



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Marius Sadeckas

**UTENOS KOGENERACINĖS JĖGAINĖS DARBO
OPTIMIZAVIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Juozas Gudzinskas

KAUNAS, 2016

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**UTENOS KOGENERACINĖS JĖGAINĖS DARBO
OPTIMIZAVIMAS**

Baigiamasis magistro projektas
Terminžinerija (kodas 621E30001)

Vadovas

Doc. dr. Juozas Gudzinskas
(2016-05-24)

Recenzentas

Prof., hab. dr. Gintautas Miliauskas
(2016-05-24)

Projektą atliko

Marius Sadeckas
(2016-05-24)

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

Marius Sadeckas

(Studento vardas, pavardė)

Termininžinerija (kodas 621E30001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

**„UTENOS KOGENERACINĖS JĖGAINĖS DARBO OPTIMIZAVIMAS“
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 16 m. gegužės 24 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Mariaus Sadecko**, baigiamasis projektas tema „UTENOS KOGENERACINĖS JĖGAINĖS DARBO OPTIMIZAVIMAS“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir 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)

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

Tvirtinu: _____
Šilumos ir atomo energetikos (parašas, data)
katedros vedėjas _____
Doc. E. Puida
(vardas, pavardė)

**MAGISTRANTŪROS UNIVERSITETINIŲ STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO
UŽDUOTIS
Studijų programa TERMOINŽINERIJA**

Magistrantūros studijų, kurias baigus įgyjamas magistro kvalifikacinis laipsnis, baigiamasis darbas yra mokslinio tiriamojo arba taikomojo pobūdžio darbas (projektas). Jam atlikti ir apginti skiriama 30 kreditų. Šiuo darbu studentas parodo, kad yra pagilinęs ir papildęs pagrindinėse studijose įgytas žinias, turi pakankamai gebėjimų formuluoti ir spręsti aktualią problemą, turėdamas ribotą ir (arba) prieštaringą informaciją, geba savarankiškai atlikti mokslinius ar taikomuosius tyrimus ir tinkamai interpretuoti duomenis. Taip pat jis parodo, kad yra kūrybingas, geba taikyti fundamentines mokslo žinias, išmano socialinės bei komercinės aplinkos, teisės aktų ir finansines galimybes, turi informacijos šaltinių paieškos ir kvalifikuotos jų analizės, skaičiuojamųjų metodų ir specializuotos programinės įrangos bei bendrosios paskirties informacinių technologijų naudojimo, taisyklingos kalbos vartosenos įgūdžių, geba tinkamai formuluoti išvadas.

1. Darbo tema **Utenos kogeneracinės jėgainės darbo optimizavimas**

Optimization of Utena Cogeneration Plant Operation, patvirtinta 2016 m. gegužės mėn. 3 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-7

2. Darbo tikslas: Įvertinti garo turbinos kondensatoriaus vamzdelių užsiteršimo įtaką kogeneracinės jėgainės elektros gamybos efektyvumui

3. Darbo struktūra

1 ĮVADAS

2 UAB „Utenos šilumos tinklai“ įrenginiai

3 Kogeneracinė jėgainė

3.1 Polytechnik PRH 10700 garo katilas

3.2 Garo turbina „M+M TURBINEN TECHNIK“ 2,5 MW

3.3 Garo turbinos kondensatorius

3.4 Utenos termofikacinės elektrinės principinė schema

4 Garo turbinos efektyvumo skaičiavimas

5 Garo turbinos kondensatoriaus vamzdelių užsiteršimo įtaka kogeneracinės jėgainės elektros gamybos efektyvumui

5.1. Garo turbinos kondensatoriaus darbo ypatumai

5.2. Kondensatoriaus šiluminis skaičiavimas

5.3. Ekonominis efektas

4. Reikalavimai ir sąlygos: **rengiant baigiamąjį darbą prisilaikyti Lietuvos Respublikos norminių aktų reikalavimų bei magistro baigiamojo darbo apiforminimo reikalavimų.**

5. Užbaigto darbo pateikimo terminas: 2016 m. gegužės mėn. 24 d.

6. Ši užduotis yra neatskiriama baigiamojo darbo dalis, išduota studentui Mariui Sadeckui

Užduotį gavau Marius Sadeckas2016.02.01
(studento vardas, pavardė) (parašas) (data)

Vadovas doc. J. Gudzinskas2016.02.01
(pareigos, vardas, pavardė) (parašas) (data)

Sadeckas Marius. Utenos kogeneracinės jėgainės darbo optimizavimas. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Juozas Gudzinskas; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Termoinžinerija

Reikšminiai žodžiai: *kogeneracija, elektros gamyba, kondensatorius, garo turbina*

Kaunas, 2016. 51 p.

SANTRAUKA

Šiame darbe pateikiama įmonėje UAB „Utenos šilumos tinklai“ eksploatuojamos kogeneracinės jėgainės įrenginių darbo režimų analizė ir įvertinta kondensatoriaus darbo įtaka jėgainės elektros ir šilumos gamybai. Projekto tikslas – įvertinti garo turbinos kondensatoriaus vamzdelių užsiteršimo įtaką kogeneracinės jėgainės elektros gamybos efektyvumui ir pateikti atitinkamas išvadas geresniam jos eksploatavimui užtikrinti.

Darbe atliekamas šiluminis garo turbinos kondensatoriaus skaičiavimas. Taip pat atlikta kogeneracinės jėgainės pagrindinių bei pagalbinių įrenginių darbo analizė. Atliktas ekonominis skaičiavimas, įvertinantis įmonės sutaupymo galimybes dirbant įvairiais darbo režimais.

Išvadose apibendrinami darbe gauti rezultatai.

Sadeckas Marius. Optimization of Utena cogeneration plant operation :*Master's thesis in Thermal engineering/ supervisor doc. dr. Juozas Gudzinskas. The Faculty of Mechanical Engineering and design, Kaunas University of Technology.*

Research area and field: Thermal engineering

Key words: *cogeneration, production of electricity, condenser, steam turbine*

Kaunas, 2016. 51p.

SUMMARY

In this project contains equipment operating modes and condenser working influence of cogeneration power plant which is in UAB "Utenos šilumos tinklai".

The aim of the project is to assess the steam turbine condenser pipe's fouling influence in cogeneration power plant for electricity production efficiency and to present the findings to better ensure its operation.

The work carried out thermal calculation of steam turbine condenser. Also analyzed the cogeneration plant main and auxiliary equipment work. An economic evaluation of the Enterprise savings possibilities in the various operating modes are analyzed. The conclusions summarize the results of the work.

Turinys

Paveikslėlių sąrašas.....	8
Lentelių sąrašas.....	8
1 ĮVADAS	9
2 UAB „Utenos šilumos tinklai“ įrenginiai	11
3 Kogeneracinė jėgainė.....	14
3.1 Polytechnik PRH 10700 garo katilas	14
3.2 Garo turbina „M+M TURBINEN TECHNIK“ 2,5 MW.....	16
3.2.1 Transmisija.....	16
3.2.2 Elektros generatorius	16
3.2.3 Alyvos sistema	17
3.2.4 Garo sandarinimo/nuotėkio sistema.....	18
3.2.5 Drenažo sistema	19
3.2.6 Turbinos valdymo spinta.....	19
3.2.7 Matavimo įranga	20
3.3 Garo turbinos eksploatacijos problemos ir gedimai	22
3.4 Garo turbinos kondensatorius.....	25
3.5 Termofikacinio vandens pašildymo principinė schema	27
4 Garo turbinos efektyvumo skaičiavimas.....	29
5 Garo turbinos kondensatoriaus vamzdelių užsiteršimo įtaka kogeneracinės jėgainės elektros gamybos efektyvumui	35
5.1 Garo turbinos kondensatoriaus darbo ypatumai.....	36
5.2 Kondensatoriaus vamzdelių metalas ir jo savybės.....	38
5.3 Kondensatoriaus šiluminis skaičiavimas.....	39
5.4 Kondensatoriaus hidraulinis skaičiavimas	41
5.5 Ekonominis efektas	45
6 Išvados	47
Literatūros sąrašas.....	48
Priedai	50
A priedas. Kondensatoriaus paso techniniai duomenys.....	50
B priedas. Nomograma vamzdžių trinties koeficiento nustatymui	51

Paveikslėlių sąrašas

1-1 pav. Utenos šilumos tiekimo tinklų schema	10
2-1 pav. Garo ir kondensato vamzdinių principinė schema	13
3-1 pav. 10,7 MW garo katilas.....	14
3-2 pav. UTENOS kogeneracinės jėgainės „M+M TURBINEN TECHNIK“ 2,5 MW garo turbina	21
3-3 pav. Turbinos rotoriaus griovelių įtrūkimai po 1000 paleidimų.....	22
3-4 pav. Pirmos eilės mentelių nulūžimai ir įtrūkimai.....	23
3-5 pav. Mentelių lūžiai sukelti dėl atsiradusio rezonanso tam tikram greičių diapazone	23
3-6 pav. Mentelių dilimas dirbant minimaliu, ribiniu apkrovimu	24
3-7 pav. Santykinių įtempių priklausomybė nuo per turbiną tekančio garo srauto	24
3-8 pav. Garo kondensatoriaus principinė schema	26
3-9 pav. Termofikacinio vandens pašildymo principinė schema.....	28
4-1 pav. Šilumos tinklų temperatūrinis grafikas	30
4-2 pav. Sotinimo slėgis prieš kondensatorių dirbant šildymo sezono metu, šilumos gamybos režimas ir elektros gamybos režimas	31
5-1 pav. Dviejų ejų paviršinio kondensatoriaus principinė schema	37
5-2 pav. Nuovirų sluoksnio įtaka kogeneracinės jėgainės darbui.....	44
5-3 pav. Nuostoliai dėl neparduotos el. energijos per metus, esant skirtingam nuosėdų sluoksnio storiui	46

Lentelių sąrašas

2-1 Lentelė Utenos RK pagrindiniai įrenginiai.....	12
3-1 Lentelė Pakuros ir katilo technologiniai parametrai	14
3-2 Lentelė Garo turbinos techniniai rodikliai.....	20
4-1 Lentelė Sotinimo slėgis prieš kondensatorių pagal Utenos šilumos tinklų temperatūrinį grafiką	31
4-2 Lentelė Turbinos darbo valandų skaičius skirtingais darbo režimais.....	35
5-1 Lentelė Nuosėdų šilumos laidumo koeficientai.....	36
5-2 Lentelė Garo katilo maitinimo vandens kokybė.....	36
5-3 Lentelė Pagrindiniai kondensatoriaus duomenys	37
Lentelė 5-4 Tinklo vandens kokybės reikalavimai	38
5-5 Lentelė Pagrindinės nerūdijančio plieno savybės.....	38
5-6 Lentelė Kondensatoriaus šiluminis skaičiavimas	40
5-7 Lentelė Pradiniai duomenys	41
5-8 Lentelė Pagamintos elektrinės ir šiluminės galios skaičiavimas	43
5-9 Lentelė šilumos perdavimo koeficientas, kai kalcio karbonatų nuovirų sluoksnio $\lambda=2.93$ W/m·K.....	43

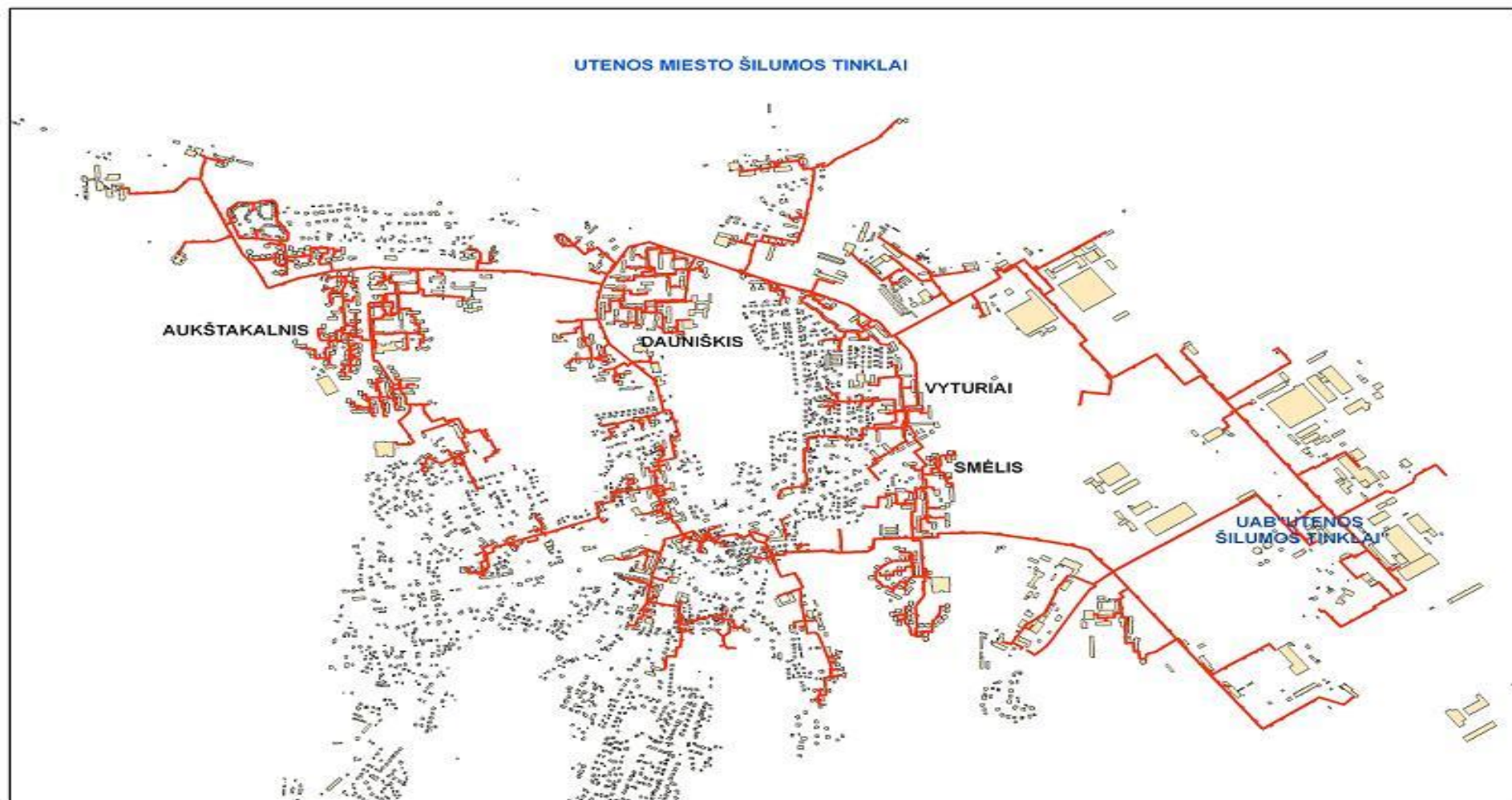
1 ĮVADAS

Įmonė gamina ir tiekia vartotojams šiluminę ir elektros energiją. Šiluminė energija – garo ir karšto vandens pavidalu gaminama garo ir vandens šildymo katiluose deginant gamtines dujas, medienos atliekas ir mazutą. Elektros energija gaminama kogeneracinėse jėgainėse naudojant gamtines dujas bei garo turbinos generatoriuje naudojant perkaitintą garą. Šiuo metu Utenos miesto šilumos vartotojus (1-1 pav.) šiluma aprūpina Utenos rajoninė katilinė, AB “Utenos pienas” katilinė ir keletas smulkių pramonės įmonės ir gyventojus aprūpinančių katilinių. Dauguma individualių namų šilumą gamina individualiose katilinėse, kūrendami malkas arba gamtines dujas. Apie 75 % gyventojų šiluma aprūpinami iš centralizuoto šilumos tiekimo sistemos (iš Utenos RK). Pramonės įmonės sunaudoja apytiksliai 40 % vartotojams iš ŠT įmonės patiekiamos šilumos nešildymo sezono metu ir apie 10 % šildymo sezono metu.

Pagrindinis šilumos gamintojas ir tiekėjas Utenos mieste – UAB “Utenos šilumos tinklai”. Įmonė eksploatuoja 6 katilines. Šilumos perdavimo tinklų ilgis yra 49,19 km. Kasmet vykdomi atskirų vamzdynų ruožų rekonstrukcijos darbai leido sumažinti šilumos perdavimo nuostolius tinkluose iki 17%.

Šilumos tiekėjų ir vartotojų pastangų dėka Utenos miestas turi išvystytą centralizuotą šilumos tiekimo sistemą, kuri sukuria komforto sąlygas gyventojams, sudaro galimybes aukšto lygio technologijų plėtrai. Ilgalaikė darbo patirtis, aktyvus dalyvavimas Lietuvos šilumos tiekėjų asociacijos darbe, sėkmingas ekonominių ir techninių ryšių plėtojimas su užsienio partneriais suteikia privalumą kuo ekonomiškiau gaminti šilumos energiją. UAB “Utenos šilumos tinklai” pagrindinė veikla yra užtikrinti saugų ir efektyvų karšto vandens ir garo tiekimą vartotojams. Tam tikslui pasiekti įmonė eksploatuoja pagrindinę rajoninę katilinę (Pramonės g. 11) ir šešias dujines katilines esančias Utenos miesto ribose.

Šio darbo vienas iš uždavinių buvo išanalizuoti Utenos kogeneracinės jėgainės darbą, eksploatacijos metu išskylančias problemas. Taip pat apskaičiuoti garo kondensatoriaus vamzdelių užsiteršimo įtaką kogeneracinės jėgainės elektros gamybos efektyvumui. Atlikti ekonominį skaičiavimą, kuris leistų įvertinti įmonės patiriamus nuostolius.



1-1 pav. Utenos šilumos tiekimo tinklų schema

2 UAB „, Utenos šilumos tinklai“ įrenginiai

Utenos RK - gamina ir tiekia šilumos energiją miesto gyventojams ir pramonės įmonėms bei įstaigoms. Garo ir karšto vandens gamybai naudojamas kuras ir vanduo: kuras ir vanduo katilinėje paruošiami iki reikiamų parametrų ir tiekiami į garo ir vandens šildymo katilus. Katiluose degdamas kuras išskiria šilumą, kurios pagalba gaminamas garas ar pašildomas vanduo, kuris vamzdynais tiekiamas vartotojams. Naudojamos trys kuro rūšys: gamtinės dujos, mazutas ir medienos atliekos, iš jų medienos atliekos sudegamos neišskiria šiltnamio dujų. Katilinėje šilumos energijos gamybai sumontuoti katilai pritaikyti kūrenti keliomis kuro rūšimis - gamtinėmis dujomis, mazutu bei medienos atliekomis. Utenos RK šiluminis galingumas - 108,67 MW (šilumos ir elektros energijos gamyba). Pagrindinių įrenginių charakteristikos pateiktos 1 lentelėje. Gamtinėmis dujomis ir mazutu gali būti kūrenami keturi Thermax vandens šildymo katilai Nr. 4, Nr.4a, Nr.5, Nr.6 po 14 MW galingumo ir Thermax garo katilas Nr.8 (7 MW). Gamtinėmis dujomis kūrenamas Thermax garo katilas Nr.2 (10 MW). Medienos atliekomis kūrenami DE 25/14 tipo garo katilas Nr.7 (8 MW), vandens šildymo katilas Nr.9 (8 MW), Polytechnik garo katilas Nr.1 (10,7 MW) bei Danstoker garo katilas Nr.3 (8,5 MW). Kaip pagrindinis kuras katilinėje naudojamos - gamtinės dujos ir medienos atliekos, rezervinis - mazutas. Katilų degimo dujos išmetamos per tris 80, 30 ir 40 metrų aukščio dūmtraukius, kurių atitinkamai žiočių angų diametras 3,0 m, 1,0 m ir 1,5 m. Garui ir karštam vandeniui ruošti katilinėje naudojama vandens paruošimo sistema, kurią sudaro:

1. Vandens minkštinimas Na katijonitiniiais filtrais, kurių bendras našumas iki 20 m³/h. Filtrų regeneracijai naudojama natrio chlorido druska.

2. Minkštinto vandens nudruskinimas dviem atvirkštinės osmozės (AO) įrenginiais, kurių bendras našumas iki 14 m³/h.

3. Osmosinio vandens gilus nudruskinimas dviem elektrodejonizacijos įrenginiais, kurių bendras našumas – iki 6 m³/h.

Chemiškai valytas ir deaeruotas vanduo tiekiamas į garo katilus - garo gamybai, į vandens šildymo katilus - miesto šilumos trasų vandens šildymui.

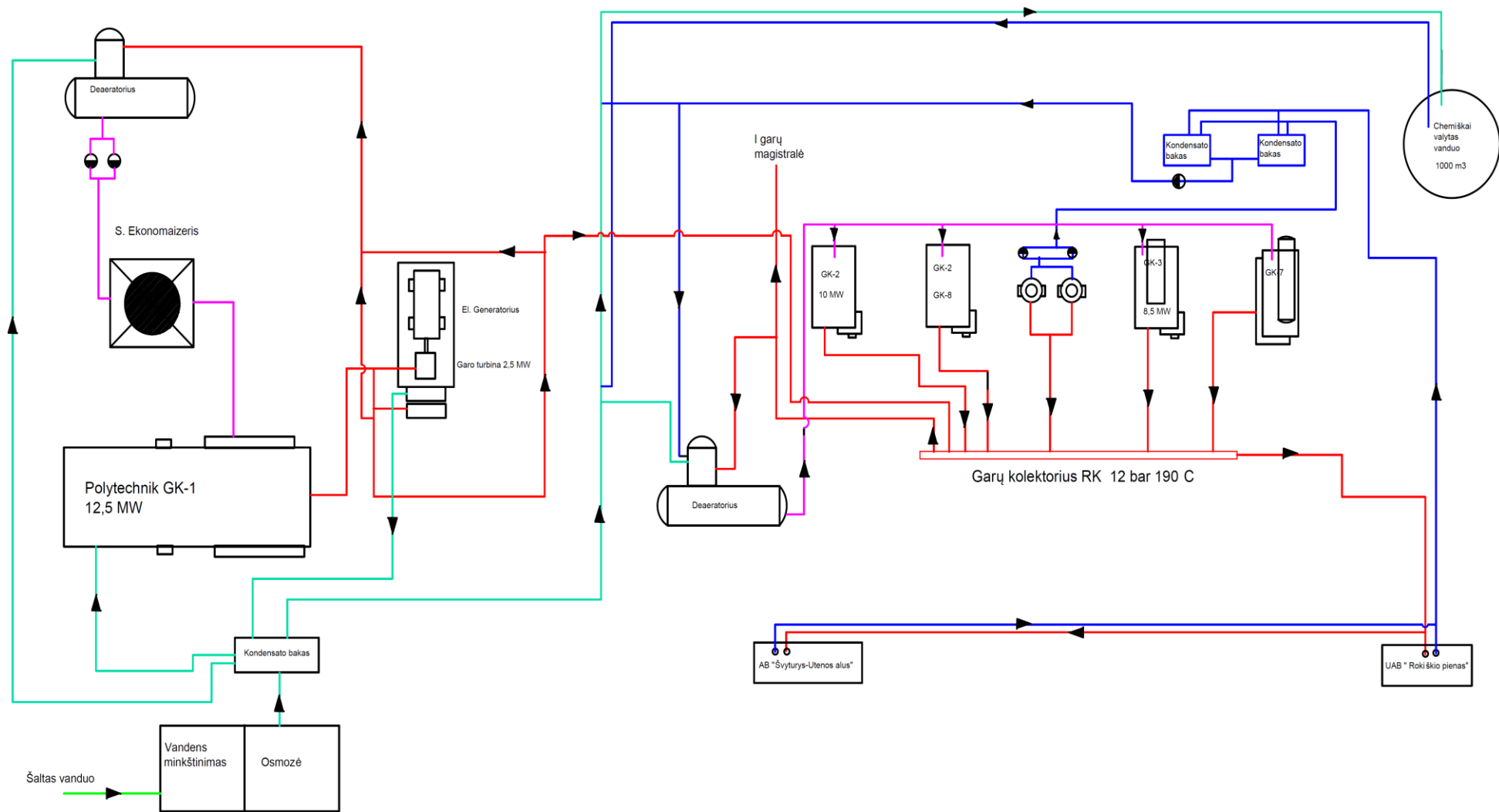
Rezervinis chemiškai valyto vandens kiekis laikomas 1000 m³ talpos ir 2000 m³ rezervuaruose. Į šiuos rezervuarus yra tiekiamas ir iš vartotojų grąžintas kondensatas. Gamtinės dujos į katilinę tiekiamos dujotiekiu vidutiniu 4 bar slėgiu iš magistralinių vamzdynų. Kietasis kuras – medienos atliekos susmulkintos atvežamos transportu arba

smulkinamos vietoje. Kieto kuro ūkį sudaro 3 medienos atliekų sandėliai, 3 garo katilai ir 1 vandens šildymo katilas. Katilinės mazuto ūkį sudaro: antžeminiai mazuto rezervuarai: du po 2000 m³ ir du po 10000 m³, dvi mazuto siurblinės ir mazuto išpylimui iš cisternų estakada. Mazuto padavimui į katilinę ir mazuto rezervuaruose cirkuliacijai sudaryti naudojami mazuto siurbliai, mazuto pašildymui naudojami garo - mazuto pašildytuvai. Mazutas atvežamas geležinkelio transportu – cisternomis ir pašildžius garu išpilamas 8 vagonų talpos išpylimo estakadoje, iš čia patenka į nulinę talpą ir siurbliais perpumpuojamas į mazuto rezervuarus. Paviršinio ir technologinio vandens, užteršto naftos produktais, valymui katilinės teritorijoje yra du mazuto gaudytuvai, o naftos produktų, suspenduotų dalelių valymui ir BDS7 valymui įmonės teritorijoje yra nuosekliai sujungti du vandens valymo įrengimai turintys pajėgumų dirbti iki 10 l/s ir 20 l/s našumu. Be pagrindinės veiklos, katilinėje atliekama pagalbinė veikla: stacionariame poste ir kilnojama aparatais įrengimų remonto metu atliekami suvirinimo darbai, tekinimo staklėmis atliekami tekinimo darbai, atliekami metalo pjaustymo dujomis darbai.

2-1 Lentelė Utenos RK pagrindiniai įrenginiai

Eil. Nr.	Pavadinimas	Gamintojas	Pradėta eksploatuoti	Šiluminė galia/našumas
1.	Garas katilas Nr.1 „PRH 10700“	Polytechnik (Austrija)	2012	10,7 MW
2.	Vandens šildymo katilas Kaistra Nr.9	UAB “Enerstena” (Lietuva)	2011	8 MW
3.	Garas turbinos generatorius	“M+M” (Vokietija)	2012	2,55 MW
4.	Turbinos kondensatorius	“APL Apparatebau” Gmb (Austrija)	2012	7,79 MW
5.	Termofikacinio vandens pašildytuvai 2vnt.	PSV-90-7-15 (Rusija)	1995-2000	24 MW
6.	Rekuperatorius (dūmų kondensacinis ekonomizeris)	Radscan Intervex (Švedija)	2005	2,7 MW

Šiuo metu UAB “Utenos šilumos tinklai” nuo 2012 m. eksploatuoja 10,7 MW galios biokuru dirbantį garo katilą su 2,5 MW galios elektros energiją gaminančiu generatoriumi.



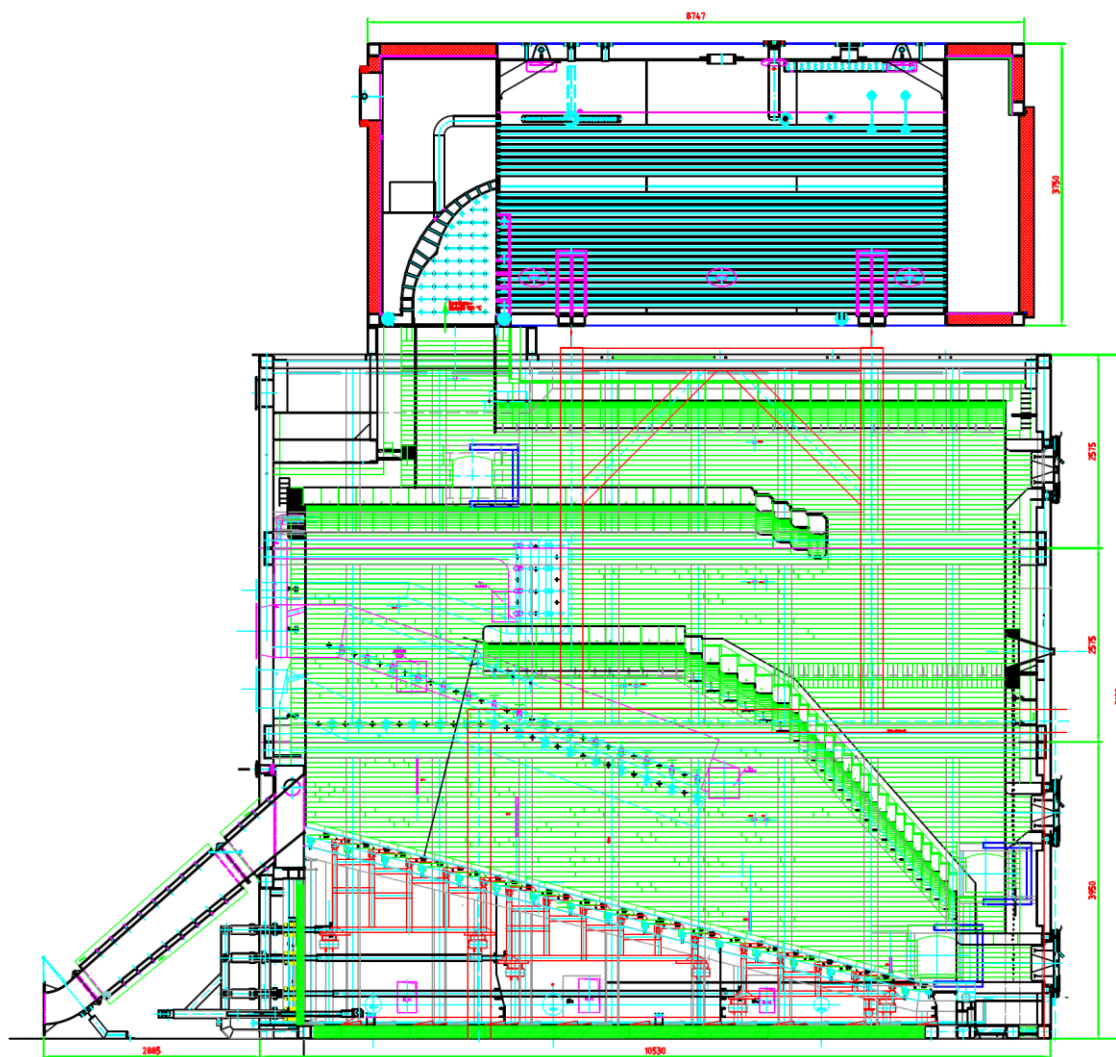
2-1 pav. Garo ir kondensato vamzdynų principinė schema

3 Kogeneracinė jėgainė

3.1 Polytechnik PRH 10700 garo katilas

3-1 Lentelė Pakuros ir katilo technologiniai parametrai

Aukštų parametų garas	29 bar, 425 °C
Degimo tipas	Judančio ardyno pakura
Kuras	Biokuras, medžio žievė, medienos atliekos



3-1 pav. 10,7 MW garo katilas

Pakuros pagrindinės dalys :

- Metalinis pakuros rėmas ir plieninis korpusas su apžiūros durelėmis;
- Mūras, sudarantis pakuros sienas ir skliautą bei izoliacinis sluoksnis;
- Kuro padavimo ant ardyno žertuvai, valdomi hidrauliškai;

- Judamas ardynas su aukštatemperatūrinio ketaus ardelėmis;
- Oro padavimo sistema, susidedanti iš pirminio, antrinio ir tretinio oro kanalų su ventiliatoriais;

- Pakuros kuro bunkeris su lygio davikliais;
- Pagrindinis pelenų šalinimo kanalas su žertuvu (skreperiu), valdomu hidrauliškai;
- Pelenų iš po pakuros šalinimo žertuvai ir angos pakuros šonuose;
- Kuro bunkerio priešgaisrinė sistema;
- Pakuros degimo valdymo ir kontrolės sistema.

Visas oras, reikalingas biokuro sudeginimui, suskirstytas į pirminį, antrinį ir tretinį.

Pirminis oras užtikrina oro kiekį, reikalingą kuro ant ardyno sudeginimui ir tuo pačiu aušina ardyną, kad ardyno temperatūra neviršytų leistinos. Pirminis oras paduodamas į kameras po ardynu. Oras pro ardelių plyšius patenka į degimo zoną. Antrinis oras paduodamas į degimo zoną virš ardyno per specialias angas. Jo paskirtis – tinkamai sumaišyti ir sudeginti dujas – lakiuosius komponentus, išsiskyrusius iš biokuro. Tretinis oras paduodamas į degimo produktų srautą, specialioje kameroje, prieš išeinant į katilo ertmę. Tretinio oro paskirtis - pilnai sudeginti degiuosius komponentus. Papildomai į pirminio ir antrinio oro zonas paduodami recirkuliaciniai degimo produktai. Šios dujos padeda stabilizuoti degimą ant ardyno bei sumažina pakuros mūro temperatūrą pirminėje ir antrinėje zonose. Visas ardynas susideda iš judamų ir nejudamų ardelių eilių, sudarydamos laiptuotą sistemą, einančią žemyn. Judėdamos ardelės palaipsniui stumia kurą žemyn. Biokuras iš sandėlio grandikliniais transporteriais tiekiamas į kiekvieno katilo pakuros kuro bunkerius. Pakuros bunkeryje yra kuro lygio davikliai, kurie pagal kuro kiekį bunkeryje, paleidžia arba stabdo kuro transporterių bei kuro sandėlio žertuvų darbą. Kuras iš pakuros bunkerio, hidraulinio žertuvo pagalba, stumiamas (žertuvo darbas, pagal reikiamą pakuros galingumą, reguliuojamas automatiškai) ant kūryklos judamo ardyno, kur vyksta degimo procesas. Degimo plotas sąlyginai suskirstytas į tris – džiovinimo, pirolizės ir degimo zonas. Ardyno pabaigoje yra įrengtas pelenų šalinimo kanalas su žertuvu, kuris pagal užduotą režimą išstumia pelenus iš pakuros. Iš jo grandikliniu transporteriu pelenai išstumiami į automobilinį konteinerį, kuris išvežamas savikroviniu sunkvežimiu.

Bunkeris komplektuojamas su gesinimo sistema. Sistemą sudaro: vandens išpurškimo sistema, termostatinis skysčio reguliatorius su temperatūros davikliu, šalto vandens priedimo vamzdžiai su reikiama armatūra, priešgaisrinė sklendė, atskirianti kuro bunkerį nuo kuro padavimo sistemos su pneumatine pavara.

3.2 Garo turbina „M+M TURBINEN TECHNIK“ 2,5 MW

Garų turbina (3-2 pav.) susideda iš tokių pagrindinių komponentų:

- Turbinos korpuso su difuzorių sistema, guolių korpusu, tūtų grupės reguliuojančiais ventiliais;
- Turbinos velenas su turbinos darbiniais ratais ir mova;
- Turbinos greito uždarymo vožtuvas (atkirtimo vožtuvas) su pavara.

Iš katilo atėjęs garas tiekiamas į tūtas, kur plėtimosi proceso metu jo slėgis ir šiluminė energija verčiami kinetine (greičio) garo energija. Garas nukreipiamas į turbinos menteles, kur veikdamas darbinį ratą jėga, nukreipta liestinės kryptimi, priverčia sukis turbinos veleną. Turbinos greito suveikimo vožtuvas yra naudojamas turbinos apsaugai. Saugumo sumetimais įrengtas atkirtimo vožtuvas. Tūtų grupės reguliuojantys vožtuvai yra skirti reguliuoti garo srauto kiekį, tekančį pro turbiną. Šiuos vožtuvus valdo turbinos reguliatorius.

3.2.1 Transmisija

Transmisija susideda iš sekančių komponentų:

- Transmisijos korpuso, susidedančios iš viršutinės ir apatinės dalies;
- Krumpliaračių komplektas, įskaitant vedantįjį veleną, vedamąjį veleną ir krumpliaračius;
- Guolių rinkinys

Transmisijoje didelis turbinos veleno sukimosi greitis sumažinamas iki sukimosi greičio, reikalingo elektros generatoriui – iki 3000 aps/min.

3.2.2 Elektros generatorius

Elektros generatorius susideda iš tokių pagrindinių komponentų:

- Statoriaus
- Induktoriaus;
- Guolių rinkinio;
- Sužadintojo;
- Įtampos ir $\cos \varphi$ reguliatoriaus.

Elektros generatoriuje turbinos mechaninė energija, kuri turbinoje gaunama iš garo energijos, verčiama elektros energija.

3.2.3 Alyvos sistema

Alyvos sistema susideda iš tokių pagrindinių komponentų:

- Alyvos talpa su joje įrengtais tokiais komponentais:
 - Pagrindinis alyvos siurblys (varomas varančiojo rato veleno);
 - Pagalbinis alyvos siurblys (varomas elektros variklio);
 - Dvigubas alyvos filtras su slėgio perkryčio displėjumi;
 - Alyvos lašelių separatoriumi ;
 - Apėjimo filtras;
 - Slėgio reguliavimo vožtuvas (persipylimo vožtuvas);
 - Temperatūros reguliavimo ventilis ;
 - Atbulinis vožtuvas;
 - Alyvos aušintuvė (aušinama vandeniu).

Turbinos paleidimo metu alyva į turbogeneratorių tiekama elektra varomu pagalbiniu alyvos siurbliu. Normalios eksploatacijos metu alyva tiekama pagrindiniu alyvos siurbliu, kuris prijungtas prie transmisijos ir yra jos varomas. Guoliai, movos, transmisija ir tūtų grupės reguliuojantys ventiliai bei atkirtos vožtuvas yra tepami ir aušinami su ta pačia turbinine alyva. Turbininė alyva tuo pačiu metu yra tepalas, aušinimo skystis bei turbinos valdymo hidraulinės sistemos darbinė terpė.

Alyvos kontūras eksploatuojamas kaip žemo slėgio alyvos kontūras. Praėjusi pro siurblius, turbininė alyva teka pro dvigubą alyvos filtrą ir pro alyvos aušintuvą. Alyvos slėgis yra reguliuojamas slėgio reguliavimo vožtuvu (redukciniu vožtuvu), o temperatūra reguliuojama temperatūros reguliavimo vožtuvu. Tiek slėgio reguliavimo vožtuvas, tiek temperatūros reguliavimo vožtuvas yra reguliavimo įrenginiai, dirbantys be išorinės energijos. Alyvos garai, kurie atsiranda guoliuose ir alyvos rezervuare, yra ištraukiami ir filtruojami alyvos lašelių separatoriuje. Alyvos slėgiai ir debitai, būtini įvairiems vartotojams, yra nustatomi diafragmų pagalba, kurios sumontuotos prieš kiekvieną vartotoją.

3.2.4 Garo sandarinimo/nuotėkio sistema

Garų sandarinimo/nuotėkio sistema susideda iš tokių pagrindinių komponentų:

- Tiekiamo ir atidirbusio sandarinimo garų kolektorių;
- Sandarinimo garų reguliavimo ventilis;
- Apsauginis vožtuvas;
- Sandarinimo garų kondensatorius.

Kai turbina paleidžiama, oras yra pasiurbiamas per turbinos labirintinius sandarinimus į turbinos vidų, nes turbinos korpuso viduje tuo metu būna neigiamas slėgis. Didėjant turbinos našumui, neigiamas slėgis labirintiniuose sandarinimuose šviežio garų pusėje didėja, kai tuo tarpu slėgis labirintiniuose sandarinimuose atidirbusio garų pusėje visada atitiks slėgį kondensatoriuje. Siekiant išvengti oro pasiurbimo į kondensatorių, į labirintinius sandarinimus tiekiamas garas.

Kai pasiekiamas nominalus garų srautas per turbiną, slėgis labirintiniuose sandarinimuose šviežio garų pusėje bus didesnis už atmosferinį, ir atsiras garų nuotėkiai. Šių garų nuotėkių nukreipimui į labirintinius sandarinimus atidirbusio garų pusėje (kaip sandarinimo garą) naudojamas kolektorius.

Priklausomai nuo slėgių santykio ir eksploatacijos būdo, nuotėkio garų kiekis iš labirintinio sandarinimo šviežio garų pusėje gali būti didesnis, nei reikalingas garų kiekis labirintiniuose sandarinimuose atidirbusio garų pusėje, arba šie kiekiai gali būti identiški, arba vienodi sandarinimo garų kiekiai reikalingi abiejuose labirintiniuose sandarinimuose.

Siekiant užtikrinti, kad sandarinimui būtų tiekiamas tik būtinas garų kiekis, slėgis garų nuotėkio kolektoriuje yra reguliuojamas.

Apsauginis vožtuvas su oro kanalu yra suprojektuotas ant nuotėkio garų kondensatoriaus, kad išvengti pernelyg didelio nuotėkio garų srauto. Apsauginis vožtuvas yra suprojektuotas taip, kad nuotėkio garų kolektoriuje palaikytų 5 – 10 mbar perteklinį slėgį.

Kadangi labirintiniai sandarinimai suprojektuoti kaip bekontaktiniai riebokšliai, jie paprastai nėra visiškai nepralaidūs. Todėl papildomi atmosferinio slėgio kanalai yra nuvedami nuo labirintinių sandarinimų į nuotėkių kondensatorius. Tokiu būdu minimizuojami garų nuotėkiai guolių kryptimi.

Nuotėkio garų kondensatorius yra atmosferinio slėgio kondensatorius, t.y., jis negali būti eksploatuojamas, esant didesniam slėgiui. Siekiant apsaugoti nuo viršslėgio, joks kitas

vamzdynas ar kita sistema negali būti prijungta prie atmosferinės jungties. Kondensatoriaus išėjime negali būti įrengti kondensato puodai ar kita armatūra.

3.2.5 Drenažo sistema

Drenažo sistema susideda iš tokių pagrindinių komponentų:

- Rankinio valdymo uždarytasis vožtuvas;
- Kondensato puodo;

Kai turbina paleidžiama, turbinos viduje susidarys kondensatas. Kondensatas susidarys, nes garą aušins šaltas turbinos korpusas bei kiti šalti komponentai turbinos viduje. Kondensato kiekis priklausys nuo garo parametrų bei nuo komponentų, kurie bus šildomi, masės.

Rankinio valdymo uždarymo vožtuvas turi būti atidarytas ar uždarytas priklausomai nuo mašinos naudojimo, paleidimo režimo, eksploatavimo ar aptarnavimo tolygumo.

3.2.6 Turbinos valdymo spinta

Turbinos valdymo spinta susideda iš tokių pagrindinių komponentų:

- Turbinos valdiklis;
- Turbinos reguliatorius;
- Apsaugos ir apribojanti įranga;
- Elektros generatoriaus apsaugos įranga;
- Valdymo ir įvesties įtaisai (jungikliai, mygtukai ir lietimui jautrus ekranas);

Turbinos valdiklis:

- Kontroliuoja turbogeneratoriaus darbą eksploatacijos metu, fiksuodamas neleistinas eksploatacines būsenas ir įspėja operatorių arba išjungia (sustabdo) turbogeneratorių.
- Kontroliuoja garo parametrus turbogeneratoriaus paleidimo metu ir patvirtina operatoriaus sprendimą paleisti turbogeneratorių arba tokį sprendimą atmeta, jeigu atitinkami reikalavimui netenkinami.
- Automatiškai sinchronizuoja turbogeneratorių su elektros tinklu.

- Valdo turbogeneratorių pagal nustatytą valdymo būdą ir pagal operatoriaus iš anksto parinktus parametrus.

Turbinos valdiklis yra suprojektuotas taip, kad darbo metu būtinas tik minimalus operatoriaus įsikišimas.

3.2.7 Matavimo įranga

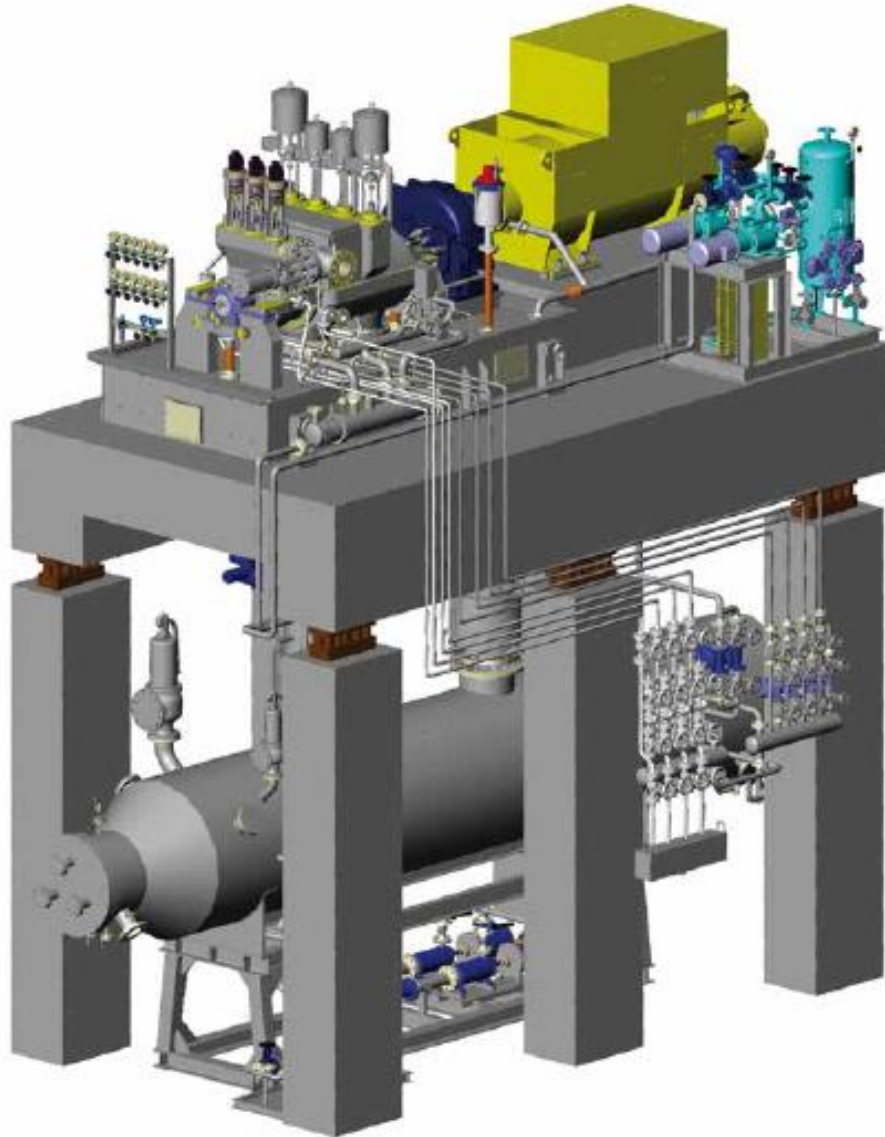
Pagrindinė matavimo įranga susideda iš:

- Garo slėgio matavimo prietaisų;
- Garo temperatūros matavimo prietaisų;
- Alyvos slėgio matavimo prietaisų;
- Alyvos temperatūros matavimo prietaisų;
- Apsisukimo dažnio matavimo prietaisų;
- Veleno pozicijos matavimo prietaisų;
- Vibracijos matavimo prietaisų;

Matavimo prietaisų tiekiamą informaciją analizuojama turbinos valdymo spintoje ir verčiama į matuojamų dydžių reikšmes, aliarmo pranešimus ir įjungimus/išjungimus.

3-2 Lentelė Garo turbinos techniniai rodikliai

Turbinos parametrai	
Generatoriaus el. galia, kW _{el}	2500 kW _{el}
Garo pakopų skaičius	8 pakopos
Sukimosi greitis, aps/min	8940
Garo parametrai	
Įėjimo slėgis, bar	29
Garo temperatūra įėjime, °C	425
Garo slėgis išėjime, bar	0,25 – 0,40



3-2 pav. UTENOS kogeneracinės jėgainės „M+M TURBINEN TECHNİK“ 2,5 MW garo turbina

3.3 Garo turbinos eksploatacijos problemos ir gedimai

Eksploatuojant kogeneracinę jėgainę reikia atsižvelgti į elektros ir šilumos rinkos paklausą, laikytis nustatytų darbo grafikų ir elektros supirkimo kvotų.

Priklausomai nuo išorės sąlygų ir elektros arba šilumos poreikio, kogeneracinės jėgainės operatorius gali pasirinkti vieną iš šių režimų:

- Šilumos gamybos režimas
- Elektros energijos gamybos režimas

Garų turbina privalo veikti tokiais režimais:

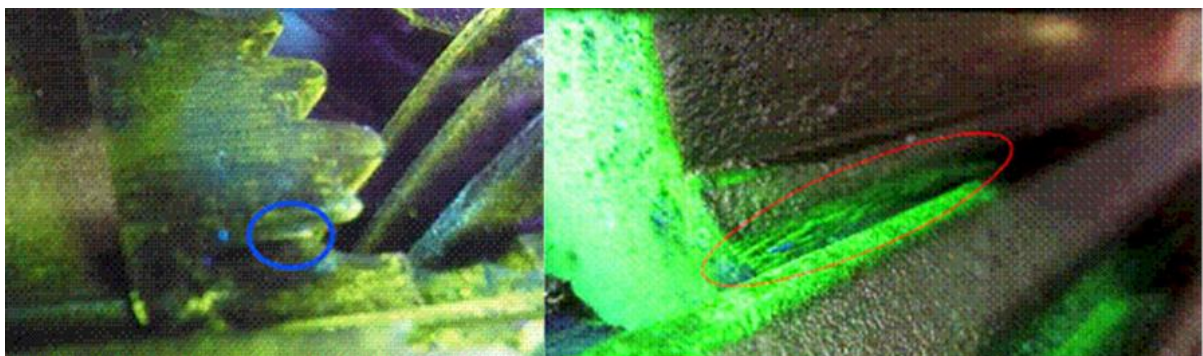
- Elektrinės galios reguliavimas
- Garo slėgio turbinos kondensatoriuje (priešslėgio) reguliavimas
- Garo slėgio prieš turbiną reguliavimas

Priklausomai nuo šilumos ir elektros gamybos poreikio, garo turbinas tenka eksploatuoti įvairiais darbo režimais pvz.:

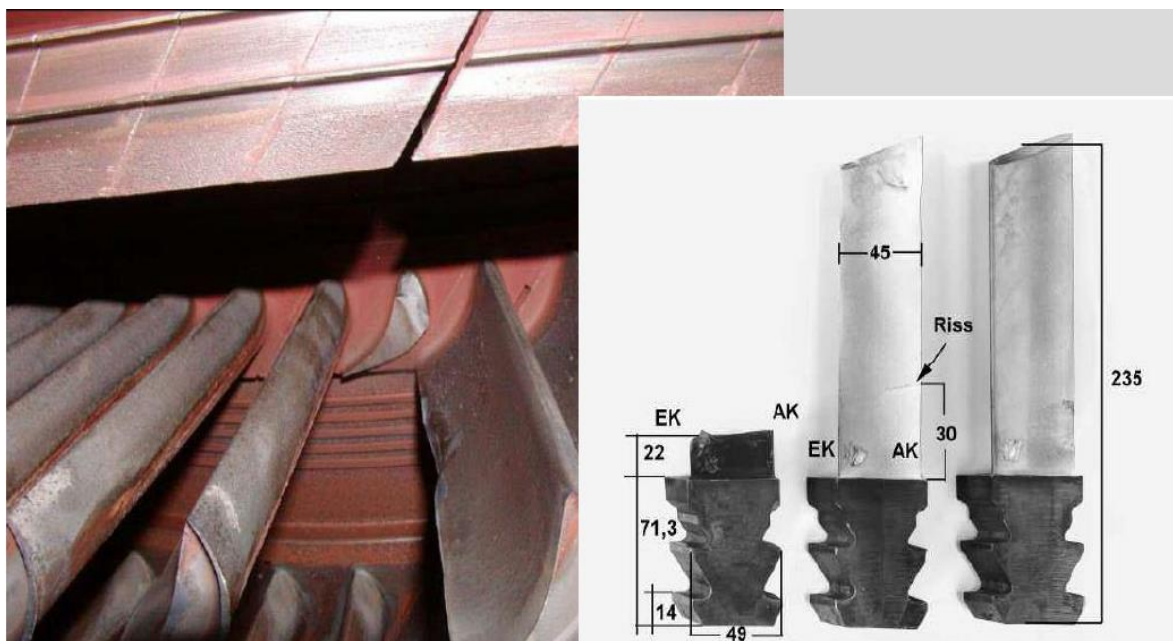
- 1) Didesnis darbo valandų skaičius minimaliu apkrovimu
- 2) Išaugęs paleidimų ir stabdymų skaičius
- 3) Staigus apkrovimų pokytis
- 4) Garo turbinos avariniai stabdymai ir prastovos

Esant tokiems režimams tam tikrais laiko tarpais padidėja turbinos vibracijų reikšmės, poslinkiai, atsiranda didesnės erozijos tikimybė vožtuvuose ir tūtose. Dažnai pasitaikančios problemos eksploatacijos metu yra pateiktos [1] ir [7] literatūroje, dalis šių problemų pateikiu tolimesniame tekste.

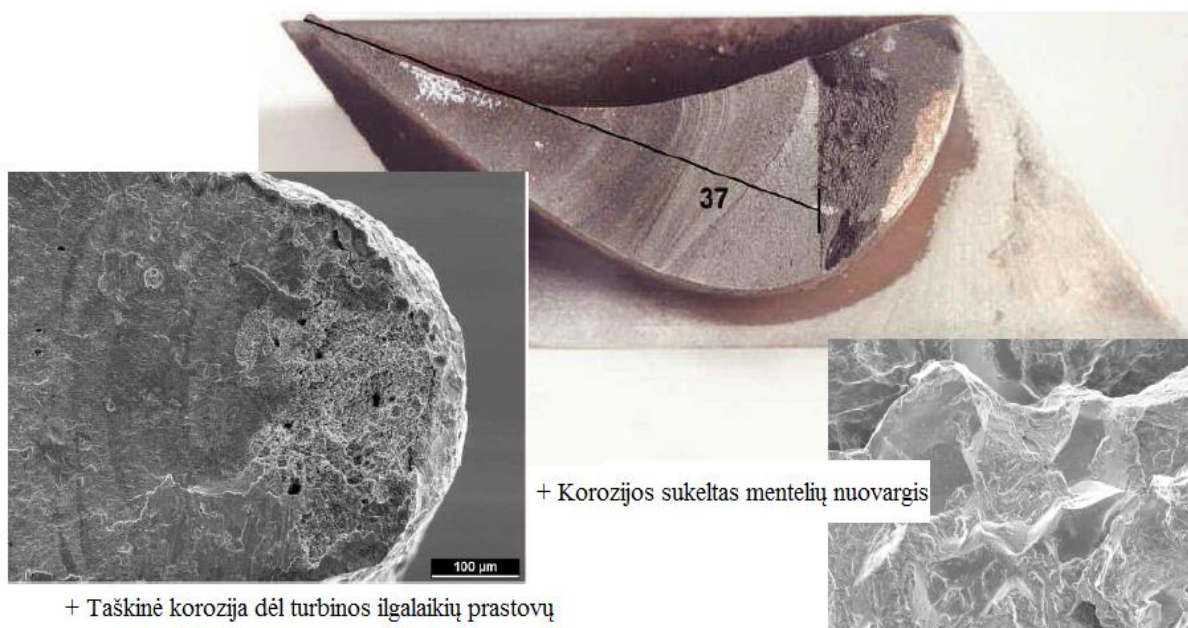
3-4 pav. pavaizduota dalies mentelių nudilimas ir nulūžimas, kai garo turbina buvo išmontuota po 80 000 - 130 000 h darbo. Išaugęs garo turbinos paleidimų – stabdymų skaičius sukelia mikro įtrūkius rotoriaus grioveluose (3-3 pav.).



3-3 pav. Turbinos rotoriaus griovelių įtrūkimai po 1000 paleidimų



3-4 pav. Pirmos eilės mentelių nulūžimai ir įtrūkimai



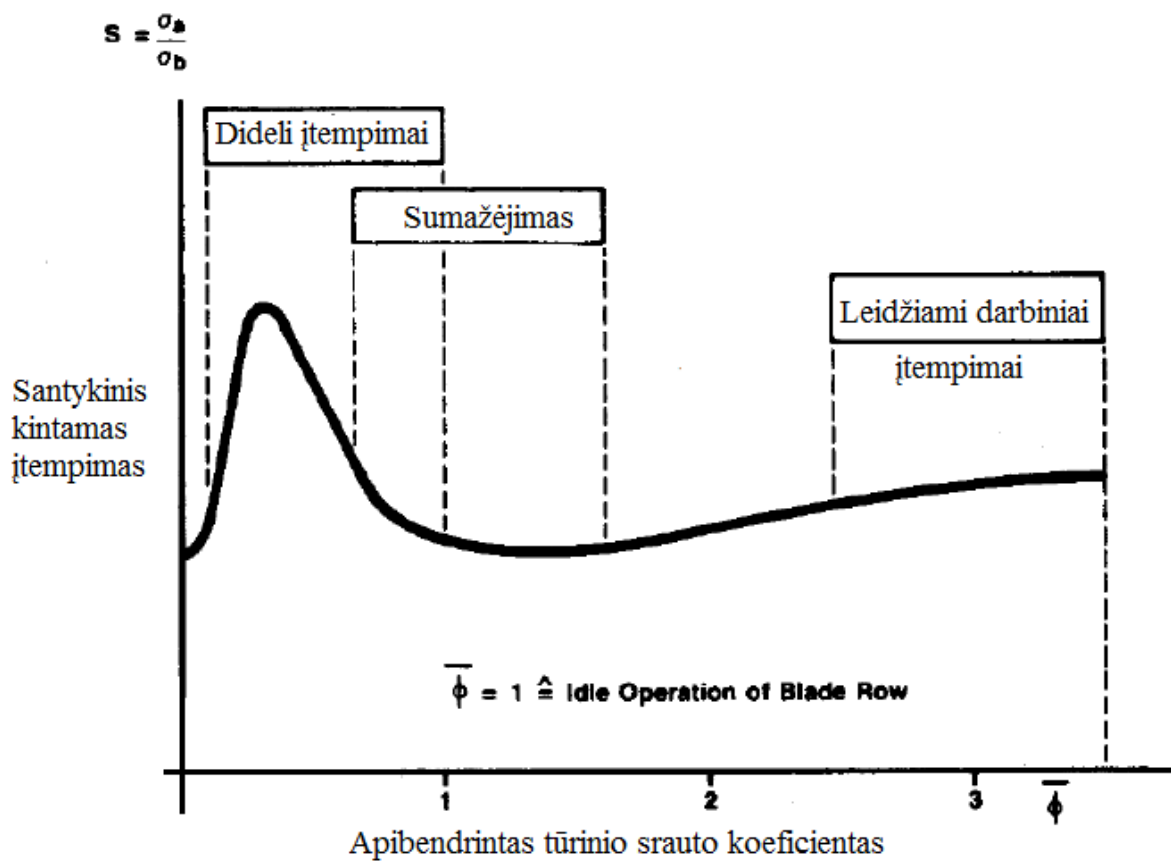
+ Taškinė korozija dėl turbinos ilgalaikių prastovų

3-5 pav. Mentelių lūžiai sukelti dėl atsiradusio rezonanso tam tikram greičių diapazone

Kiekvienos garo turbinos techniniame pase ar eksploatavimo instrukcijoje turi būti pateikta minimalus leidžiamas apkrovimas, kuris turi būti užtikrinamas. Esant darbo režimo nukrypimams nuo leidžiamų normų, turbina turi būti stabdoma avariniu režimu norint išvengti rimtų gedimų.



3-6 pav. Mentelių dilimas dirbant minimaliu, ribiniu apkrovimu



3-7 pav. Santykinių įtempių priklausomybė nuo per turbiną tekančio garo srauto

3.4 Garo turbinos kondensatorius

Kondensacinių įrenginių paskirtis dvejopa: jie sukondensuoja iš turbinos ištekantį garą ir palaiko vakuumą turbinos garo išmetimo dalyje. Sudarius vakuumą, turbinoje geriau panaudojama garo šiluma ir kartu būna didesnis turbinos naudingumo koeficientas.

UAB „Utenos šilumos tinklai“ katilinėje termofikacinis vanduo pašildomas garo turbinos 7,8 MW galingumo kondensatoriuje. Jo gamintojas yra Austrijų įmonė „APL Apparatebau“ GMBH.

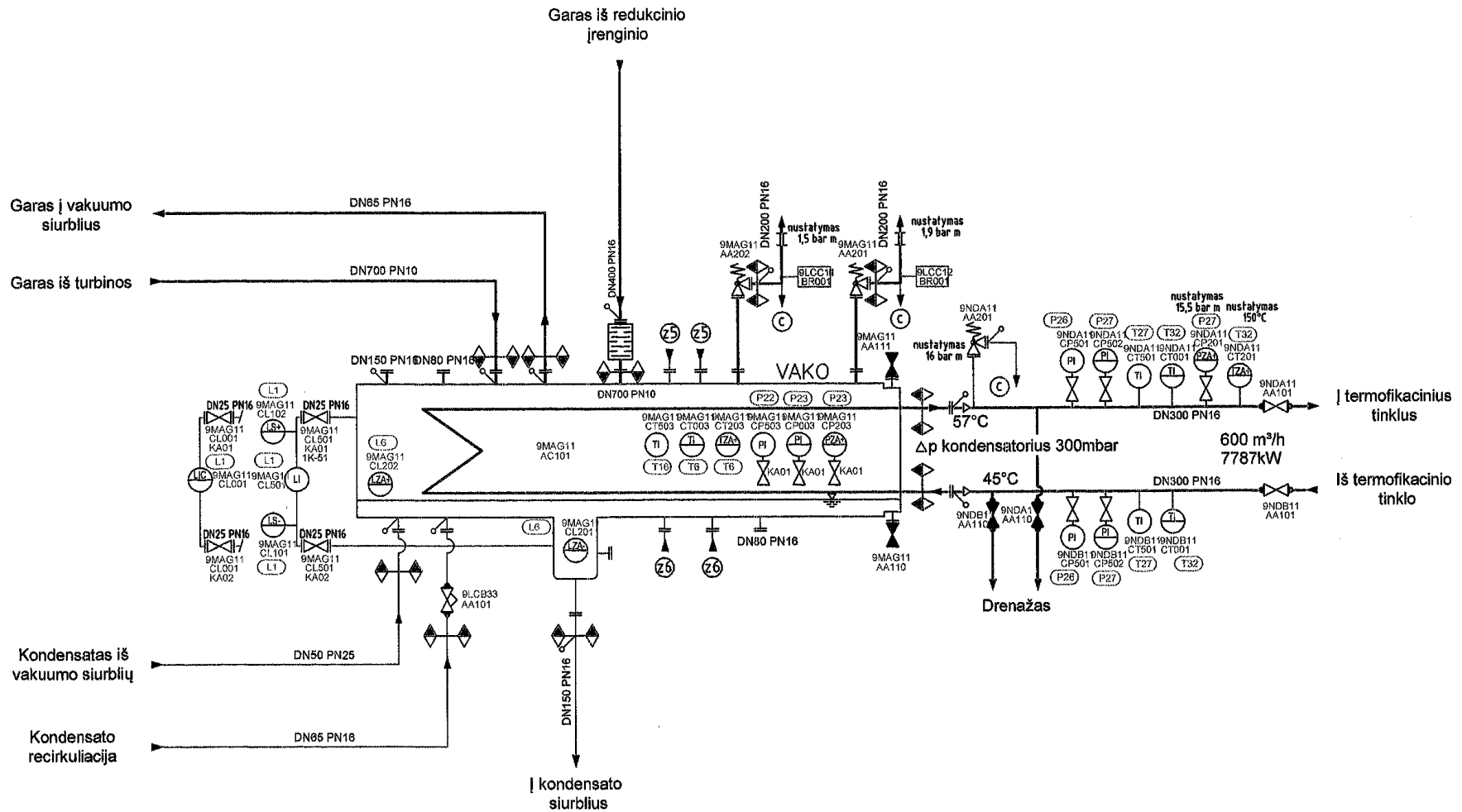
Kondensacijos procesas vykdomas prie pastovaus slėgio ir pastovios kondensacijos temperatūros, tuo pačiu vyksta aušinančio vandens pašildymas. Kondensacijos procesas gali vykti prie bet kokio slėgio, bet kuo mažesnis slėgis turbinos galinėje dalyje(išėjime), tuo didesnis turbinos efektyvumas prie tų pačių parametrų. Vandens garo savybės tokios, kad leidžiant garui plėstis iki slėgio mažesnio nei atmosferinis slėgis, galima padidinti garo entalpijų perkrytį turbinoje apie 30 %. Todėl kondensatoriaus pagrindinis uždavinys sukurti ir palaikyti vakuumą išėjime.

Vakuumui kondensatoriuje ir turbinos išėjime sukurti ir palaikyti naudojamas ežektorius, kuris taip pat pašalina susikaupusias dujas.

Kondensatoriaus įrenginio schema pavaizduota 3-8 pav. Išeinantis iš turbinos garas patenka į kondensatoriaus atvamzdį, praeina tarp aušinančių vamzdžių, kondensuojasi ir patenka į kondensato surinkimo baką.

Iš kondensato surinkimo bako kondensatas pumpuojamas kondensato siurbliais. Inertines dujas, kurios susiformuoja veikiančiame po vakuumu kondensatoriuje, galima pašalinti iš kondensatoriaus garo ežektoriumi. Ežektoriaus veikimui reikalingas garas tiekiamas į šilumokaitį, kur aušinamas. Kondensatas šilumokaityje yra aušinantis skystis, jis yra tiekiamas iš kondensato bako. Po aušinimo kondensatas susirenka kondensato inde ir paskui patenka atgal į baką. Kad būtų užtikrintas nuolatinis aušinimas ir siurblių veikimas be kavitacijos ir su žema apkrova, kondensato talpos pastovus lygis yra palaikomas trieigio vožtuvo pagalba.

Aušinantis vanduo teka į atvamzdį, šyla, aušinant garą ir išeina pro atvamzdį. Kondensatoriumi galima naudotis, jeigu reikia pašildyti CŠT tinklą vandenį (pablogintas vakuumas). Jeigu vanduo pašildomas nuo 40 °C iki 90 °C, priešslėgis turbinos gale gali pasiekti 0,7 bar. Jeigu reikia pašildyti vandenį nuo 40 °C iki 70 °C (vasaros metu), priešslėgis turbinos gale gali pasiekti 0,54 bar.



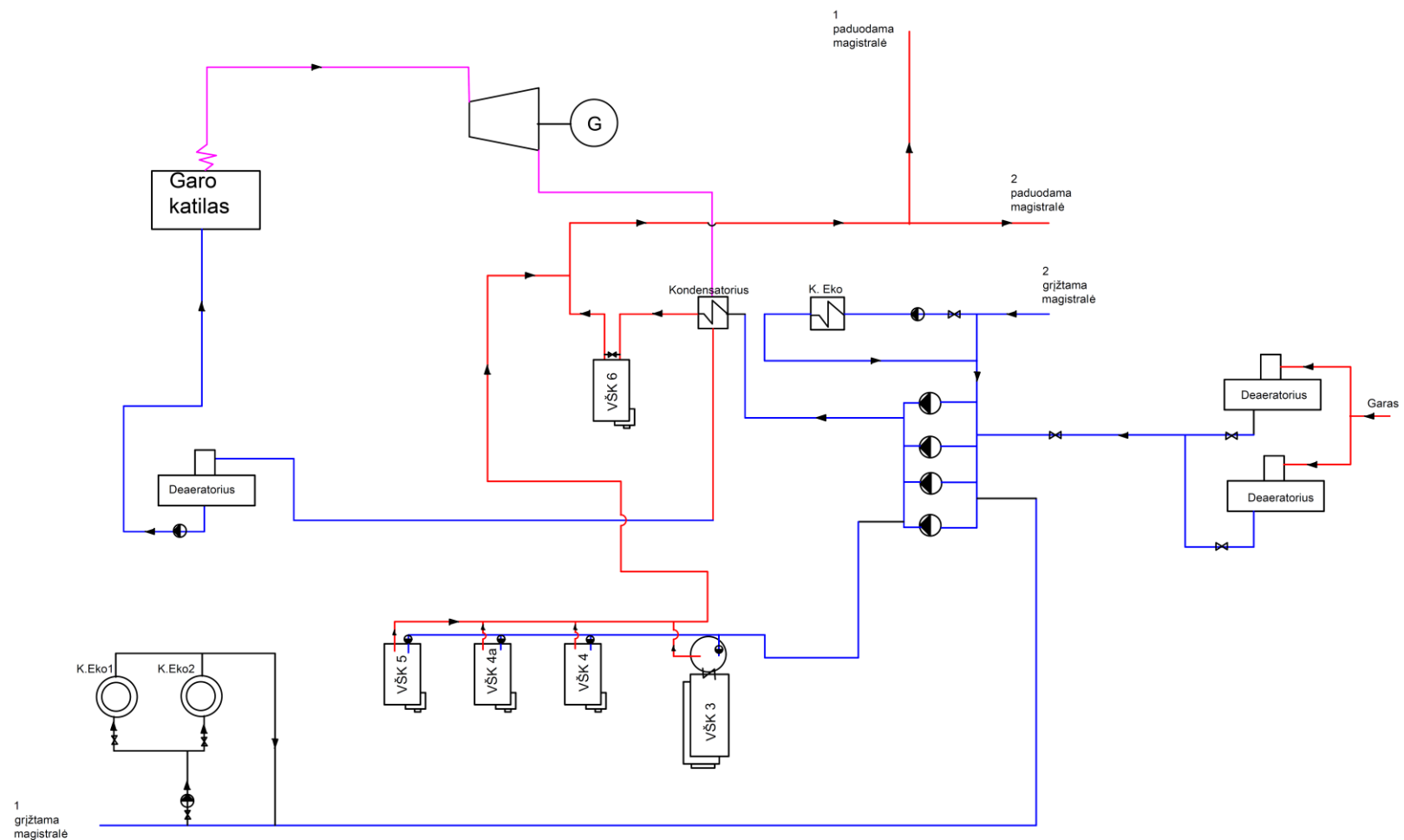
3-8 pav. Garo kondensatoriaus principinė schema

3.5 Termofikacinio vandens pašildymo principinė schema

Utenos šilumos tinklai savo katilinėje termofikacinio vandens pašildymui eksploatuoja 4 po 14 MW dujinius „Thermax“ ir 8 MW biokuru kūrenamą vandens šildymo katilus (3-9 pav.)

Taip pat veikia kogeneracinis jėgainės blokas, kuris gamina šilumą ir elektrą. Iš I-oios ir II-osios CŠT tinklų magistralės grįžtantis termofikacinis vanduo pašildomas kondensaciniuose ekonomaizeriuose K.EKO1 ir K.EKO2, toliau vanduo keliauja į pagrindinę trasą kur susimaišo su pagrindiniu srautu. Katilinėje įrengti 4 termofikaciniai tinklo siurbliai: trys darbiniai ir vienas rezervinis. Jie palaiko reikiamą slėgį ir tiekiamo vandens debitą į CŠT sistemą.

Nešildymo (vasaros) sezono metu CŠT sistemoje tiekiamo šilumnešio temperatūra palaikoma 70 °C. Tačiau esant šildymo sezonui, katilinė dirba pagal temperatūrinį šilumos tinklų grafiką, kuris priklauso nuo aplinkos oro temperatūros. Taigi, norint užtikrinti aukštesnę šilumnešio temperatūrą, naudojami papildomi dujiniai katilai. Praėjęs pro kondensatorių termofikacinis vanduo papildomai pašildomas dujiniame VŠK6 katile. Toliau termofikatas paskirstomas I-ąja ir II-ąja magistrale šilumos vartotojams.



3-9 pav. Termofikacinio vandens pašildymo principinė schema

4 Garo turbinos efektyvumo skaičiavimas

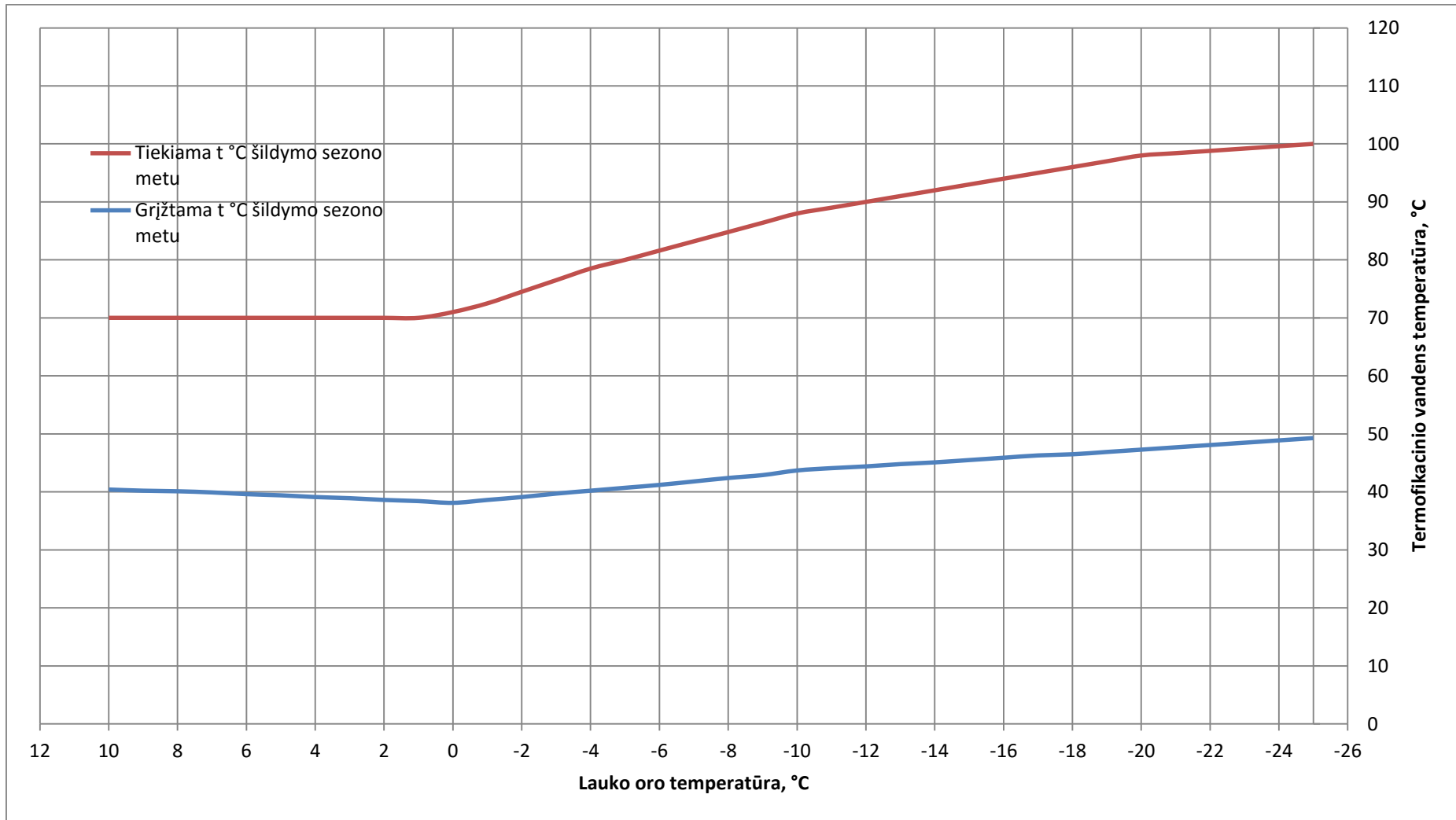
Norėdamas išnagrinėti UAB „Utenos šilumos tinklą“ kogeneracinės jėgainės darbą susidariau sau veiksmų sekos algoritmą, pagal kurį toliau magistro baigiamajame darbe skaičiuosiu garo turbinos darbo efektyvumo režimus vasaros, pereinamojo ir žiemos sezono laikotarpiais. Taip pat šie skaičiavimai bus skirti turbinos elektros gamybos efektyvumui įvertinti.

- 1) Remiantis UAB „Utenos šilumos tinklą“ duomenimis ir termofikacinio vandens temperatūriniu grafiku sudaroma duomenų lentelė.

- 2) Garo turbinos techninių parametrų įvedimas

Garų slėgis įėjime, bar	p_1
Garų temperatūra įėjime, °C	t_1
Garų slėgis išėjime, bar	p_2
Garų temperatūra išėjime, bar	t_2
Garų entalpija, kJ/kg	h
Garų debitas, kg/h	G
Generatoriaus elektrinė galia, kW	P

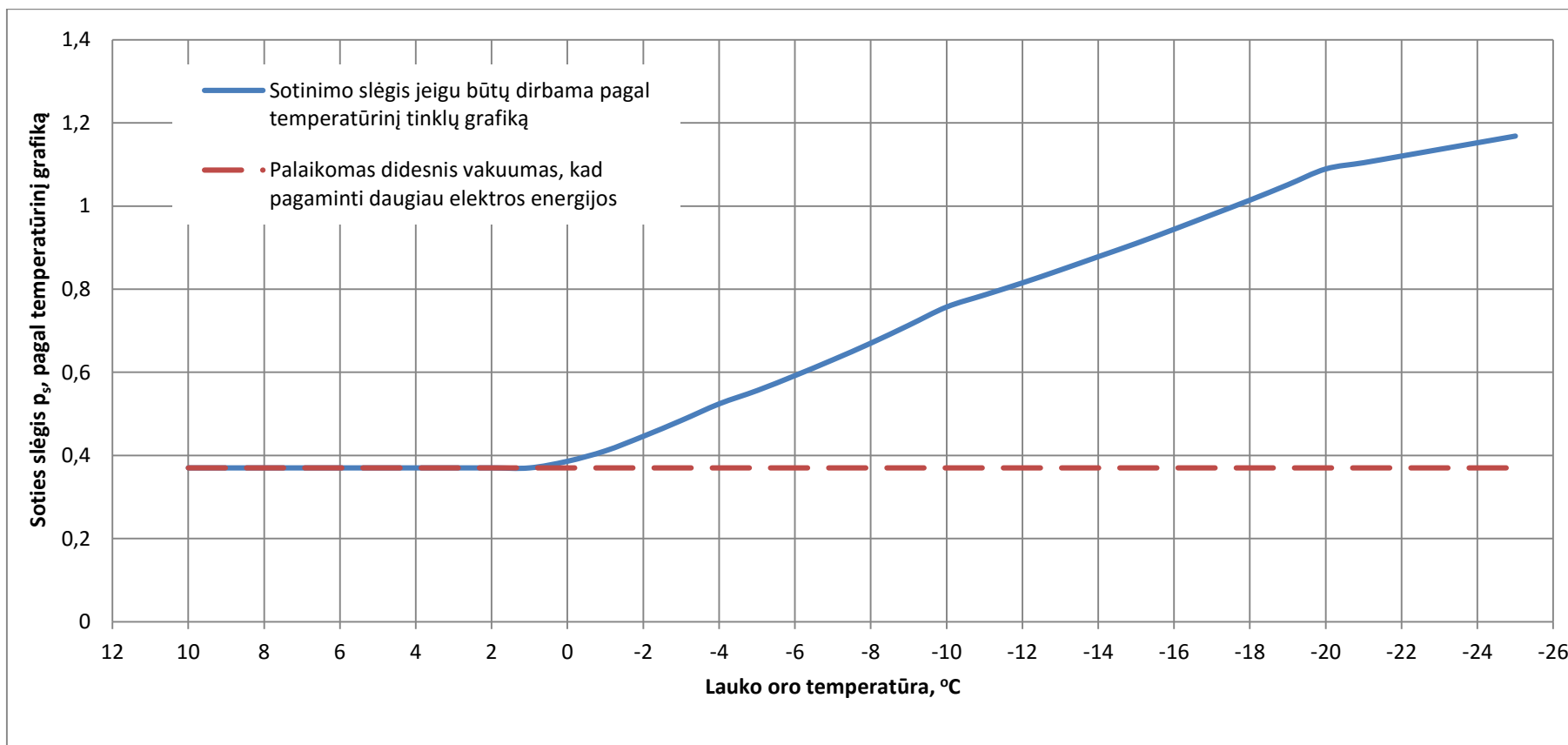
- 3) Sudaroma turbinos el. galios priklausomybė nuo tiekiamo garo debito
- 4) Apskaičiuojamas turbinos darbo valandų, h skaičius;
- 5) Apskaičiuojama pagaminta el. energija per metus
- 6) Apibendrinami duomenys ir pateikiamos išvados efektyviai garo turbinos elektros gamybai užtikrinti



4-1 pav. Šilumos tinklų temperatūrinis grafikas

4-1 Lentelė Sotinimo slėgis prieš kondensatorių pagal Utenos šilumos tinklų temperatūrinį grafiką

toro	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25
ttiek	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	71	72.5	74.5	76.5	78.5	80	81.6	83.2	84.8	86.4	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	98.4	98.8	99.2	99.6	100
ttiek+4	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	75	76.5	78.5	80.5	82.5	84	85.6	87.2	88.8	90.4	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	102.4	102.8	103.2	103.6	104
Ps	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37	0.386	0.411	0.446	0.484	0.524	0.556	0.592	0.63	0.67	0.713	0.757	0.786	0.815	0.846	0.878	0.91	0.944	0.979	1.014	1.051	1.089	1.104	1.12	1.136	1.152	1.168



4-2 pav. Sotinimo slėgis prieš kondensatorių dirbant šildymo sezono metu, šilumos gamybos režimas ir elektros gamybos režimas

UAB „Utenos šilumos tinklai“ kogeneracinėje jėgainėje slėgis prieš kondensatorių palaikomas 0,4 bar, o tai reiškia, kad termofikacinis vanduo pašildomas iki 70 -75 °C. Šildymo sezono metu, kai dirbama pagal šilumos tinklų temperatūrinį grafiką (4-1 pav.), termofikacinis vanduo papildomai pašildomas atskirame katile.

Tačiau yra elektrinių (pvz. UAB „Fortum Klaipėda“, UAB „Danpower baltic“ Kaune), kurios gali dirbti keliais darbiniais režimais:

1) Šilumos gamybos reguliavimo režimas

TE naudojamas daugiapakopis termofikacinio vandens pašildymas, užtikrinantis aukštą elektrinės šiluminį veiksmingumą ir pagerinantis schemas reguliavimo galimybes, o šio proceso metu TE generuoja tam tikrą elektrinę galią.

Šilumos gamybos režimu pagrindinis vaidmuo tenka būtinybei reguliuoti centrinio šilumos tiekimo sistemos parametrus.

Operatorius užduoda režimą „Šilumos gamybos reguliavimas“ ir nustato šilumos tinklų reikalaujamą apkrovą pagal pateiktas kvotas arba dispečerinį grafiką. Tinklo siurbliai palaiko šiluminę apkrovą pagal šiluminės galios dispečerinį paros grafiką, keisdami termofikacinio vandens srautą per šildytuvus.

Uždarojo kontūro siurbliai turi užtikrinti termofikacinio vandens užduotosios temperatūros palaikymą TE išėjime.

Šiuo režimu turbinos reguliatorius turi automatiškai persijungti į garo slėgio turbinos kondensatoriuje reguliavimo (priešslėgio) režimą, kuriuo gaminama šiluma.

Pakeitus šiluminės galios užduotąją vertę pagal šilumos tinklų dispečerinį grafiką (suteiktomis kvotomis), turbinos priešslėgio reguliatorius keičia turbinos garo apkrovą. Tuo pat metu kondensatoriuje priešslėgio reguliatorius palaiko programiškai suformuotą priešslėgio priklausomybės nuo šiluminės galios funkcijos užduotąją vertę (pagal turbinos gamintojo duomenis). Jei šilumos tinklų dispečerinio grafiko užduotoji vertė viršija vardinę projektinę šilumos gamybą, priešslėgio reguliatorius keičia (didina) kondensuojamo garo slėgį, taip didindamas šilumos gamybą ir automatiškai mažindamas elektros energijos generavimą. Atitinkamai didėja kondensacijos temperatūra. Tiekiamo termofikacinio vandens temperatūros signalas (pagal termofikacinio vandens temperatūros priklausomybės nuo aplinkos temperatūros temperatūrinį grafiką) priešslėgio reguliatoriui turi veikti kaip koreguojantysis signalas.

Tokiu režimu katilo apkrovos reguliatorius turi automatiškai persijungti į garo užduotojo (vardinio) slėgio už katilo (pagrindiniame garo vamzdyne) palaikymo režimą.

2) Slėgio šilumos tinkluose reguliavimo režimas

Slėgio šilumos tinkluose reguliavimo režimas taikomas tuo atveju, kai TE autonominiu režimu veikia miesto centrinio šilumos tiekimo sistemos daliai.

Veikiant slėgio šilumos tinkluose reguliavimo režimu, pagrindinis vaidmuo tenka būtinybei reguliuoti centrinio šilumos tiekimo sistemos parametrus, susijusius su termofikacinio vandens slėgio palaikymu.

Operatorius užduoda režimą „Slėgio šilumos tinkluose reguliavimas“ ir nustato reikalaujamą slėgio vertę tinklo siurblių slėginėje pusėje.

Tinklo siurbLIAI palaiko užduotą slėgio vertę slėginėje pusėje. Uždarajo kontūro siurbLIAI turi užtikrinti termofikacinio vandens temperatūros palaikymą TE išėjime.

Pakeitus slėgį tinklo siurblių slėginėje pusėje, keičiasi termofikacinio vandens šildytuvuose šilumos paėmimas ir atitinkamai šilumos paėmimas kondensatoriuje. Keičiasi priešslėgis turbinos išmetime. Garo turbinos priešslėgio reguliatorius, matuodamas slėgį už garo turbinos, siunčia signalus į garo turbinos garo reguliavimo vožtuvus, kol bus pasiektas užduotas priešslėgis.

Tokiu režimu katilo apkrovos reguliatorius automatiškai persijungia į garo užduotojo slėgio už katilo (pagrindiniame garo vamzdyne) palaikymo režimą.

3) Didžiausios elektros energijos gamybos režimas

Labiausiai pageidautinas garo turbinos veikimo režimas „Elektros režimu“ yra režimas „prieš turbiną“ (kaip saugiausias ir patikimas garo turbinos režimas), kai garo vardinis slėgis reguliuojančiais vožtuvais palaikomas garo turbinoje. Katilo agregato reguliatorius palaiko užduotą didžiausią elektrinę galią (keisdamas garo srautą).

Šilumos gamyba taps antraeile užduotimi ir priklausys nuo garo srautą per turbiną pagal turbinos gamintojo pateiktą priklausomybę esant vardiniam vakuumui.

Operatorius turi parinkti TE veikimo režimą „Elektros energijos gamyba“ ir nustatyti reikalaujamą katilo apkrovą ir perjungti katilo agregato reguliatorių veikti elektrinės galios režimu. Katilo agregato apkrovos reguliatorius sureguliuos gaminamos elektrinės galios (garo) kiekį iki operatoriaus užduotos vertės, tai darydamas greičiu, kurį lemia leistinosios dinaminės katilo savybės.

Garo turbinos reguliavimo sistema turi automatiškai įsijungti veikti slėgio „prieš turbiną“ palaikymo režimu ir palaiko užduotąjį (vardinį) slėgį prieš turbinos vožtuvus, taip valdydama turbinos reguliavimo vožtuvus.

Uždarojo kontūro siurbLIAI užtikrina didžiausią šilumos paėmimą garo turbinos kondensatoriuje, palaikydami didžiausią srautą.

Tuo metu tinklo siurbLIAI turi užtikrinti didžiausią šilumos paėmimą – didžiausią termofikacinio vandens srautą per šildytuvus arba būti įjungti veikti užduotojo slėgio palaikymo slėginėje pusėje (TE išėjime) režimu.

Padidėjus slėgiui garo vamzdyne, garo perteklius išmetamas per turbinos apvado liniją.

4) Elektros energijos gamybos reguliavimo režimas

Garas turbina gali būti perjungiamas veikti elektrinės galios reguliavimo režimu, kai būtina palaikyti tam tikro (nustatyto pagal dispečerinį paros grafiką, leistinas elektros energijos pardavimo kvotas arba kitus užduotus parametrus) kiekio elektros energijos gamybą. Garo turbinos galios regulatoriaus paskirtis – keičiant į turbiną tiekiamo garo srautą palaikyti užduotą elektrinę generatoriaus galią. Operatorius užduoda režimą „Elektrinės galios reguliavimas“ ir nustato reikalaujamą garo turbinos apkrovą ir galios keitimo spartą (greitį). Šiuo režimu operatorius gali užduoti: pastovią galią generatoriaus (MKA10CE010) išvaduose; arba valandinę elektros energijos gamybą pagal dispečerinį grafiką. Katilo apkrovos regulatorius automatiškai persijungia palaikyti vardinį garo slėgį už katilo tokiu greičiu, kurį lemia leistinosios dinaminės katilo savybės.

Uždarojo kontūro siurbLIAI užtikrina didžiausią šilumos paėmimą garo turbinos kondensatoriuje, palaikydami didžiausią srautą.

Tuo metu tinklo siurbLIAI turi užtikrinti didžiausią šilumos paėmimą – didžiausią termofikacinio vandens srautą per šildytuvus arba būti įjungti veikti užduotojo slėgio palaikymo slėginėje pusėje (TE išėjime) režimu.

Siekiant užtikrinti didžiausią TE ekonomiškumą ir veiksmingumą, būtina palaikyti didžiausią įmanomą vandens srautą uždareme kontūre per turbinos kondensatorių ir atitinkamai didžiausią įmanomą šilumos paėmimą centrinio šilumos tiekimo sistemos termofikacinio vandens šildytuvuose. Tokiu TE veikimo režimu kondensacijos temperatūra (atitinkamai ir termofikacinio vandens temperatūra) nustatoma pagal turbinos gamintojo pateiktą per eksploataciniame diapazone turbiną tekančio aštraus garo priklausomybę nuo slėgio išėjime į kondensatorių.

Šioje TE turbinos „galios“ reguliavimo režimas nebus labiausiai pageidautinas. Tinkamiausią veikimo režimą parenka operatorius atsižvelgdamas į išorės sąlygas ir elektros sistemos bei šilumos tinklų reikalavimus.

4-2 Lentelė Turbinos darbo valandų skaičius skirtingais darbo režimais

	T oro, oC	Valandos	T tiekiamo, oC	Ts, oC	ps (pagal Ts), bar
Vasaros režimas	>22	404	70	74	0.37
	22-20	280	70	74	0.37
	20-18	318	70	74	0.37
	18-16	515	70	74	0.37
	16-14	606	70	74	0.37
	14-12	622	70	74	0.37
	12-10	573	70	74	0.37
	10-8	520	70	74	0.37
	8-6	482	70	74	0.37
	6-4	492	70	74	0.37
-10oC režimas	4-2	623	70	74	0.37
	2-0	918	70	74	0.37
	0 -2	687	71	75	0.39
	-2 -4	458	76.5	80.5	0.48
	-4 -6	338	80	84	0.56
	-6 -8	256	83	87	0.63
	-8 -10	199	86.4	90.4	0.71
-23oC režimas	-10 -12	148	89	93	0.79
	-12 -14	99	91	95	0.85
	-14 -16	75	93	97	0.91
	-16 -18	53	95	99	0.98
	-18 -20	41	97	101	1.05
	-20 -22	19	98.4	102.4	1.10
	<-22	34	100	104	1.17

5 Garo turbinos kondensatoriaus vamzdelių užsiteršimo įtaka kogeneracinės jėgainės elektros gamybos efektyvumui

ES direktyvos skatina kogeneracinių jėgainių, vienu metu gaminančių tiek elektros, tiek šilumos energiją, statybą. Tokiose jėgainėse, naudojančiose atsinaujinančios energijos (pvz., biokurą) išteklius, pagaminta elektros energija priskiriama „žaliajai“ energijai, kurios gamyba ypač skatinama.

Suprantama, eksploatacijos metu būtina užtikrinti įrangos, tame tarpe ir turbinos kondensatoriaus, maksimalų efektyvumą. Kondensatoriaus vamzdeliais teka aušinantis (termofikacinis) vanduo laikui bėgant užteršia vamzdelių paviršių ir susidaręs nuosėdų sluoksnis sumažina šilumos perdavimo koeficientą. Taigi svarbu teisingai įvertinti eksploatacijos laikotarpį iki jėgainės stabdymo ir kondensatoriaus vamzdelių valymo.

5.1 Garo turbinos kondensatoriaus darbo ypatumai

Garų turbinos kondensatorius sudaro sąlygas panaudotam turbinos garui plėstis iki slėgio, mažesnio už atmosferos slėgį, nes besikondensuojantis garas staiga virsta skysčiu ir jo tūris sumažėja šimtus kartų. Kondensatoriaus aušinimui tiekiamas iš šilumos tinklų grįžtantis termofikacinis vanduo teka vamzdeliais, kuriuos apiplauna į tarp vamzdinę erdvę tiekiamas garas. Kadangi aušinantis termofikacinis vanduo nėra absoliučiai švarus, jame esančios priemaišos nusėda ant vamzdelių vidinio paviršiaus, pablogindamos šilumos mainus kondensatoriuje bei sumažindamos jo šiluminę galią. Vamzdelių išorinis paviršius taip pat gali būti padengtas druskomis, esančiomis garo sraute.

Kaip rodo praktika, šilumokaičių šilumos mainų paviršiai gali būti padengti įvairaus tipo nuosėdomis, kaip kad pateikta 10-1 lentelėje.

5-1 Lentelė Nuosėdų šilumos laidumo koeficientai

Nuovirų paviršius	Šilumos laidumo koeficientas (W/m·K)
Kalcio karbonatas	2,93
Mikrobiologinės dalelės	0,63
Kalcio sulfatas	2,31
Kalcio fosfatas	2,6
Magnio fosfatas	2,16
Magnetinis geležies oksidas	2,88

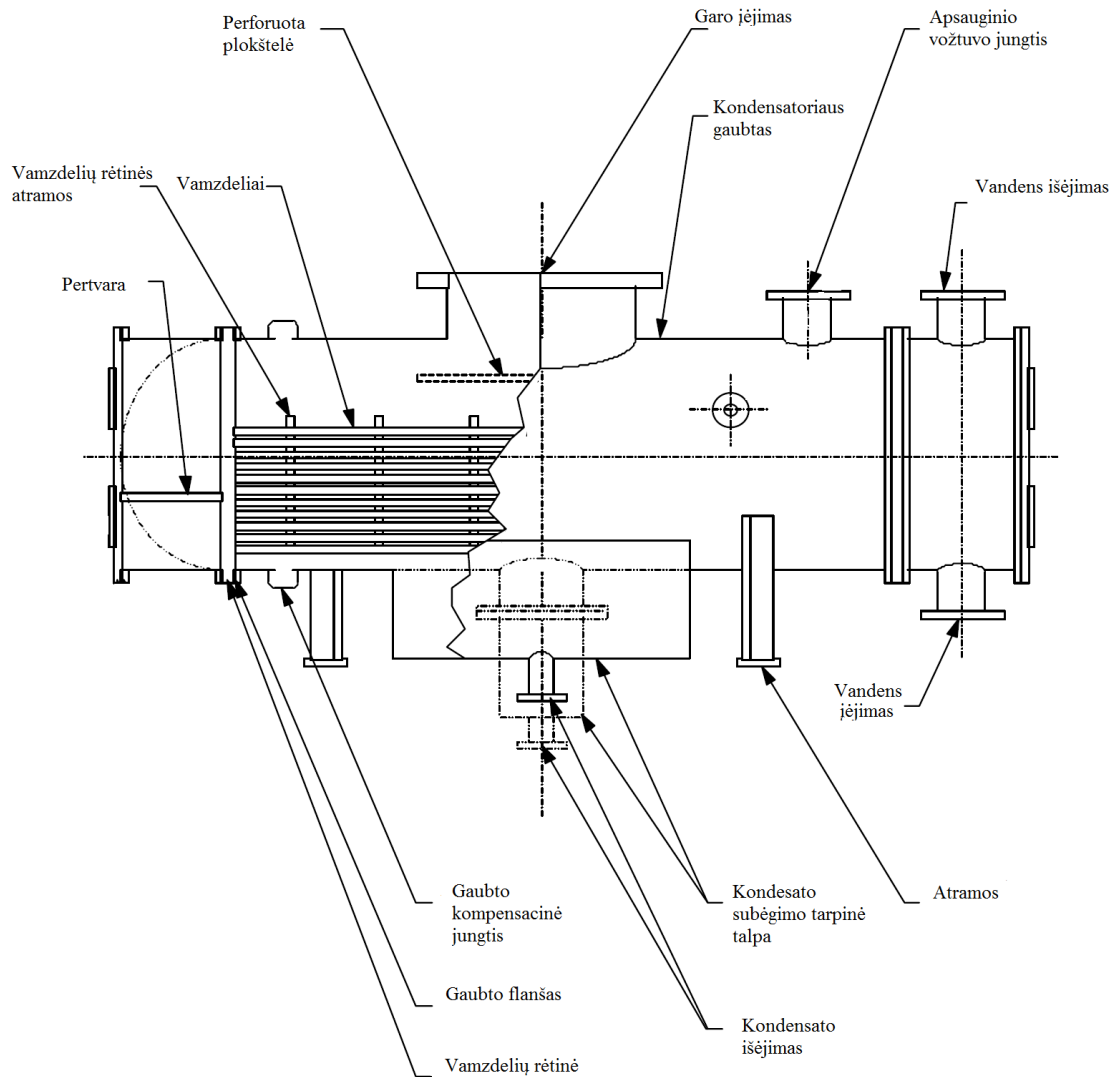
Šiame darbe nagrinėjamas 2,5 MW_{el} galios kogeneracinės jėgainės kondensatoriaus darbas, esant įvairiam vamzdelių užterštumo lygiui. Pvz., tokios galios jėgainė įrengta UAB „Utenos šilumos tinklai“ katilinėje.

Kondensatoriaus principinė schema pateikta 5-1 paveiksle.

Vandens su pašalinta druska, kuris naudojamas natūraliosios cirkuliacijos katilams pamaitinti, kokybė turi atitikti šias normas [16]:

5-2 Lentelė Garo katilo maitinimo vandens kokybė

Bendrasis kietumas, μg-ekv/dm ³ , ne daugiau kaip	1
Silicio rūgštis, μg/dm ³ , ne daugiau kaip	120
Natrio junginių, μg/dm ³ , ne daugiau kaip	80
Savitasis elektros laidis, μS/cm, ne daugiau kaip	2,0
Naftos produktų, mg/dm ³ , ne daugiau kaip	0,3



5-1 pav. Dviejų ejų paviršinio kondensatoriaus principinė schema

Pagrindiniai kondensatoriaus duomenys pateikti 5-3 lentelėje.

5-3 Lentelė Pagrindiniai kondensatoriaus duomenys

Pavadinimas	Matavimo vnt.	
Vandens srautas per kondensatorių	m ³ /h	554
Vidinis diametras	m	1,060
Vamzdelių išorinis skersmuo	m	0,02
Vamzdelio sienelės storis	m	0,001
Vamzdelio vidinis skersmuo	m	0,018
Vamzdelių skaičius	-	970

Lentelė 5-4 Tinklo vandens kokybės reikalavimai

<i>Laisvosios anglirūgštės</i>	Neturi būti
<i>pH šilumos tiekimo sistemoje:</i>	
atviroje	8,5-9,0
uždaroje	8,5-9,5
<i>Geležies junginių šilumos tiekimo sistemoje, mg/dm³:</i>	
Atviroje, ne daugiau kaip	0,2
Uždaroje, ne daugiau kaip	0,5
<i>Ištirpusio deguonies, μg/dm³, ne daugiau kaip</i>	20
<i>Suspenduotųjų medžiagų, mg/dm³, ne daugiau kaip</i>	5
<i>Naftos produktų šilumos tiekimo sistemoje, mg/dm³:</i>	
Atviroje, ne daugiau kaip	0,3
Uždaroje, ne daugiau kaip	1

5.2 Kondensatoriaus vamzdelių metalas ir jo savybės

Garo kondensatoriaus vamzdeliai yra pagaminti iš nerūdijančio legiruoto plieno, kuris atsparus korozijai. Legiruotuoju vadinamas toks plienas, kurio sudėtyje yra viena ar daugiau specialių priemaišų (legiruojančių elementų), pakeičiančių plieno struktūrą, savybes, terminio apdorojimo sąlygas [6].

5-5 Lentelė Pagrindinės nerūdijančio plieno savybės

AISI	304	DIN	1.4301 - X 5 CrNi 18 10			AFNOR	Z 6 CN 18 09	
Pagrindinės charakteristikos								
Austenitinis nerūdijantis plienas atsparus korozijai								
Cheminė sudėtis								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Others
< 0.07	< 1.00	< 2.00	< 0.045	< 0.015	17.0 - 19.5	-	8.0 - 10.5	N < 0.11
Fizinės savybės								
Tankis		Savitoji elektrinė varža		Specifinė šiluma		Šiluminis laidumas		
ρ (kg/m ³)		ρ_e (mΩ·m)		C_p (J/kg·K)		λ (W/m·K)		
7900		0.73		500		15		
Šiluminis plėtimosi koeficientas						Tamprumo modulis		
α (10 ⁻⁶ · °C) tarp 20 °C ir						E (GPa)		
100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	200, kai 20 °C		
16	17	17	18	18	18.5			

Šis plienas yra legiruotas chromu 18 % ir nikeliumu 10 %, kiti cheminiai elementai (5-5 lentelė) sudaro nedidelę procentinę dalį. Chromas didina stiprį, kietumą, atsparumą dilimui, smūginį tūsumą ir atsparumą kaitrai. Jis yra dažniausias plieno legiravimo elementas. Chromo taip apt yra daugelio specialiųjų (nerūdijančių, atsparių kaitrai) plienų sudėtyje.

Nikelis didina stiprumą, smūginį tąsumą ir sumažina medžiagos trapumą esant žemoms temperatūroms. Kai pliene yra daugiau nikelio, jis padidina atsparumą korozijai. Šiuo atveju kondensatoriaus vamzdeliams tai viena iš svarbiausių plieno savybių.

5.3 Kondensatoriaus šiluminis skaičiavimas

Vasaros – nešildymo sezono metu - CŠT sistemoje reikia užtikrinti pastovią 70 °C tiekiamo šilumnešio temperatūrą. Į katilinę grįžtančio šilumnešio temperatūra svyruoja nedaug ir kinta 40 ÷ 45 °C. Užsiteršus kondensatoriaus vamzdeliams, sumažėtų kondensatoriaus perduodama šiluminė galia. To pasėkoje sumažėtų į tinklus tiekiamo termofikacinio vandens debitas. Taip pat sumažėtų kondensuojamo garo debitas, o tai reikštų, kad sumažėtų garo srautas per turbiną ir sumažėtų turbinos išvystoma elektrinė galia.

Vamzdelių užsiteršimo įtaką turbogeneratoriaus išvystomai galiai galima įvertinti pagal priklausomybę:

$$Q_1=Q_2=Q_3=m_g \cdot r=m_v \cdot c_p \cdot \Delta T=k \cdot F \cdot \Delta t_{\text{vid log}}$$

m_g – garo debitas, kg/s; r – vandens slaptoji garavimo šiluma, kJ/kg; m_v – termofikacinio vandens debitas, kg/s; c_p – vandens savitoji šiluma, J/(kg·K); ΔT - tiekiamo ir grįžtamo vandens temperatūrų skirtumas, °C; k – šilumos perdavimo koeficientas W/(m²·K); F – kondensatoriaus šilumos mainų paviršiaus plotas, m²; $\Delta t_{\text{vid log}}$ - vidutinis logaritminis temperatūrų skirtumas, °C [15].

1) Vandens srautas per kondensatorių:

$$G = \frac{Q}{(t_1 - t_2) \cdot 1000}, ; t/h \quad (1)$$

2) Kondensatoriaus vamzdeliais tekančio šildomo vandens greitis:

$$W = \frac{G}{3600 \cdot f}; m/s \quad (2)$$

3) Vidutinė šildomo vandens temperatūra:

$$t = 0,5 \cdot (t_1 + t_2); ^\circ\text{C} \quad (3)$$

4) Vidutinė sienelės temperatūra:

$$t_{\text{sien}} = 0,5 \cdot (t + T_s); ^\circ\text{C} \quad (4)$$

5) Vidutinė kondensato sluoksnio temperatūra vamzdelio paviršiuje:

$$t_{k.sl} = 0,5 \cdot (T_s + t_{\text{sien}}); ^\circ\text{C} \quad (5)$$

6) Šilumos atidavimo koeficientas nuo vamzdžio sienelės link šildomo vandens:

$$\alpha_1 = \frac{0,77 \cdot (5500 + 65 \cdot t_{k.sl} - 0,2 \cdot t_{k.sl}^2)}{\sqrt[4]{(T_s - t_{sien}) \cdot m \cdot d_H}}; \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (6)$$

7) Šilumos atidavimo koeficientas nuo vamzdžio sienelės link šildomo vandens:

$$\alpha_2 = (1400 + 18 \cdot t - 0,035 \cdot t^2) \cdot \frac{W^{0,8}}{d_{vid}^{0,2}}; \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (7)$$

8) Šilumos perdavimo koeficientas:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_s}{\lambda_s}}; \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (8)$$

$\lambda_s = 15 \frac{W}{m \cdot K}$ nerūdijančio plieno vamzdelių šilumos laidumo koeficientas

$\delta_s = 0,001 m$, sienelės storis

9) Vidutinis temperatūrų skirtumas šilumokaityje:

$$\Delta t = \frac{(T_s - t_2) - (T_s - t_1)}{2,3 \cdot \lg \frac{T_s - t_2}{T_s - t_1}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (9)$$

10) Šilumokaičio – kondensatoriaus šildomo paviršiaus plotas:

$$F = \frac{Q}{\mu \cdot k \cdot \Delta t}, m^2 \quad (10)$$

μ – koeficientas, priklausantis nuo vamzdelių užsiteršimo [16].

Kondensatoriaus šiluminio skaičiavimo rezultatai pateikiami 5-6 lentelėje

5-6 Lentelė Kondensatoriaus šiluminis skaičiavimas

Šilumos srautas	Q, kW	8521.336
	Q, kkal/h	7339273
Garų slėgis įėjime kondensatorių	p, bar	0.4
Garų temperatūra įėjime į kondensatorių	T _g , °C	76
T sotinimo temperatūra	T _s , °C	75.88924
Garų pradinė entalpija	hg, kJ/kg	2636.987
Garų entalpija prie sotinimo slėgio	hp, kJ/kg	2636.766
Vandens temperatūra įėjime į šilumokaitį	t ₂ , °C	43
Vandens temperatūra išėjime į šilumokaitį	t ₁ , °C	70
Šilumokaičio korpuso vidinis skersmuo	D _v , m	1.06
Išorinis vamzdžio diametras	d _i , m	0.02
Vidinis vamzdžio diametras	d _{vid} , m	0.018
Vamzdelių skaičius		970
Vamzdelių skaičius vienoje eigoje vandens pusėje		485
Vienos eigos vamzdelių plotas	f, m ²	0.123355
Vamzdelių skaičius retineje vertikaloje eileje		34
Šildomo vandens srautas	G, t/h	271.8249
Šildomo vandens greitis į vamzdelius	W, m/s	0.612111
Vidutinė šildomo vandens temperatūra	t, °C	56.5
Vidutinė sienelės temperatūra	t _{sien} , °C	66.19462
Vidutinė kondensato sluoksnio temperatūra vamzdelio paviršiuje	t k.sl., °C	71.04193

Šilumos atidavimo koeficientas nuo garo vamzdžio sienelei	α_1	4376.932
Šilumos atidavimo koeficientas nuo vamzdžio sienelės link šildomo vandens	α_2	3476.417
Šilumos perdavimo koeficientas	k	1897.09
Vidutinis temperatūrų skirtumas šilumokaityje	Δt	30.97653
Šilumokaičio-kondensatoriaus paviršiaus plotas	F, m ²	124.8913

5.4 Kondensatoriaus hidraulinis skaičiavimas

5-7 Lentelė Pradiniai duomenys

Masinis vandens debitas	Vandens temperatūra įėjime į kondensatorių	Vandens temperatūra išėjime į kondensatorių	Vamzdelių vidinis diametras	Vamzdelių šiurkštumas	Ėjų skaičius	Vamzdelių skaičius vienoje ėjoje	Vamzdelių ilgis
G, kg/s	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	d_{vamzd}, mm	k, mm			l, m
75,507	43	70	18	0,015	2	485	6

Vietinių kliūčių pasipriešinimo koeficientai [8]:

Įtekant ir ištekant iš atvamzdžio $\zeta_1 = 1,5$;

Įtekant ir ištekant iš vamzdelio $\zeta_2 = 1$;

Keičiant tekėjimo kryptį 180° kampū $\zeta_3 = 2,5$.

Pagal vandens savybių lenteles:

Kai $t_1 = 43^\circ\text{C}$, tai $\rho_{H_2O}^{43^\circ\text{C}} = 989,56 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$;

Kai $t_{vid} = \frac{t_1+t_2}{2} = \frac{43+70}{2} = 56,5^\circ\text{C}$, tai $\rho_{H_2O}^{56,5^\circ\text{C}} = 983,67 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$;

Kai $t_2 = 70^\circ\text{C}$, tai $\rho_{H_2O}^{70^\circ\text{C}} = 976,86 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$;

Priimame, kad šilumnešio greitis įėjimo ir išėjimo atvamzdžiuose turi būti lygus 0,61 m/s.

Įėjimo atvamzdžio skersmuo: 0,356 m.

Tuomet tikrasis greitis bus:

$$w_1 = \frac{G}{\rho_{H_2O}^{43^\circ\text{C}} \cdot f} = \frac{75,507 \cdot 4}{989,56 \cdot \pi \cdot 0,356^2} = 0,767 \frac{\text{m}}{\text{s}};$$

Apskaičiuojame pirmosios vietinės kliūties pasipriešinimą, šilumnešiui ištekant iš įėjimo atvamzdžio į kamerą:

$$\Delta p_{vk1} = \zeta_1 \cdot \frac{\rho_{H_2O}^{43^\circ\text{C}} \cdot w_1^2}{2} = 1,5 \cdot \frac{989,56 \cdot 0,767^2}{2} = 436,61 \text{ Pa};$$

Apskaičiuojame vandens tekėjimo greitį šilumokaičio vamzdeliuose, kai vandens temperatūra $t_1 = 43^\circ\text{C}$:

$$w_2 = \frac{G}{\rho_{H_2O}^{43^\circ C} \cdot f} = \frac{75,507 \cdot 4}{989,56 \cdot 3,14 \cdot 485 \cdot 0,018^2} = 0,619 \frac{m}{s};$$

Apskaičiuojame antrosios vietinės kliūtis pasipriešinimą, vandeniui įtekant į vamzdelius:

$$\Delta p_{vk2} = \zeta_3 \cdot \frac{\rho_{H_2O}^{70^\circ C} \cdot w_2^2}{2} = 2,5 \cdot \frac{976,86 \cdot 0,619^2}{2} = 467,87 Pa;$$

Kadangi vanduo, tekėdamas vamzdeliais, pašyla iki 70 °C temperatūros, tai toliau skaičiavimuose naudosisiu vidutinę vandens temperatūrą $t_2 = \frac{43+70}{2} = 56,5$ °C. Dėl temperatūros pokyčio pasikeitė ir vandens tekėjimo greitis. Iš srauto vientisumo lygties gauname:

$$\rho_{H_2O}^{43^\circ C} \cdot w_2 = \rho_{H_2O}^{70^\circ C} \cdot w_3;$$

$$w_3 = \frac{\rho_{H_2O}^{43^\circ C} \cdot w_2}{\rho_{H_2O}^{70^\circ C}} = \frac{989,56 \cdot 0,619}{976,86} = 0,627 \frac{m}{s};$$

$$\Delta p_{vk3} = \zeta_1 \cdot \frac{\rho_{H_2O}^{70^\circ C} \cdot w_3^2}{2} = 1,5 \cdot \frac{976,86 \cdot 0,627^2}{2} = 288,02 Pa;$$

Apskaičiuojame Re:

$$Re = \frac{w_3 \cdot d_{vamzd}}{\nu_{H_2O}^{70^\circ C}} = \frac{0,627 \cdot 0,018}{0,4005 \cdot 10^{-6}} = 28179;$$

Apskaičiuojame santykinį šiukštumą vamzdeliuose:

$$\frac{k}{d_{vamz}} = \frac{0,015}{18} = 0,083;$$

Pagal nomogramą, esančia prieduose, randu trinties pasipriešinimo koeficientą $\xi = 0,085$

$$\Delta p_{tr1} = \xi \cdot \frac{n \cdot l}{d_{vamz}} \cdot \frac{\rho_{H_2O}^{70^\circ C} \cdot w_3^2}{2} = 0,085 \cdot \frac{2 \cdot 6}{0,018} \cdot \frac{976,86 \cdot 0,627^2}{2} = 10880,9 Pa;$$

Vietinių kliūčių suminis pasipriešinimas:

$$\begin{aligned} \Delta p &= \Delta p_{vk1} + \Delta p_{vk2} + \Delta p_{vk3} + \Delta p_{tr1} = 436,61 + 467,87 + 288,02 + 10880,9 \\ &= 12073,4 Pa = 0,12 bar \end{aligned}$$

Taigi vietinių kliūčių suminis pasipriešinimas Δp yra nedidelis, todėl jis nesukels problemų cirkuliaciniam siurbliam palaikyti reikalingą kontūro slėgį.

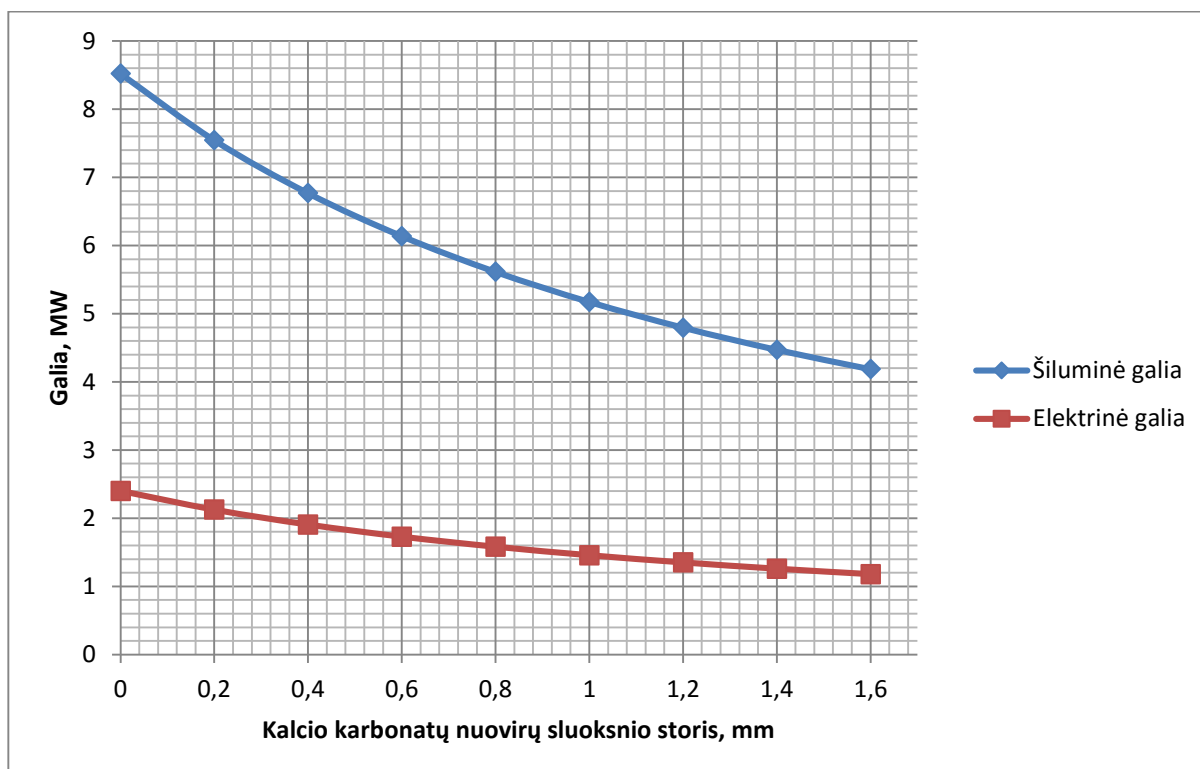
5-8 Lentelė Pagamintos elektrinės ir šiluminės galios skaičiavimas

η_{el}	0.8	
p_1	27	bar
t_1	420	°C
h_1	3280.584	kJ/kg
p_2	0.4	bar
t_2	76	°C
h_2	2509.155	kJ/kg
p_3	0.4	bar
t_3	76	°C
h_3	317.954	kJ/kg
$\Delta h_g=(h_1-h_2)$	771.429	kJ/kg
$\Delta h_k=(h_2-h_3)$	2191.201	kJ/kg
m_g	14000	kg/h
N el turbinos	2400.003	kW
Ukond	8521.336	kW

5-8 ir sekančioje 5-9 lentelėje pateikti skaičiavimo rezultatai, kurie parodo susidariusio kalcio karbonatų nuovirų sluoksnio įtaką kogeneracinės jėgainės pagamintos elektros energijos ir šiluminės energijos kiekiui. Naujai statomose elektrinėse naudojami tarpiniai šilumokaičiai atskirti CŠT tinklų kontūrą nuo pvz. kondensatoriaus atskiro kontūro sistemos. Kadangi UAB „Utenos šilumos tinklai“ jėgainė įrengta pagal kitokią jungimo schemą, termofikacinis vanduo tiesiogiai cirkuliuoja per kondensatorių. Todėl dėl nepakankamos termofikato cheminės kokybės užtikrinimo atsiranda tikimybė susidaryti nuovirų sluoksniui.

5-9 Lentelė šilumos perdavimo koeficientas, kai kalcio karbonatų nuovirų sluoksnio $\lambda=2.93 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

δ, mm	m	$k, \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$Q, \text{ MW}$	$m_g, \text{ kg/s}$	N el., MW
0.0000	0.0000	1897.090	8.521	3.889	2.400
0.2000	0.0002	1679.593	7.544	3.443	2.125
0.4000	0.0004	1506.837	6.768	3.089	1.906
0.6000	0.0006	1366.305	6.137	2.801	1.729
0.8000	0.0008	1249.749	5.614	2.562	1.581
1.0000	0.0010	1151.517	5.172	2.361	1.457
1.2000	0.0012	1067.601	4.795	2.189	1.351
1.4000	0.0014	995.086	4.470	2.040	1.259
1.6000	0.0016	931.794	4.185	1.910	1.179



5-2 pav. Nuovirų sluoksnio įtaka kogeneracinės jėgainės darbui

Kaip matome iš 5-2 pav. grafiko, susiformavus 1,6 mm storio nuovirų sluoksniui ant kondensatoriaus vamzdelių, kondensatoriaus galia sumažėtų apie 2 kartus, t.y., tiek kartų mažiau būtų pateikta šilumos į miesto termofikacinį tinklą. Tiek pat kartų sumažėtų ir turbogeneratoriaus išvystoma elektrinė galia.

Suprantama, kad vamzdelių užsiteršimas lemia didžiulius įmonės nuostolius. Pvz., jeigu kondensatorius metus laiko būtų eksploatuojamas su 0,4 mm storio nuovirų sluoksniu, kai elektros energijos vidutinė rinkos kaina būtų 20 Eur/MWh, per metus vien tik dėl šios priežasties įmonė patirtų 77400 Eur/metų nuostolį. Tuo tarpu jėgainę sustabdžius savaitei laiko, per kurį būtų galima išvalyti kondensatoriaus vamzdelius, dėl nepagamintos elektros energijos kiekio įmonė patirtų apie 7000 Eur nuostolį.

Akivaizdu, kad eksploatuojant kogeneracinę jėgainę, būtina sekti vamzdelių užsiteršimo lygį ir laiku atlikti aptarnavimo darbus.

5.5 Ekonominis efektas

Dirbant energetikos sektoriuje ir eksploatuojant katilines svarbu žinoti kokia nauda gaunama parenkant, įrengiant, remontuojant įrenginius bei keičiant jų darbo režimus. Dėl to yra atliekamas ekonominis skaičiavimas, kuris įvertina darbų pagrįstumą.

Dažniausiai dirbant kogeneracinei jėgainei prioritetas teikiamas elektros energijos gamybai ir šiluma lieka kaip šalutinis produktas, kurį galima pigiai parduoti net ir esant didelei konkurencijai tarp šilumos gamintojų.

Šiuo atveju UAB „Utenos šilumos tinklai“ įmonėje veikiančioje kogeneracinėje jėgainėje nagrinėjamas atvejis, kai pro garo turbinos kondensatorių be tarpinių šilumokaičių tiesiogiai pašildomas termofikacinis vanduo. Visiškai išvalyto termofikacinio vandens kokybę užtikrinti sudėtinga, todėl atsiranda tikimybė kondensatoriaus nerūdijančio plieno vamzdelių paviršiuose susidaryti nuosėdų sluoksniui (5-1 lentelė), kuris blogina šilumos perdavimą.

Priimame, kad kogeneracinės jėgainės darbo apkrovimo koeficientas 0,8. Šis koeficientas priklauso nuo įrengimų patikimumo, suplanuotų remontų grafiko, prastovų laiko per metus. Per metus garo turbina dirba 8760 h. Elektros energijos kainą priėmiau vidutinę 2015 m. NORDPOOL biržoje 20 Eur/MWh kainą [9]. Taigi jeigu jėgainė dirba 8760 val/metus, todėl metinis pelnas gautas už parduotą elektros energiją bus:

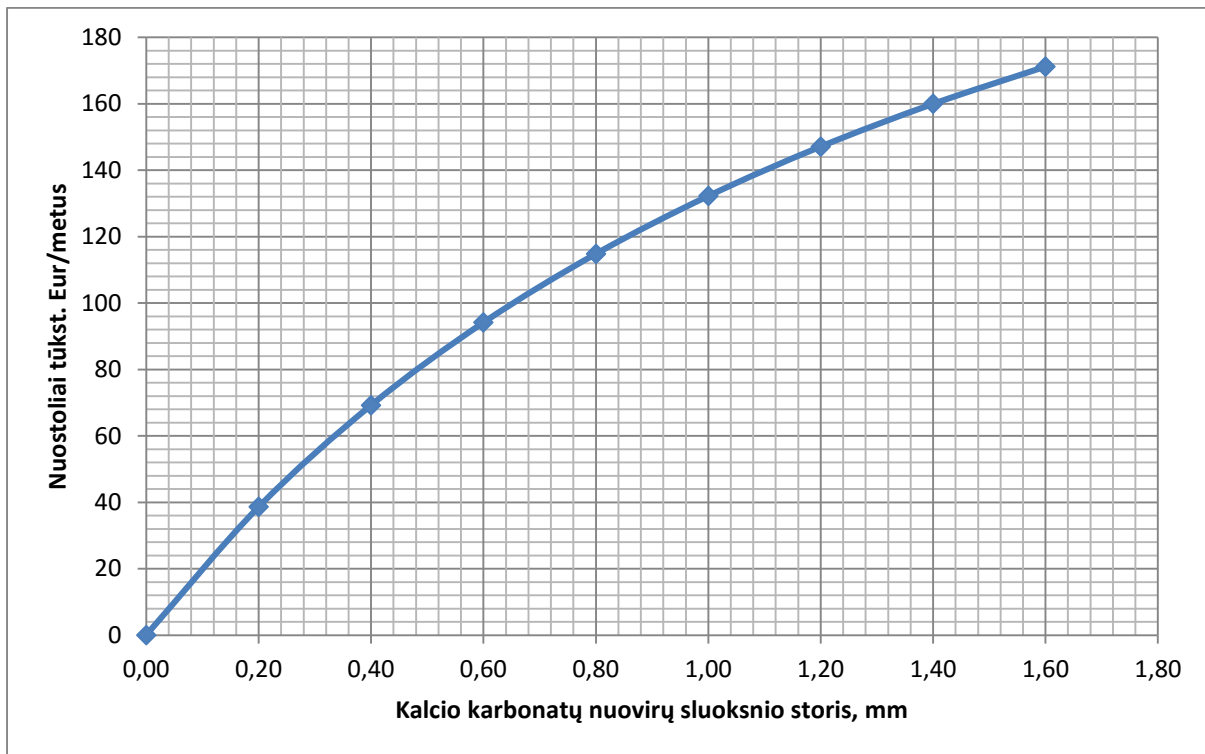
$$0,8 \cdot 8760 \text{ h} \cdot 20 \text{ Eur/MWh} \cdot 2,4 \text{ MW} = 336384 \text{ Eur/metus.}$$

Tačiau eksploatacijos metu ant vamzdelių vidinio paviršiaus susidaręs nuovirų sluoksnis δ , mm blogina šilumos perdavimo koeficientą ir jėgainės gaminama el. energijos galia mažėja. Toliau skaičiavimuose matyti sumažėjęs pelnas dėl šio problemos:

- 1) Kai $\delta = 0,2$ mm, tai $0,8 \cdot 8760 \text{ h} \cdot 20 \text{ Eur/MWh} \cdot 2,125 \text{ MW} = 297840 \text{ Eur/metus.}$
Nuostoliai = $336384 \text{ Eur/metus} - 297840 \text{ Eur/metus} = 38544 \text{ Eur/metus.}$
- 2) Kai $\delta = 0,4$ mm, tai $0,8 \cdot 8760 \text{ h} \cdot 20 \text{ Eur/MWh} \cdot 1,906 \text{ MW} = 267144,96 \text{ Eur/metus.}$
Nuostoliai = $336384 \text{ Eur/metus} - 267144,96 \text{ Eur/metus} = 69239,04 \text{ Eur/metus.}$
- 3) Kai $\delta = 0,6$ mm, tai $0,8 \cdot 8760 \text{ h} \cdot 20 \text{ Eur/MWh} \cdot 1,729 \text{ MW} = 242336,64 \text{ Eur/metus.}$
Nuostoliai = $336384 \text{ Eur/metus} - 242336,64 \text{ Eur/metus} = 94047,36 \text{ Eur/metus.}$
- 4) Kai $\delta = 0,8$ mm, tai $0,8 \cdot 8760 \text{ h} \cdot 20 \text{ Eur/MWh} \cdot 1,581 \text{ MW} = 221592,96 \text{ Eur/metus.}$
Nuostoliai = $336384 \text{ Eur/metus} - 221592,96 \text{ Eur/metus} = 114791,04 \text{ Eur/metus.}$

Sekančius skaičiavimus atliekame analogiškai ir rezultatai pavaizduoti 10-3 pav.

Pateiktame grafike (5-3 pav.) matyti, kad ant vamzdelių vidinio paviršiaus susiformavus 0,4 mm storio sluoksniui, per metus dirbant įmonė patirtų apie 70 000 eur nuostolį dėl neparduotos elektros energijos. Taigi rekomenduotina įvertinti įrengimų darbą ir reikiamu metu atlikti profilaktinį aptarnavimą bei paviršių valymą tokiu būdu sumažinant įmonės galimus patirti nuostolius.



5-3 pav. Nuostoliai dėl neparduotos el. energijos per metus, esant skirtingam nuosėdų sluoksnio storiui

6 Išvados

1. Eksploatuojant kogeneracines jėgaines, kuriose įrengta termofikacinio vandens pašildymo schema be tarpinio šilumokaičio, būtina atkreipti dėmesį į šilumos tinklų vandens cheminės analizės kokybinius rodiklius.
2. Remiantis darbe atliktais skaičiavimais, galima teigti, kad pačią didžiausią įtaką turbogeneratoriaus darbo efektyvumui turi kondensatoriaus vamzdelių užterštumo lygis įvairiomis nuosėdomis. Todėl, atsiradus kondensatoriaus vamzdelių užsiteršimo požymiams, rekomenduojama įvertinti patiriamus nuostolius, laiku stabdyti sistemą ir atlikti kondensatoriaus vamzdelių, o jeigu yra poreikis – tai ir katilo šildomų paviršių valymą.
3. Savalaikis kondensatoriaus vamzdelių valymas užtikrina didesnę elektros energijos gamybą ir leidžia nepatirti didelių nuostolių dėl sumažėjusios elektros energijos bei šilumos energijos gamybos apimties. Pavyzdžiui, susiformavus 0,4 mm storio nuovirų sluoksniui, per metus įmonė patirtų apie 70 000 eur nuostolį vien tik dėl sumažėjusios elektros energijos gamybos.
4. Kaip rodo darbe atlikta analizė, turbinos darbo efektyvumui didelę įtaką turi ir kiti eksploataciniai parametrai, todėl darbo metu būtina stebėti jėgainės parametrus ir užtikrinti, kad būtų laikomasi įrenginių režiminės kortelės parametrų. Ypatingai svarbu užtikrinti garo turbinos tolygų įšilimą paleidimo metu, neleisti atsirasti nepageidautiniams reiškiniams, tokiems kaip vibracijų padidėjimas, sumažėjusio garo srauto per turbiną atsiradimas, hidrauliniams smūgiams garotiekio vamzdynuose ir t.t.

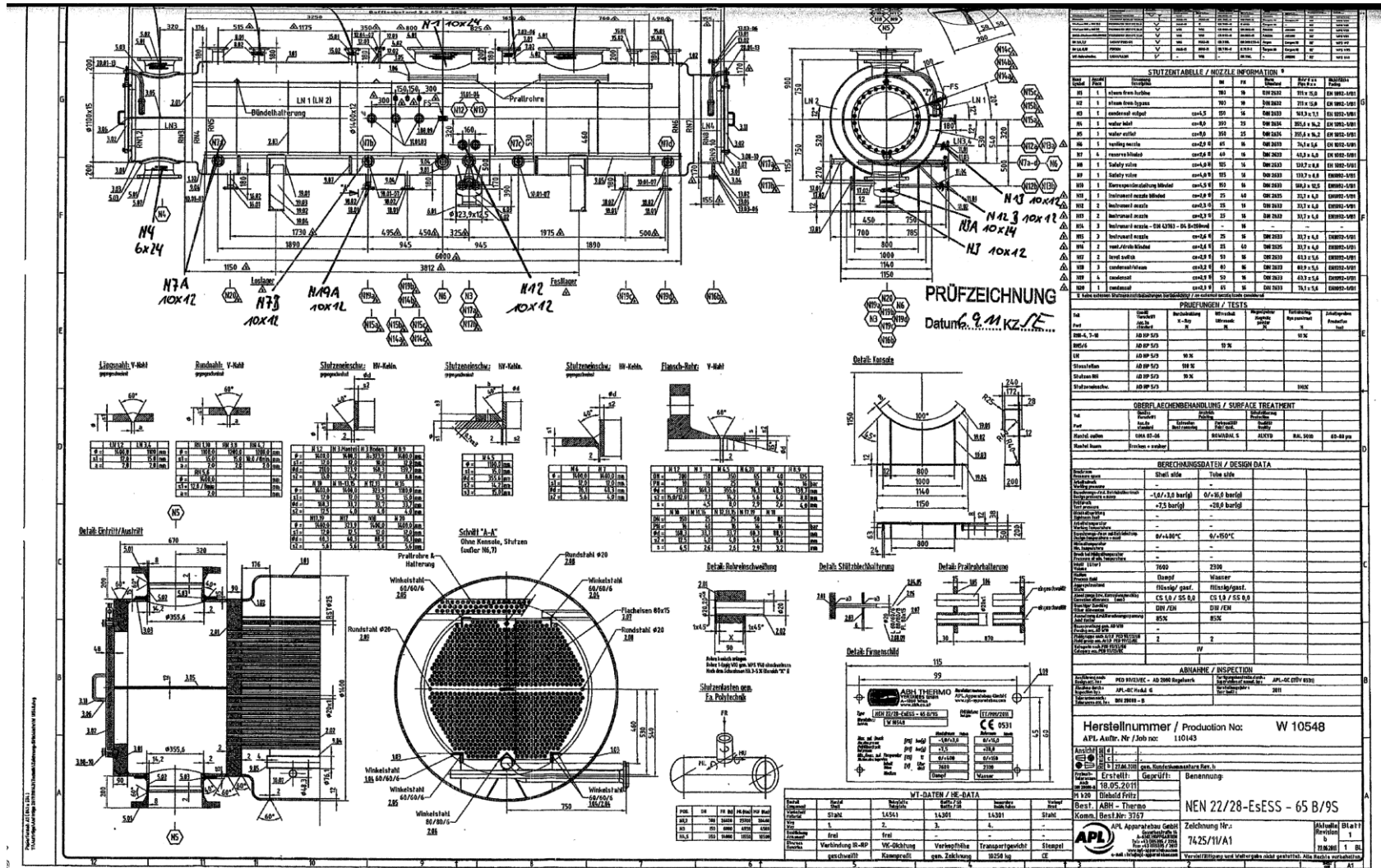
Literatūros sąrašas

1. Allianz Global Corporate & Specialty. (2013). Special risks for steam turbine operation. Retrieved Gegužės 03, 2016, from http://www.agcs.allianz.com/assets/Global%20offices%20assets/Germany/Expert%20Days%202013/05%20Thumm_Special%20Risks%20for%20Steam%20Turbine%20Operation.pdf
2. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (Ed.). (2015). Combined heat and power design guide. USA, Atlanta: ASHRAE.
3. Bočkus, S. (2013). Medžiagų inžinerija (1 dalis ed.). Kaunas: Technologija.
4. Donatello Annaratone. (2008). Steam generators (1st ed.). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
5. Gimbutis, G., Kajutis K., Krukoniš V., Pranckūnas A., Švenčianas P. (Ed.). (1993). Šiluminė technika. Vilnius: Mokslas.
6. International Agency of Properties of Water & Steam. (2015). Retrieved 05/02, 2016, from <http://www.iapws.org/edu.html>
7. Jonas Gylys. (2012). Garo ir dujų turbinų teoriniai pagrindai (1st ed.). Kaunas: Technologija.
8. Liutikas, Napoleonas, Gudzinskas, Juozas. (2001). Termohidromechanika. Kaunas: Technologija.
9. NORDPOOL. (2016). Elektros kaina NORDPOOL biržoje. Retrieved Gegužės 22, 2016, from <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/SYS1/Monthly/?view=table>
10. Perna, A., Minutillo, M., Cicconardi, S. P., Jannelli, E., & Scarfogliero, S. (2015). Conventional and advanced biomass gasification power plants designed for cogeneration purpose. *Energy Procedia*, 82, 687-694.
11. Shlyannikov, V. N., Yarullin, R. R., & Zakharov, A. P. (2014). Fatigue of steam turbine blades with damage on the leading edge. *Procedia Materials Science*, 3, 1792-1797.
12. Shukla, A., & Harsha, S. P. (2016). Vibration response analysis of last stage LP turbine blades for variable size of crack in root. *Procedia Technology*, 23, 232-239.

13. Sipilä, K. (2016). 3 - cogeneration, biomass, waste to energy and industrial waste heat for district heating. In R. Wiltshire (Ed.), Advanced district heating and cooling (DHC) systems (pp. 45-73). Oxford: Woodhead Publishing.
14. UAB " Utenos šilumos tinklai". (2015). Retrieved 04/15, 2016, from <http://www.ust.lt/>
15. П. И. Бажан, Г. Е. Каневец, В. М. Селиверстов. (1989). Справочник по теплообменным аппаратам (1st ed.) Машиностроение.
16. Elektrinių ir elektros tinklų eksploatavimo taisyklės, patvirtintos energetikos ministro 2012 m. spalio 29 d. įsakymu Nr. 1-211 (Žin., 2012, Nr. 128-6443), 2016 m. vasario 3 d. įsakymu Nr. 1-24 (2016-02-10 TAR, Dok. Nr. 2609).

Priedai

A priedas. Kondensatoriaus paso techniniai duomenys



B priedas. Nomograma vamzdžių trinties koeficiento nustatymui

