



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

Rimvydas Kvedaravičius

**ENERGETINIO BOKURU KŪRENAMO GARO KATILO
EMISIJŲ ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Egidijus Puida

KAUNAS, 2016

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

**ENERGETINIO BOKURU KŪRENAMO GARO KATILO
EMISIJŲ ANALIZĖ**

Baigiamasis magistro projektas
Termoinžinerija (kodas 621E30001)

Vadovas

Doc. dr. Egidijus Puida

Recenzentas

Prof. Vytautas Dagilis

Projektą atliko

Rimvydas Kvedaravičius

KAUNAS, 2016

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

Tvirtinu:
Šilumos ir atomo energetikos
katedros vedėjas

(parašas, data)
Doc. E. Puida

(vardas, pavardė)

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

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, kadyra 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 - Energetinio biokuru kūrenamo garo katilo emisijų analizė.

Patvirtinta 2016 m. gegužės mėn. 03 d. dekanų įsakymu Nr. V25-11-7

2. Darbo tikslas – Atsižvelgus į sugriežtėjusias emisijų normas, atliekami skaičiavimai bei matavimai siekiant nustatyti, ar pasirinkto energetinio biokuru kūrenamo garo katilo BKZ-75-39-FB išmetamų teršalų kiekiai tenkina nustatytas ribas. Tyrimai buvo atlikti elektrostatiniam filtrui, kuris mažina kietų dalelių emisijas bei azoto oksidams mažinančiai naujai įdiegtai selektyvinės nekatalitinės redukcijos (SNCR) sistemai.

3. Darbo struktūra

Įvadas

1. Naujos teršalų emisijas reglamentuojančios direktyvos didelės galios katilams
2. Energetinio biokuru kūrenamo garo katilo BKZ-75-FB ir pagalbinės įrangos aprašymas
3. Emsijų kiekio skaičiavimas
4. Elektrinio filtravimo įrenginio DEP 4-1*37,5+1*45-72-95 BH aprašymas, techniniai duomenys. Efektyvumo nustatymas
5. Selektvinės nekatalitinės redukcijos sistemos ir pagalbinės įrangos aprašymas
6. Selektvinės nekatalitinės redukcijos sistemos efektyvumo nustatymas

Išvados. Literatūra

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 Rimvydui Kvedaravičiui

Užduotį gavau: Rimvydas Kvedaravičius

(studento vardas, pavardė)

.....
(parašas) (data)

Vadovas doc. Egidijus Puida

(pareigos, vardas, pavardė)

.....
(parašas) (data)



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Mechanikos inžinerijos ir dizaino

(Fakultetas)

Rimvydas Kvedaravičius

(Studento vardas, pavardė)

Termoinžinerija 621E30001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Energetinio biokuru kūrenamo garo katilo emisijų analizė“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. gegužės 24 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Rimvydo Kvedaravičiaus**, baigiamasis projektas tema „Energetinio biokuru kūrenamo garo katilo emisijų analizė“ 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)

Rimvydas Kvedaravičius. Energetinio biokuru kūrenamo garo katilo emisijų analizė. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Egidijus Puida; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Termoinžinerija

Reikšminiai žodžiai: biokuras, garo katilas, emisijos.

Kaunas, 2016. 61 p.

SANTRAUKA

Vilniuje veikia galingiausias Lietuvoje 60 MW biokuru kūrenamas BKZ-75-39-FB garo katilas. Katilo nominali galia 75 t/h, garo slėgis 4,0 MPa. Pagal verdančio sluoksnio technologiją veikiančiame garo katile pagaminta šiluminė energija garo pavidalu keliauja į turbogeneratorių. Degimo metu susidarančioms kietų dalelių bei azoto oksidų išmetimams į aplinką mažinimui įrengtas elektrostatinis filtras bei selektyvinės nekatalitinės redukcijos (SNCR) sistema. Nuo šių metų sumažėjus išmetamų teršalų normoms, buvo atliekami skaičiavimai bei matavimai siekiant nustatyti, ar mūsų pasirinkto biokuru kūrenamo garo katilo BKZ-75-39-FB išmetamų teršalų koncentracijos tenkina nustatytas ribas.

Rimvydas, Kvedaravičius. Master's thesis in Emissions Analysis of Energy Biofuel-fired Steam Boiler / supervisor assoc. prof. Egidijus Puida. The Faculty of Mechanical engineering and design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Thermal engineering

Key words: biofuel, steam boiler, emission

Kaunas, 2016. 61 p.

SUMMARY

In Vilnius operates the most powerful 60 MW biofuel-fired steam boiler in Lithuania. The nominal power of the boiler 75 t/h, steam pressure 4,0 MPa. Thermal energy produced in a steam boiler operating based on fluidised bed technology travels to the turbogenerator in the form of steam. An electrostatic filter and selective non-catalytic reduction (SNCR) system are installed in order to reduce the emissions of particulates and nitrogen oxides, produced during combustion, into the environment. After the pollutant emission rates have been decreased as of this year, calculations and measurements were carried out in order to determine whether our selected biofuel-fired steam boiler BKZ-75-39-FB meets the established pollutant emission concentration limits.

TURINYS

IVADAS.....	10
1 NAUJOS TERŠALŲ EMISIJAS REGLAMENTUOJANČIOS DIREKTYVOS DIDELĖS GALIOS KATILAMS.....	11
1.1 Direktyva 2010/75/ES dėl pramoninių išmetamų teršalų (taršos integruotos prevencijos ir kontrolės).....	11
2 GARO KATILO BKZ-75-39-FB IR PAGALBINĖS ĮRANGOS ANALIZĖ.....	14
2.1 Garo katilo charakteristikos.....	14
2.2 Kuro padavimo sistema.....	16
2.2.1 Kuro padavimo sistemos veikimas.....	16
2.3 Katilo oro sistema.....	17
2.3.1 Katilo oro sistemos veikimas.....	17
2.4 Katilo dūmų sistema.....	18
2.4.1 Katilo dūmų sistemos veikimas.....	19
2.5 Katilo smėlio sistemos veikimas.....	20
2.6 Katilo pelenų šalinimo sistema.....	20
2.6.1 Katilo pelenų šalinimo sistemos veikimas.....	20
2.7 Katilo paleidimo dujinis degiklis.....	21
2.8 „Verdančio“ sluoksnio degimo sistema.....	22
3 EMISIJŲ KIEKIO SKAIČIAVIMAS.....	24
3.1 Reikalingas kuro kiekis.....	24
3.2 Kurui sudeginti reikalingas oro kiekis.....	25
3.3 Degimo produktų tūriai.....	26
3.4 Toksogenų kiekio skaičiavimas.....	26
4 ELEKTRINIS DŪMŲ FILTRAVIMO ĮRENGINYS.....	27
4.1 Elektrinių filtravimo įrenginių naudojimas.....	27
4.2 Techniniai parametrai.....	29
4.3 Veikimo principas ir konstrukcija.....	31
4.3.1 Pagrindinė mechaninė konstrukcija.....	32
4.3.2 Iškvos elektrodai.....	33
4.3.3 Elektrodų valymas.....	34
4.4 Elektrostatinio filtro DEP 4-1*37,5+1*45-72-95 BH efektyvumo tyrimas.....	35
4.4.1 Tyrimui naudotų metodų aprašymas.....	36
4.4.2 Matavimų rezultatai. Nominalus režimas (75 t/h).....	38
4.4.3 Matavimų rezultatai. Minimalus režimas (40 t/h).....	40
4.4.4 Matavimų rezultatų apibendrinimas.....	42
5 SELEKTYVINĖS NEKATALITINĖS REDUKCIJOS SISTEMOS APRAŠYMAS.....	43
5.1 Proceso aprašymas.....	43
5.2 Komponentų aprašymas.....	44
5.2.1 Redukuojančio agento talpykla.....	45
5.2.2 Redukuojančio agento siurbliai.....	45
5.2.3 Maišymo ir matavimo modulis.....	46
5.2.4 Įpurškimo vamzdeliai.....	47
5.3 Redukuojančio agento įpurškimas.....	49
5.4 Automatinis SNCR valdymas.....	49
6 SNCR SISTEMOS EFEKTYVUMO NUSTATYMAS.....	51
6.1 SNCR sistemos bandymai.....	51
6.1.1 Bandymų rezultatai. Amoniako kiekis kondensate.....	52

6.1.2	Bandymų rezultatai. Amoniako kiekis išeinančiuose dūmuose	52
6.1.3	Bandymų rezultatai. NOx kiekis išeinančiuose dūmuose	55
IŠVADOS.....		60
LITERATŪRA.....		61

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Sieros dioksidų ribinės vertės.....	12
1.2 lentelė. Azoto oksidų ribinės vertės.....	12
1.3 lentelė. Anglies monoksido ribinės vertės.....	13
1.4 lentelė. Kietų dalelių ribinės vertės.....	13
2.1 lentelė. BKZ-75-39-FB pagrindiniai parametrai.....	14
2.2 lentelė. Kuro padavimo sistemos charakteristikos.....	17
2.3 lentelė. Oro padavimo sistemos charakteristikos.....	18
2.4 lentelė. Dūmų sistemos charakteristikos.....	19
2.5 lentelė. Pelenų šalinimo sistemos charakteristikos.....	21
3.1 lentelė. Skaičiavimams imame įvairios medienos naudojamosios masės.....	25
4.1 lentelė. Elektrostatinio filtro techniniai duomenys.....	29
4.2 lentelė. Mechaninės įrangos charakteristika.....	29
4.3 lentelė. Elektrostatinio filtro konstrukciniai parametrai.....	30
4.4 lentelė. Elektrostatinio filtro įtampos-srovės charakteristika.....	30
4.5 lentelė. Oro teršalų matavimo metodai.....	35
4.6 lentelė. Matavimams naudota įranga.....	38
4.7 lentelė. Išmatuoti dujų fizikiniai parametrai.....	38
4.8 lentelė. Cheminiai parametrai. Kietų dalelių dūmuose matavimo rezultatai.....	39
4.9 lentelė. Cheminiai parametrai. Išmatuotos anglies monoksido koncentracijos.....	39
4.10 lentelė. Cheminiai parametrai. Išmatuotos azoto oksidų koncentracijos.....	40
4.11 lentelė. Išmatuoti dujų fizikiniai parametrai.....	40
4.12 lentelė. Cheminiai parametrai. Kietų dalelių dūmuose matavimo rezultatai.....	41
4.13 lentelė. Cheminiai parametrai. Išmatuotos anglies monoksido koncentracijos.....	41
4.14 lentelė. Cheminiai parametrai. Išmatuotos azoto oksidų koncentracijos.....	42
4.15 lentelė. Vidutinės kietųjų dalelių vertės koncentracijos.....	43
5.1 lentelė. Karbamido tirpalo talpos techniniai duomenys.....	45
5.2 lentelė. Panardinamo siurblio techniniai duomenys.....	46
5.3 lentelė. Maišymo ir matavimo modulių techniniai duomenys.....	47
5.4 lentelė. Įpurškimo vamzdelių įrengimo duomenys.....	48
6.1 lentelė. BKZ-75-39-FB darbo režimai bandymų metu.....	52
6.2 lentelė. Amoniako kiekis kondensacinio ekonomaizerio kondensate.....	52
6.3 lentelė. Amoniako kiekis išeinančiuose dūmuose.....	54
6.4 lentelė. Azoto oksidų koncentracijos išeinančiuose dūmuose.....	55
6.5 lentelė. Garo katilo BKZ-75-39-FB parametrai dirbant SNCR sistemai.....	58

Paveikslų sąrašas

1 pav. Garo katilo BKZ-75-39FB su pagalbiniais įrengimais principinė schema.....	15
2 pav. Galimi verdančio sluoksnio tipai priklausomai nuo oro greičio.....	23
3 pav. Santykinis išsisvėrimo oro srautas.....	24
4 pav. Elektrostatinis filtras.....	28
5 pav. Elektrostatinio filtro įtampos-srovės charakteristika.....	31
6 pav. Iškvėros elektrodų rėmas.....	32
7 pav. Iškvėros elektrodų sistema.....	33
8 pav. Iškvėros elektrodas.....	34
9 pav. Krentančio plaktuko konstrukcija.....	34
10 pav. Bandinių paėmimo taškai po katilo.....	37
11 pav. Bandinių paėmimo taškai po elektrostatinio filtro.....	37
12 pav. Pašalinamo NO _x dalies priklausomybė nuo temperatūros.....	44
13 pav. Panardinamas siurblys.....	46
14 pav. Įpurškimo vamzdelis su karbamido tirpalo bei suspausto oro vamzdžiais.....	47
15 pav. Įpurškimo vamzdelio principinė schema.....	48
16 pav. OP177 skydelio vaizdas.....	50
17 pav. SNCR sistemos valdymas.....	50
18 pav. Azoto oksidų koncentracijos dirbant SNCR sistemai prie skirtingų katilo apkrovimų..	57

IVADAS

Vienas populiariausių atsinaujinančios energijos šaltinių yra biokuras: žaliava, gaminama iš biomasės atliekų. Lietuvoje biokuro istorija prasidėjo apie 1994 metus, kai atsirado pirmosios katilinės, kūrenamos smulkinta mediena ir pjuvenomis, tačiau šalyje ši pramonės sritis įsitvirtino tik 1999 metais.[1] Mūsų šalyje galimybės naudoti biokurą itin palankios, kadangi Lietuvoje daug žaliavų, galimų naudoti nekenkiant aplinkai. Be to, biokuro naudojimas yra gerokai pastovesnis už kitus atsinaujinančios energijos šaltinius.

Vilniuje veikia galingiausias Lietuvoje 60MW biokuru kūrenamas BKZ-75-39-FB garo katilas. Pagal verdančio sluoksnio technologiją veikiančiame garo katile pagaminta šiluminė energija garo pavidalu keliauja į turbogeneratorių. Biokuro katilas įrengtas Vilniaus termofikacinėje elektrinėje Nr.2, kurioje pakeitė vieną iš keturių katilų, kūrenamų gamtinėmis dujomis. Garo katile BKZ-75-39-FB kūrenamos medžio drožlės, tad neišvengiamai jų degimo metu susidaro teršalai.

Ekologiniu atžvilgiu svarbu, kad deginant biokurą, išskiriamas anglies dvideginio kiekis yra proporcingas jo absorbcijai, tad poveikis gamtai yra minimalus. Dar labiau taršą aplinkai mažina inovatyvių technologijų naudojimas. Oro tarša - medžiagų, kenksmingų žmonėms bei kitiems organizmams arba pažeidžiančių aplinką, išmetimas į atmosferą.[2] Nors ir laikoma, kad biokuru kūrenamos katilinės yra ekologiškos, tačiau bet kokia technologija daro tam tikrą poveikį ir gamtinei aplinkai ir regiono gyventoms. Kovoiant su kietųjų dalelių ir dujiniais išmetimais, daug daugiau dėmesio reikia skirti deginimo bei kietųjų dalelių valymo technologijų tobulinimui, dėl to turėtų susidaryti sąlygos vis griežtėjančių aplinkosauginių reikalavimų tenkinimui.

Azoto junginių perteklius aplinkoje yra viena svarbiausių pasaulinių ekologinių problemų, lemiančių neigiamus lokalinio, regioninio ir globalinio masto procesus (rūgščios iškritos, stratosferos ozono sluoksnio nykimas). „Svarbiausi antropogeniniai azoto oksidų šaltiniai – organinio kuro naudojimas energetikos, pramonės ir transporto sektoriuose (50 % visos NO_x emisijos) ir biomasės deginimas (18 % visos NO_x emisijos)“.[3]

Šiame darbe bus atlikta energetinio biokuru kūrenamo garo katilo emisijų susidarymo bei jų mažinimo analizė. Bus detaliai išnagrinėti naudojami kietųjų dalelių, azoto oksidų mažinimo įrengimai, atliktas jų darbo efektyvumo tyrimas.

1 NAUJOS TERŠALŲ EMISIJAS REGLAMENTUOJANČIOS DIREKTYVOS DIDELĖS GALIOS KATILAMS

2007 m. Europos Sąjungos Taryba inicijavo naujos TIPK (Taršos integruotos prevencijos ir kontrolės) direktyvos parengimą, kuri pakeistų nemažai dabar galiojančių direktyvinių dokumentų, tarp jų ir direktyvą 2001/80/EC, reglamentuojančią teršalų iš didelių kurą deginančių įrenginių normas.^[4] TIPK direktyvoje numatoma dabar galiojančias teršalų koncentracijų normas pakeisti į griežtesnes, atitinkančias geriausių priemonių gamybos būdų galimybes. Naujieji reikalavimai pradės galioti nuo 2016 metų sausio 1 dienos.

1.1 Direktyva 2010/75/ES dėl pramoninių išmetamų teršalų (taršos integruotos prevencijos ir kontrolės)

Teršalų ribines vertes reglamentuoja direktyva 2010/75/ES. Laikotarpiu nuo 2016 m. sausio 1 d. iki 2020 m. birželio 30 d. valstybės narės gali parengti ir įgyvendinti pereinamojo laikotarpio nacionalinį planą, taikomą įrenginiams, kuriems pirmasis leidimas buvo išduotas anksčiau nei 2002 m. lapkričio 27 d. arba kurių ūkio subjektai iki tos datos buvo pateikę išsamų prašymą dėl leidimo išdavimo, jeigu įrenginys pradėjo veikti ne vėliau kaip 2003 m. lapkričio 27 d. Planas taikomas vienos ar kelių rūšių tokiems teršalams: azoto oksidams, sieros dioksidui ir dulkėms, išmetamiems iš kiekvieno kurą deginančio įrenginio, kuriam taikomas planas.

Direktyva netaikoma ^[5]:

1. Įrenginiams, kuriuose degimo produktai naudojami tiesioginiam šildymui, džiovinimui arba kitoms objektų arba medžiagų apdorojimo rūšims.
2. Išmetamoms dujoms valyti jas deginant skirtiems antrinio deginimo įrenginiams, kurie nėra eksploatuojami kaip atskiri kurą deginantys įrenginiai
3. Įrenginiams katalizinio krekingo katalizatoriams regeneruoti.
4. Įrenginiams, vandenilio sulfidą paverčiantiems siera.
5. Chemijos pramonėje naudojamiems reaktoriams.
6. Visai techninei įrangai, naudojamai kaip transporto priemonių, laivų ar lėktuvų varikliai.
7. Įrenginiams, kuriuose kaip kuras naudojamos bet kokios kietos arba skystos atliekos, išskyrus 3 straipsnio 31 punkte nurodytas atliekas.

Pateikiamos sieros dioksidų ribinės vertės 1.1 lentelėje ^[5].

1.1 lentelė. Sieros dioksidų ribinės vertės

Pagal DKDI normų 1,2,3,4,5,6 priedų A dalyje ribinės vertės				
Nominalus našumas, MW	Biomasė	Durpės	Skystasis kuras	Dujos
SO ₂ (DKDI taisyklės nuo 2008-01-01) mg/m ³				
50-100	2000	2000	1700	35
SO ₂ (direktyva 2010/75/ES nuo 2016-01-01) mg/m ³				
50-100	200	300	350	35
SO ₂ įrenginiams statytiems po 2016-01-01, mg/m ³				
50-100	200	300	350	35

Pateikiamos azoto oksidų ribinės vertės 1.2 lentelėje [5].

1.2 lentelė. Azoto oksidų ribinės vertės

Pagal DKDI normų 1,2,3,4,5,6 priedų A dalyje ribinės vertės				
Nominalus našumas, MW	Biomasė	Durpės	Skystasis kuras	Dujos
NO _x (DKDI taisyklės nuo 2008-01-01) mg/m ³				
50-100	600	600	450	300
NO _x (direktyva 2010/75/ES nuo 2016-01-01) mg/m ³				
50-100	300	300	450	100
NO _x įrenginiams statytiems po 2016-01-01, mg/m ³				
50-100	250	250	300	100

Pateikiamos anglies monoksido ribinės vertės 1.3 lentelėje [5].

1.3 lentelė. Anglies monoksido ribinės vertės

Pagal DKDĮ normų 1,2,3,4,5,6 priedų A dalyje ribinės vertės				
Nominalus našumas, MW	Biomasė	Durpės	Skystasis kuras	Dujos
CO (DKDĮ taisyklės nuo 2008-01-01) mg/m ³				
50-100	700	700	400	300
CO (direktyva 2010/75/ES nuo 2016-01-01) mg/m ³				
50-100	-	-	-	100
CO įrenginiams statytiems po 2016-01-01, mg/m ³				
50-100	-	-	-	100

Pateikiamos kietų dalelių ribinės vertės 1.4 lentelėje [5].

1.4 lentelė. Kietų dalelių ribinės vertės

Pagal DKDĮ normų 1,2,3,4,5,6 priedų A dalyje ribinės vertės				
Nominalus našumas, MW	Biomasė	Durpės	Skystasis kuras	Dujos
KD (DKDĮ taisyklės nuo 2008-01-01) mg/m ³				
50-100	100	100	50	5
KD (direktyva 2010/75/ES nuo 2016-01-01) mg/m ³				
50-100	30	30	30	5
KD įrenginiams statytiems po 2016-01-01, mg/m ³				
50-100	20	20	20	5

Iš lentelėse pateiktų duomenų matyti, kad naujosios direktyvos reikalavimai teršalų koncentracijoms degimo produktuose yra žymiai griežtesni už šiuo metu galiojančias normas: SO₂ – griežtėja 2 – 5 kartus (išskyrus gamtines dujas); NO_x – griežtėja 2 – 3 kartus; CO – gamtinėms dujoms griežtėja 2 - 3 kartus; KD – griežtėja 2 – 5 kartus (išskyrus gamtines dujas).

Atsižvelgus į sugriežtėjusias emisijų normas, atliekami skaičiavimai bei matavimai siekiant nustatyti, ar mūsų pasirinkto biokuru kūrenamo garo katilo BKZ-75-39-FB išmetamų teršalų kiekiai tenkina nustatytas ribas. Tyrimai buvo atlikti elektrostatiniam filtrui, kuris mažina kietų dalelių emisijas bei azoto oksidams mažinančiai naujai įdiegtai selektyvinės nekatalitinės redukcijos (SNCR) sistemai. Katilė deginamos medžio drožlės su labai mažu sieros kiekiu, todėl išmetamiems sieros dioksido kiekiams skaičiavimai bei matavimai nebuvo atliekami.

2 GARO KATILO BKZ-75-39-FB IR PAGALBINĖS ĮRANGOS ANALIZĖ

2.1 Garo katilo charakteristikos

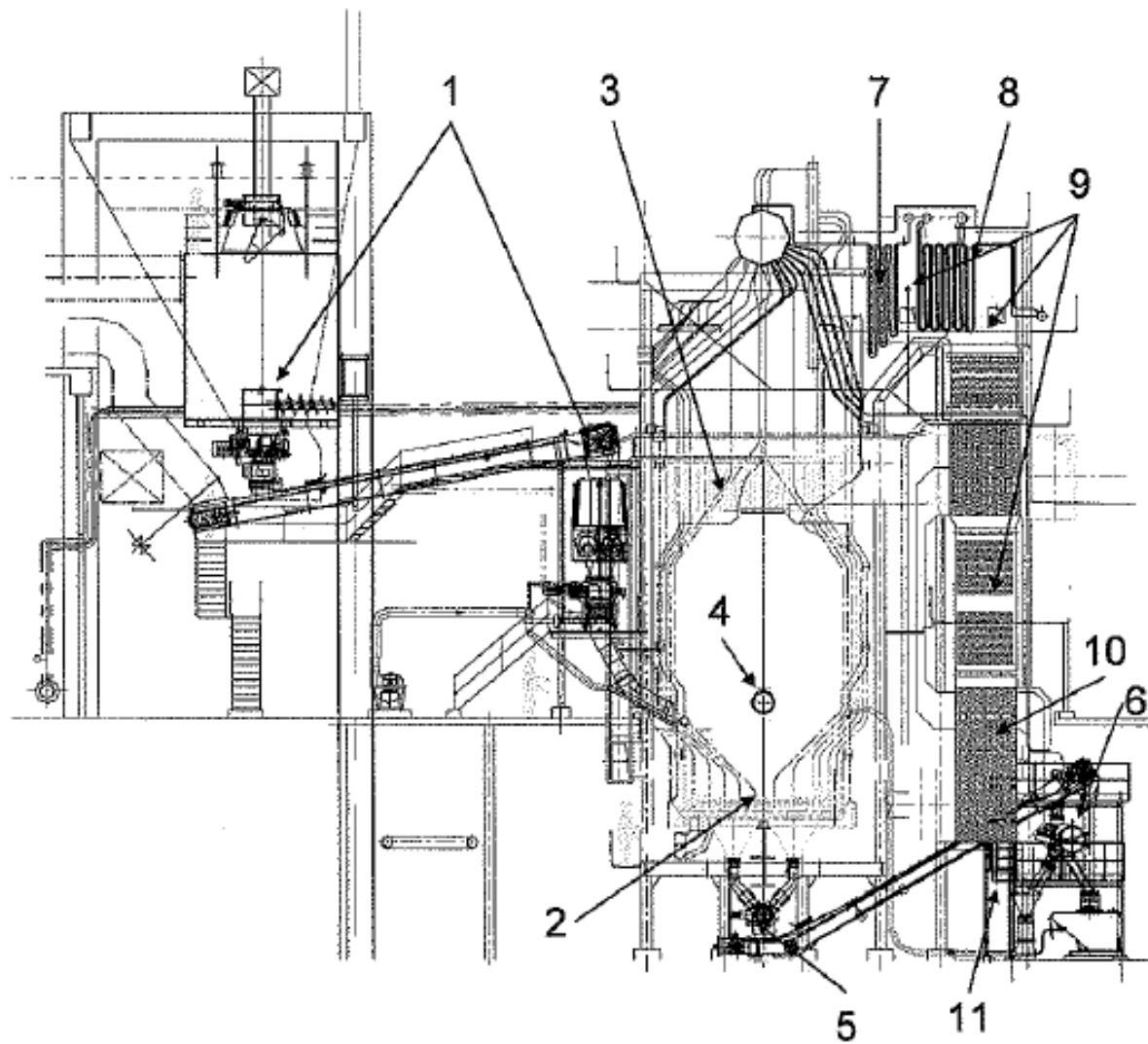
BKZ-75-39-FB tipo garo katilas yra natūralios cirkuliacijos, su vienu būgnu ir vertikaliais garo-vandens vamzdžiais. Katilas skirtas perkaitinto garo gamybai. Jo kaitinimo paviršius turi „II“ formą. Konvektyvinis garo perkaitintuvas patalpintas horizontalioje dūmtakio dalyje. Galiniai katilo šildymo paviršiai dvilaispniei. Ekonomaizeris ir oro šildytuvas išdėstyti vertikaloje dūmtakio šachtoje sekcijomis.

Pagrindiniai katilo parametrai pateikiami 2.1 lentelėje. [6]

2.1 lentelė. BKZ-75-39-FB pagrindiniai parametrai

Markė	BKZ-75-39-FB
Projektinis našumas	75 t/h
Garų slėgis	4,0 Mpa
Perkaitinto garo temperatūra	435°C
Verdančio sluoksnio temperatūra	850°C
Naudingo veiksmo koeficientas (NVK)	0,87

Pateikiama garo katilo BKZ-75-39FB su pagalbinaisiais įrengimais principinė schema 1 paveikslėlyje.



1. Biokuro tiekimo sistema
2. Žemutinė kūryklos dalis
3. Katilo ekraniniai vamzdžiai
4. Katilo dujinis degiklis
5. Pelenų šalinimo sistema iš kūryklos
6. Smėlio tiekimo ir recirkuliacijos į kūryklą sistema
7. Garo perkaitintuvas Nr.1
8. Garo perkaitintuvas Nr.2
9. Suodžių apipūtimo aparatai
10. Šalto oro pašildytuvai
11. Pelenų šalinimo sistema iš konvektyvinės dalies

1 pav. Garo katilo BKZ-75-39-FB su pagalbiniais įrengimais principinė schema

2.2 Kuro padavimo sistema

Kuro padavimo sistemos paskirtis – transportuoti biokurą reikiamu greičiu ir tiekti į „verdantįjį sluoksnį“ pro kūryklos sienelę iš katilo priekinės pusės.

Katilo kuro padavimo sistema susideda iš:

1. Kuro skirstytuvo esančio bunkerio viršutinėje dalyje.
2. Kuro bunkerio su echoskopinio tipo lygio matavimo prietaisais (2vnt.) ir viršutinės ribos lygio matavimo prietaisu (1vnt.).
3. Rotacinio sraigtinio paėmėjo (įkrautuvo).
4. Grandiklinio transporterio (konvejerio).
5. Tarpinės kuro išlyginimo kameros su radiaciniu lygio matavimo prietaisu.
6. Sraigtinių kuro maitintuvų (2vnt.).
7. Rotacinių kuro maitintuvų su rankiniu būdu valdomom užsklandom (2vnt.).
8. Kuro nuleidžiamųjų latakų su kompensatoriais ir rankiniu būdu valdomomis užsklandomis.
9. Kuro padavimo oro ventiliariaus su oro padavimo kanalais.

2.2.1 Kuro padavimo sistemos veikimas.

Kuro bunkeryje (tūris – 50m³) įtaisytas skirstytuvas, du echoskopinio tipo lygio matavimo prietaisai (CL001 ir CL002) bei rotacinis sraigtinis paėmimo įrenginys, kuris tiekia kurą ant grandininio transporterio. Grandininis transporteris paduoda kurą į tarpinį išlyginimo bunkerį, kurio tūris – 2m³. Lygio matavimo prietaisas perduoda signalą apie kuro lygį kameroje į kuro valdiklį, iš kurio kontroliuojamas grandininio transporterio variklio apsisukimo greitis. Tokiu būdu išlaikomas reikiamas kuro lygis tarpiniame bunkeryje. Iš tarpinio bunkerio kuras paduodamas į katilą dviem (kairysis, dešinysis) sraigtiniais maitintuvais. Šie maitintuvai reguliuoja katilo apkrovimą, reguliuojant kuro kiekį pagal poreikį. Po sraigtinių maitintuvų kuras nukreipiamas į kūryklą per du kuro latakus (kuriuose įtaisyti rotaciniai maitintuvai kompensatoriai, ir rankiniu būdu valdomos užsklandos). Rotacinių maitintuvų paskirtis – neleisti liepsnai iš kūryklos patekti į tarpinį kuro bunkerį. Apačioje rotacinių kuro maitintuvų esančias rankiniu būdu valdomas užsklandas galima uždaryti, prireikus atlikti rotacinių maitintuvų remonto ar valymo darbus, jų paskirtis – neleisti liepsnai iš kūryklos patekti į kuro padavimo latakus.

Kuro padavimo sistemos charakteristikos pateikiamos 2.2 lentelėje. [6]

2.2 lentelė. Kuro padavimo sistemos charakteristikos

Kuro skirstytuvas <ul style="list-style-type: none"> • Našumas iki • Rotacinis variklis • Latakas 	150 m ³ /val. 1,5 kW Nerūdijantis plienas
Kuro bunkeris <ul style="list-style-type: none"> • Diametras • Aukštis • Tūris 	4,5 m 4,8 m 50 m ³
Sraigtinis paėmėjas <ul style="list-style-type: none"> • Našumas • Sraigto išorinis diametras • Sraigto sukimosi greitis 	15 – 120 m ³ /val. 540 mm Iki 40 aps./min.
Grandiklinis transporteris <ul style="list-style-type: none"> • Našumas • Plotis • Ilgis • Variklis 	15 – 120 m ³ /val. 1 m 12 m. 11 kW/ 1500 aps./min.
Tarpinė išlyginimo kamera (bunkeris) <ul style="list-style-type: none"> • Tūris • Aukštis • Ilgis 	2,0 m ³ 1,5 m 1,5 m
Sraigtiniai maitintuvai <ul style="list-style-type: none"> • Našumas • Diametras • Ilgis • Variklis 	8 – 65 m ³ /val. 0,63 m 2,5 m 7,5 kW/1500 aps./min.
Rotaciniai maitintuvai <ul style="list-style-type: none"> • Našumas • Sukimosi greitis • Variklis 	8 – 65 m ³ /val. 29 aps./min. 15 kW/1500 aps./min

2.3 Katilo oro sistema

Katilo oro sistemą sudaro:

1. Pagrindinio oro pūtimo ventiliatorius.
2. Pirminio oro pūtimo ventiliatorius.
3. Garo kaloriferiai.
4. Metaliniai ortakiai.
5. Oro šildytuvai katilo konvektyvinėje dalyje.

2.3.1 Katilo oro sistemos veikimas

Visą degimui reikalingą orą tiekia pagrindinis oro ventiliatorius. Paduodamas oro kiekis iš pagrindinio oro ventiliatoriaus reguliuojamas skląsčių pagalba (kreipiamuoju aparatu). Degimo

oras yra skirstomas į pirminį (palaikantį verdantį sluoksnį), antrinį ir tretinį (virš ugnies pučiamas oras). Pirminio oro ir virš ugnies pučiamo oro sistemos turi atskirus kanalus, oro kiekio matavimo įrangą ir oro angas. Įjungimo degikliui reikalingas oras irgi paduodamas iš pagrindinio oro kanalo po garu šildomų oro kaloriferių, reikiamą oro slėgį (kiekį) reguliuoja paleidimo degiklio automatika. Garu šildomi kalorifieriai naudojami pašildyti orą, einantį į vamzdinius pirminius oro šildytuvus. Tikslas – išvengti korozijos vamzdinio pirminio oro šildytuvo įvade. Oras iš pagrindinio ortakio praėjęs garu šildomus kalorifierius ir vamzdinius oro šildytuvus nukreipiamas į aukšto slėgio pirminio oro ventiliatoriaus įsiurbimo liniją, esančią katilo priekinėje dalyje. Pirminio oro ventiliatorius palaiko 10÷12 kPa oro slėgį, oro kiekis reguliuojamas pirminio oro ventiliatoriaus sklėsčių pagalba ir matuojamas aerodinaminiu matavimo prietaisu. Pirminis (verdantį sluoksnį palaikantis) oras pučiamas į kūryklos dugną, praeina per vandens siją (groteles) su vienodais tarpais ir oro antgaliais (oro tūtos), išdėstytais kūryklos dugne. Degimą užbaigia antrinis ir tretinis oras. Antrinis oras pučiamas į katilą per antrinio oro angas, tretinio oro angos yra virš antrinio oro angų esančių kūryklos šoninėse sienelėse. Virš ugnies pučiamo oro kiekis matuojamas debeto matavimo prietaisais (kairiuoju ir dešiniuoju) bei reguliuojamas oro kanaluose esančiomis reguliavimo užsklandomais. Deguonies koncentracija katilo dūmuose reguliuojama keičiant antrinio oro reguliavimo sklėsčių (užsklandas) padėtį. Tretinio oro linijas turi save reguliuojančius nuolatinio greičio antgalius, kurie naudojami tam, kad būtų garantuotas optimalus oro pasiskirstymas ir oras į kūryklą patektų pakankamai giliai.

Oro padavimo sistemos įrengimų charakteristikos pateikiamos 2.3 lentelėje. [6]

2.3 lentelė. Oro padavimo sistemos charakteristikos

Pagrindinio oro pūtimo ventiliatorius <ul style="list-style-type: none"> • Tipas • Našumas • Paspyris • Apsisukimų skaičius • Elektros variklio galingumas 	Išcentrinis su ašiniu kreipiamuoju aparatu 31,7 m ³ /s 3400Pa 740 aps./min 320kW
Pirminio oro pūtimo ventiliatorius <ul style="list-style-type: none"> • Tipas • Našumas • Paspyris • Apsisukimų skaičius • Elektros variklio galingumas 	Radialinis 21,75 m ³ /s 13520 Pa 2980 aps./min 500 kW

2.4 Katilo dūmų sistema

Katilo dūmų sistemą sudaro:

1. Vandeniui aušinamos katilo sienelės ir ekranai.
2. Garo perkaitintuvai.
3. Mūrinė konvektyvinė šachta su ekonomizeriais, vamzdiniais oro šildytuvais.
4. Dūmų kanalai.
5. Elektrinio filtravimo įrenginys.
6. Dūmsiurbis.
7. Dūmų recirkuliacijos ventiliatorius su dūmų recirkuliacijos kanalais.
8. Kaminas.

2.4.1 Katilo dūmų sistemos veikimas

Išeinančių iš katilo dūmų kiekis priklauso nuo katilo apkrovimo ir kuro savybių. Kūryklos degimo našumas apskaičiuotas taip, kad didžioji dalis pelenų sukietėja prieš patekdami į perkaitintuvo zoną. Kylantys iš kūryklos dūmai pirmiausiai pasiekia garo perkaitintuvo dalį, po to patenka į konvekciniame šachtoje esančius ekonomizerius ir oro šildytuvus. Išėję iš katilo konvekcinės šachtos, dūmai patenka į elektrinį filtravimo įrenginį (elektrostatinį filtrą). Iš elektrinio filtravimo įrenginio dūmai patenka į dūmsiurbį. Dūmsiurbis yra už elektrostatinio filtro. Dūmsiurbis sukuria trauką, (palaiko trauką viršutinėje kūryklos dalyje), kurios reikia dūmams ištraukti iš katilo. Iš dūmsiurbio dūmai patenka į dūmų kondensacinius ekonomizerius Nr.4A,B, toliau patenka į šlapius elektrostatinius filtrus ESP-1,2,3,4 ir kondensacinio ekonomizerio dūmsiurbį KE D-1,2 pagalba šalinami pro kaminą. Dalis dūmų už katilo dūmsiurbio patenka į dūmų recirkuliacijos dūmsiurbį ir atskiru dūmų kanalu (kanalas yra padarytas iš Ø 800 cm vamzdžio) gražinami į pirminio oro traktą, (greitis kanale iki 13,8 m/s) į pirminio oro ventiliatoriaus įsiurbimo kanalą. Pirminis oras yra dalinai sumaišomas su dūmais - tai sumažina deguonies kiekį pirminiame ore.

Dūmų sistemos įrengimų charakteristikos pateikiamos 2.4 lentelėje. [6]

2.4 lentelė. Dūmų sistemos charakteristikos

Dūmsiurbis	
<ul style="list-style-type: none">• Tipas• Našumas• Slėgis• Apsisukimų skaičius• Elektros variklio galingumas	Radialinis 69,06 m ³ /s 3070 Pa 990 aps./min 320kW
Dūmų recirkuliacijos dūmsiurbis	
<ul style="list-style-type: none">• Tipas• Našumas• Paspyris• Apsisukimų skaičius• Elektros variklio galingumas	Radialinis 8,48 m ³ /s 3530 Pa 2970 aps./min 55 kW

2.5 Katilo smėlio sistemos veikimas

Biokuras katilo kūrykloje deginamas naudojant „verdančio sluoksniu“ principą. Šio deginimo būdo esmė – biokuras deginamas pakeltas virš smėlio sluoksniu. Pakėlimas vyksta pirminio oro pagalba. „Verdančio sluoksniu“ sudarymui naudojamas smėlis. Sluoksniu storis 50÷55cm. Dalis smėlio iš kūryklos bus šalinama su kūryklos pado pelenais, todėl būtinas nuolatinis smėlio papildymas. Smėlio atsarga iki 20m³ kaupiama metaliniame smėlio bunkeryje. Bunkerio diametras 2,9 m, cilindrinės dalies aukštis 4m, kūginės dalies aukštis apie 2,28 m. Bunkeris sumontuotas katilo priekinėje dalyje, šalia katilo kuro bunkerio. Smėlis papildomas į katilą iš smėlio bunkerio sraigtiniu transporteriu, kuris valdomas iš katilo valdiklio (ODV) rankiniu būdu.

2.6 Katilo pelenų šalinimo sistema

Katilo pelenų šalinimo sistema susideda iš:

1. Ardyno su pelenų piltuvais, latakais.
2. Vandeniui aušinamo sraigtinio transporterio.
3. Dugno pelenų grandiklinio transporterio.
4. Dugno pelenų būgninio sieto (filtro).
5. Pneumatinio transporterio.

2.6.1 Katilo pelenų šalinimo sistemos veikimas

Pelenai šalinami iš kūryklos dugno per tarpus tarp vandeniui aušinamų oro kanalų. Bendrasis plotas – apytiksliai 30% kūryklos dugno ploto, kuris garantuoja kietos medžiagos pašalinimą. Po grotelėmis yra keturi bunkeriai (piltuvai), kuriuose pašalinta kieta medžiaga yra surenkama ir patenka į vandeniui aušinamą sraigtinį transporterį. Pelenų - šlako piltuvai turi pneumatiniu būdu atidaromų / uždaramų vožtuvų, kurie izoliuoja įvairias ardymo dalis. Vožtuvai

tarpusavyje yra susieti taip, kad vienu metu negali būti atidarytos jų poros. Dviejų vožtuvų atsidarymo laikas turi skirtis, kad sraigtinis transporteris spėtų pernešti medžiagą pro abejus vožtuvus ir nauja medžiaga pro vožtuvus nepatektų ant jau transportuojamos konvejeriu medžiagos. Valdymas turi būti sureguliuotas taip, kad per vieną ciklą būtų pašalinama dalis šlako iš katilo per du vožtuvus, o per sekantį ciklą pro kitus du. Verdančio sluoksnio medžiagos rupumas (dalelių dydžio padidėjimas) įvertinamas matuojant temperatūrą įvairiose pagrindo dalyse. Jei įvairiose dalyse išmatuota temperatūra labai skiriasi, tai rodo, kad verdančio sluoksnio medžiaga tapo rupesnė ir tai trikdo deginimo procesą. Konkrečioje to ardymo vietoje esanti medžiaga turi būti pašalinta. Į vandeniu aušinamą sraigtinį transporterį, pro ardyną krentantys pelenai, aušinami pirminiu oru ir katilo vandeniu. Sraigtinio pelenų konvejerio aušinimo vandens temperatūra ir kiekis matuojami išėjimo gale (po sraigto). Kadangi sraigtinis transporteris dirba tik po kelias minutes, judėjimas žemyn yra lėtas. Dėl to pirminis oras supučia smėlį atgal į pagrindą ir pašalinamos tik stambesnės dalelės.

Grandininis pelenų transporteris, pašalintą verdančio sluoksnio medžiagą, transportuoja į filtrą (sietą), kuris išsijoya rupias medžiagas ir nukreipia jas į pelenų konteinerį. Vidutinio dydžio pelenai krenta iš filtro į pneumatinį transporterį, kuris gražina atgal į katilo verdantį sluoksnį pro priekinėje sienoje virš sluoksnio esančią angą. Pelenų grandininis transporteris turi pneumatiniu būdu valdomą užsklandą, kuri pašalintą verdančiojo sluoksnio medžiagą (šlakas, smėlis) nukreipia arba į sietą, arba į pelenų konteinerį.

Katilo pelenų šalinimo sistemos įrengimų charakteristikos pateikiamos 2.5 lentelėje. [6]

2.5 lentelė. Pelenų šalinimo sistemos charakteristikos

Vandeniu aušinamas sraigtinis transporteris	
• Našumas	2 m ³ /val.
• Apsisukimų skaičius	2 aps./min
• Elektros variklio galingumas	2,2 kW
• Ilgis	8 m.
Grandiklinis transporteris	
• Našumas	2 m ³ /val.
• Plotis	0,6 m
• Ilgis	12 m.
• Elektros variklio galingumas	2,5 kW

2.7 Katilo paleidimo dujinis degiklis

Paleidimo degiklio sistemos paskirtis – įkaitinti verdantį sluoksnį iki kietojo kuro užsiliepsnojimo temperatūros. Katilo paleidimui naudojamas kuras – gamtinės dujos. Paleidimo dujinio degiklio „OILON GL-450“ našumas – 18 MW. Degiklis įrengtas katilo dešinėje sienelėje

virš verdančiojo sluoksnio su nuolydžiu į kūryklos padą. Degimo orą paduoda pagrindinis oro ventiliatorius. Degiklio oro padavimo kanale įdiegta oro kiekio reguliavimo užsklanda. Degiklis yra vientisa sistema su visa oro, dujų reguliavimo armatūra. Degiklyje yra uždegtuvas ir fakelo kontrolės skeneris. Į degiklį paduodamas suspaustas oras, kuris reikalingas uždegtuvo degimui bei fakelo kontrolės skenerio aušinimui. Degiklio valdymas automatinis.

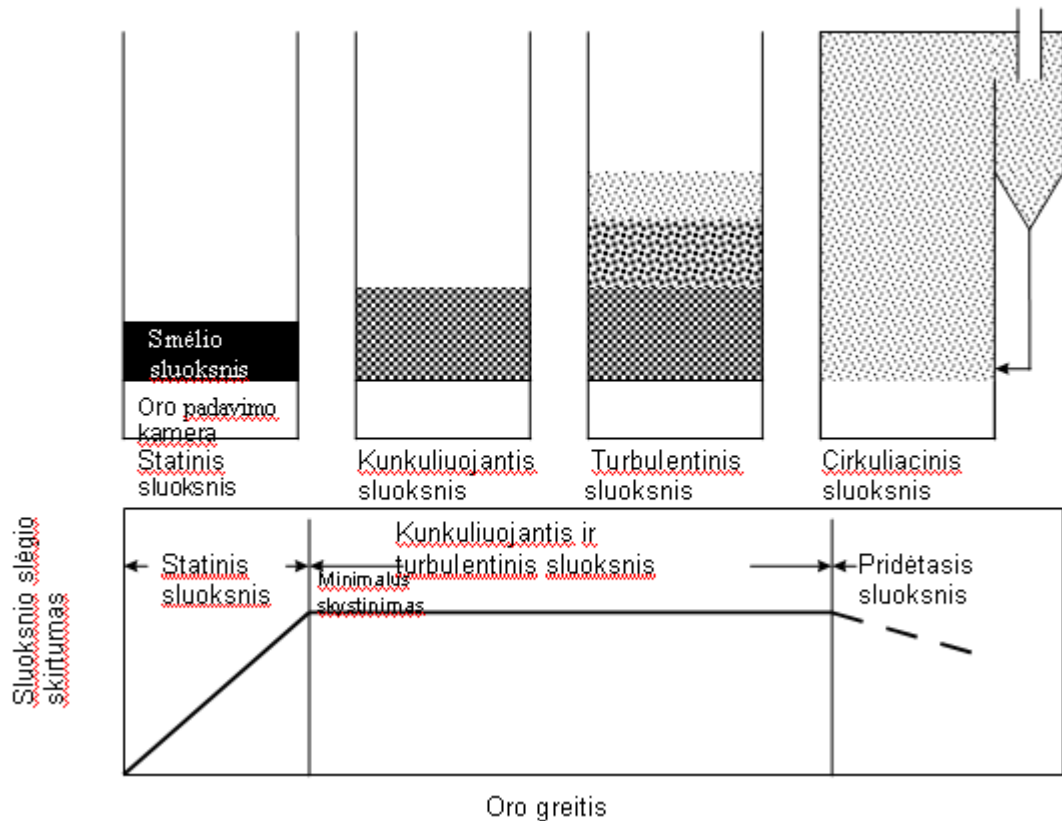
2.8 „Verdančio“ sluoksnio degimo sistema

Katilo kūrykla - kamerinė, pilnai ekranuota. Verdančiojo sluoksnio (ardyno) degimo sistemos paskirtis yra kūrykloje deginti biokurą (medieną, drožles, durpes ir šiaudus) ir tam tikromis proporcijomis sumaišytus šių kuro rūšių mišinius. Degimo kamerą sudaro verdančio sluoksnio grotelės, smėlio sluoksnis ir ugniai atsparia medžiaga padengtos vandeniui aušinamos sijos.

Verdantis sluoksnis yra tam tikra būseną, kurioje kietosios dalelės pakimba aukštyje judančiame oro sraute taip, kad dujų - kietųjų dalelių mišinio savybės tampa panašios į skysčių savybes. Verdančio sluoksnio palaikymui oras pučiamas pro kietųjų dalelių pagrindą tokiu greičiu, kad dalelės atsiskiria ir jų savybės tampa panašios į skysčio savybes (išsisveria). Verdančio sluoksnio kūrykloje degimas vyks kūryklos dugne esančiame tankiame verdančiame sluoksnyje ir virš jo. Mažos kuro dalelės greitai dega virš smėlio, kuro ir pelenų sudaryto išsverto sluoksnio, o didesnės dalelės įsiskverbia į pagrindą, kur jos išdžiūsta ir sudega verdančio sluoksnio (smėlio) viduje. Sluoksnio išsvėrimas leidžia padidinti degimo zoną, sukurti didelę turbulenciją. Kietųjų dalelių ir oro judėjimas sudaro didelį šilumos perdavimo greitį sluoksnyje viduje. Dėl didelės temperatūros sluoksnyje viduje stabilus degimas pasiekiamas netgi tada, kai kuras labai drėgnas. Sluoksnio temperatūra, kuri paprastai būna 750÷860 °C, priklauso nuo sluoksnyje esančio kuro kokybės ir kiekio. Degimo temperatūra yra pakankamai žema, kad pelenai liktų dulkių pavidalo ir neprikibtų prie šilumos perdavimo paviršių.

Sluoksnio būseną priklauso nuo oro greičio. Sluoksnis gali būti kietas, verdantis (kunkuliuojantis), turbulentinis arba cirkuliuojantis. Verdančio sluoksnio sukūrimo greitis yra apibrėžiamas, kaip oro srauto greitis, apskaičiuotas grotelių laisvajam pjūvio plotui esant tam tikram pagrindo slėgiui ir temperatūrai. Orui tekant pro sluoksnį slėgis sumažėja. Slėgio sumažėjimas atsiranda dėl to, kad orą sulaiko išsvėrimo dalelės. Matuojant ir stebint slėgio skirtumą verdančiame sluoksnyje, galima nustatyti, ar sluoksnio apačioje nesusikaupė neišsvertos medžiagos, tokios kaip akmenys.

Pateikiami verdančio sluoksnio galimi tipai priklausomai nuo oro greičio 2 paveikslėlyje.

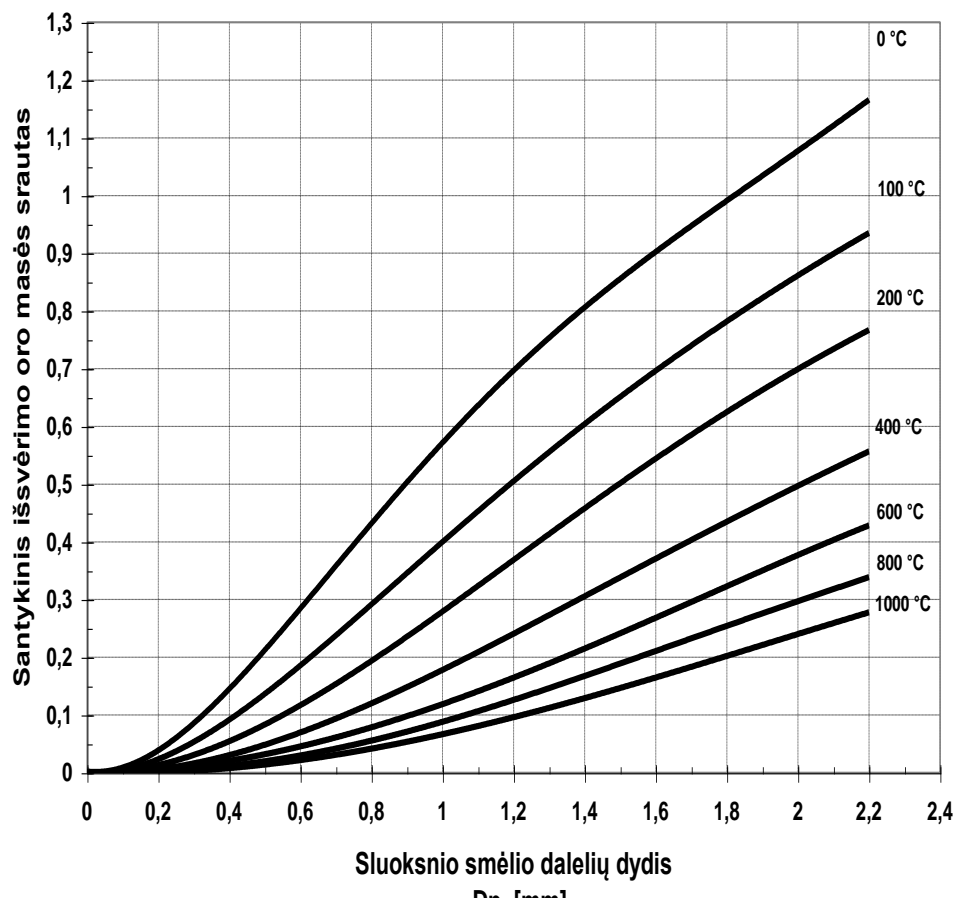


2 pav. Galimi verdančio sluoksnio tipai priklausomai nuo oro greičio

Veiksniai darantys įtaką verdančiam sluoksniui:

1. Slėgio sumažėjimas yra proporcingas smėlio pagrindo statiniam aukščiui.
2. Statinis aukštis gali keistis nuo 0,5 iki 0,55 m.
3. Aukštesnis sluoksnis padidina energijos suvartojimą.
4. Jei pagrindas per žemas, gali sutrikti išsvėrimo procesas.
5. Smulki dalelė išsisveria lengviau nei didelė.
6. Iš rupesnės medžiagos sudarytam pagrindui reikia didesnio išsvėrimo greičio.
7. Dalelių dydžio padidėjimas padidina minimalų išsvėrimo greitį.
8. Aukštesnė temperatūra mažina minimalų išsvėrimo greitį, kai dalelių dydis yra apytiksliai 2 mm.
9. Oro kiekio padidėjimas, kylant temperatūrai, sumažina jo kiekio poreikį. Karštas sluoksnis išsisveria lengviau.

Katilui veikiant (eksplotacijos metu) pagrindo medžiagos dalelės sustambėja, padidėja dalelių vidutinis dydis, sumažėja smulkių dalelių kiekis. Tai galima pamatyti 3 paveikslėlyje.



3 pav. Santykinis išsivėrimo oro srautas

Verdančio sluoksnių privalumai:

1. Nesusilydo pelenai.
2. Didelis degimo greitis: naudojant biokuro rūšis, kurių pagrindą sudaro mediena, verdančiajame sluoksnyje kuras nesusikaupia.
3. Kuras verdančiajame sluoksnyje efektyviai sumaišomas.
4. Beveik visi pelenai išlieka lakiųjų pelenų pavidale, išskyrus stambias daleles: akmenis, geležis ir kt.
5. Stebimas pagrindo temperatūros profilis ir išsivėrimas.
6. Reguluojant kuro padavimą užtikrinama efektyvi kontrolė.
7. Kontroliuojama verdančiojo sluoksnių būklė, nuolat kaupiami duomenys apie temperatūrą, sluoksnių skystinimo oro kiekį ir O_2 koncentraciją išeinančiose dūmuose.

3 EMISIJŲ KIEKIO SKAIČIAVIMAS

3.1 Reikalingas kuro kiekis

Reikalingas kuro kiekis apskaičiuojamas pagal formulę [7]:

$$B_0 = \frac{Q}{Q_a^n} = \frac{60000}{10100} = 5,94 \text{ kg/s}$$

(3.1) čia Q – reikalinga šiluminė galia, kJ/s; Q_a^n – apatinis naudojamosios masės šilumingumas, kJ/kg.

Įvertinus katilo naudingumo koeficientą reikalingas kuro kiekis [7]:

$$B = (1 + (1 - \eta)) \cdot B_0 = (1 + (1 - 0,85)) \cdot 5,94 = 6,83 \text{ kg/s} \quad (3.2)$$

čia η – katilo naudingumo koeficientas (kieto kuro katilams, kūrenant mediena imama $\eta=0,85$) [3].

3.2 Kurui sudeginti reikalingas oro kiekis

3.1 lentelė Skaičiavimams imame įvairios medienos naudojamosios masės [7]:

Kuras	Naudojamosios masės sudėtis, %							Q_a^n	Lakiųjų medžiagų
	C^n	H^n	S_d^n	O^n	N^n	A^n	W^n	kJ/kg	%
Įvairi mediena	30,3	3,6	-	25,1	0,4	0,6	40	10100	85

Apskaičiuojame vienam kilogramui kuro sudeginti reikalingo oro deguonies kiekį.

Kadangi viename kilograme kuro yra - $\frac{C^n}{100} \text{ kg}$ anglies, $\frac{H^n}{100} \text{ kg}$ vandenilio ir $\frac{S_d^n}{100} \text{ kg}$ sieros, tai, atmetus kure esantį deguonį, jam sudeginti reikia oro deguonies [7]:

$$M_{O_2} = 2,66 \cdot \frac{C^n}{100} + 8 \cdot \frac{H^n}{100} + \frac{S_d^n}{100} - \frac{O^n}{100} = 2,66 \cdot \frac{30,3}{100} + 8 \cdot \frac{3,6}{100} + \frac{0}{100} - \frac{25,1}{100} = 0,843 \text{ kg/kg} \quad (2.3)$$

Pagal masę ore yra 21% deguonies. Todėl teoriškai degimui reikalingo oro tūris vienam kilogramui kuro yra [3]:

$$V_o^t = \frac{100 \cdot M_{O_2}}{21 \cdot \rho_o} = \frac{100 \cdot 0,843}{21 \cdot 1,293} = 3,105 \text{ nm}^3 / \text{kg} \quad (3.3)$$

čia ρ_o – oro tankis normaliomis sąlygomis, kg/m^3 ($\rho_o = 1,293 \text{ kg/m}^3$) [7]

Dėl kūryklos netobulumo ir dėl nepakankamo kuro susimaišymo su oru, kuro sudegimui teorinio oro kiekio nepakanka. Todėl į kūryklą tiekiamo oro tūris V_o visuomet yra didesnis už teoriškai reikalingą oro tūrį V_o^t . V_o randame įvertinę oro pertekliaus koeficientą [7]:

$$V_o = \alpha \cdot V_o^t = 1,5 \cdot 3,105 = 4,658 \text{ nm}^3 / \text{kg} \quad (3.4)$$

čia α – oro pertekliaus koeficientas (kūrenant kietąjį kurą $\alpha = 1,5$) [7]

3.3 Degimo produktų tūriai

Azotas ore sudaro 79% tūrio, pačiame kure yra N^n % azoto, todėl teorinis azoto tūris, sudegus 1 kg kuro yra [7]:

$$V_{N_2}^t = 0,79 \cdot V_o^t + 0,008 \cdot N^n = 0,79 \cdot 3,105 + 0,008 \cdot 0,4 = 2,456 \text{ nm}^3 / \text{kg} \quad (3.5)$$

Triatomių dujų tūris, visiškai sudeginus kurą, yra pastovus ir nepriklauso nuo oro pertekliaus. Triatomių dujų tūris, žinant kad dujų savitasis tūris $v = \frac{22,4}{\mu}$, nm^3 / kg [7]:

$$V_{RO_2} = M_{CO_2} \cdot v_{CO_2} + M_{SO_2} \cdot v_{SO_2} = 3,66 \cdot \frac{C^n}{100} \cdot \frac{22,4}{44} + 2 \cdot \frac{S_d^n}{100} \cdot \frac{22,4}{64} = 3,66 \cdot \frac{30,3}{100} \cdot \frac{22,4}{44} + 2 \cdot \frac{0}{100} \cdot \frac{22,4}{64} = 0,565 \text{ nm}^3 / \text{kg} \quad (3.6)$$

Deginant kietąjį kurą, vandens garas degimo produktuose atsiranda sudegus kuro vandeniliui, išgaravus drėgmei, taip pat jo patenka su atmosferos oru [7]:

$$V_{H_2O} = 0,111 \cdot H^n + 0,0124 \cdot W^n + 0,0161 \cdot V_o = 0,111 \cdot 3,6 + 0,0124 \cdot 40 + 0,0161 \cdot 4,658 = 0,971 \text{ nm}^3 / \text{kg} \quad (3.7)$$

Bendras degimo produktų tūris [7]:

$$V_d = V_{RO_2} + V_{N_2}^t + (\alpha - 1) \cdot V_o^t + V_{H_2O} = 0,565 + 2,456 + (1,5 - 1) \cdot 3,105 + 0,971 = 5,54 \text{ nm}^3 / \text{kg} \quad (3.8)$$

Sekundinis iš kamino išmetamų dūmų tūris normaliomis sąlygomis apskaičiuojamas pagal formulę [7]:

$$V = B \cdot V_d = 6,83 \cdot 5,54 = 37,84 \text{ nm}^3 / \text{s} \quad (3.9)$$

čia B – kuro kiekis, kg/s ; V_d – bendras degimo produktų tūris, m^3/kg .

3.4 Toksogenų kiekio skaičiavimas

I atmosferą išmetamų lakiųjų pelenų kiekis skaičiuojamas pagal formulę [8]:

$$M_p = 10 \cdot B \left(\alpha_{i5n} \cdot A^n + q_4^{i5n} \cdot \frac{Q_z^n}{32680} \right) \cdot (1 - \eta) = 10 \cdot 6,83 \left(0,5 \cdot 0,6 + 0,98 \cdot \frac{10100}{32680} \right) \cdot (1 - 0,95) = 2,06 \text{ g / s} \quad (3.10)$$

čia B – sekundinis kuro sunaudojimas kg/s ; A^n – kuro naudojamosios masės peleningumas, %; α_{i5n} – pelenų, išmetamų iš kūryklos su dūmais, dalis; q_4^{i5n} – šilumos nuostoliai, kurie katiluose susidaro dėl nevisiško mechaninio degimo produktų, %; Q_z^n – kuro naudojamosios masės žemutinė degimo šiluma, kJ/kg ; η – lakiųjų pelenų sugaudymo laipsnis.

Su dūmais išmetamų sieros oksidų kiekis neskaičiuojamas, nes medienoje nėra sieros.

Azoto oksidų kiekis, perskaičiavus į NO₂, randamas iš formulės [8]:

$$M_{NO_2} = 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot K \cdot B \cdot Q_z^n \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot \beta_1 = 0,34 \cdot 10^{-4} \cdot 3,27 \cdot 6,83 \cdot 10100 \cdot \left(1 - \frac{2}{100}\right) \cdot 0,366 = 2,75 \text{ g/s} \quad (3.11)$$

čia K - koeficientas, apibūdinantis susidarančių oksidų kiekį, tenkantį 1 t sutarttinio kuro, kg/t; q_4 - mechaniniai nevisiško kuro degimo nuostoliai, %; β_1 - koeficientas, įvertinantis azoto kiekį kure; Q_z^n - kuro naudojamosios masės žemutinė degimo šiluma, kJ/kg; B - sekundinis kuro sunaudojimas kg/s.

Koeficiento K reikšmė nustatoma [8]:

$$K = \frac{12 \cdot D_f}{200 + D} = \frac{12 \cdot 75}{200 + 75} = 3,27 \quad (3.12)$$

čia D_f - katilo faktinis našumas, t/h; D - katilo nominalus našumas, t/h.

Koeficiento β_1 reikšmė nustatoma [8]:

$$\beta_1 = 0,178 + 0,47 \cdot N^n = 0,178 + 0,47 \cdot 0,4 = 0,366 \quad (3.13)$$

čia N^n - azoto kiekis kuro naudojamajoje masėje, %.

Anglies monoksido kiekis apskaičiuojamas pagal formulę [8]:

$$M_{CO} = c_{CO} \cdot B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) = 9,970 \cdot 6,83 \cdot \left(1 - \frac{2}{100}\right) = 66,73 \text{ g/s} \quad (3.14)$$

čia c_{CO} - anglies monoksido kiekis, susidarantis deginant kietąjį kurą, kg/t; q_4 - mechaniniai nevisiško kuro degimo nuostoliai, %.

Anglies monoksido kiekis, susidarantis deginant kietąjį kurą [8]:

$$c_{CO} = \frac{q_3 \cdot R \cdot Q_a^n}{1013} = \frac{1 \cdot 1,0 \cdot 10100}{1013} = 9,970 \text{ kg/t} \quad (3.15)$$

čia q_3 - cheminiai nevisiško degimo šilumos nuostoliai, %; R - koeficientas, įvertinantis šilumos nuostolius dėl CO buvimo dūmuose (kietajam kurui $R = 1,0$) [8].

4 ELEKTRINIS DŪMŲ FILTRAVIMO ĮRENGINYS

4.1 Elektrinių filtravimo įrenginių naudojimas

Elektrostatiniai filtrai yra plačiai naudojami kurą deginančiuose įrenginiuose, kadangi turi aukštą išvalymo nuo kietųjų dalelių efektyvumą ir gali dirbti dideliame temperatūros, slėgio ir užterštumo diapazone. Šiuo metu elektrostatiniai filtrai sudaro didžiąją dalį elektrinėse naudojamų pelenų gaudymo įrenginių.

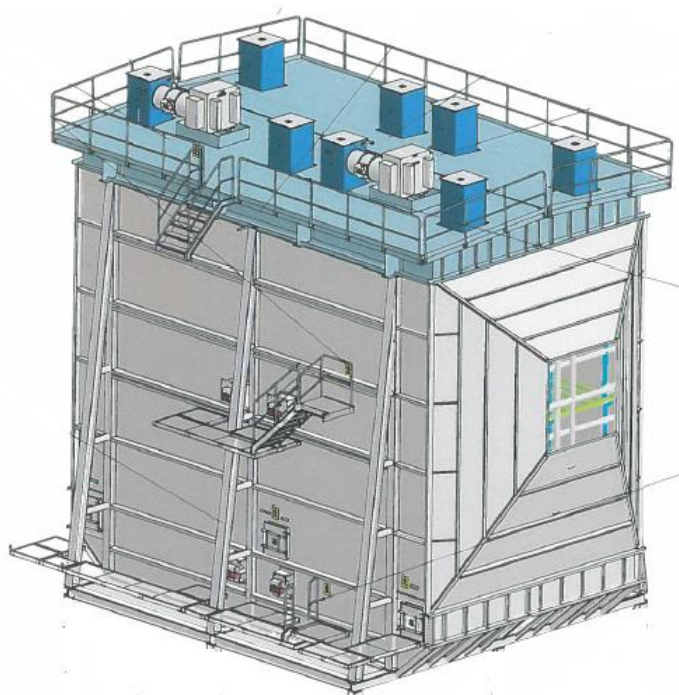
Galima išskirti kelis dalelių pašalinimo iš dūmų srauto etapus:

- kietosios dalelės įkraunamos elektros krūviu;
- įelektrintos dalelės pritraukiamos prie nusodinimo elektrodų;
- kietosios dalelės pašalinamos nuo elektrodų paviršiaus.

Kietųjų dalelių elektrinė varža taip pat yra svarbus parametras. Kada ji yra per maža, dalelės, pasiekusios surinkimo elektrodus, lengvai atiduoda krūvį ir gali būti vėl dūmų srauto nunešamos. Kai dalelių varža yra pernelyg didelė, ant surinkimo elektrodų susidaro izoliacinis sluoksnis, sutrikdantis žiedinį išlydį ir mažinantis dalelių surinkimo efektyvumą. Nuo dalelių dydžio priklauso jų nusodinimo greitis elektriniame lauke. Didesnių už 1 μm dalelių nusodinimo greitis yra atvirkščiai proporcingas jų dydžiui, mažesnių už 1 μm dalelių nusodinimo greitis nepriklauso nuo jų dydžio. Be to, didelis submikroninių dalelių kiekis prie surinkimo elektrodų padidina erdvinį elektrostatinį krūvį ir gali trumpinti žiedinį išlydį, kuris yra būtinas normaliam filtro darbui.

Įtekančių į filtrą dūmų srautas turi būti tolygiai paskirstytas per visą skerspjūvį, kad nesusidarytų greito pratekėjimo zonos. Taisyklinga dūmų įtekėjimo vamzdžių konstrukcija ir srauto paskirstymo įtaisai padeda išlyginti srautą prieš dalelių nusodinimą. Todėl filtro efektyvumas priklausys ir nuo dūmų srauto išlyginimo įtekėjimo dūmtakyje. Elektrostatinio filtro efektyvumui labai svarbu yra tinkamas dulkių nupurtymas nuo elektrodų, kadangi šioje stadijoje daug dalelių gali vėl patekti į dūmų srautą, kas labai sumažintų efektyvumą. Elektrostatinio filtro efektyvumas labai priklauso nuo įrenginio dydžio, tačiau taip pat išauga įrenginio kaina.

Detaliau aptarsime UAB „Vilniaus Energija“ padalinyje sumontuotą elektrostatinį filtrą DEP 4-1*37,5+1*45-72-95 BH.



4 pav. Elektrostatinis filtras

4.2 Techniniai parametrai

Pateikiami elektrostatinio filtro DEP 4-1*37,5+1*45-72-95 BH techniniai duomenys 4.1 lentelėje. [9]

4.1 lentelė. Elektrostatinio filtro techniniai duomenys

Elektrostatinio filtro vieta	Lauke
Sistemų kiekis	2
Aktyvios sistemos ilgis	3,75+4,5 m
Aktyvios sistemos aukštis	9,5 m
Aktyvios sistemos plotis	7,2 m
Dujų greitis	0,99 m/s
Dūmų eigų skaičius	18
Nusodinimo plotas	2736 m ²
Išlydžio elektrodas	Spiralinis
Spiralinių elektrodų skaičius	1300 vnt.
Vardinė srovė	600 mA
Vardinė didžiausioji įtampa	90 kV
Transformatorius – lygintuvas	3 fazių 90 kV / 600 mA / 400 V / 50 kHz
Purtytuvų pavaros	0,37 kW / 400 V / 50 Hz
Kaitinimo elementai izoliavimo kameroms	1 kW / 400 V / 50 Hz

Pateikiami elektrostatinio filtro DEP 4-1*37,5+1*45-72-95 BH mechaninės įrangos charakteristikos 4.2 lentelėje. [9]

4.2 lentelė. Mechaninės įrangos charakteristika

Nusodinimo plokštės	EESC tipo, plotis – 750 mm
Išlydžio elektrodai	Spiralinio tipo, sriegio skersmuo – 2,6 mm
Purtytuvai išlydžio elektrodams	Sukiojamo tipo, skersmuo – 90 mm
Purtytuvai nusodinimo elektrodams	Sukiojamo tipo, skersmuo – 115 mm

Pateikiami elektrostatinio filtro DEP 4-1*37,5+1*45-72-95 BH konstrukciniai parametrai 4.3 lentelėje.

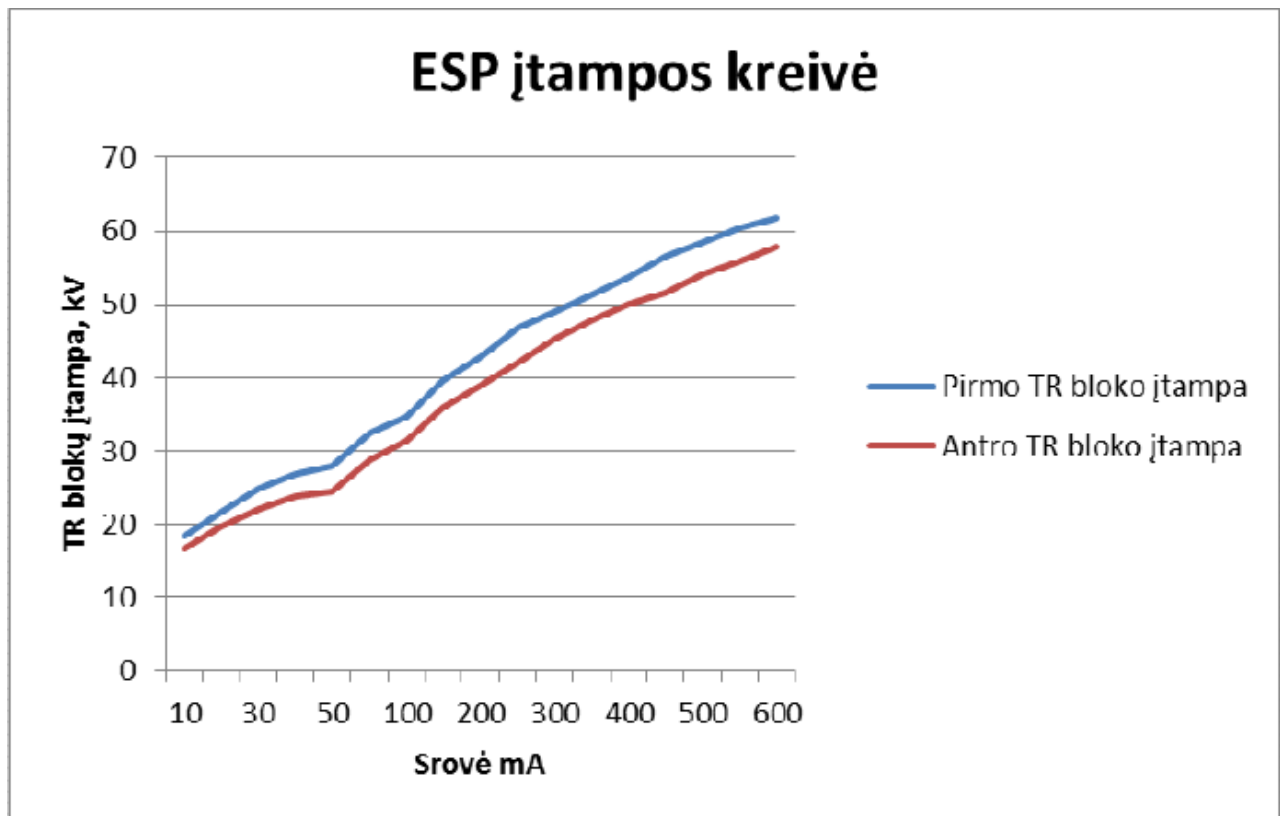
4.3 lentelė. Elektrostatinio filtro konstrukciniai parametrai

Didžiausias vardinis išmetamųjų dujų tūris	EESC tipo, plotis –750 mm
Didžiausia temperatūra	Spiralinio tipo, sriegio skersmuo – 2,6 mm
Pelenų kiekis įtekančiose dujose, kai jos sausas, esant 6 % O ₂	Sukiojamo tipo, skersmuo – 90 mm
Pelenų kiekis ištekančiose dujose, kai jos sausas, esant 6 % O ₂	Sukiojamo tipo, skersmuo – 115 mm

Tuščias elektrostatinis filtras (be cirkuliuojančių išmetamųjų dujų) pasižymi tam tikromis įtampos-srovės charakteristikomis. Jas pateikiame 4.4 lentelėje bei 5 pav. [9]

4.4 lentelė. Elektrostatinio filtro įtampos-srovės charakteristika

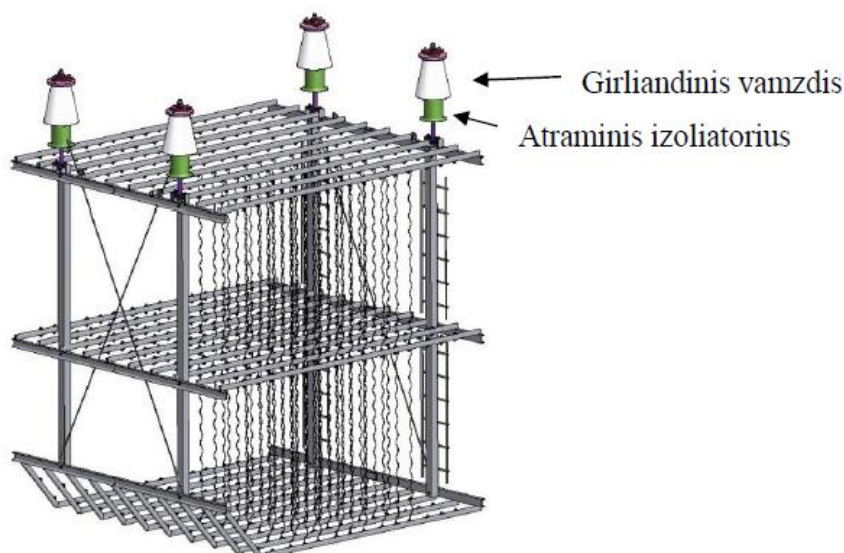
Elektrostatinio filtro srovė, mA	Pirmo TL bloko įtampa, kV	Antro TL bloko įtampa, kV
10	18,4	16,6
20	21,7	19,8
30	25	22,1
40	26,9	23,9
50	28	24,4
75	32,5	28,9
100	34,7	31,5
150	39,7	36



5 pav. Elektrostatinio filtro įtampos-srovės charakteristika

4.3 Veikimo principas ir konstrukcija

Mechaninės konstrukcijos požiūriu elektrostatinis filtras yra sudėtingas įrenginys ir jo našumą apsprendžia daug parametrų. Elektrinio filtravimo įrenginių našumui poveikio turi mechaninės savybės, elektrinės, proceso, dulkių savybės ir kiti veiksniai. Elektrostatiniame filtre naudojama elektrostatinė jėga, kuri nuo valomų dujų atskiria dulkių daleles. Dujos prateka pro kamerą, kurioje yra vertikalių plieninių plokštelių „užuolaidos“, vadinamos surenkamosiomis plokštėmis. Šios užuolaidos padalija kamerą į tam tikrą skaičių lygiagrečių kanalų dujoms. Šios užuolaidos vadinamos surinkimo sistema. Kiekviename kanale yra įrengtas iškrovos elektrodų rėmas. Visi rėmai sujungti tarpusavyje ir sudaro tvirtą karkasą, vadinamą iškrovos sistema.

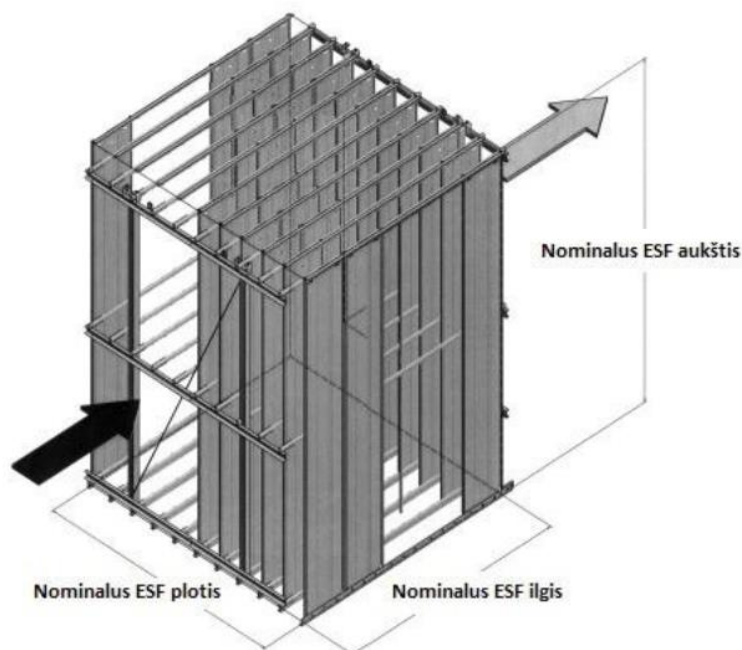


6 pav. Iškvos elektrodų rėmas

Aukštos įtampos lygintuvas yra prijungiamas tarp iškvos sistemos ir žemės, taip sukurdamas stiprų elektrinį lauką tarp iškvos sistemos elektrodų ir surinkimo sistemos. Elektrinis laukas labiausiai sustiprėja prie laido paviršiaus - jis toks stiprus, kad išilgai laidų atsiranda elektros iškrova - „vainikinė iškrova“. Vainikinėje iškrovoje dujos jonizuojamos ir susidaro didelis kiekis teigiamų ir neigiamų jonų. Teigiami jonai nedelsiant pritraukiami prie neigiamų iškvos elektrodų. Neigiami jonai turi nukeliauti visą erdvę tarp elektrodų, kad pasiektų artimiausią teigiamą surinkimo sistemą. Iš laidų, dar vadinamų iškvos elektrodais, sukuriama neigiamų jonų srautas. Pakeliui į plienines užuolaidas jonai susiduria su dujose esančiomis dalelėmis ir prie jų prikimba. Dalelės elektriškai įkraunamos ir pradeda judėti ta pačia kryptimi kaip ir jonai - link artimiausių plieninių užuolaidų. Elektrinio lauko jėga dalelę ima veikti daug stipriau nei jos gravitacinė jėga. Judant link plieninių užuolaidų greitis yra daug spartesnis nei nusėdimo greitis, laisvai krentant. Dulkės dideliais kiekiais surenkamos ant užuolaidų - surinkimo elektrodų. Dėl periodiškai atliekamo purtymo, prikibusios dulkės atsipalaiduoja ir dėl savo svorio slenka žemyn į dulkių bunkerį.

4.3.1 Pagrindinė mechaninė konstrukcija

Filtro pagrindas yra elektrodų sistema, sudaryta ir iškvos elektrodų sistemos, kuri turi įkrauti daleles, ir surinkimo elektrodų sistemos, kuri turi surinkti dulkių daleles. Sistemos viena kitos atžvilgiu įrengtos ir tarpusavyje susijusios tam tikru būdu.



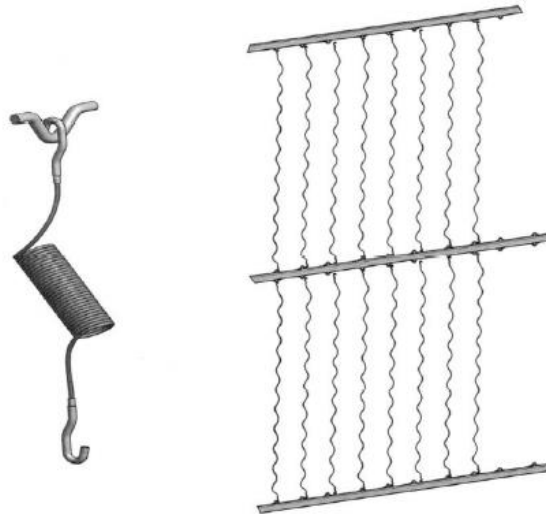
7 pav. Iškrovos elektrodų sistema

Aukštos įtampos 90 kV lygintuvas yra prijungtas prie iškrovos sistemos, o surinkimo sistema sujungta su žeme. Taip sukuriama stiprus elektrinis laukas tarp iškrovos sistemos elektrodų ir surinkimo sistemos. Išilgai laidų atsiranda elektros iškrova - „vainikinė iškrova“. Vainikinėje iškrovoje dujos jonizuojamos ir susidaro didelis kiekis teigiamų ir neigiamų jonų. Teigiami jonai, nedelsiant pritraukiami prie neigiamų iškrovos elektrodų. Neigiami jonai keliauja tarp elektrodų iki pasiekia artimiausią teigiamą surinkimo sistemą.

Iškrovos elektrodu sukuriama neigiamų jonų srautas. Pakeliui į plienines užuolaidas jonai susiduria su dujose esančiomis dalelėmis ir prie jų prikimba. Todėl dalelės elektriškai įkraunamos ir pradeda judėti ta pačia kryptimi kaip ir jonai - link artimiausių plieninių užuolaidų. Dulkės dideliais kiekiais surenkamos ant užuolaidų - surinkimo elektrodų. Dėl periodiškai atliekamo purtymo, prikibusios dulkės atsipalaiduoja ir dėl savo svorio slenka žemyn į dulkių bunkerį.

4.3.2 Iškrovos elektrodai

Spiralinis elektrodas ir juostinis elektrodas yra dažniausiai naudojami elektrodų tipai. Kitokia konstrukcija naudojama retai. Spiralinis elektrodas yra spirale susuktas laidas, pagamintas iš šiuolaikiško stipriai legiruoto plieno. Elektrodas yra tankiai susuktas, ties pagrindu išstėtas ir vertikaliai įrengtas iškrovos sistemos rėme.

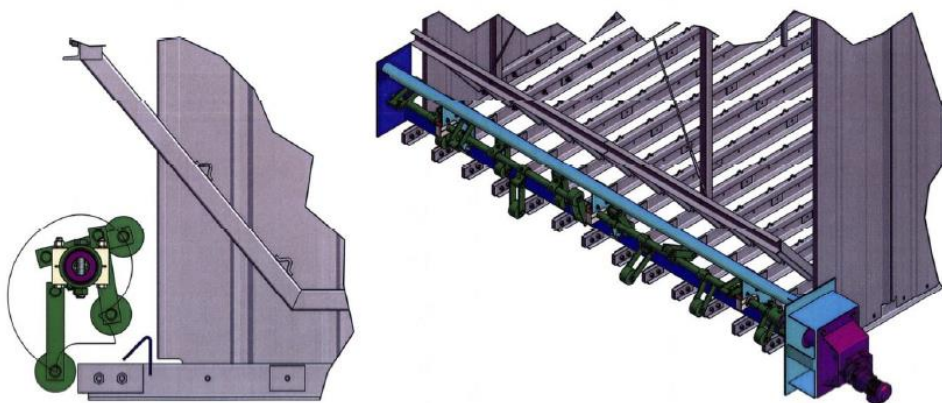


8 pav. Iškvos elektrodas

Juostinis elektrodas yra standaus stiebo pavidalo elektrodas su iškyšomis, sukuriančiomis vainikinę iškvovą. Taip pat gaminama kitokių tipų elektrodų, tačiau jie naudojami retai.

4.3.3 Elektrodo valymas

Dėl elektrostatinio nusodinimo pagrindinė dulkių dalis surenkama ant surinkimo elektrodų, o nedidelė jų dalis taip pat nusėda ant iškvos elektrodų. Jei dulkių sluoksnis didės, vainikinė iškvova palaipsniui bus slopinama. Todėl šiose dviejose sistemose svarbu nuvalyti dulkes. Tai atliekama abi sistemas purtant plaktukais. Plaktukas priverčia abi elektrodų sistemas vibruoti taip, kad ant elektrodų susikaupusios dulkės nukrenta žemyn.



9 pav. Krentančio plaktuko konstrukcija

Šiuo tikslu elektrodai yra tvirtai sujungti vienas su kitu specialia surinkimo plokštėms skirta smūgio perdavimo juosta arba smūgio perdavimo sijomis, esančiomis ant iškvos elektrodų karkaso. Plaktukai valdomi tam tikru režimu, kad būtų pasiektas optimalus našumas.

4.4 Elektrostatinio filtro DEP 4-1*37,5+1*45-72-95 BH efektyvumo tyrimas

Atliktas UAB „Vilniaus Energija“ po garo katilo BKZ-75/39 FB esančio elektrinio filtravimo įrenginio efektyvumo nustatymas, remiantis atliktais matavimais. Matavimai atlikti dvejose vietose: po katilo ir po elektrostatinio filtro. Matavimo angos įrengtos lauke. Po katilo ortakyje (1,90 m x 1,90 m) vertikaliai įrengtos 4 matavimo angos. Po elektrostatinio filtro horizontaliame ortakyje, kurio matmenys 2,20 x 2,20 įrengtos taip pat 4 matavimo angos. Srautų matavimų rezultatai įrodo, kad angos įrengtos tinkamai, oro srautas visame ortakio plote išsilyginęs. Matavimo vietose įrengtos stacionarios aikštelės, elektros įvadas prietaisų pajungimui neinstaliuotas. Matavimo angos prisuktos dangteliais.

Matavimai atlikti esant 75 t garo/h. (nominali galia) ir minimaliai – 40 t garo/h. Oro teršalų matavimo metodai pateikiami 4.5 lentelėje. [10]

4.5 lentelė. Oro teršalų matavimo metodai

Standartas	Pavadinimas	Išleidimo data	Matuojami parametrai
LAND 28-98/M-08	Stacionarūs atmosferos teršalų šaltiniai. Dulkių (kietųjų dalelių) koncentracijos išmetamosiose dujose nustatymas. Svorio metodas	1998	Kietosios dalelės
Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos ministerijos 1998 m. balandžio 30 d. įsakymas Nr. 69	Dėl aplinkos apsaugos normatyvinių dokumentų patvirtinimo“ pakeitimo (Žin. 2005, Nr.117-4256)	2005-09-28	Kietosios dalelės, drėgmė
LAND 27-98/M-07	Stacionarūs atmosferos teršalų šaltiniai. Dujų srauto ir tūrio debito ortakyje matavimas.	1998	Dujų srautas ir tūrio debitas
Matavimo procedūra pagal prietaiso instrukciją	Dujinių degimo produktų matavimo multifunkciniu analizatoriumi „Multilyzer“ darbo procedūra, parengta pagal prietaiso instrukciją	2005-10-05	CO, NO _x , O ₂ , CO ₂

4.4.1 Tyrimui naudotų metodų aprašymas

Anglies monoksidas, azoto oksidai, deguonis, anglies dioksidas nustatomi dūmų analizatoriumi elektrocheminių celių pagalba. Dūmuose esanti drėgmė renkama gaudyklėse, todėl išmatuojama sausų dujų koncentracija.

Drėgmė nustatoma pagal LAND 28-98/M-08 pataisą. Šiuo tikslu už kamino statoma 2-ų sugertuvų su vandeniu grandinė, kurią užbaigia silikageliu užpildyta talpa. Minėti indai prieš drėgmės nustatymą susveriami. Sugertuvai pajungiami prie vakuumetro, termometro ir aspiratoriaus. Nustatytą laiką, matuojamą laikmačiu, drėgnas oras traukiamas tam tikru greičiu. Surinkta drėgmė nustatoma pagal indų masių skirtumą.

Srauto greitis ortakyje matuojamas anemometru TESTO 445, su 10 arba 100 hPa slėgio keitikliais. Matavimui naudotas 3 m ilgio S tipo vamzdelis, kurio koeficiento vertė 0,83 (pagal ISO). Naudotų matavimo priemonių patikra atlikta. Stačiakampio ortakio matavimo žiedai išdėstomi vienodais atstumais. Pirmas matavimo taškas nuo ortakio vidinės sienelės nutolęs per 7,5 cm, toliau - kas 15 cm. Tokiu būdu po katilo dinaminis slėgis kiekvienoje matavimo angoje buvo matuojamas 13, o po elektrostatinio filtro – 15 taškų. Bendras matavimo taškų skaičius po katilo – 52, po elektrostatinio filtro – 60.

Pridengus matavimo angą, kiekviename nustatytame žiede matuojamas dinaminis slėgis. Bet kurioje angoje išmauojamas statinis slėgis. Šiuo atveju naudojamas 100 hPa slėgio keitiklis. Tūrio debitas išskaičiuojamas laboratorijoje. Naudojami šie įvesties duomenys:

- dūmų temperatūra;
- statinis ir dinaminis slėgiai;
- atmosferos slėgis matavimo metu;
- surinkto per laiko tarpą kondensato masė, g;
- rinkto kondensato trukmė ir greitis;
- rinkto kondensato metu praretėjimas prieš rotametą ir temperatūra;
- CO₂ ir O₂ koncentracija dūmuose, tūrio procentais;
- ortakio matmenys.

Temperatūra ortakyje matuojama TESTO 445 zonu su termopora.

Temperatūra prieš rotametą matuojama skaitmeniniu BLUE LINE termometru su jutikliu.

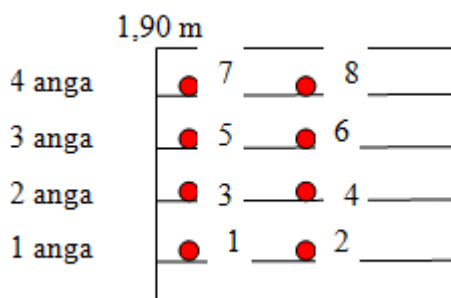
Drėgmės nustatymui naudojamos svarstyklės „Radwag WLC 0,6/B“, padalos vertė 0,01 g, filtrų masės nustatymui, elektroninės svarstyklės su vidiniu kalibravimu „Radwag AS220/C/2“, padalos vertė 0,0001g. Kondensatas renkamas į stiklinį šaldomą sugertuvą, o likučiai surenkami silikageliu. Indai sveriami prieš ir po drėgmės matavimo. Pagal masių

skirtumą apskaičiuojamas drėgmės kiekis ortakyje. Kondensatas renkamas 5 min, 10 l/min greičiu aspiratoriumi.

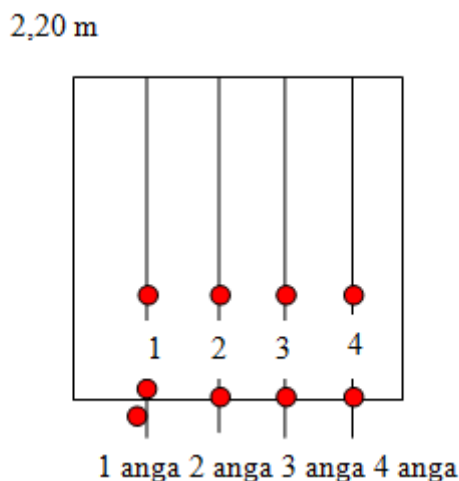
Vakuumas prieš aspiratoriaus rotametrus matuojamas 1 klasės manometru RCh80-1, kurio matavimo ribos nuo -0,6 iki 0 bar.

Kietosios dalelės renkamos laikantis LAND 28-98/M-08 reikalavimų. Mėginys imamas vidinės filtracijos būdu į stiklo vata užpildytą, prieš tai pasvertą, aliuminę kapsulę, kuri laboratorijoje kaitinama 1 val. 160°C temperatūroje ir kondicionuojama 8 valandas eksikatoriuje. Mėginys imamas izokinetinėmis sąlygomis, t.y. srauto greitis ortakyje turi sutapti su greičiu paėmimo antgalyje.

Darbo metu, imant mėginius iš ortakio po katilo, paimti 8 mėginiai: kiekvienoje angoje po du mėginius. Pirmasis mėginys 37,5 cm atstumu nuo vidinės ortakio sienelės, antrasis – 97,5 cm atstumu. Pateikiame bandinių paėmimo taškų išdėstymą 10 ir 11 paveikslėliuose.



10 pav. Bandinių paėmimo taškai po katilo



11 pav. Bandinių paėmimo taškai po elektrostatinio filtro

Iš kiekvienos matavimo angos paimtas 1 mėginys, jį 15 minučių laikant 37,5 cm ir 15 min 97,5 cm atstumu nuo sienos. Viso 4 mėginiai.

Paimti mėginius iš kitos ortakio pusės nėra galimybės (per trumpas turimas mėginių paėmimo vamzdelis, neįrengtos angos). Imant mėginius fiksuota O₂ koncentracija. Tyrimų rezultatuose pateikta išmatuota kietųjų dalelių koncentracija ir perskaičiuota prie standartinių sąlygų – 6% deguonies.

Matavimams naudotos įrangos specifikacija pateikiama 4.6 lentelėje. [10]

4.6 lentelė. Matavimams naudota įranga

Nr.	Įrangos pavadinimas	Specifikacija
1	Dūmų analizatorius Multilyzer Nr.02 95 00040	±5% (0-4000) ppm CO, (0-20,9)% O ₂ ; (0-2000)ppm NO, NO _x , (0-2000) ppm SO ₂
2	Anemometras TSTO 445, Nr. 01986829/012 su S tipo Pito vamzdeliu 543	3-30 m/s
3	Aspiratorius 822, Nr. 4578	1-20 l/min, ±5%
4	Laikmatis VAN ALLEN 32802 Nr.90713	59 min± (0,00043τ+0,34τ)
5	Radwag svarstyklės WLC 0,6/B1	0,6 kg, padalos vertė 0,01 g.
6	Skaitmeninis BLU LINE termometras su jutikliu. Tipas S2600-TM7	-50... +650
7	1 kl. vakuometras EN 837-1 Nr. 114701602 (2)	0...+0,6 bar

4.4.2 Matavimų rezultatai. Nominalus režimas (75 t/h)

Gauti matavimų rezultatai pateikiami lentelėse. [10]

4.7 lentelė. Išmatuoti dujų fizikiniai parametrai

Matavimo vieta	Statinis slėgis, hPa	Vidutinis srauto greitis ortakyje, m/s	Dujų debitas, m ³ /s	Drėgnų dujų debitas, nm ³ /s	Sausų dujų debitas, nm ³ /s	Drėgmės kiekis dujose tūrio %	Dujų temp., °C
Po katilo	-19,990	16,51	59,5975	37,039	29,778	19,60	166
Po ESF	-18,32	11,92	57,7002	36,335	29,284	19,60	163

4.8 lentelė Cheminiai parametrai. Kietų dalelių dūmuose matavimo rezultatai

Matavimo vieta	Mėginio numeris 10 ir 11 pav.	Koncentr. mg/m ³	Vidutinė koncentracija, mg/m ³	Išmatuota O ₂ koncentracija, tūrio %	Vidutinė išmatuota O ₂ koncentracija, tūrio %	Koncentracija, prie st. O ₂ , mg/nm ³	Vidutinė koncentracija, prie st. O ₂ , mg/nm ³
Po katilo	1	23007,8	11818,8	7,0	6,79	24651,18	12510,13
	2	23386,2		6,8		24703,74	
	3	8273,5		7,1		8928,19	
	4	15344,5		6,7		16095,61	
	5	6174,6		6,7		6476,89	
	6	10315,6		6,7		10820,51	
	7	3637,5		6,8		3842,38	
	8	4410,5		6,5		4562,54	
Po ESF	1	20,0	8,0	6,95	6,98	21,4	8,60
	2	4,4		6,95		4,7	
	3	3,4		6,90		3,6	
	4	4,4		7,10		4,7	

4.9 lentelė. Cheminiai parametrai. Išmatuotos anglies monoksido koncentracijos

Matavimo vieta	CO Koncentracija, mg/m ³	Vidutinė CO koncentracija, mg/m ³	Išmatuota O ₂ koncentracija, tūrio %	Vidutinė išmatuota O ₂ koncentracija, tūrio %	Koncentracija, prie st. O ₂ , mg/nm ³	Vidutinė koncentracija, prie st. O ₂ , mg/nm ³
Po katilo	7,5	0,94	7,0	6,79	8,0	1,00
	0		6,8		0	
	0		7,1		0	
	0		6,7		0	
	0		6,7		0	
	0		6,7		0	
	0		6,8		0	
	0		6,5		0	
Po ESF	10,0	11,09	6,9	6,98	10,6	11,9
	17,50		7,0		18,8	
	13,75		6,9		14,6	
	15,00		7,0		16,1	
	15,00		7,0		16,1	
	6,25		6,8		6,6	
	6,25		7,1		6,7	
	5,00		7,1		5,4	

4.10 lentelė. Cheminiai parametrai. Išmatuotos azoto oksidų koncentracijos

Matavimo vieta	Koncentr., mg/m ³	Vidutinė koncentr., mg/m ³	Išmatuota O ₂ koncentr., tūrio %	Vidutinė išmatuota O ₂ koncentr., tūrio %	Koncentr., prie st. O ₂ , mg/nm ³	Vidutinė koncentr. prie st. O ₂ , mg/nm ³
Po katilo	317,75	329,03	7,0	6,79	340,4	347,2
	325,95		6,8		344,3	
	305,45		7,1		329,6	
	338,25		6,7		354,8	
	336,20		6,7		352,7	
	336,20		6,7		352,7	
	336,20		6,8		355,1	
	336,20		6,5		347,8	
Po ESF	338,25	348,50	6,9	6,98	359,8	372,8
	338,25		7,0		362,4	
	338,25		6,9		359,8	
	338,25		7,0		362,4	
	340,30		7,0		364,6	
	366,95		6,8		387,6	
	366,95		7,1		396,0	
	360,80		7,1		389,4	

4.4.3 Matavimų rezultatai. Minimalus režimas (40 t/h)

Matavimų rezultatai pateikiami lentelėse. [10]

4.11 lentelė. Išmatuoti dujų fizikiniai parametrai

Matavimo vieta	Statinis slėgis, hPa	Vidutinis srauto greitis ortakyje, m/s	Dujų debitas ortakio sąlygomis, m ³ /s	Drėgnų dujų debitas, nm ³ /s	Sausų dujų debitas, nm ³ /s	Drėgmės kiekis dūmuose tūrio %	Dujų temperatūra, °C
Po katilo	-7,84	9,19	33,1649	21,623	18,792	13,10	138
Po ESF	-8,54	7,27	35,1917	22,873	19,877	13,10	138

4.12 lentelė. Cheminiai parametrai. Kietų dalelių dūmuose matavimo rezultatai

Matavimo vieta	Mėginio numeris 10 ir 11 pav.	Koncentr., mg/m ³	Vidutinė koncentr., mg/m ³	Išmatuota O ₂ koncentr., tūrio %	Vidutinė išmatuota O ₂ koncentr., tūrio %	Koncentr., prie st. O ₂ , mg/nm ³	Vidutinė koncentr. prie st. O ₂ , mg/nm ³
Po katilo	1	1721,330	1483,497	7,0	7,025	1844,28	1588,258
	2	2026,443		6,9		2155,79	
	3	1596,823		7,0		1710,88	
	4	1765,998		6,6		1839,58	
	5	1146,602		7,3		1255,40	
	6	1366,562		6,7		1433,46	
	7	1179,362		7,4		1300,77	
	8	1064,855		7,3		1165,90	
Po ESF	1	8,499	4,159	7,3	7,2	9,31	4,52
	2	1,59		7,1		1,72	
	3	0,302		7,3		0,33	
	4	6,247		7,05		6,72	

4.13 lentelė. Cheminiai parametrai. Išmatuotos anglies monoksido koncentracijos

Matavimo vieta	CO Koncentr., mg/m ³	Vidutinė koncentr., mg/m ³	Išmatuota O ₂ koncentr., tūrio %	Vidutinė išmatuota O ₂ koncentr., tūrio %	Koncentr., prie st. O ₂ , mg/nm ³	Vidutinė koncentr. prie st. O ₂ , mg/nm ³
Po katilo	61,25	67,50	7,0	7,03	65,63	72,18
	113,75		6,9		121,01	
	60,00		7,0		64,29	
	71,25		6,6		74,22	
	50,00		7,3		54,74	
	86,25		6,7		90,47	
	43,75		7,4		48,25	
	53,75		7,3		58,85	
Po ESF	66,25	58,28	7,4	7,19	73,07	62,93
	70,00		7,2		76,09	
	102,50		6,7		107,52	
	51,25		7,5		56,94	
	35,00		7,4		38,60	
	27,50		7,2		29,89	
	30,00		7,3		32,85	
	83,75		6,8		88,47	

4.14 lentelė. Cheminiai parametrai. Išmatuotos azoto oksidų koncentracijos

Matavimo vieta	Koncentr., mg/m ³	Vidutinė koncentr. mg/m ³	Išmatuota O ₂ koncentr. tūrio %	Vidutinė išmatuota O ₂ koncentr., tūrio %	Koncentr., prie st. O ₂ , mg/nm ³	Vidutinė koncentr., prie st. O ₂ mg/nm ³
Po katilo	145,55	153,75	7,0	7,03	155,95	165,06
	155,80		6,9		165,74	
	164,00		7,0		175,71	
	164,00		6,6		170,83	
	147,60		7,3		161,61	
	145,55		6,7		152,67	
	155,80		7,4		171,84	
	151,70		7,3		166,09	
Po ESF	157,85	160,93	7,4	7,19	174,10	174,87
	157,85		7,2		171,58	
	155,80		6,7		163,43	
	153,75		7,5		170,83	
	172,20		7,4		189,93	
	176,30		7,2		191,63	
	159,90		7,3		175,07	
	153,75		6,8		162,41	

4.4.4 Matavimų rezultatų apibendrinimas

Katiliui dirbant nominalia galia išmetamų dujų debitas po katilo ir po elektrostatinio filtro artimas, skirtumas sudaro tik 1,7%, deguonies koncentracija skiriasi 2,7%. Dirbant minimalia galia išmetamų dujų debitas po katilo ir po elektrostatinio filtro skiriasi 5,5%, deguonies koncentracija - 2,2%. Jei matavimo metu katilo apkrova nekito, oro pasiurbimai yra minimalūs.

Kietųjų dalelių koncentracija ortakyje po katilo nevienoda:

1. Pastebima, kad didesnė koncentracija yra ortakio apačioje.
2. Ortakio centre kietųjų dalelių koncentracija didesnė nei prie sienos.

Elektrostatinio filtro valymo efektyvumas 99,93 -99,56%. Pateikiamos vidutinės kietųjų dalelių vertės 4.15 lentelėje. [10]

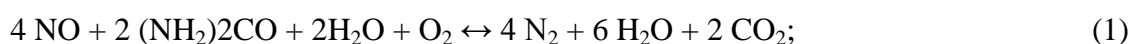
4.15 lentelė. Vidutinės kietųjų dalelių koncentracijos

Matavimo vieta	Katilo apkrova 75 t garo/h		Katilo apkrova 40 t garo/h	
	KD neperskaičiuota koncentracija, mg/nm ³	KD koncentracija, perskaičiuota prie 6% O ₂ , mg/nm ³	KD neperskaičiuota koncentracija, mg/nm ³	KD koncentracija, perskaičiuota prie 6% O ₂ , mg/nm ³
Po katilo	11819	12510	1483	1588
Po elektrostatinio filtro	8,04	8,60	4,16	4,52

5 SELEKTYVINĖS NEKATALITINĖS REDUKCIJOS SISTEMOS APRAŠYMAS

5.1 Proceso aprašymas

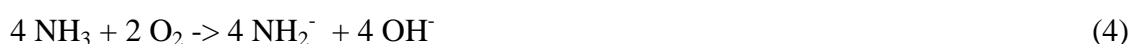
Selektyvinės nekatalizinės redukcijos (angl. Selective Non-Catalytic Reduction, SNCR) procesas yra nekatalizinė redukuojančio agento konversija, vykstant reakcijai su degimo metu susidarančiais azoto oksidais (NO_x), kurios metu susidaro aplinkai nepavojingas azotas (N₂), vandens garai (H₂O) ir CO₂. [11][12] Kaip redukuojantis agentas naudojamas karbamido tirpalas AdBlue / AUS-32 (cheminė formulė (NH₂)₂CO), kuris yra tinkamoje vietoje įpurškiamas į pirmąjį katilo dūmtakį. Reakcijos vyksta, esant 850 – 1050 °C temperatūrai:



Dažnai SNCR sistemose naudojamas amoniakinis vanduo. Supaprastinta eiga parodyta (3) lygtyje, amonis reaguoja su degimo dujose esančiais azoto oksidais ir vandens garais:



Vadinamųjų NH₂ radikalų, susidarančių reaguojant amoniui su deguonimi ir OH radikalais, formavimasis sukelia pirmines reakcijas (4-5):



Tolesnių reakcijų metu šie NH₂ radikalai pirmiausiai reaguoja su azoto oksido molekulėmis (6):



Tam, kad SNCR NO_x redukcijos procese būtų tenkinami didelio selektyvumo reikalavimai, temperatūra turi būti palaikoma nurodytame diapazone. Taip yra todėl, kad šiame

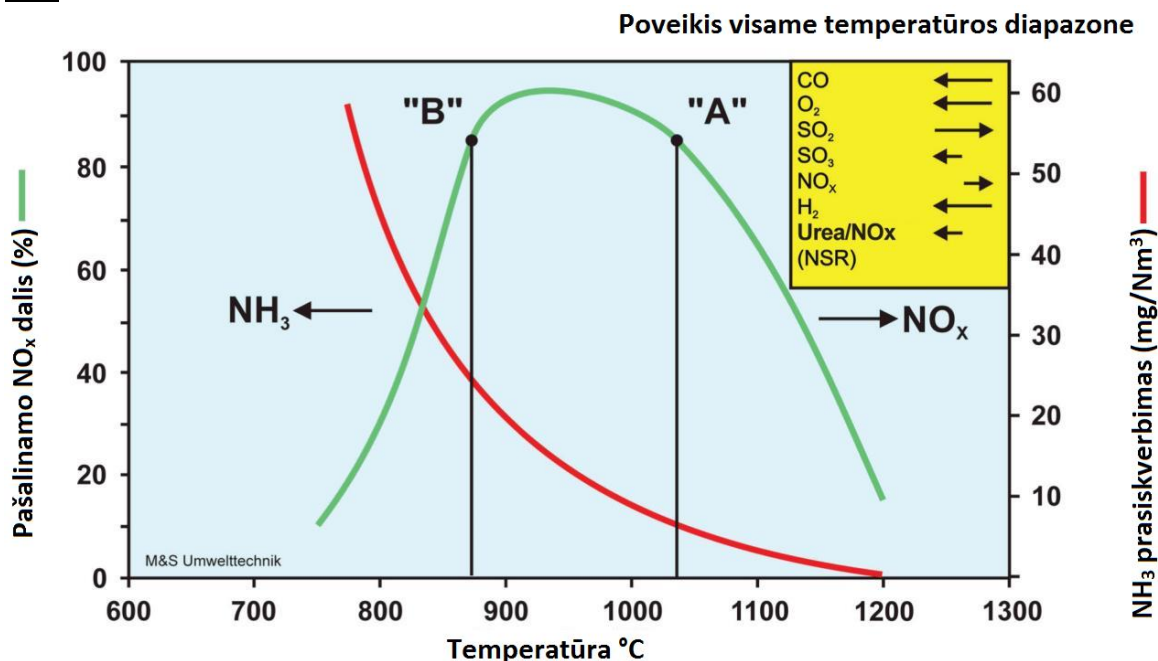
siaurame 100 K temperatūros diapazone konkuruojančios reakcijos yra geriausiai pašalinamos.

Siekiant užtikrinti optimalų proceso valdymą, turi būti įvykdytos tokios sąlygos:

1. Redukuojančio agento paskirstymas visame reakcijos zonos skerspjūvyje;
2. Pakankamas redukuojančio agento įmaišymas į dūmus;
3. Atsižvelgiama į temperatūros ir greičio skirtumus visame reakcijos zonos skerspjūvyje;
4. Reguluojamas įpurškimas pagal dūmų temperatūros pokyčius dėl apkrovos arba kuro pokyčių.

Pateikiama pašalinamo NO_x dalies priklausomybė nuo temperatūros 12 paveikslėlyje.

[13]



„A“ - ideali temperatūra tik SNCR (nedidelis amonio prasiskverbimas)

„B“ - ideali temperatūra SNCR+SCR (didelis amonio prasiskverbimas)

12 pav. Pašalinamo NO_x dalies priklausomybė nuo temperatūros

Redukuojantis agentas yra išpurškiamas pro purkštukus skirtinguose įpurškimo lygmenyse. Taikomas įpurškimo lygmuo priklauso nuo temperatūros pokyčio dūmuose – optimalaus SNCR temperatūros diapazono kaitos reakcijos zonoje. Optimizuotam temperatūros diapazonui, įpurškimo lygmenys padalijami į sekcijas. Optimalus lašelius transportuojančios terpės mišinio pasiskirstymas reakcijos zonoje ir maišymasis su dūmais užtikrinamas, palaikant didelį greitį ir tinkamai išdėstant purkštukus.

5.2 Komponentų aprašymas

SNCR įrangą sudaro šie komponentai:

- Vienas maišymo ir matavimo modulis
- Karbomido tirpalo AdBlue/Aus-32 talpykla

- 2 x 4 įpurškimo rinkiniai, purkštukai ir lanksčios žarnos
- Vamzdžių sistema šlapalo tirpalui, vandeniui ir technologiniam orui
- Skysčių paskirstymo, reguliavimo ir valdymo armatūra
- Visi būtini saugos įtaisai

5.2.1 Redukuojančio agento talpykla

Karbamido tirpalo redukuojantis agentas (40 % su priedu) laikomas atmosferiniame slėgyje pastatomoje talpykloje (30 m³ naudingasis tūris).

Talpykla įrengta pastato viduje. Talpykloje įrengta periferinė įranga ir saugos įtaisai, taip pat kopėčios ir smėliu padengtas viršutinis aukštas. Saugos įtaisus iš esmės sudaro lygio matuoklis ir apsauga nuo persipylimo. 40 % karbamido tirpalas su priedu (minkštikliu) naudojamas kaip redukuojantis agentas. Priedas neleidžia, kad vamzdynai ir purkštukai užsiterštų, kalcio junginius sudarančiomis, paruoštame vandenyje esančiomis medžiagomis.

Talpyklos techniniai duomenys pateikiami 5.1 lentelėje. [13]

5.1 lentelė. Karbamido tirpalo talpos techniniai duomenys

Naudingasis tūris	30 m ³
Vardinis tūris	31,60 m ³
Sienelės	Dvigubos
Pastatymas	Antžeminis, patalpoje
Terpė	40% karbamido tirpalas

5.2.2 Redukuojančio agento siurbliai

Talpykloje įrengta cirkuliacinė sistema, kurią sudaro: du cirkuliaciniai siurbliai, grįžtamoji linija su slėgio palaikymu ir atvado linija, tiekianti šlapalo tirpalą į SNCR įrangą. Šlapalo cirkuliaciniai siurbliai įrengti su rezervu (2 x 100 %) ir kiekviename jų yra integruotas teršalų surinktuvas ir vienos krypties vožtuvas. Siurbliai prijungti prie cirkuliacinės linijos ir atvado linijos slėginėje pusėje, naudojant gofruotas nerūdijančiojo plieno žarnas. Siurblius galima atjungti atskirai, naudojant rutulines sklendes. Tokiu būdu galima pakeisti vieną iš siurblių, tuo metu veikiant rezerviniam. Abi rankinės rutulinės sklendės turi būti visada atidarytos, kai įranga veikia įprastiniu režimu.

Cirkuliacinėje linijoje įrengtas slėgio matuoklis su nuotoliniu duomenų perdavimu, vietinis slėgio matuoklis ir slėgio palaikymo vožtuvas prijungtas srautu žemyn už vamzdžio jungties. Slėgio matuoklis su nuotoliniu duomenų perdavimu ir slėgio palaikymo vožtuvas įrengti linijoje prieš talpyklos grąžinamo srauto įtekėjimo atvamzdį. Redukuojančio agento

(40 % karbamido tirpalas su priedu) slėgis sureguliuojamas iki reikiamo tiekimo slėgio, naudojant slėgio palaikymo vožtuvą. Redukuojančio agento kiekis, kurio pareikalauja valdymo sistema, yra nukreipiamas į maišymo ir matavimo modulį per atvado liniją, kuri yra prijungta prie cirkuliacinės linijos.

Likęs dalinis srautas slėgio palaikymo vožtuvu nukreipiamas atgal į talpyklą. Recirkuliacinė linija yra izoliuota ir aprūpinta vamzdžių šildymu.

13 paveikslėlyje pateikiamas panardinamas siurblys. [13]



13 pav. Panardinamas siurblys

Pateikiame panardinamo siurblio techniniai duomenys 5.2 lentelėje. [13]

5.2 lentelė. Panardinamo siurblio techniniai duomenys

Siurblio tipas	Panardinamas
Siurblio modelis	150 B2/21
Gamintojas	March-Pumpen
Variklio instaliuota galia	1,5 kW
Apsaugos klasė	IP68
Įtampa	400V AC

5.2.3 Maišymo ir matavimo modulis

Maišymo ir matavimo modulyje įrengti visų SNCR sistemos (reagentai, reagentai iš šalinimo įrenginio, vanduo, technologinis oras) veikimui būtinų terpių matavimo prietaisai, taip pat jame nustatyti visi slėgio ir srauto reguliavimo parametrai (automatinio ir rankinio valdymo režimo). Šis modulis maišo redukuojantį agentą su skiedimo vandeniu ir paskirsto šio mišinio daleles pro purkštukus. Visos dalys sumontuotos ant rėmo konstrukcijos, kuri įrengta spintoje su

permatomomis durimis, apsaugančioms įrangą nuo pažeidimo ir dulkių.

Pateikiami maišymo ir matavimo modulių techniniai duomenys 5.3 lentelėje. [13]

5.3 lentelė. Maišymo ir matavimo modulių techniniai duomenys

Modulių skaičius	1
Gamintojas	Rittal
Įpurškimo lygmenų skaičius	1
Vamzdelių skaičius viename lygmenyje	4
Aušinimo vamzdelių skaičius viename lygmenyje	4

5.2.4 Įpurškimo vamzdeliai

Purkštukų pagalba redukuojančio agento ir vandens mišinys tolygiai paskirstomas dūmuose. Priklausomai nuo pakuros skerspjūvio ploto, įrengiama keletas purkštukų. Kiekvienas purkštukas įstatomas į pakurą su flanšine jungtimi ir greitojo jungimo mova.

Vamzdeliai pagaminti su išorine maišymo kamera, kurioje redukuojantis skystis suskaidomas į smulkias daleles, naudojant technologinį orą. Redukuojantis mišinys prasiskverbia pro vieną ar kelias angas vamzdelio gale. Šių purkštukų skaičius ir kryptis projektuojama, atsižvelgiant į įpurškimo kelio formas ir matmenis. Terpė (oro ir redukuojančio agento-vandens mišinys) pernešama į vamzdelius lanksčiomis plieno žarnomis.

Įpurškimo vamzdelių paskirstymo sistemą sudaro purkštukai su rankinės atkirtos sklendėmis ir lanksčiomis žarnomis. Taip sistemą galima lengvai įrengti ir išmontuoti neatjungiant vamzdelių jungčių.

Pateikiama įpurškimo vamzdelio su purkštuku katilo sienelėje ir dviem nerūdijančiojo plieno žarnelėmis pavyzdys 14 paveikslėlyje. [13]



14 pav. Įpurškimo vamzdelis su karbamido tirpalo bei suspausto oro vamzdžiais

5.4 lentelė. Įpurškimo vamzdelių įrengimo duomenys [13]

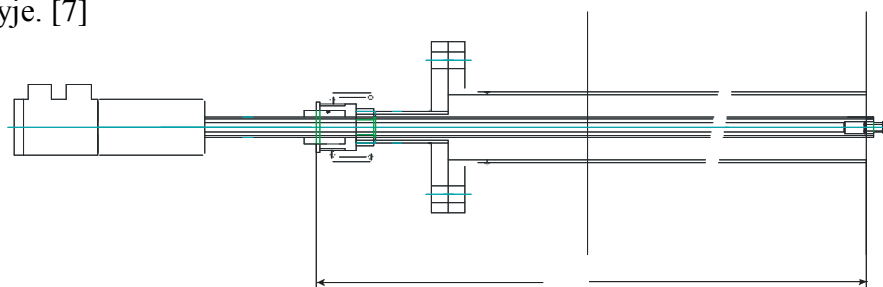
Įpurškimo lygmenų skaičius	1
Vamzdelių skaičius lygmenyje	4
Aušinimo vamzdelių skaičius	4
Bendras vamzdelių skaičius	8

5.2.4.1 Vamzdelių įrengimas

Visuose įpurškimo vamzdeliuose įrengtos „Camlock“ jungtys. Reikiamą vamzdelio įrengimo gylį degimo kameroje lemia „Camlock“ jungties padėtis apsauginiame vamzdelio vamzdyje. Vamzdeliai įrengti skirtingose padėtyse, kurios priklauso nuo degimo kameros formos ir matmenų. Vamzdeliai įstatomi numatytose pakuros angose ir užfiksuojami jungčių pagalba. Įrengiant vamzdelius būtina užtikrinti, kad rutulinės sklendės, suslėgtam orui, būtų atidarytos. Kai rutulinės sklendės, suslėgtam orui yra atidarytos, reikiamas aušinimo oras turi tekėti pro purkštuką. Jei taip nevyksta, kyla pavojus, kad vamzdelio galai gali perkaisti. Tokiu atveju reikia patikrinti ir įsitikinti, kad visos rutulinės sklendės maišymo ir matavimo modulio suslėgto oro pusėje yra atviros. Įrengus vamzdelį, maišymo rutulinės sklendės lieka atviros. Vamzdelius įrengus degimo kameroje, apvado sklendės, maišymo ir matavimo modulyje, yra nustatytos taip, kad susidarytų min. 1,0 baro viršslėgis (esant uždaroms pneumatinėms pavaroms).

5.2.4.2 Įpurškimo vamzdelių išdėstymas ir įrengimas

Kadangi vamzdeliuose įrengti skirtingi purkštukai, ypatingą dėmesį įrengimo metu reikia atkreipti teisingam vamzdelių vietos parinkimui. Vamzdelio galas turi būti įstatytas ne daugiau nei 2 cm degimo kameroje. Tai galima užtikrinti naudojant varžtą be galvutės, įrengtą „Camlock“ jungtyje. Galima pasinaudoti gabalėliu virinimo elektrodo arba tinkamu matavimo įrankiu ir juo išmatuoti atstumą „D“ nuo katilo vidinės sienelės iki išorinės purkštuko briaunos (įsk. vamzdį ir „Camlock“ jungtį). Tada atitinkamai sureguliuojamas jungties ilgis. Būtina atsižvelgti į ekscentrinio užrakto žiedo įstatymo į jungtį gylį, kaip parodyta žemiau pateiktame 15 paveikslėlyje. [7]



15 pav. Įpurškimo vamzdelio principinė schema

5.3 Redukuojančio agento įpurškimas

Selektyvinės nekatalitinės redukcijos sistemoje naudojamas karbamido tirpalas AdBlue / AUS-32 (cheminė formulė $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$). Karbamido tirpalas katilų salėje paduodamas į NOx sumaišymo ir tiekimo valdymo bloką, įmontuotą ant praplečiamos GK-4 aptarnavimo aikštelės. Karbamidas skiedžiamas iš gaisrinio vandentiekio imamu vandeniu. Iš valdymo bloko tirpalas paduodamas į keturis katilo ekranuose įrengtus purkštukus. Karbamido tirpalas į katilą išpurškiamas suspausto oro pagalba. Tirpalo koncentracija ir kiekis reguliuojamas pagal katilo išmetamuose degimo produktuose esancio NOx kiekį, katilo apkrovimą ir temperatūrą. Šiuos parametrus matuoja esami davikliai, kurie signalus siunčia į valdiklį.

5.4 Automatinis SNCR valdymas

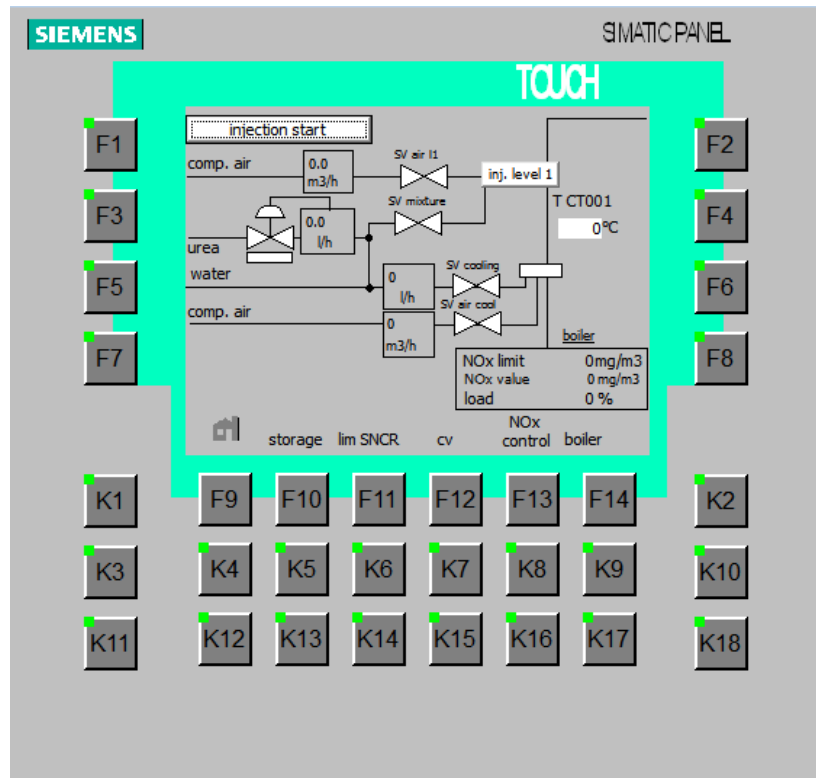
Visos pavaros ir analoginiai bei diskretiniai prietaisai, priklausantys maišymo ir matavimo moduliui bei talpyklai, įrengti valdymo spintoje. Į komplektaciją įeinanti programuojamąjį loginį valdiklį sudaro S7-300 ir OP177, kurie įrengti spintos durelėse. PLV ir įdiegta programinė įranga naudojami valdyti SNCR įrangą.

Programuojamąjį loginį valdiklį sudaro:

- skaičiavimo molulis CPU314 su atminties kortele
- PLV maitinimo šaltinis
- įėjimų ir išėjimų moduliai

CPU veikia su programine įranga, įrašyta programos atmintyje. Valdymas ir stebėseną atliekami naudojant OP177 operatoriaus skydelį. Dingus maitinimo įtampai, „Micro-Memory-Card (MMC)“ atminties kortelė CPU viduje užtikrina duomenų išsaugojimą.

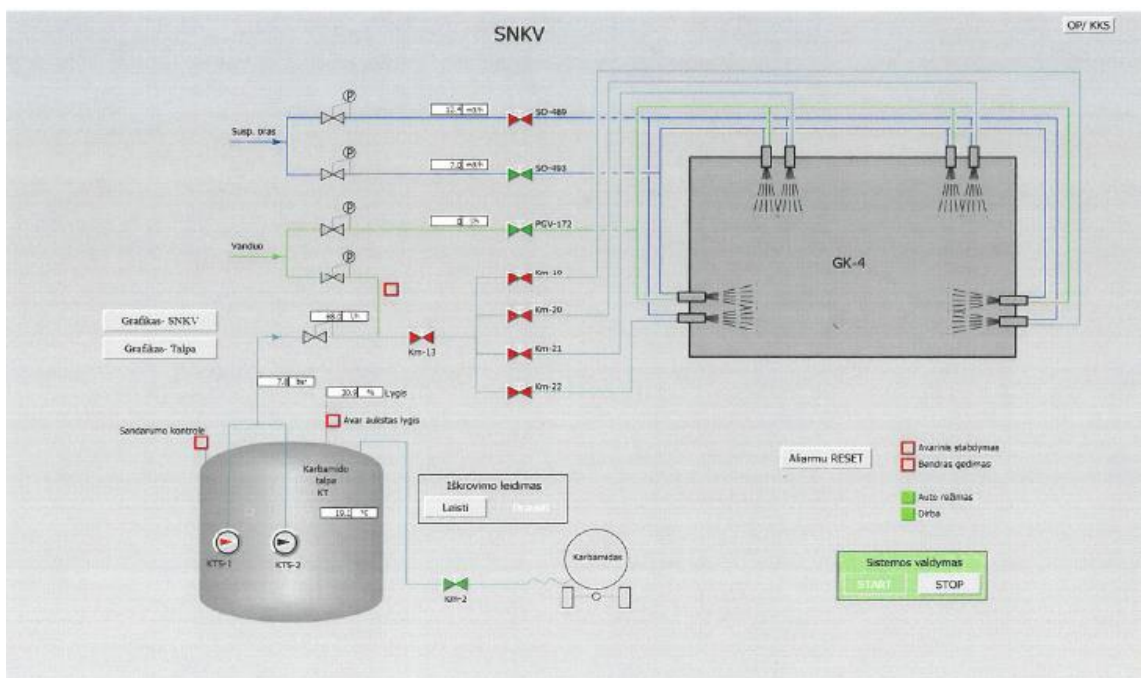
Pateikiamas OP177 skydelio vaizdas 16 paveikslėlyje. [13]



16 pav. OP177 skydelio vaizdas

SNCR sistemos darbą galima stebėti bei reguliuoti katilų-turbinų pulte esančiame kompiuteryje. Kompiuterio ekrane matomi visi SNCR sistemos parametrai, įrenginių darbas bei galima nustatyti NOx emisijų kiekio vertę išeinančiuose dūmuose. Nustatytą vertę sistema palaiko automatiškai būdu, dozuodama tam tikrą redukuojančio agento kiekį.

Pateikiama SNCR sistemos vaizdas 17 paveikslėlyje. [13]



17 pav. SNCR sistemos valdymas

Šiame lange matoma karbomido tirpalo talpa su dviem siurbliais, talpoje esantis lygis, bei užpildymo sklendžių indikacijos. Galima stebėti tiekiamo karbomido, suspausto oro bei aušinančio vandens kiekius. Matomos garo katilė BKZ-75-39-FB išdėstytų purkštukų indikacijos bei jungiančiosios suspausto oro, vandens bei tirpalo linijos. Sistemos paleidimas vykdomas paspaudus START mygtuką, sistemos darbas pilnai automatizuotas.

6 SNCR SISTEMOS EFEKTYVUMO NUSTATYMAS

Įdiegiant bet kokią sistemą ji turi atitikti gamtosauginius reikalavimus. Buvo atlikti SNCR sistemos bandymai prie skirtingų katilė apkrovimų (77 t/h, 75 t/h, 65 t/h) su tikslu nustatyti: ar neviršijamos azoto oksidų koncentracijos dūmuose ($\text{NO}_x < 300 \text{ mg/nm}^3$), amoniako koncentracijos kondensacinio ekonomaizerio kondensate ($\text{NH}_3 < 10 \text{ mg/Nm}^3$). Azoto oksidų matavimai atliekami AMS (automatinė monitoringo sistema) sistemos pagalba. Amoniako matavimai dūmuose atlikti už kondensacinio ekonomaizerio (abiejose pusėse, viso 10 matavimų) ir kondensate (5 matavimai).

6.1 SNCR sistemos bandymai

Pateikiama NO_x mažinimo sistemos bandymų eiga:

1. Katilė apkrovimas 75 t/h. Sudaroma NO_x koncentracija dūmuose 360 mg/nm^3 , įjungiama SNCR sistema.
2. Nusistovėjus režimui po 20 min. užfiksuojama bandymo pradžia ir atliekami NH_3 matavimai bei stebimi NO_x parodymai monitoringo sistemoje.
3. Apkraunamas katilė iki 77 t/h, nusistovėjus režimui po 20 min., užfiksuojama bandymo pradžia ir atliekami NH_3 matavimai bei stebimi NO_x parodymai AMS;
4. Nukraunamas katilė iki 75 t/h, nusistovėjus režimui po 20 min., užfiksuojama bandymo pradžia ir atliekami NH_3 matavimai, stebimi NO_x parodymai AMS;
5. Nukraunamas katilė iki 70 t/h, nusistovėjus režimui po 20 min., užfiksuojama bandymo pradžia ir atliekami NH_3 matavimai, stebimi NO_x parodymai AMS;
6. Nukraunamas katilė iki 65 t/h, nusistovėjus režimui po 20 min., užfiksuojama bandymo pradžia ir atliekami NH_3 matavimai, stebimi NO_x parodymai AMS;
7. Atstatomas nominalus katilė apkrovimas 75 t/h.

Matavimų metu atliekami 6.1 darbo režimai, kurie pateikiami 5 lentelėje. [14]

6.1 lentelė. BKZ-75-39-FB darbo režimai bandymų metu

Bandymo Nr.	Katilo apkrovimas, t/h	NO _x reikšmė ASM atjungus SNCR, mg/nm ³	SNCR užduota NO _x reikšmė, mg/nm ³
1	75 t/h	360	290-300
2	77t/h	340	290-300
3	75t/h	320	290-300
4	70 t/h	310	290-300
5	65 t/h	310	290-300

6.1.1 Bandymų rezultatai. Amoniakų kiekis kondensate

Aukštoje temperatūroje iš karbomido tirpalo atskyja amoniakas bei anglies dioksidas. Išėję iš katilo dūmai, patenka į elektrostatinį filtrą, kur išvalomos kietosios dalelės. Po to dūmų srautas keliauja į kondensacinį ekonomaizerį, kur susidaręs kondensatas pašildo grįžtamąjį termofikacinį vandenį. Bandymo metu buvo matuojamas susidariusio amoniako koncentracija po garo katilo BKZ-75-39-FB esančio dūmų kondensacinio ekonomaizerio kondensate. Matavimo tikslas buvo užtikrinti, jog išvalytame kondensate, kuris nebegražinamas į ciklą bei pašalinamas į nuotekų tinklus, neviršytų nustatytų normų. Nustatytos amonio jonų normos yra 6,43 mg/l. Pateikiami matavimų rezultatai 6.2 lentelėje. [14]

6.2 lentelė. Amoniakų kiekis kondensacinio ekonomaizerio kondensate

Bandymo Nr.	Katilo apkrova, t garo/val.	Analitės pavadinimas	Matavimo vnt.	Tyrimo rezultatas	Tyrimo metodas
14	75	Amoniakas	mg NH ₃ /l	150,1	Vandens kokybė. Amonio kiekio nustatymas. Rankinis spektrofotometrinis metodas. LAND 38-2000
15	77	Amoniakas	mg NH ₃ /l	143,6	
16	75	Amoniakas	mg NH ₃ /l	135,9	
17	70	Amoniakas	mg NH ₃ /l	123,6	
18	65	Amoniakas	mg NH ₃ /l	157,2	

Iš atlikto bandymo gautų rezultatų matome, jog gauti rezultatai viršija nustatytas ribas, tad tuo tikslu, prieš pašalinant kondensatą į nuotekų tinklus, kondensatas yra sumaišomas su techniniu (iš Neries upės) imamu vandeniu. Taip užtikrinama, kad per didelis amoniako kiekis nepatektų į nuotekų tinklus.

6.1.2 Bandymų rezultatai. Amoniakų kiekis išeinančiuose dūmuose

Bandymo metu buvo nustatinėjama, ar amoniako koncentracija išeinančiuose dūmuose neviršija nustatytų normų (NH₃<10 mg/Nm³). Mėginiai buvo imami po elektrostatinio filtro

prieš kondensacinį ekonomizerį. Atlikus matavimus gavome, jog amoniako kiekis išeinančiuose dūmuose neviršija nustatytų normų. Matavimų rezultatai pateikiami 6.3 lentelėje. [14]

6.3 lentelė. Amoniako kiekis išeinančiuose dūmuose

Matavimo Nr.	Mėginių paėmimo laikas (pradžia, pabaiga)	Katilas, pakura	Matavimo vieta	Garų katilo apkrova, t garo/val.	Ortakis	Teršalo pavadinimas	Nustatymo metodas	Koncentracija, perskaičiuota prie st.sąlygų, mg/nm ³	Vidutinė konc., perskaičiuota prie st.sąlygų, mg/nm ³
1	11 ³⁰ -11 ⁴⁰	Garų katilas BKZ 75/39, biokuro pakura	Po elektrostatinio filtro, naudojant karbamido tirpalą	75	Dešinysis Kairysis	Amoniakas	SVP-10. Fotokolorimetrinis amoniako nustatymas su Neslerio reagentu	0,13	0,12
2	12 ⁰⁰ -12 ¹⁰			77	Dešinysis Kairysis			0,15	
3	12 ⁴⁰ -12 ⁵⁰			75	Dešinysis Kairysis			0,14	
4	13 ¹⁵ -13 ²⁵			70	Dešinysis Kairysis			0,10	
5	14 ⁰⁰ 14 ¹⁰			65	Dešinysis Kairysis			0,09	
								0,11	
								0,10	

6.1.3 Bandymų rezultatai. NOx kiekis išeinančiuose dūmuose

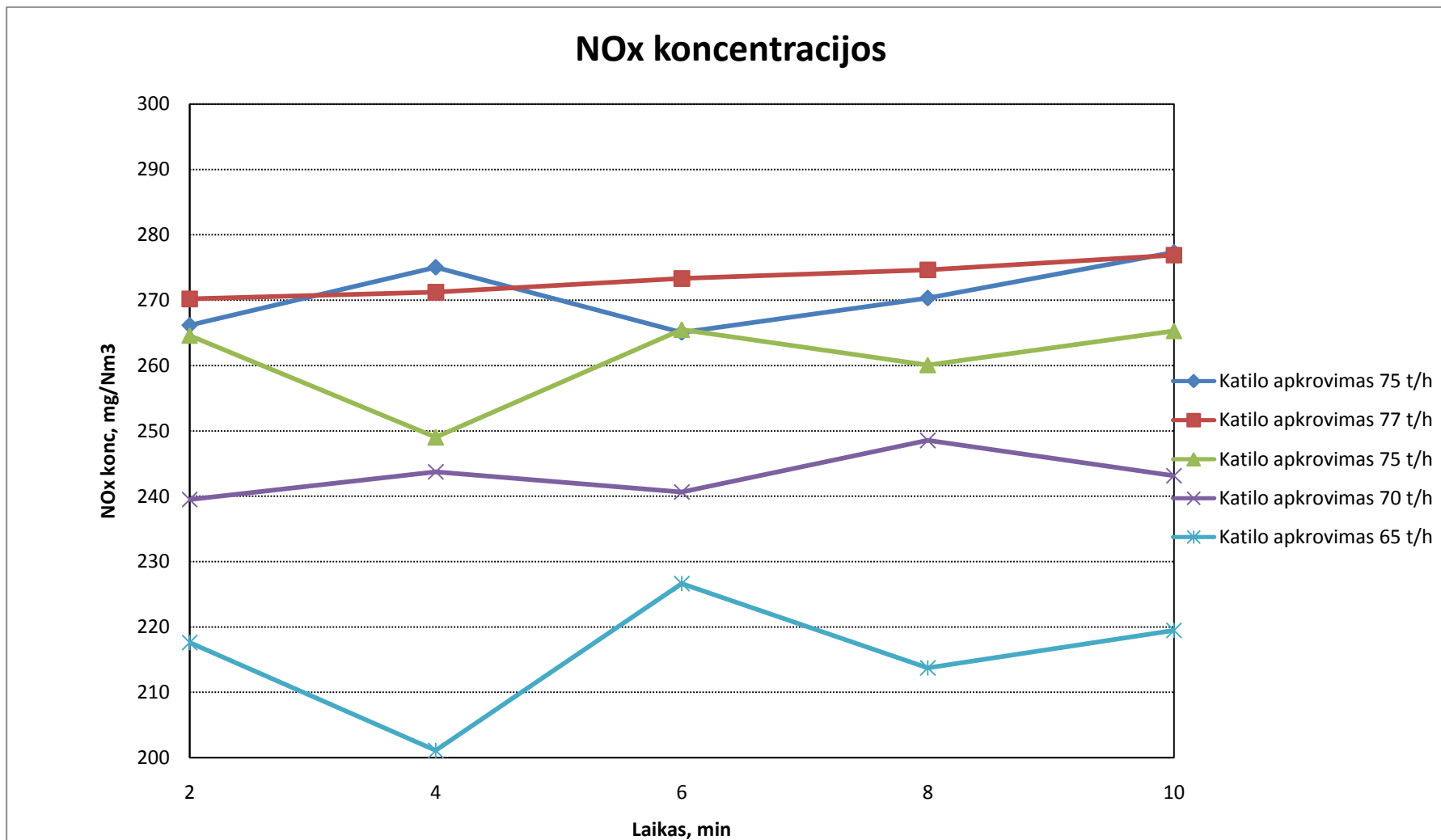
Bandymo metu buvo nustatinėjama, ar panaudojant SNCR sistemą galima palaikyti azoto oksidus nustatytose ribose. SNCR sistemai užduota NOx reikšmė buvo 290-300 mg/Nm³. Pagal išeinančiuose dūmuose esančio NOx koncentraciją ir katilo apkrovimą, sistema nustatyta azoto oksidų koncentraciją palaiko automatinio būdu, keisdama kARBomido kiekį bei koncentraciją (skiedžiant vandeniu). Įjungus SNCR sistemą matavimai buvo atliekami 10 min, kas 2 min., fiksuojant azoto oksidų vertes. Atjungus selektyvinės nekatalinės redukcijos sistemą, buvo keičiamas katilo apkrovimas bei degimui skirtas oro kiekis, kad būtų viršijamos reglamentuose nusatytos azoto oksidų koncentracijos (>300 mg/Nm³). Maždaug po 20 min. įjungiamo SNCR sistema ir stebima, kaip automatinio būdu keičiamas įpurškiamo kARBomido tirpalo kiekis bei mažinamos NOx koncentracijos.

Pateikiami gauti rezultatai 6.4 lentelėje. [14]

6.4 lentelė. Azoto oksidų koncentracijos išeinančiuose dūmuose

Matavimo Nr.	Matavimo rezultatų nustatymo laikas	Vidutinis kARBomido įpurškiamas kiekis, l/val.	Garų katilo apkrova, t garo/val.	Vidutinė NOx konc. be SNCR, mg/nm ³	NOx konc. naudojant SNCR, mg/nm ³	NOx vidutinė konc., mg/nm ³
1	11 ³⁰ -11 ⁴⁰	63,7	75	360	266,18 275,01 265,04 270,30 277,33	270,77
2	12 ⁰⁰ -12 ¹⁰	71,1	77	340	270,19 271,21 273,31 274,64 276,89	273,25
3	12 ⁴⁰ -12 ⁵⁰	66,7	75	320	264,58 249,02 265,48 260,09 265,29	260,89
4	13 ¹⁵ -13 ²⁵	68,5	70	310	239,50 243,75 240,65 248,54 243,14	243,12
5	14 ⁰⁰ 14 ¹⁰	66,0	65	310	217,62 201,11 226,64 213,74 219,49	215,72

Pateikiame gautus duomenis grafiškai. Grafike matyti, kaip kinta azoto oksidų koncentracijos išeinančiuose dūmuose, priklausomai nuo katilo aprovimo. Duomenys pateikiami 18 paveikslėlyje.



18 pav. Azoto oksidų koncentracijos, dirbant SNCR sistemai, prie skirtingų katilo apkrovimų, mg/nm³

Pateikiami bandymo metu biokuru kūrenamo garo katilo BKZ-75-39-FB parametrai, dirbant SNCR sistemai. [14]

6.5 lentelė. Garo katilo BKZ-75-39-FB parametrai dirbant SNCR sistemai

Kuras-biomasė, medienos skiedros, medienos atliekos,				
Kuro drėgnumas			50%	
Parametrai	Matavimo vnt.	Garo srautas, t/h		
		65	70	75
Temperatūra	°C	432	432	432
Slėgis	bar,g	36,04	36,8	37,1
Temperatūra prieš garo aušintuvą	°C	380,1	381	383
Temperatūra už garo aušintuvo	°C	343	345	347
Garo srautas	t/h	67	72	77
Maitinimo vandens temperatūra	°C	109		
Nuolatinio prapūtimo srautas	t/h	0,65		
T pagrindinio oro prieš garo kaloriferius	°C	45	45	45
T pagrindinio oro už garo kaloriferių	°C	60	60	60
T pagrindinio oro už oro šildytuvo kairė	°C	345	348	357
T pagrindinio oro už oro šildytuvo dešinė	°C	368	371	387
P pagrindinio oro už oro šildytuvų	kPa	2,50	2,50	2,51
P pirminio oro	kPa	9,9	10,22	10,7
Pirminio oro srautas	nm ³ /s	7,31	7,6	8,20
Antrinio ir tretinio oro srautas kairė	nm ³ /s	6,75	7,68	7,47
Antrinio ir tretinio oro srautas dešinė	nm ³ /s	7,53	8,72	8,61
Oro slėgis kuro tiekimo latakuose	mbar	38		
Dūmų srautas	nm ³ /h	112692	117301	117317
O ₂ už garo perkaitintuvų	%	4,12	4,19	3,9
O ₂ už ESF	%	6,2	6	5,4
Oro pertekliaus koeficientas už katilo ir ESF.		1,42	1,4	1,35
CO	mg/nm ³	6,2	6,2	6,2
NO _x	mg/nm ³	220	240	260
NH ₃	mg/nm ³	0,10	0,11	0,14
Kietos dalelės po filtro	mg/nm ³	52	58	62

Dūmų t-ra prieš garo perkaitintuvą	°C	563	584	605
Dūmų t-ra prieš garo perkaitintuvą	°C	582	607	627
Trauka kūrykloje	mbar	-1,4		
Trauka už ESF	mbar	-18,13	-21,06	-21,75
Dūmų temperatūra už ESF	°C	166,5	166,5	170,08
Verdančio sluoksnio storis	cm	48,18	48,5	47,5
Verdančio sluoksnio t-ra	°C	845	841	819
Katilo NVK	%	86,6	86,7	86,8
Geriamo vandens suvartojimas	m ³ /h	0,45-0,86	0,45-0,86	0,45-0,86
Suspausto oro suvartojimas	m ³ /min	12,4	12,4	12,4
El. energijos suvartojimas	kWh	4	4	4
Reagentų suvartojimas	m ³ /h	0,051	0,059	0,67
NH ₃ koncentracija kondensacinio dūmų ekonomizaizerio kodensate	mg/l	157,2	123,6	135,9

Katiliui dirbant nominalia galia (75 t/h) naudingo veikimo koeficientas (NVK) siekia 0,868, apkrovimui esant 65 t/h - 0,866, 70 t/h – 0,867. Didėjant katilo apkrovimui, padidėjo kietųjų dalelių koncentracijos. Tai sąlygoja didesnis biokuro kiekio deginimas. Anglies monoksido koncentracijos nekito, dėl tolygiai pasiskirstyto degimui reikalingo oro kiekio. Azoto oksidų koncentracijos SNCR sistemos darbo metu neviršijo nustatytų reglamentuose ribų (<300 mg/nm³), didėjant katilo apkrovimui sistema automatiškai keičė įpurškiamo karbomido kiekį.

IŠVADOS

1. Šiame darbe išnagrinėtas Vilniuje veikiantis 60MW biokuru kurenamas BKZ-75-39-FB garo katilas, jo sandara.
2. Išnagrinėtas sumontuotas elektrostatinis filtras, konstrukcija, veikimo principas.
3. Pateikti elektrostatinio filtro matavimo rezultatai. Matavimai atlikti su tikslu nustatyti elektrostatinio filtro efektyvumą, katilui dirbant nominaliu apkrovimu – 75 t/h, bei minimaliu – 40 t/h. Gauta, jog kietųjų dalelių koncentracijos katilui dirbant nominaliu apkrovimu, siekė 11819 mg/nm³, minimaliu – 1483 mg/nm³. Po elektrostatinio filtro atitinkamai 8,04 mg/nm³ ir 4,16 mg/nm³. Elektrostatinio filtro valymo efektyvumas 99,56 -99,93%.
4. Detaliai išnagrinėta garo katile įdiegta SNCR azoto oksidų mažinimo sistema, veikimo principas, pagalbinių įrengimų.
5. Išanalizuoti SNCR sistemos efektyvumo bandymų rezultatai. Matavimai atlikti prie skirtingų katilo apkrovimų (77 t/h, 75 t/h, 65 t/h) su tikslu nustatyti, ar neviršijamos azoto oksidų koncentracijos dūmuose (NO_x<300 mg/nm³). Atlikus bandymus gauta, jog įpurškiant karbomido tirpalą temperatūros diapazone 850 – 1050 °C, azoto oksidų koncentracijas galima sumažinti 20 – 25 %.
6. Atsižvelgiant į naujas nuo 2016 metų įsigaliojusias azoto oksidų išmetimų leistinas normas, šis katilas be SNCR sistemos negalėtų užtikrinti leistinų išmetimų normų.
7. Dirbant selektyvinės nekatalitinės redukcijos sistemai, automatiškai buvo keičiamas karbomido tirpalo kiekis. Katilui dirbant nominalia galia (75 t/h) vidutinis įpurškiamas kiekis - 65,2 l/h.
8. Pateikti garo katilo darbo parametrai, veikiant SNCR sistemai. Katilui dirbant nominalia galia (75 t/h) naudingo veikimo koeficientas (NVK) siekia 0,868. Gamintojas nurodo, kad biokuru kūrenamo garo katilo BKZ-75-39-FB naudingo veikimo koeficientas siekia 0,87, tai galime daryti išvadą, jog katilo darbui įjungta SNCR sistema didelės įtakos nedaro.

LITERATŪRA

1. Lietuvos atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo skatinimo veikslių planas 2010-2020 m. Lietuvos biomasės energetikos asociacija LITBIOMA // Taikomojo mokslinio tyrimo galutinė ataskaita. Vilnius, 2008.
2. BALTRĖNAS, Pranas. *Atmosferos apsauga šiluminėje energetikoje*. Vilnius: Technika, 2003. ISBN 9986-05-659-4.
3. DENAFAS, Gintaras. *Atmosferos apsauga*. Kaunas,: Technologija, 2000. ISBN 9986-13-767-5.
4. Europos parlamento ir tarybos direktyva 2001/80/EB „Dėl teršalų emisijos į orą iš didelių kurą deginančių įrenginių apribojimo“.
5. Direktyva 2010/75/ES „Dėl pramoninių išmetamų teršalų (taršos integruotos prevencijos ir kontrolės)“
6. Garo katilo BKZ-75-39-FB eksploatacijos instrukcija.
7. GIMBUTIS, G. *Šiluminė technika*. Vilnius: Mokslas, 1993. ISBN 5420007517.
8. ŠVENČIANAS, Petras. *Biosferos apsauga šiluminėje energetikoje: vadovėlis šiluminės energetikos specialybės studentams*. Kaunas: Technologija, 1994.
9. Elektrostatinio filtro DEP 4-1*37,5+1*45-72-95 BH eksploatacijos instrukcija.
10. Elektrostatinio filtro DEP 4-1*37,5+1*45-72-95 BH matavimų rezultatai.
11. *Best Available Technology for NOx Reduction in Waste To Energy Plant*. [interaktyvus]. 2008 [žiūrėta 2016-05-19]. Prieiga per:
<http://www.ms-umwelt.de/english/downloads/SNCR-Best Available Technology for NOx Reduction in Waste To Energy Plants.pdf>
12. *Selective non-catalytic reduction (SNCR) for controlling NOx emissions*. [interaktyvus]. 2008 [žiūrėta 2016-05-19]. Prieiga per:
<https://c.ymcdn.com/sites/icac.site-ym.com/resource/resmgr/Standards WhitePapers/SNCR Whitepaper Final.pdf>
13. Selektyvines nekatalitinės redukcijos sistemos eksploatacijos instrukcija.
14. Selektyvines nekatalitinės redukcijos sistemos matavimų rezultatai.