₂	Trh ₂	Tsc ₂	Tp ₂
Reikšmė	60	0.433	0.320	0.15	0.4	0.3511	5	0.299	10

Tam, kad kogeneracinė jėgainė galėtų dalyvauti pirminio dažnio reguliavime, ji privalo dirbti ne pilnu pajėgumu. Dirbdama tokiu režimu nukenčia jėgainės naudingumo koeficientas, jis sumažėja, tačiau tada atsiranda rezervas galiai didinti. Mūsų modeliuose nusistatau jog jėgainė dirba 75% nominalios galios pajėgumu. Taigi galime traktuoti, jog elektros tinklo elektros galios poreikis yra 75 MW.

Panaudojus programinę įrangą Matlab/Simulink ir suvedus duomenis iš lentelės 1, gauname modelio reakcijas, į galios poreikį, kreives. Mūsų atveju yra modeliuojamas staigus galios pokytis sistemoje. Šio galios pokyčio pasirinkta reikšmė yra 5%. Tai reiškia jog galios pareikalavimas akimirksniu padidėjo 5% nuo jėgainės nominalios galios reikšmės. Tokiu atveju, kaip matome paveikslėlyje 21, elektros sistemos dažnis staigiai sumažėja nuo 50 Hz iki 49,92 Hz. Sumažėjimas įvyksta per 10 s. Ties 49,92 Hz reikšme dažnis yra stabilizuojamas. Stabilizavimo procesas trunka apie 10-12 s. Tačiau kai elektrinė galia vėl pradeda mažėti, kaip parodyta paveikslėlyje 21, tada galių disbalansas vėl didėja ir dažnis vėl „krinta žemyn“. Dažnis šiame etape sumažėja iki reikšmės lygios 49,85 Hz.

Ties 140 s laiko žyma, garo katilo būgne pradeda didėti garo slėgis. Tuomet dažnis pamažu grįžta į užduotąją reikšmę. Tačiau po ilgo pereinamojo proceso dažnis stabilizuojasi ties 49,87 Hz.

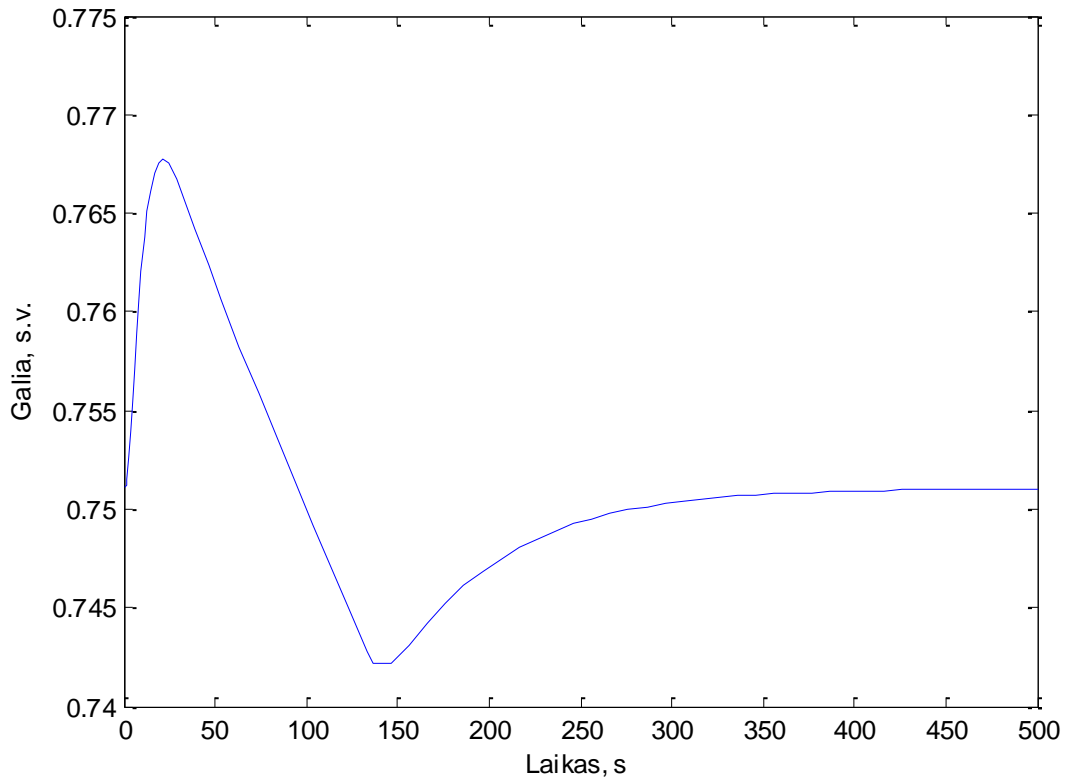
Norint dažnį atstatyti iki 50 Hz būtina panaudoti antrinį dažnio reguliavimą. Tačiau mūsų atveju tokios užduoties nenagrinėsime.



21 pav. Dažnio atsistatymo kreivė.

Jeigu šnekėsime apie galios kreivę, tai pradinėje stadijoje įvyksta priešinga reakcija į apkrovos pokytį negu dažnio kreivės atveju. Taigi atsiradus staigiam galios pokyčiui sistemoje, turbinos garo reguliavimo vožtuvai pilnai atsidaro. Tokiu būdu turbina staigiai pradeda didinti savo galią ir tą pokytį matome paveikslėlyje 22. Per pirmas 10 s turbinos galia padidėja nuo 75 MW iki 0,768 MW. Tai reiškia jog turbina padidino galią 0,018 MW. Tačiau po to garo katilo slėgis pradėjo mažėti ir per 130 s turbinos galia stabilizavosi ties 0,745 MW. Nuo 140 s iki 400 s garo slėgis katile didėjo ir ties 400 s riba atsistatė į pradinę būseną.

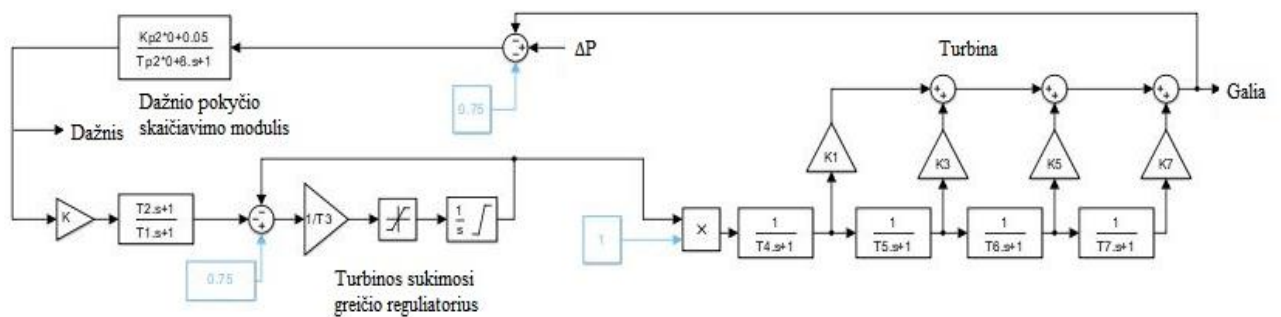
Kaip matome kogeneracinei jėgainei prireikė 400 s, kad elektrinė jos galia būtų atstatyta.



22 pav. Galios atstatymo kreivė.

Jeigu nustatytoji galia būtų pastovi, mūsų atveju 0,75 MW, o kuro padavimo sistema bei garo gamybos sistema neįtakotų turbinos darbo, gautume modelį, kuris pavaizduotas paveikslėlyje 23.

Šiame modelyje matome sistemą su idealiu turbinos reguliavimo įrenginiu bei neribotu garo rezervu garo katilo būgne.

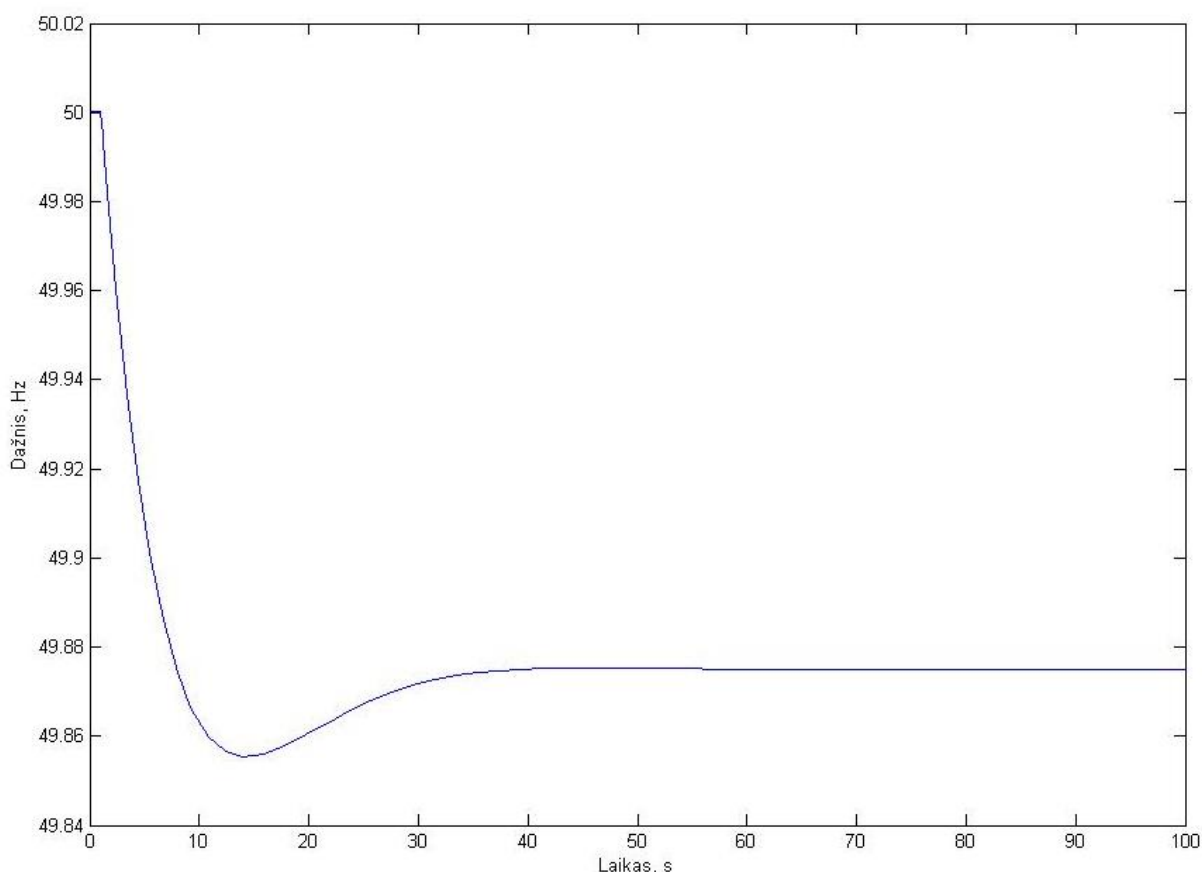


23 pav. Generatoriaus agregato valdymo už savęs modeliavimo schema (ideali).

Kaip ir aukščiau nagrinėtame modelyje jėgainė dirba 75% nominalios galios pajėgumu. Panaudojus programinę įrangą Matlab/Simulink ir suvedus duomenis iš lentelės 1, gauname modelio reakcijos, į galios poreikį, kreives.

Šiuo atveju yra modeliuojamas staigus galios pokytis sistemoje, kurio reikšmė yra 5% nuo instaliuotos galios dydžio. Tai reiškia jog galios pareikalavimas akimirksniu padidėjo 5% nuo jėgainės nominalios galios reikšmės. Tokiu atveju, kaip matome paveikslėlyje 24, elektros sistemos dažnis staigiai sumažėja nuo 50 Hz iki 49,85 Hz. Sumažėjimas įvyksta per 15 s. Ties 49,85 Hz reikšme dažnis yra stabilizuojamas. Po to kreivė pradeda kilti ir nusistovi ties 49,87 Hz reikšme.

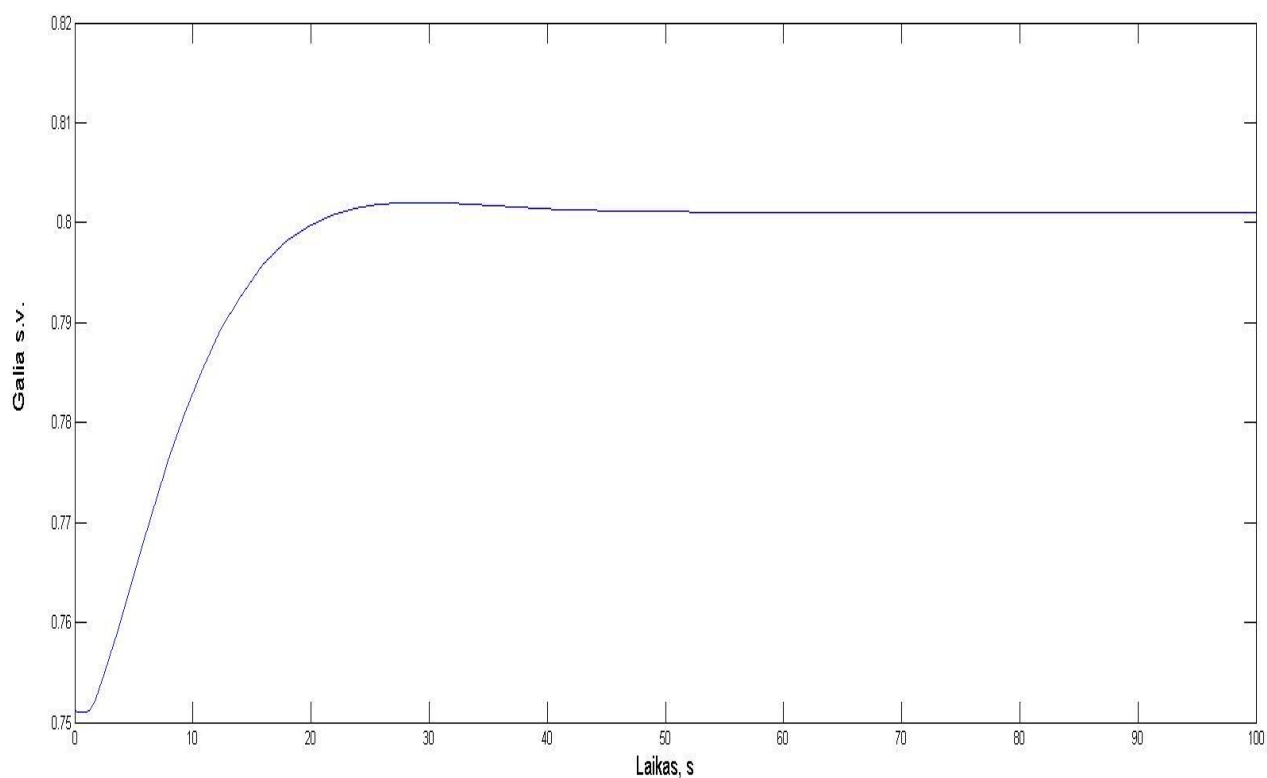
Garo slėgis katilo būgne išlieka pastovus, todėl dažnis atsistatinėja sklandžiai be pakartotino mažėjimo. Norint dažnį atstatyti iki 50 Hz būtina panaudoti antrinį dažnio reguliavimą. Tačiau kaip ir ankstesniame modelyje, mes tokios užduoties nenagrinėsime.



24 pav. Dažnio atsistatymo kreivė (ideali).

Galios pokytis idealiu garo turbinos reguliavimo atveju matome paveikslėlyje 25. Kaip ir anksčiau nagrinėtu atveju, pradinėje stadijoje įvyksta priešinga reakcija į apkrovos pokytį negu

dažnio kreivės atveju. Taigi atsiradus staigiam galios pokyčiui sistemoje, turbinos garo reguliavimo vožtuvai pilnai atsidaro. Tokiu būdu turbina staigiai pradeda didinti savo galią ir tą pokytį matome paveikslėlyje 25. Turbinos galios didėjimas yra pastovus. Turbina padidina galią nuo 75 MW iki 80 MW per 25 s. Taigi reakcija į galios pokytį yra pakankama, kad kogeneracinė jėgainė galėtų dalyvauti pirminiame dažnio reguliavime. Šiuo atveju nėra papildomų elementų kurie didintų kogeneracinės jėgainės inerciją. Be to, galia padidėja lygiai tokiu pačiu dydžiu kaip ir galios pokytis elektros sistemoje.



25 pav. Galios atstatymo kreivė (ideali).

Modelio pastoviosios

K – Greičio sumažėjimo inversija.

T_1 ir T_2 – Valdiklio laiko konstantos (s).

T_3 – Sklendės servovariklio laiko konstantos.

U_0 – Valdymo sklendės atsidarymo greičio riba (sv/s).

U_c - Valdymo sklendės užsidarymo greičio riba (sv/s).

V_{MAX} – Maksimalus sklendės plotas (vieneto).

V_{MIN} - Minimalus sklendės plotas (vieneto).

T_4 – Garo srauto laiko pastovioji (s).

T_5 , T_6 ir T_7 – Pirmojo ir antrojo pakaitintuvo laiko pastoviosios, ir susikertančių srautų konstanta. Jei tokių komponentų nėra galime žymėti 0.

K_1 , K_2 , K_5 ir K_7 – atskiros mechaninės galios atsiradusios aukšto slėgio turbinos dalyse. Bendra jų suma turi būti lygi vienetui.

K_2 , K_4 , K_6 ir K_8 - atskiros mechaninės galios atsiradusios žemo slėgio turbinos dalyse. Bendra jų suma turi būti lygi nuliui.

K_9 – slėgio kritimo koeficiento koregavimas pagal garo būgno slėgio funkciją.

K_{10} – Signalas iš pagrindinio srauto.

K_{11} – Signalas iš apkrovos pareikalavimo.

K_{12} – Slėgio klaidos signalas.

K_{13} – skirtumas tarp MW pareikalavimo ir nustatytos slėgio reikšmės.

K_{14} – Atvirkštinė apkrovos reikšmė servo variklio pastovioji. (jeigu apkrovos reikšmė nekinta tada ji lygi nuliui).

R_{MAX} – Teigiama apkrovos ribos reikšmė (sv/s).

R_{MIN} – Neigiama apkrovos ribos reikšmė (sv/s).

L_{MAX} – Maksimali apkrovos reikšmė.

L_{MIN} – Minimali apkrovos reikšmė.

C_1 – Slėgio sumažėjimo koeficientas.

C_2 – Slėgio nustatytos paklaidos daugiklis.

C_3 – Koregavimas iki slėgio užduotos reikšmės.

B – dažnio reguliavimo signalas.

C_B – katilo talpos laiko pastovioji (s).

K_I – Valdiklio integralo reikšmė.

T_I – Valdiklio proporcingumo laiko pastovioji (s).

T_R – Valdiklio greičio laiko pastovioji (s).

T_{R1} – Uždelsimas lygus $T_R/10$ (s).

C_{MAX} – Maksimali valdiklio reikšmė išėjime.

C_{MIN} – Minimali valdiklio reikšmė išėjime.

T_D – Laiko uždelsimas kuro tiekimo sistemoje (s).

T_F – Kuro ir oro sistemų laiko pastovioji.

T_W – Vandens sienos laiko pastovioji (s).

P_{SP} – Pradinio slėgio nustatymas.

T_{MW} – MW keitiklio laiko pastovioji (s).

K_L – Apkrovos reikšmės atsakas (0,0 arba 1,0).

K_{MW} – MW keitiklio reikšmė (0,0 arba 1,0).

Δ_{PE} – slėgio klaidos signalo nejautrumo zona skirta apkrovos reikšmės valdymui.

Išvados

1. Išnagrinėta, atliekas deginančios kogeneracinės jėgainės, sandara, jos privalumai ir trūkumai. Nustatyta jog pirminiame dažnio reguliavime dalyvauti yra tinkama tik aukštų parametrų garo sistema ir turbinos blokas.
2. Ištyrus, atliekas deginančios kogeneracinės jėgainės, dinaminį modelį, rezultatai patvirtino, kad jėgainės kuro tiekimo ir jo deginimo sistema yra labai inertiška. Jos inercija viršija 30s ribą ir netinka dalyvauti pirminio dažnio reguliavime.
3. Matlab/Simulink programoje sudaryti, valdymo už savęs režimo, modeliai.
 - Vienas modelis sudarytas panaudojant realius, komunalines atliekas deginančios kogeneracinės jėgainės, duomenis (realus modelis).
 - Antras modelis sudarytas nevertinant sistemos inertiškumo (idealus modelis).
4. Atlikti abiejų sistemų modeliavimai, esant toms pačioms sąlygoms t.y. elektros sistemoje staiga padidėja galios poreikis (5% generatoriaus nominalios galios dydžio) ir gauti modelių reakcijos grafikai.
5. Atlikus rezultatų analizę, padariau išvadą, jog techniškai, atliekų deginimo kogeneracinė elektrinė gali dalyvauti pirminiame dažnio reguliavime. Tačiau reikia atkreipti dėmesį jog pirminio dažnio reguliavimą geriausiai atliktų dujinių turbinų arba vidaus degimo variklių pagrindu veikiančios jėgainės. Jų charakteristikos yra artimiausios idealaus modelio charakteristikoms dėl mažo kuro sistemos inertiškumo.

Literatūra ir duomenų šaltiniai

1. LIETUVOS RESPUBLIKOS ŪKIO MINISTRAS. *Isakymas dėl Lietuvos energetikos sistemos automatinio generacijos valdymo nuostatų patvirtinimo: 2002 m. rugsėjo 12 d. Nr. 322* [interaktyvus]. [žiūrėta 2018-04-17]. Prieiga per:
<https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.D8D3A988AD43>
2. KUNDUR Prabha. *Power system stability and control*. New York: McGraw-Hill, 1994. 1176 p. ISBN 0-07-035958-X.
3. BIAN Yuankai, WANG Hantao, WYMAN-PAIN Heather, XU Minghao, FURONG Li. Availability of CHPs to provide primary frequency response in the Great Britain power system. In *Energy Internet and Energy System Integration (EI2), 2017 IEEE Conference on*, pp. 1-6. IEEE, 2017. ISBN: 978-1-5386-1427-3.
4. SHENG Kai, JIANG Xiaolong, NIANGUANG Zhou. "Performance optimization of primary frequency regulation based on modeling of turbine and its governing system." *Control Conference (CCC), 2016 35th Chinese*. IEEE, 2016. ISBN: 978-9-8815-6391-0
5. Requirements and impacting factors – RG-CE System Protection & Dynamics Sub Group March 2016. Frequency Stability Evaluation Criteria for the Synchronous Zone of Continental Europe. Entsoe.
6. Litgrid_Tinklu pletros planas 2017-2026 [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-02-08]. Prieiga per: www.epsog.lt/lt/naujienos/integracija-europa
7. A report to Elering, march 2016. *Baltic's balance management model study and harmonisation plan towards EU energy markets model (including Nordic-Baltic balancing cooperation)*.
8. PUNDINAITĖ-BARSTEIGIENĖ Milda, BAČINSKAS Darius, SPUDULIS Edmundas, RUMŠYS Deividas. Šlakų, susidarančių deginant komunalines atliekas, naudojimas betono mišiniuose. *Mokslas-Lietuvos ateitis: Statyba, transportas, aviacinės technologijos*, 2017, 524-530.
9. KALOGIROU, Efstratios N. *Waste-to-energy Technologies and Global Applications*. CRC Press, 2017.
10. FREY, Hans-Heinz, et al. Characterization of municipal solid waste combustion in a grate furnace. *Waste Management*, 2003, 23.8: 689-701. ISSN 0956-053X.
11. ROGOFF Marc J., SCREVE Francois. *Waste-to-energy: technologies and project implementation*. William Andrew, 2011. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-7871-7.10003-6>

12. GILL, A.B. (Allan Bennett). Power plant performance. Elsevier, 2016. ISBN 0-408-01427-X.
13. Elektrostatinis filtras XILO DUST [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-03-18]. Prieiga per : <http://www.xilotechnologies.com/lt/produktai/produktai/dumu-valymo-irenginiai/elektrostatinis-filtras-xilo-dust>
14. Energy from waste [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-04-10]. Prieiga Per: www.steinmueller-babcock.com
15. Reverse osmosis units (RO units) [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-04-12]. Prieiga per: https://www.eurowater.com/products/standard_products/reverse_osmosis_units.aspx
16. CHAIBAKHSH Ali, GHAFFARI Ali. Simulation Modelling Practice and Theory. Steam turbine model. Simulation Modelling Practice and Theory 16 (2008) 1145–1162. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2008.05.017>.
17. Siemens develops SST-500 GEO steam turbine for for geothermal power plants [interaktyvus]. 2013 [žiūrėta 2018-04-12]. Prieiga per: <https://www.siemens.com/press/en/presspicture/?press=/en/presspicture/2013/energy/oil-gas/eog201306037-02.htm>
18. AŽUBALIS Vaclovas, PONELIS Ramūnas. Šiluminių elektrinių generatorinių agregatų režimų modeliavimas. Energetika. 2012. T. 58. Nr. 1. P. 21–29 © Lietuvos mokslų akademija, 2012.
19. Power Technologies, Inc. PROGRAM OPERATION MANUAL: VOLUME II. Turbine-governors model data sheets.
20. PATHAK Nikhil, VERMA Ashu, SINGH BHATTI Terlochan. Automatic generation control of thermal power system under varying steam turbine dynamic model parameters based on generation schedules of the plants. The Journal of Engineering. 29th June 2016. Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi 110016, India. Doi: 10.1049/joe.2016.0178.
21. Vilniaus kogeneracinė jėgainė [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-04-12]. Prieiga per: www.kogen.lt/vilniaus-projektas
22. Kauno kogeneracinė jėgainė [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2018-04-12]. Prieiga per: www.kogen.lt/kauno-projektas