

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Povilas Urbonas

BIOKURO KATILO EFEKTYVUMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas:
Doc. dr. Almantas Bandza

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

BIOKURO KATILO EFEKTYVUMO TYRIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Elektros energetikos sistemos (621H63005)

Vadovas

Doc. dr. Almantas Bandza

Recenzentas

Lekt. dr. D. Slušnys

Projektą atliko

EMES-4 gr. stud. Povilas Urbonas

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Povilas Urbonas

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos (621H63005)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Biokuro katilo efektyvumo tyrimas“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. Gegužės 23 d.
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Povilo Urbono** baigiamasis projektas tema „Biokuro katilo efektyvumo tyrimas.“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

Urbonas, P. Biokuro katilo efektyvumo tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas Doc. dr. Almantas Bandza; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2016. 44 psl.

SANTRAUKA

Šiame tiriamajame darbe buvo ištirtas biokuro katilo naudingumo koeficiento kitimas, keičiantis degimo procesui reikalingų medžiagų savybėms. Taip pat atlikta ekonominė analizė, kurios metu apskaičiuota kiek būtų sutaupoma optimizuojant atitinkamus procesus.

Teoriškai apskaičiuotus biokuro drėgmės ir tiekiamo degimo procesui oro temperatūros įtaką nustatyta, kad sumažinus drėgmę biokure nuo 60 iki 35 procentų katilo naudingumo koeficientas pakyla daugiau negu 5 procentais. O pakėlus tiekiamo degimo procesui oro temperatūrą nuo 20 iki 100 °C katilo naudingumas išauga 4,6 procento.

Reikšminiai žodžiai: biokuras, katilas, efektyvumas, tyrimas

Urbonas Povilas. Analysis of biofuel power plant efficiency. Final project of master's degree / supervisor Assoc. Dr. Almantas Bandza; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electric Power Systems.

Kaunas, 2016. 44 pp.

SUMMARY

In this analysis project I researched how changes biofuel power plant efficiency, when we change attributes of materials for combustion. Also was made and economic analysis, which calculates how much money would be saved if the certain process would be optimized.

Theoretically calculated that if we reduce humidity in biofuel from 60 to 35 percent we would increase efficiency of power plant by more than 5 percent. If we increase air for combustion process temperature from 20 to 100 °C power plant efficiency would increase by 4,6 percent.

Keywords: biofuel, power plant, efficiency, analysis

Turinys

Lentelių sąrašas.....	6
Iliustracijų sąrašas.....	7
Įvadas.....	8
1.Literatūros analizė.....	10
1.1 Biokuras.....	10
1.2 Biokuro išteklių rūšys.....	11
1.2.1 Mediena.....	11
1.2.2 Žemės ūkio produkcija.....	12
1.3 Biokuro savybės.....	12
1.4 Biokuro katilų efektyvumo gerinimas.....	14
1.5 Dūmų kondensacinis ekonomaizeris.....	16
2. Skaičiavimams naudojamos metodikos apžvalga.....	17
2.1 Biokuro parametrų nustatymas.....	17
2.2 Katilo naudingumo koeficiento skaičiavimo metodika.....	20
3. Oro temperatūros įtakos vertinimas esant skirtingoms katilo galioms.....	24
4. Kuro drėgmės įtakos vertinimas katilui dirbant vidutine šildymo sezono galia.....	32
5. Kondensacinio ekonomaizerio įrengimo tikslingumo vertinimas.....	36
5.1 Biokuro kiekio skaičiavimas.....	36
5.2 Degimo produktų kiekio skaičiavimas.....	36
5.3 Kondensaciniame ekonomaizeryje perduodamos šilumos kiekio skaičiavimas.....	38
6. Dūmų fizinės šilumos panaudojimo šilumos gamybos efektyvumui didinti vertinimas.....	40
6.1 Ekonomiaizerio įtakos šilumos gamybos efektyvumui vertinimas.....	40
Išvados.....	44

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Įvairių biokuro rūšių cheminė sudėtis procentais	13
1.2 lentelė. Naudingumo koeficiento reikalavimai pagal standartą.....	15
3.1 lentelė. Medienos naudojamosios masės sudėtis.....	24
3.2 lentelė. 1250 kW šilumine galia dirbančio katilo efektyvumo priklausomybės nuo tiekiamo į kūryklą oro temperatūros skaičiavimo rezultatai.....	28
4.1 lentelė. Kuro naudojamosios masės šilumingumas esant skirtingam drėgmės kiekiui kure...32	
4.2 lentelė. Skaičiavimo rezultatai, gauti atlikus kuro drėgmės įtakos katilo darbo efektyvumui vertinimą.....	33
4.3 lentelė. Katilo naudingumo koeficiento didėjimas ir kuro sąnaudų mažėjimas procentais....	35
4.4 lentelė. Katilo naudingumo koeficientas dirbant skirtingu apkrovimu.....	35

Iliustracijų sąrašas

1.1 pav. Biokuro suvartojimas Lietuvoje ktne.	11
1.2 pav. Kietojo kuro katilų, naudojamų Austrijoje, naudingumo koeficiento gerinimo statistiniai duomenys.....	15
1.3 pav. Įvairių biokuro rūšių šilumingumo ir peleningumo duomenys.....	18
1.4 pav. Duomenys iš standarto LST EN 14918.....	20
3.1 pav. Katilo naudingumo koeficiento priklausomybė nuo tiekiamo į kūryklą oro temperatūros	29
3.2 pav. Nuostolių su išeinančiais dūmais priklausomybė nuo tiekiamo į kūryklą oro temperatūros.....	30
3.2 pav. Kuro sunaudojimo priklausomybė nuo tiekiamo į kūryklą oro temperatūros.....	30
3.3 pav. Katilo naudingumo koeficiento ir nuostolių su išeinančiais dūmais kitimas keičiant į kūryklą tiekiamo oro temperatūrą katilui dirbant 1250 kW galia.....	31
4.1 pav. Katilo naudingumo koeficiento ir nuostolių su išeinančiais dūmais priklausomybė nuo drėgmės kiekio kure.....	34
4.2 pav. Kuro sąnaudų ir katilo naudingumo koeficiento priklausomybė nuo drėgmės kiekio kure	34
6.4 pav. Ekonomaizerio šiluminė galia paimant dūmų fizinę šilumą esant skirtingoms katilo galioms.....	40
6.5 pav. Katilo ir ekonomaizerio komplekso naudingumo koeficiento kitimas priklausomai nuo katilo galios ir kuro drėgmės.....	41
6.6 pav. Kuro sąnaudų mažėjimo katilui dirbant su ekonomaizeriu priklausomybė nuo katilo galios ir drėgmės kiekio kure.....	42
6.7 pav. Katilo naudingumo koeficiento, katilo ir ekonomaizerio komplekso naudingumo koeficiento bei kuro sutaupymo priklausomybė nuo kuro drėgmės.....	43

Įvadas

Energijos išteklių tausojimas itin aktuali ne tik Lietuvos Respublikos bet ir Europos Sąjungos energetikos politikos dalis. Energetinės nepriklausomybės didinimas, didinant atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimą yra itin svarbus veiksnys siekiant užtikrinti stabilią ekonominę padėtį šalyje ir nepriklausomybę nuo užsienio šalių. Siekiant padidinti efektyvumą įsisavinant atsinaujinančius išteklius diegiamos efektyvesnės ir modernesnės technologijos.

Lietuvoje, kaip ir visame pasaulyje itin didelis dėmesys skiriamas klimato kaitai. Šiltnamio efekto prevencijai ir anglies dvideginio emisijos mažinimui. Šiems tikslams pasiekti koncentruojamasi į efektyvų atsinaujinančių ir ekologiškų energijos išteklių panaudojimą šalies ūkyje. Šalyje šildymui naudojamos ne tik dujos bet ir atsinaujinantys ištekliai biokuras, geoterminė energija ir saulės energija. Didžioji dalis šių atsinaujinančių energijos išteklių yra biokuras. Dažniausiai šildymui naudojami ištekliai yra mediena ir jos atliekos, taip pat atitinkamai modifikavus ir pritaikius katilines tai gali būti žemės ūkio produktai tokie kaip šiaudai ar šienas, taip pat biodujos. Siekiant didinti biomasės panaudojimą šildymo tikslams, skiriamas didelis dėmesys nepakankamai išnaudotų išteklių įsisavinimui: miško tvarkymo atliekoms, komunalinių atliekų, nepanaudotos žemės ūkio produkcijos panaudojimą šilumos gamybai.

Siekiant tausoti gamtinius išteklius ir sumažinti iškastinio kurio kiekius vis daugiau energijos ir šilumos gaminama naudojant atsinaujinančius energijos išteklius tokius kaip:

- Saulės energija
- Vėjo energija
- Biokuras

Šiame tyrime koncentruosiuosi į biokurą ir jį naudojančią jėgainę. Šio darbo tikslas tirti biokuro katilo naudingumo koeficiento priklausomybę. Tiriant šią priklausomybę daugiausiai dėmesio bus skiriama katilo darbo stebėjimui, kuomet keičiasi naudojamame kure esančios drėgmės kiekis ir degimo procesui paduodamo oro temperatūra.

Darbo tikslas: Ištirti biokuro katilo efektyvumą atsižvelgiant į besikeičiančius degimo proceso parametrus.

Darbo uždaviniai:

- Išnagrinėti kaip kinta katilo naudingumo koeficientas keičiantis drėgmės kiekiui biokure.

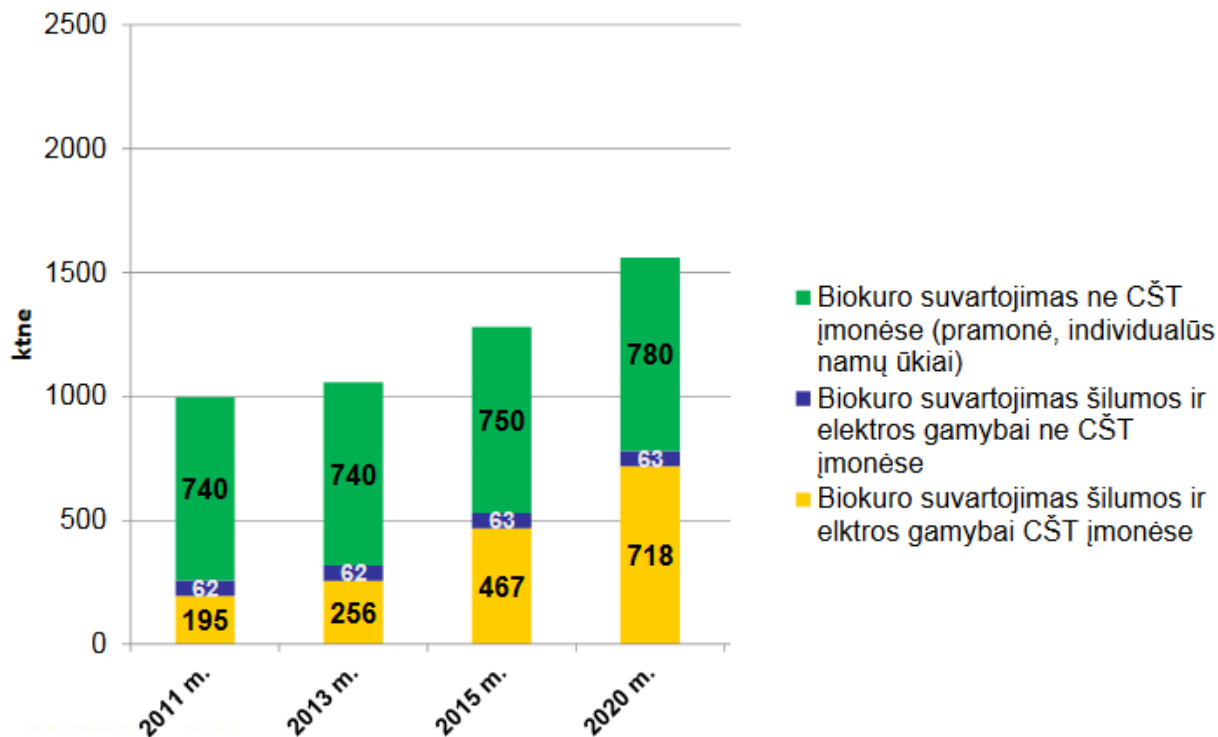
- Išnagrinėti kaip kinta katilo naudingumo koeficientas keičiantis paduodamo oro temperatūrai
- Apskaičiuoti galimą kondensacinio ekonomaizerio pagamintos šilumos kiekį

1 Literatūros analizė

1.1 Biokuras

Biokuras – tai iš medienos ar kitų biokuro rūšių pagamintas degus sausas kuras. Pagrindinis šio kuro šaltinis yra miškai, kadangi Lietuvos regionas pasižymi gausiais miško ištekliais ir intensyviu miškingų teritorijų eksploatavimu, todėl Lietuvoje itin paranku vystyti būtent su šiuo atsinaujinančiu energijos ištekliu susijusią šilumos gamybą. Taip pat biokuro gamybai gali būti panaudojama ir žemės ūkio paskirties žemė, kurioje būtų auginami energetiniai augalai.

Lietuvos miškuose auganti mediena dažniausiai naudojama pjautinės medienos, celiuliozės ir popieriaus ar statybinės medienos gamybai. Taip pat tradiciškai privatūs asmenys ypač gyvenantys nuosavuose namuose ar pastatuose kurie neprijungti prie centralizuotos miesto šildymo sistemos mišką naudoja kaip malkinio kuro šaltinį. Tačiau šis medienos panaudojimo būdas dažniausiai būna neefektyvus ir prarandama didelė dalis energijos. Todėl didelis dėmesys skiriamas medienos atliekų panaudojimui siekiant maksimalaus energijos įsisavinimo ir didesnio efektyvumo. Šilumos gamybai gali būti panaudota ne tik mediena, bet ir šiaudai ar makulatūros atliekos. Žinoma makulatūra gali būti perdirbta, todėl šilumos gamybai turėtų būti naudojama tik ta makulatūra, kurios perdirbti nebegalima ji yra užteršta ar ekonomiškai tai tiesiog neapsimoka. Lietuvos energetikos planuose yra numatyta iki 2030 metų pasiekti lygį, kad 50 procentų šildymui reikalingos energijos būtų pagaminta naudojant biomasę. Kaip matome 1.1 paveiksle pateiktos diagramos biokuro suvartojimas Lietuvoje nuo 2011 metų iki 2015 metų ženkliai išaugo nuo 997 ktne (kilo tonų naftos ekvivalentu) iki 1280 ktne. Kaip matome labiausiai išaugo biokuro suvartojimas šilumos ir elektros gamybai. Taip pat diagramoje matome, kad remiantis prognoze biokuro suvartojimas tik didės. Kadangi didėja suvartojimas siekiant didinti efektyvumą taip pat tobulinamos ir technologijos, kurios leidžia efektyviai panaudoti beveik visas medienos atliekas. Tai pat kaip kuras vis dažniau naudojama žolinė biomasė pavyzdžiu šiaudai.



1.1 pav. Biokuro suvartojimas Lietuvoje ktne. [1]

1.2 Biokuro išteklių rūšys

1.2.1 Mediena

Pagrindinis nuolat atsinaujinantis biokuro šaltinis yra mediena. Medienos biokuras yra vienas plačiausiai naudojamų ir labiausiai paplitęs energijos šaltinis. Šis kuras yra fotosintezės produktas, kurios metu augalai atmosferoje esantį anglies dvideginį kaupia savo ląstelėse. Degant medienai sukaupia anglis dujų pavidalu išmetama atgal į atmosferą, todėl mediena laikoma neutralia anglies dvideginio emisijos atžvilgiu. Medeną kaip biokurą sudaro miško kirtimo atliekos ir pramonei netinkama malkinė mediena. Malkinė mediena tai medžių stiebai stambios šakos ar miško tvarkymo metu iškirsti smulkūs medžiai. Miško atliekas sudaro medžių stiebai, kelmai, žievė. Energetikos įmonės naudoja malkas arba susmulkintas skiedras, taip pat iš susmulkintos medienos gali būti gaminami įvairaus dydžio medienos briketai ar granulės. Biokuro briketai ir granulės dažniausiai naudojami privačiuose būstuose ar nedidelės galios katilinėse.

1.2.2 Žemės ūkio produkcija

Lietuvoje šiuo metu yra apie 160,000 hektarų nenaudojamos ir tiesiog dirvonuojančios žemės tikslinga būtų ją panaudoti biokuro žaliavos gamybai. Priklausomai nuo to kokie augalai būtų auginami galima grąža galėtų būti jau po 5 metų. Pirmoji mišku apsodinta teritorija siekiant panaudoti dirvonuojančią žemę yra Kauno rajone išekspluatuoto durpyno plotuose. Šioje teritorijoje augančiai augmenijai tręšti naudojama Kauno vandenvalos įmonėje susidarantis nutekamojo vandens dumblas. Taip pat nederbamuose žemės plotuose galima auginti ir žolinius augalus, tokiu būdu taip pat būtų sprendžiama ir dirvonuojančių plotų konservavimo problema. Lietuvoje geriausia būtų auginti varpinės žolės. Norint paruošti žolę biokurui būtų galima naudoti technologijas, kurios skirtos šieno ruošimui taip išvengiant papildomų išlaidų žemės ūkio technikai. Kaip biokuras gali būti naudojami ir šiaudai ar netgi gyvulių mėšlas.

Didžiausia problema panaudojant šiaudus šilumos gamybai yra mažas šiaudų tankis. Kadangi vienas šiaudų erdvinis metras sveria tik 30-40 kg jų laikymas bei gabenimas yra brangus, todėl šiaudai dažniausiai tiekiami dideliais presuotais ryšuliais. Taip pat problema iškyla ruošiant šiaudus deginimui. Kadangi šiaudai tinkami deginimui yra tik tuomet, kai drėgmė juose neviršija 20 procentų. Pjaunant javus šiaudų drėgmė vidutiniškai svyruoja tarp 30 ir 60 procentų. Nuėmus derlių šiaudus reikia papildomai džiovinti. Tai taip pat leidžia apsaugoti šiaudus nuo puvimo. Kadangi džiovinimui reikalingos papildomos išlaidos tai mažina jų panaudojimo efektyvumą.

1.3 Biokuro savybės

Biokuro savybės ir cheminė sudėtis, kure esanti drėgmė daro didžiausią įtaką tam kiek reiks biokuro pagaminti reikiamam šilumos kiekiui. Suvartojamą biokuro kiekį taip pat lemia ir katilo parametrai. Pagrindiniai faktoriai, kurie lemia biokuro suvartojimą pagaminti reikiamam šilumos kiekiui:

- a) Biokuro tankis.
- b) Biokuro cheminė sudėtis.
- c) Biokuro drėgmė.
- d) Biokuro kaloringumas.
- e) Į kūryklą tiekiamo oro kiekis ir temperatūra
- f) Kuro degimo temperatūra

- g) Kūryklos konstrukcija
- h) Degimo proceso technologija

Tankis tai dydis parodantis naudojamo biokuro masės kiekį tūrio vienetu, kuo tankis didesnis tuo daugiau tuo daugiau sveria atitinkamas biokuro tūris. Kaloringumu laikoma biokuro šiluminė energija gauta sudeginus vieną kilogramą kuro. Apibūdinti biokuro kaloringumui yra naudojama sąvoka šilumingumas Q . Kadangi vykstant degimo procesui iš kure esančio vandens susidaro garai, tiksliam kuro kaloringumui nusakyti naudojamas terminas apatinis šilumingumas Q_a . Šis dydis nustatomas iš viršutinio šilumingumo atėmus šilumos kiekį, kuris susikaupia vandens garuose. Viršutinis šilumingumas priklauso nuo biokuro cheminės sudėties ir gali būti nustatomas laboratoriniu būdu, tačiau yra priimta kad, viršutinis šilumingumas $Q_v=20,4 \text{ kJ kg}^{-1}$. Drėgmė esanti biokure yra vandens kiekio medžiagos masėje procentinė išraiška. Šis dydis daro didelę įtaką degimo procesui ir išgaunamos energijos kiekiui, nes kuo biokuro drėgmė didesnė tuo daugiau energijos reikia vandens išgarinimo procesui. Cheminė kuro sudėtis taip pat yra svarbus veiksnys. Degant kurui su išeinančiais dūmais taip pat į atmosferą išmetamos ir dalelės susikaupusios biokure, todėl siekiant apsaugoti gamtą ir laikytis gamtosaugos reikalavimų katilinėse montuojami įvairūs filtrai kurie sulaiko kenksmingas daleles. Įvairių rūšių biokuro cheminė sudėtis pateikta 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Įvairių biokuro rūšių cheminė sudėtis procentais. [2]

Sausa masė, %	Mediana	Šiaudai	Durpės	Daugiametė žolė
Peleningumas	0,4	4,5	4,0	6,4 – 9,1
C	50	47	56	44 – 46
H	6,1	5,9	5,8	5,3 – 5,9
O	43,9	-	-	40,7 – 43,9
N	0,06	0,7	2,1	0,3 – 1,3
S	<0,01	0,15	0,29	0,07 – 0,17
Cl	<0,01	0,4	0,03	0,03 – 0,56
Si	0,008	0,8	0,33	0,91 – 3,8
Al	0,002	0,005	0,09	0,01 – 0,03
Ca	0,07	0,4	1,02	0,13 – 0,35
K	0,03	1,0	0,012	0,15 – 1,23
Mg	0,01	0,07	0,004	0,05 – 0,13
Na	0,001	0,05	0,008	0,01 – 0,02
P	0,005	0,08	0,045	0,07 – 0,17

1.4 Biokuro katilų efektyvumo gerinimas

Lietuvoje iki šiol pagrindinis dėmesys buvo skiriamas vidutinės ir didelės galios katilų, kūrenamų biokuru, įrengimą ir tobulinimą siekiant mažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro ir jį pakeisti vietiniu atsinaujinančiu biokuru. Nuo 1993 metų, kai biokuras pradėtas naudoti ir centralizuoto šildymo katilinėse, įrengta katilų bendroji instaliuotoji galia padidėjo iki ~ 650MW. Taip pat kietojo biokuro naudojimas šildymui augo ir namų ūkuose, kaimo vietovėse, privačių namų rajonuose.

Galima pastebėti, kad Lietuvos gamintojai gaminantys mažos ir vidutinės galios katilus, jų pažangai skyrė nedidelį dėmesį. Išimtimis galima laikyti tik stambesnius gamintojus, kurie siekė išlaikyti savo produkcijos konkurencingumą kitų Europos Sąjungos šalių rinkose. Taip pat nebuvo skiriamas pakankamas dėmesys ir teisiniams reglamentams, kurie skatintų gamintojus siekti geresnių, biokuru kūrenamų, katilų energetinių parametrų. Tačiau pastaruoju metu ši padėtis smarkiai gerėja, ne Lietuvoje gaminamiems katilams pradėtos taikyti privalomosios atitikties vertinimo standarto LST EN 303-5:2012 [3] reikalavimams procedūros. Šios procedūros neapima visų standarto reikalavimų, tačiau įpareigoja gamintojus tobulinti katilus siekiant geresniu efektyvumu ir mažesnių taršos rodiklių. Sprendžiant šias problemas būtina kurti teisinę bazę, kur apibrėžtų:

- Vieningus reikalavimus biokurui klasifikuoti.
- Vieningus reikalavimus katilų efektyvumui ir jų bandymams
- Privalomą taikymą technologijų gerinančių katilo efektyvumą, katilų gamintojams.

Pirmasis uždavinys išspręstas Lietuvoje pradėjus taikyti LST EN 14774 [5] standartą kuris apibrėžia biokuro parametrų tyrimo metodiką. Jo pagrindu galima klasifikuoti biokurą pagal jo kokybinius parametrus. Pagal šį klasifikavimą susidaro normalios rinkos sąlygos biokuro pirkimu ir pardavimui.

Antrasis uždavinys sprendžiamas vadovaujantis LST EN 303-5[3] standartu, kuris nustato kietuoju kuru kūrenamiems katilams keliamus reikalavimus pateiktus lentelėje 1.2

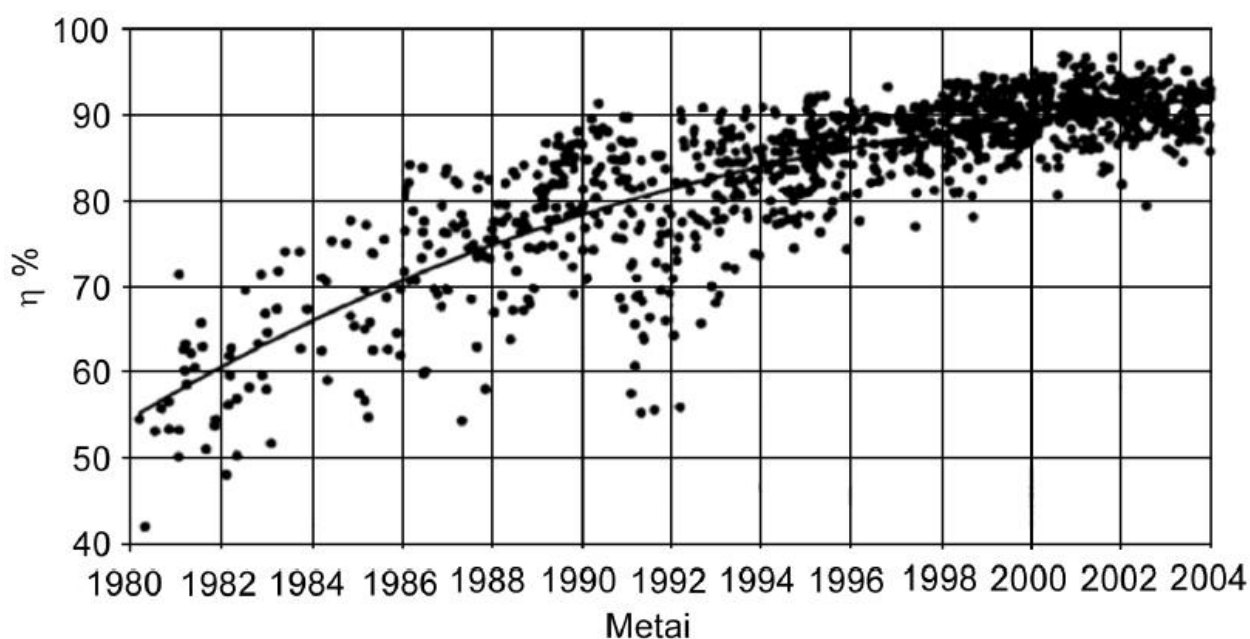
1.2 lentelė. Naudingumo koeficiento reikalavimai pagal standartą.[3]

Katilo klasė	Taikomas standartas	Katilo galia kW	Naudingumo koeficientas %	Naudingumo koeficiento formulė
5	LST EN 303-5: 2012	10	88	$\eta = 87 + \log Q_n$
		300	89	
4	LST EN 303-5: 2012	10	82	$\eta = 80 + 2 \log Q_n$
		300	84	
3	LST EN 303-5: 2012	10	73	$\eta = 67 + 6 \log Q_n$
		300	82	
2	LST EN 303-5: 2000	10	63	$\eta = 57 + 6 \log Q_n$
		300	72	
1	LST EN 303-5: 2000	10	53	$\eta = 47 + 6 \log Q_n$
		300	62	

Čia Q_n – katilo vardinė galia kW.

Trečiasis uždavinys sprendžiamas taikant reikalavimus, kurie reglamentuoja bendrąsias nuostatas, dėl katilų efektyvumo didinimo ir teršalų išmetamų į aplinką mažinimo. Taip pat gali būti papildomai taikomos nacionalinės priemonės tokios, kaip kompensacijos įsigijus aukštesnės klasės katilus.

Remiantis Austrijos, kurioje katilų naudingumo koeficiento rodiklis itin aukštas (1 pav.), pavyzdžiu matome, kad pasiekus naudingumo koeficientą $\eta = 90 \pm 5\%$ tolesnis koeficiento didinimas smarkiai sulėtėja. Tokioje situacijoje katilo efektyvumas gali būti padidintas tik labai tikslingomis ir tyrimais įrodytomis priemonėmis.



1.2 pav. Kietojo kuro katilų, naudojamų Austrijoje, naudingumo koeficiento gerinimo statistiniai duomenys [4]

Viena iš tokių tikslinių katilų efektyvumo gerinimo priemonių gali būti deginamo kuro parametrų tyrimas ir nustatymas su kokių parametrų biokuru pasiekiamas didžiausias katilo efektyvumas atsižvelgus į ekonominius rodiklius. Taip pat nustatymas kaip kinta katilo

efektyvumas ir teršalų emisiją į aplinką keičiant degimo procesui reikalingą orą. Keičiant tiekiamo oro kiekį ir tiekimo pakopas. Lietuvos energetikos institute buvo atliktas tyrimas mažos galios biokuru kūrenamiems katilams, kaip kinta katilo efektyvumas keičiant oro tiekiamo degimo procesui kiekį ir jo padavimo vietą. Šio tyrimo metu nustatyta kad mažos ir vidutinės galios vandens šildymo katilai kūrenami granulėmis gali užtikrinti ne mažesnę kaip 90 % naudingumo koeficientą ir mažus teršalų emisijų kiekius į aplinką. Taip pat nustatyta kad į kūryklą papildomai tiekiant antrinį orą degimo procesas tampa efektyvesnis ir katilo naudingumas padidėja. Taip pat siekiant užtikrinti optimaliausią katilų darbą būtina sertifikuoti biokurą, nes jo sudėtis ir kokybiniai rodikliai turi esminį poveikį degimo proceso efektyvumui.

1.5 Dūmų kondensacinis ekonomizeris

Pagrindinis būdas padidinti katilo efektyvumą ir sumažinti suvartojimo kuro kiekį – tai efektyvaus dūmų kondensacinio ekonomizerio įrengimas atgauti šilumą, kuri iškelauja iš katilo dūmų pavidalu. Priklausomai nuo dūmų kondensacinio ekonomizerio ir katilo galios iš išeinančių dūmų galima atgauti nuo 15 iki 25 procentų šiluminės energijos. Dūmų kondensacinio ekonomizerio efektyvumui didelę reikšmę turi perteklinis oras dūmuose, kūrenamo biokuro drėgmė. Šis įrenginys veikia šilumokaičio principu ir yra montuojamas tarp katilo ir dūmtraukio.

2 Skaičiavimams naudojamos metodikos apžvalga

2.1 Biokuro parametrų nustatymas

Biokuru kūrenami katilai dažniausiai naudoja kietąjį biokuro, granules, medienos briketus, malkinę medieną ar smulkintą medieną skiedrų pavidalu. Siekiant apytiksliai nustatyti reikiamam šilumos kiekiui pagaminti reikalingo biokuro kiekį tiriami biokuro parametrai drėgnumas, kaloringumas ir peleningumas. Šių parametrų nustatymo tvarką nustato Lietuvoje ir Europoje galiojantys standartai.

Drėgmės kiekio nustatymo eiga, pagal LST EN 14774-2 : 2010 [5] standartą. Paimama talpa, į kurią bus dedama tiriamą biomasę, ji turi būti švari ir išdžiovinta. Talpykla pasverinama 0,1 g tikslumu tuomet į ją supilama tiriamą biomasę. Pagal standartą tiriamosios biomasės dalies svoris negali būti mažesnis nei 1 gramas. Tuomet talpa su tiriamąja biomase pasverinama ir dedama į džiovavimo spintą, kurios temperatūra yra 105 ± 2 °C . Tiriamosios biomasės bandinys išdžiovinamas iki pastoviosios masės, tuomet procentinis drėgmės kiekis apskaičiuojamas sulyginus bandinio masių skirtumas. Apskaičiuojama pagal formulę:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

Čia M_{ar} –drėgmės kiekis biomasėje išreikštas procentais; m_1 - tuščios džiovavimo talpyklos masė; gramais. m_2 -džiovavimo talpyklos ir ėminio masė prieš džiovinimą gramais; m_3 - džiovavimo talpyklos ir ėminio masė po džiovavimo gramais.

Peleningumo nustatymo eiga pagal LST EN 14775: 2010 [6] standartą. Tuščia lėkštelė kaitinama krosnyje, kurios temperatūra 550 ± 10 °C, ne trumpiau kaip 60 minučių. Po to lėkštelė išimama ir dedama ant karščiau atsparios dangos nuo 5 iki 10 minučių, šiek tiek atvėsusi lėkštelė perkeliama į eksikatorių (cheminis indas medžiagoms džiovinti arba saugoti nuo drėgmės). Lėkštelei atvėsus, ji pasverinama 0,1 mg tikslumu. Tuomet į lėkštelę dedama tiriamoji biomasė. Prieš dedant biomasę turi būti gerai sumaišyta. Ne mažiau kaip 1 gramas masės dedamas į lėkštelę ir paskleidžiamas po lėkštelę vienodu sluoksniu, bendra bandinio ir lėkštelės masė užfiksuojama. Tuomet lėkštelė su bandiniu dedama į būtinai šaltą krosnį ir kaitinama pagal tokia tvarką:

- Krosnies temperatūra nuo 30 min iki 50 min laikotarpiu tolygiai keliama iki 250 °C. Pasiekus šią temperatūrą bandinys laikomas 60 min

- Tuomet krosnies temperatūra 30 minučių laikotarpiu tolygiai keliama iki 550 ± 10 °C . Pasiekus šią temperatūrą bandinys krosnyje dar išlaikomas ne mažiau kaip 120 minučių.

Baigus kaitinti lėkštelę su bandiniu ji išimama ir atvėsinama tokia pačia tvarka, kaip ir tuščia lėkštelė. Lėkštelei atvėsus iki kambario temperatūrai ji su pelnai sveriami 0,1 mg tikslumu. Tuomet apskaičiuojamas bandinio peleningumas pagal formulę:

$$A_d = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100 \cdot \frac{100}{100 - M_{ar}} \quad (2.2)$$

Čia A_d - bandinio peleningumas; m_1 - tuščios lėkštelės masė gramais; m_2 - lėkštelės ir bandinio, prieš deginimą, masė gramais; m_3 - lėkštelės ir bandinio, po deginimo, masė gramais; M_{ar} – tiriamojo bandinio drėgmės kiekis išreikštas %.

Kuro rūšis	Apatinis šilumingumas, MJ/kg	Peleningumas, %
	Sausai masei	Sausai masei
Eglė (su žieve)	18,8	0,6 (0,2-2,0)
Bukas (su žieve)	18,4	0,5 (0,3-1,0)
Topolis (su žieve)	18,5	1,9 (1,6-2,2)
Gluosnis (su žieve)	18,4	2,2 (1,7-2,4)
Ažuolas (su žieve)	18,2	0,4 (0,3-0,5)
Eglė žievė	19,2	3,8 (2,7-4,9)
Rugių šiaudai	17,4	4,8 (3,0-7,2)
Kviečių šiaudai	17,2	5,7 (4,2-8,4)
Kvietrugių šiaudai	17,1	6,0 (4,6-7,2)
Miežių šiaudai	17,5	4,8 (3,3-6,3)
Rapsų šiaudai	17,1	6,2 (4,3-9,7)
Kviečių grūdai	17,0	2,7
Kvietrugių grūdai	16,9	2,1
Rapsų grūdai	26,5	4,6
Pievų šienas	16,6	8,8

1.3 pav. Įvairių biokuro rūšių šilumingumo ir peleningumo duomenys. [7]

Biokuro kaloringumo nustatymo tvarka pagal LST EN 14918: 2010 [8] standartą. Biokuro šilumingumas atliekamas kalorimetru. Prieš pradėdant tyrimą jis turi būti patikrintas ir sukalibruotas arba turėti sertifikatą patvirtinantį kalorimetro tikslumą. Paruošiama tiriamoji biomasė iš jos supresuojama “bomba“ reikalinga matavimui. Supresavus mėginį jis deginamas kalorimetre ir nustatomas temperatūros prieaugis. Gavus temperatūros prieaugį apskaičiuojamas viršutinis šilumingumas pagal formulę:

$$Q_s^V = Q_{an.\dot{em}}^V \cdot \frac{100}{100 - M_{ar}} \quad (2.3)$$

Čia M_{ar} – tiriamos biomasės drėgmė išreikšta procentais; $Q_{an.\dot{em}}^V$ – viršutinis izochorinis šilumingumas apskaičiuojamas pagal atskirą bandymą.

$Q_{an.\dot{em}}^V$ apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Q_{an.\dot{em}}^V = \frac{\varepsilon_n \cdot \theta - (Q_f + Q_i + Q_n) - m_2 \cdot Q_{v2}}{m_1} - \frac{Q_s}{m_1} \quad (2.4)$$

Čia $Q_{an.\dot{em}}^V$ – analizuojamos biomasės viršutinis izochorinis šilumingumas J/g arba kJ/kg; ε_n – kalibruojant nustatytos kalorimetro efektyviosios šiluminės talpos vidutinė vertė; θ – temperatūros prieaugis J; Q_f – dagčio indėlis J; Q_i – uždegimo vielėlės indėlis J; Q_n – azoto rūgšties susidarymo indėlis J; m_2 – degimo pagalbinės priemonės masė g; Q_{v2} – degimo pagalbinės priemonės viršutinis izochorinis šilumingumas J/g arba kJ/kg; Q_s – vandeninės sieros perskaičiavimo į dujinį sieros dioksidą pataisa J; m_1 – bandinio masė g;

Apskaičiavus viršutinį biomasės kaloringumą taip pat apskaičiuojamas ir apatinis kaloringumas pagal formulę:

$$Q_s^a = Q_s^V - 212.2 \cdot H - 0.8 \cdot (O + N) \quad (2.5)$$

Čia Q_s^a – kuro apatinis šilumingumas J/g arba kJ/kg; Q_s^V – apskaičiuotas kuro viršutinis šilumingumas; H- vandenilio kiekis sausame kure išreikštas procentais; O – deguonies kiekis sausame kure išreikštas procentais; N – azoto kiekis kure išreikštas procentais.

Dažniausiai naudojamo biokuro numatytosios vertės šilumingumui apskaičiuoti.

Medžiaga		H	O	N	S
		% (masės) daf	% (masės) daf	% (masės) daf	% (masės) daf
Neapdorota miško medžiaga	be žievės, spyglių ir lapų	6,2	43	0,1	0,02
	negenėti medžiai	6,2	42	0,2	0,02
	kirtimo atliekos	6,1	41	0,5	0,04
	žievė	6,1	40	0,4	0,1
	trumpos rotacijos atžalinis medynas	6,3	44	0,5	0,05
Neapdoroti šiaudai	kviečiai, rugiai, miežiai	6,3	43	0,5	0,1
	ryžiai	6,2	44	1,0	0,1
	rapsas	6,3	43	0,8	0,3
	žolės	6,3	43	1,0	0,2
Neapdoroti grūdai ir vaisių kauliukai	kviečių, rugių, miežių grūdai	6,6	45	2,0	0,1
	rapsas	7,5	25	4,0	0,1
	alyvuogių kauliukai	6,2	43	0,4	0,05

1.4 pav. Duomenys iš standarto LST EN 14918 [8] .[8]

Kadangi mano tiriamas katilas kūrenamas susmulkinta mediena ir jos atliekomis, analizuoju būtent šiuos standartus, kurie apsprendžia kietojo biokuro parametrų tyrimą.

2.2 Katilo naudingumo koeficiento skaičiavimo metodika

Mano tiriamas katilo pakura yra ardyninio tipo, todėl visą metodiką naudoju skitą būtent šio tipo katilams. Priklausomai nuo pakuros tipo ir tiekiamo oro lygių metodika gali skirtis. Siekiant kuo labiau padidinti katilo efektyvumą deginant kurą reikia suvartoti kuo mažiau oro. Mažiausias oro kiekis reikalingas sudeginti vienam kuro vienetui vadinamas teoriniu kiekiu. Kuo šis kiekis mažesnis tuo geriau, nes neievojama papildoma energija pertekliniam orui šildyti.

Naudojant degiųjų komponentų reakcijų lygtis galima apskaičiuoti kiek reiks deguonies kad kuras visiškai sudegtų. Šiam kiekiui apskaičiuoti naudojama formulė :

$$M_{O_2} = \left(2,66 \cdot \frac{C^n}{100} + 8 \cdot \frac{H^n}{100} + \frac{S_d^n - O^n}{100} \right) \quad (2.6)$$

Čia M_{O_2} – vienam kilogramui kuro reikalinga sudeginti deguonies masė; C^n – viename kilograme kuro esantis anglies kiekis kg; H^n – viename kilograme kuro esantis vandenilio kiekis

kg; S_d^n – viename kilograme kuro esantis sieros kiekis kg; O^n – viename kilograme kuro esantis deguonies kiekis kg.

Svertiniai koeficientai prieš atitinkamus elementus apskaičiuojami pagal chemines reakcijas. Pagal tai kiek kilogramų deguonies reikia sudeginti vienam kilogramui degiojo elemento. Toliau apskaičiuojamas degimo procesui reikalingo oro tūris pagal formulę:

$$V_0^t = \frac{100 \cdot M_{O_2}}{21 \cdot \rho_{oro}} \quad (2.7)$$

Čia V_0^t – teoriškai reikalingas degimo procesui oro tūris m^3/kg ; M_{O_2} – deguonies masė reikalinga sudeginti vieną kilogramą atitinkamo biokuro kg; 21 – deguonies procentinė išraiška ore; ρ_{oro} – oro tankis normaliomis sąlygomis $1,293 \text{ kg/m}^3$

Dėl kūryklos netobulo ir dėl to, kad kuras nepakankamai susimaišo su oru kurui sudeginti teorinis oro kiekis yra nepakankamas. Į kūryklą reikia tiekti didesnį oro kiekį nei teoriškai degimo procesui reikalingas oro kiekis. Šiam kiekiui apskaičiuoti naudojamas oro pertekliaus koeficientas α . Priklausomai nuo to koks kuras yra deginamas jis svyruoti nuo 1,03 gerai su oru besimaišančiam kurui pvz. dujoms iki 1,6 kietam biokurui. Visiškai sudeginus kurą su teoriniu oro kiekiu, išeinančiuose dūmuose būna ir visiško sudegimo produktų tokiu kaip: CO_2 , SO_2 , H_2O ir azoto N_2 . Jeigu degimo procese atsiranda oro perteklius taip pat dūmuose ir perteklinis deguonis. Dūmai paprastai skirstomi į dvi dalis: sausų dūmų tūrį $V_{s.d.}$ ir vandens garus V_{H_2O} .

$$V_d = V_{s.d.} + V_{H_2O} \quad (2.8)$$

Kurui sudegus visiškai nustatomas sausų dūmų tūris, kurį sudaro anglies dioksido (V_{CO_2}) tūris, sieros dioksido (V_{SO_2}) tūris, azoto dvideginio (V_{N_2}) tūris ir deguonies dvideginio (V_{O_2}) tūris. Triatomės dujos t.y. sieros dioksidas ir anglies dioksidas pažymimos bendru triatomių dujų simboliu (V_{RO_2}). Tuomet teorinis sausų dūmų tūris užrašomas formule:

$$V_{s.d.} = V_{RO_2} + V_{N_2} + V_{O_2} \quad (2.9)$$

Tiekiant teorinį oro kiekį į kūryklą visas deguonis sunaudojamas degimo procese, todėl $V_{O_2} = 0$, tačiau realiomis sąlygomis yra sudaromas oro perteklius (t.y. $\alpha > 1$) todėl dūmų tūris padidėja pertekliniu tūriu, todėl galutinė formulė nusakanti sausų dūmų tūrį:

$$V_{s.d.}' = V_{s.d.} + (\alpha - 1) \cdot V_0^t \quad (2.10)$$

Kadangi degimo proceso metu išsiskiria ir vandens garai tai bendra formulė nusakanti išeinančių dūmų tūrį yra:

$$V_d = V_{s.d.}' + V_{H_2O} \quad (2.11)$$

Vandens katile vandeniui šildyti sunaudojama ne visa degimo proceso metu išsiskirianti šiluma. Dalis šilumos prarandama pačioje kūrykloje, dalis išspinduliuojama į aplinką, didžiausia dalis šilumos prarandama su iš katilo išeinančiais dūmais. Todėl apskaičiuoti vandens šildymui sunaudotos šilumos kiekį sudaromas katilo šilumos balansas. Ši lygtis sudaroma 1 kg kietojo kuro, esant nusistovėjusiam darbo režimui ir užrašomas taip :

$$Q_d = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (2.12)$$

Čia Q_d – katilui suteikta šiluma; Q_1 – naudingai panaudota šiluma; Q_2 – iš katilo išeinančių dūmų šiluma; Q_3 – šilumos nuostoliai dėl nevisiško cheminio sudegimo; Q_4 – mechaniniai nevisiško sudegimo nuostoliai; Q_5 – šilumos nuostoliai į aplinką.

Naudingai panaudota šiluma Q_1 . Tai šilumos visuma panaudota vandeniui katile šildyti. Jei katile per sekundę pašildoma D kg vandens, kurio entalpija (termodinaminės sistemos energijos išmatavimas) pakinta nuo h_1 iki h_2 ir tam per sekundę buvo sunaudota B kg kuro tai ji išreiškiama:

$$Q_1 = \left(q_1 = \frac{Q_1}{Q_d} \cdot 100\% \right) \quad (2.13)$$

Skaičiuojant procentinę išraišką nuo visos disponuojamos šilumos:

$$q_1 = \frac{Q_1}{Q_d} \cdot 100\% \quad (2.14)$$

Iš katilo išeinančių dūmų šiluma. Iš katilo išeinantys dūmai yra aukštesnės temperatūros negu aplinkos oro temperatūra, todėl su dūmais išnešamas ir tam tikra dalis šilumos kuri išsisklaido atmosferoje. Kadangi degimo procesui paduodamas oras į kūryklą patenka tam tikros temperatūros, tai skaičiuojant šilumos nuostolius iš išeinančių dūmų entalpijos atimama į katilą patenkančio oro entalpija.

$$Q_2 = \left(V_i \cdot c_i \cdot t_i - \alpha_i \cdot V_0^t \cdot c_0 \cdot t_0 \right) \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \quad (2.15)$$

Čia V_i – išeinančių dūmų tūris m^3/kg arba m^3/m^3 , kai oro pertekliaus koeficientas už katilo α_{is} ; c_i – išeinančių dūmų specifinė šiluma $kJ/(m^3 \cdot K)$; t_i – išeinančių dūmų specifinė temperatūra $^{\circ}C$; c_0 – tiekiamo oro specifinė šiluma $kJ/(m^3 \cdot K)$; t_0 - tiekiamo oro specifinė temperatūra $^{\circ}C$; $1-q_4$ pataisa, kuria įskaičiuojami mechaniniai nevisiško sudegimo šilumos nuostoliai.

Skaičiuojant procentinę išraišką nuo visos disponuojamos šilumos:

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_d} \cdot 100\% \quad (2.16)$$

Kaip matome šilumos nuostoliai su išeinančiais dūmais tiesiogiai proporcingi iš katilo išeinančių dūmų tūriui ir temperatūrai. Šie šilumos nuostoliai didžiausi ir gali sudaryti net 10-15 procentų. Siekiant sumažinti šiuos nuostolius pirmiausia reikia mažinti išeinančių dūmų temperatūrą, taip pat išeinančių dūmų temperatūra priklauso nuo oro pertekliaus tiekiamo į kūryklą degimo procesui.

Šilumos nuostoliai dėl nevysiško cheminio sudegimo. Kuras nevysiškai sudega kai kūrykloje trūksta oro, kai jis blogai susimaišo su kuru arba kai kūrykloje yra per žema temperatūra.. Šie nuostoliai apskaičiuojami pagal

$$Q_3 = V_{CO} \cdot Q_{CO} \cdot \left(1 - \frac{q_{4.4}}{100}\right) \quad (2.17)$$

Deginant kietąjį biokurą nevysiško sudegimo produktas paprastai yra tik anglies (II) oksidas CO taigi formulė supaprastinama :

$$Q_3 = \frac{CO}{100} \cdot V_{s.d.} \cdot Q_{CO} \cdot \left(1 - \frac{q_{4.4}}{100}\right) \quad (2.18)$$

Čia CO – anglies (II) oksido kiekis sausuose dūmuose tūrio %; $V_{s.d.}$ - sausų dūmų tūris m^3 ; $Q_{CO} = 12\,640 \text{ J/m}^3$ anglies (II) oksido degimo šiluma.

Jei degimo produktuose yra kitų elementų nuostoliai dėl jų nesudegimo apskaičiuojami analogiškai. Procentinė šių nuostolių išraiška :

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_d} \cdot 100 \quad (2.19)$$

Gerai suprojektuotose ir tinkamai eksploatuojamose kūryklose šie nuostoliai svyruoja tarp 0,2 ir 0,5 procento, tačiau susidarius nepalankioms sąlygoms jie gali išaugti keletą kartų.

Mechaniniai nevysiško sudegimo šilumos nuostoliai. Ne visas į kūrykla patenkantis kietasis kuras sudega, dalis kuro subyra į ardyno plyšius, o pačios smulkiausios dalelės pasišalina su dūmais . Nesudegus šiam kiekiui kuro ir susidaro mechaniniai nevysiško sudegimo šilumos nuostoliai kurie gali svyruoti nuo 1 iki 5 procentų priklausomai nuo kūryklos defektų ir tiekiamo kuro savybių.

Šilumos nuostoliai į aplinką. Katilo išorinio paviršiaus dalių bei vamzdžių izoliacijos paviršių temperatūra yra aukštesnė už aplinkos temperatūrą, todėl šie paviršiai konvekcijos ir spinduliavimo būdu perduoda šilumą į aplinką. Šie nuostoliai priklauso nuo katilo šiluminės izoliacijos kokybės ir nuo katilo paviršiaus ploto . Šie nuostoliai paprastai svyruoja nuo 0,1 iki 2 procentų.

Katilo naudingumo koeficientas apskaičiuoti galima dviem būdais pirmasis yra naudingam darbui panaudotos energijos kiekį padalinus iš viso energijos kiekio:

3 Oro temperatūros įtakos vertinimas esant skirtingoms katilo galioms

Pirminis ir antrinis degimui reikalingas oras į kūryklą tiekiamas ventiliatoriais. Oras imamas iš katilinės vidaus ir oro temperatūra vidutiniškai būna 20°C. Vertinama, kokią įtaką katilo efektyvumui turi tiekiamo oro temperatūra.

Skaičiavimas atliekamas sudarant katilo šilumos balansą.

Pirmiausiai reikalinga apskaičiuoti oro kiekį, degimo produktų kiekį. Skaičiavimams naudojama medienos naudojamosios masės sudėtis. Sudėtis pateikta 3.1 lentelėje. Drėgmės kiekis kure priimamas lygus 50%, kuro šilumingumas esant tokiai drėgmei 7564 kJ/kg.

3.1 lentelė. Medienos naudojamosios masės sudėtis

Kuras	Naudojamosios masės sudėtis, %							Q_a^n
	C^n	H^n	S_d^n	O^n	N^n	A^n	W^n	kJ/kg
Mediena	30,3	3,6	-	25,1	0,4	3,5	50	7564

Apskaičiuojame vienam kilogramui kuro sudeginti reikalingo oro deguonies kiekį. Kadangi viename kilograme kuro yra - $\frac{C^n}{100} kg$ anglies, $\frac{H^n}{100} kg$ vandenilio ir $\frac{S_d^n}{100} kg$ sieros, tai, atmetus kure esantį deguonį, jam sudeginti reikia oro deguonies:

$$M_{O_2} = 2,66 \cdot \frac{C^n}{100} + 8 \cdot \frac{H^n}{100} + \frac{S_d^n}{100} - \frac{O^n}{100} = 2,66 \cdot \frac{30,3}{100} + 8 \cdot \frac{3,6}{100} + \frac{0}{100} - \frac{25,1}{100} = 0,843 kg/kg \quad (3.1)$$

Pagal masę ore yra 21% deguonies. Todėl teoriškai degimui reikalingo oro tūris vienam kilogramui kuro yra (kai oro temperatūra 20°C):

$$V_o^t = \frac{100 \cdot M_{O_2}}{21 \cdot \rho_o} = \frac{100 \cdot 0,843}{21 \cdot 1,293} = 3,105 m^3/kg \quad (3.2)$$

čia ρ_o – oro tankis normaliomis sąlygomis, kg/m^3 ($\rho_o = 1,293 kg/m^3$)

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:

$$V_o = \alpha \cdot V_o^t = 1,6 \cdot 3,105 = 4,967 m^3/kg \quad (3.3)$$

čia α – oro pertekliaus koeficientas (priimamas $\alpha = 1,6$).

Apskaičiuojamas triatomių dujų tūris. Triatomių dujų tūris, visiškai sudeginus kūrą, yra pastovus ir nepriklauso nuo oro pertekliaus. Triatomių dujų tūris, žinant, kad dujų savitasis tūris $v = \frac{22,4}{\mu}, m^3 / kg$:

$$\begin{aligned} V_{RO_2} &= M_{CO_2} \cdot v_{CO_2} + M_{SO_2} \cdot v_{SO_2} = 3,66 \cdot \frac{C^n}{100} \cdot \frac{22,4}{44} + 2 \cdot \frac{S^n}{100} \cdot \frac{22,4}{64} = \\ &= 3,66 \cdot \frac{30,3}{100} \cdot \frac{22,4}{44} + 2 \cdot \frac{0}{100} \cdot \frac{22,4}{64} = 0,565 m^3 / kg \end{aligned} \quad (3.4)$$

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

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

Deginant kūrą, vandens garo degimo produktuose atsiranda, sudegus kuro vandeniliui, išgaravus drėgmei, taip pat jos įneša atmosferos oras:

$$\begin{aligned} V_{H_2O} &= 0,111 \cdot H^n + 0,0124 \cdot W^n + 0,0161 \cdot V_o = 0,111 \cdot 3,6 + 0,0124 \cdot 50 + 0,0161 \cdot 5,330 = \\ &= 1,100 m^3 / kg \end{aligned} \quad (3.6)$$

Bendras degimo produktų tūris:

$$V_d = V_{RO_2} + V_{N_2}^t + (\alpha - 1) \cdot V_o^t + V_{H_2O} = 0,565 + 2,456 + (1,6 - 1) \cdot 3,105 + 1,100 = 5,983 m^3 / kg \quad (3.7)$$

Sudaromas katilo šilumos balansas pagal pateiktą metodiką, t.y. lygybę tarp katilui suteiktos šilumos ir šilumos, sunaudotos vandeniui šildyti bei šilumos nuostoliams padengti. Balansas sudaromas 1 kg kietojo kuro, esant nusistovėjusiam katilo darbo režimui, ir užrašomas taip:

$$Q_d = Q_1 + \sum Q_n = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (3.8)$$

Čia: Q_d – katilui kuro suteikta (disponuojamoji) šiluma, $Q_d = Q_a^n$; Q_1 – naudingai panaudota šiluma; Q_2 – iš katilo išeinančių dūmų šiluma; Q_3 – šilumos nuostoliai dėl nevysiško cheminio sudegimo; Q_4 – mechaniniai nevysiško sudegimo šilumos nuostoliai; Q_5 – šilumos nuostoliai į aplinką.

Kiekvieną šių dydžių padaliję iš disponuojamos šilumos kiekio ir padauginę iš 100% gausime šilumos nuostolius procentais:

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_a^n} \cdot 100\%, \% \quad (3.9)$$

Katilo vidutinė šildymo sezono galia yra 1250 kW. Katilui dirbant tokia galia jo naudingumo koeficientas $q_1 = 91\%$.

Iš katilo išeinančių dūmų temperatūra aukštesnė negu aplinkos oro temperatūra, todėl dūmai išsineša tam tikrą kuro šilumos dalį, kuri išsisklaido atmosferoje. Kadangi į katilą su aplinkos oru taip pat patenka tam tikras šilumos kiekis, tai skaičiuojant kuro šilumos nuostolius iš išeinančių dūmų entalpijos atimama į katilą patenkančio oro entalpija:

$$Q_2 = (H_{is} - H_o) \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) = (V_d \cdot c_d \cdot t_d - \alpha_d \cdot V_o^t \cdot c_o \cdot t_o) \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), kJ/kg \quad (3.10)$$

Čia: V_d – išeinančių dūmų tūris, m^3/kg ; c_d – išeinančių dūmų savitoji šiluma, $kJ/(m^3 \cdot K)$; t_d – išeinančių dūmų temperatūra, $^{\circ}C$ (priimama $120^{\circ}C$); α_d – oro pertekliaus koeficientas už katilo; V_o^t – teorinis degimui reikalingas oro tūris, m^3/kg ; c_o – į katilą tiekiamo oro savitoji šiluma, $kJ/(m^3 \cdot K)$; t_o – į katilą tiekiamo oro temperatūra, $^{\circ}C$ (priimama $20^{\circ}C$); q_4 – mechaniniai nevisiško sudegimo nuostoliai, priimama $q_4 = 1\%$.

Iš literatūros dūmų savitoji šiluma:

$$c_d = 1,074 kJ/(kg \cdot K)$$

Reikalinga išeinančių dūmų kiekį imti kilogramais. Tuo tikslu randamas dūmų tankis:

$$\rho_d = 0,910 kg/m^3$$

Tuomet dūmų kiekis kilogramais:

$$G_d = V_d \cdot \rho_d = 5,983 \cdot 0,910 = 5,442 kg/kg \quad (3.11)$$

Į katilą tiekiamo oro savitoji šiluma:

$$c_o = 1,005 kJ/(kg \cdot K)$$

Oro tankis prie $20^{\circ}C$ temperatūros:

$$\rho_o = 1,205 kg/m^3$$

Tuomet teorinis oro kiekis kilogramais:

$$G_o^t = V_o^t \cdot \rho_o = 3,105 \cdot 1,205 = 3,741 kg/kg \quad (3.12)$$

Ištačius dydžius į 3.10 formulę gaunama:

$$\begin{aligned} Q_2 &= (G_d \cdot c_d \cdot t_d - \alpha_d \cdot G_o^t \cdot c_o \cdot t_o) \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) = \\ &= (5,442 \cdot 1,074 \cdot 120 - 1,6 \cdot 3,741 \cdot 1,005 \cdot 20) \cdot \left(1 - \frac{1}{100}\right) = 575,096 kJ/kg \end{aligned}$$

Išreiškus procentais pagal 3.9 lygtį:

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_a^n} \cdot 100\% = \frac{575,096}{7564} \cdot 100\% = 7,6 \%$$

Kuras nevysiškai sudega, kai kūrykloje trūksta oro, kai jis blogai susimaišo su kuru, kai kūrykloje per žema tempertūra. Cheminiai nevysiško sudegimo nuostoliai apskaičiuojami pagal formulę:

$$Q_3 = \frac{CO}{100} \cdot V_{s.d.} \cdot Q_{CO} \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right), kJ/kg \quad (3.13)$$

Čia: CO – anglies (II) oksido kiekis sausuose dūmuose tūrio %; $V_{s.d.}$ – sausų dūmų tūris, m^3/kg ; Q_{CO} – anglies (II) oksido degimo šiluma, $Q_{CO} = 12640 kJ/m^3$

Sausų dūmų tūris:

$$V_{s.d.} = V_d - V_{H_2O} = 5,983 - 1,100 = 4,883 m^3/kg \quad (3.14)$$

Ištačius skaičius į 3.13 formulę gaunama:

$$Q_3 = \frac{CO}{100} \cdot V_{s.d.} \cdot Q_{CO} \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) = \frac{0,03}{100} \cdot 4,883 \cdot 12640 \cdot \left(1 - \frac{1}{100}\right) = 18,332 kJ/kg$$

Išreiškus procentais pagal 3.9 lygtį gaunama:

$$q_2 = \frac{Q_3}{Q_a^n} \cdot 100\% = \frac{18,322}{7564} \cdot 100\% = 0,2 \%$$

Ne visas į kūryklą tiekiamas kuras sudega. Kai kurios jo dalelės išbyra pro ardyno plyšius, kitos, nespėjusios sudegti, pašalinamos iš kūryklos su šlaku, o pačias smulkiausias iš kūryklos išneša dūmai. Mechaniniai ne visiško sudegimo nuostoliai priimti $q_4 = 1 \%$.

Katilo išorinio paviršiaus, metalinių dalių bei vamzdžių izoliacijos paviršių temperatūra visuomet aukštesnė už aplinkos temperatūrą, todėl šie paviršiai perduoda šilumą aplinkai. Priimama, jog šilumos nuostoliai į aplinką $q_5 = 0,2 \%$.

Priėmus, jog nuostoliai dėl mechaninio nesudegimo, cheminio nesudegimo ir šilumos nuostoliai į aplinką nekinta keičiant tiekiamo oro į kūryklą temperatūrą, vertinamas katilo naudingumo koeficientas.

Skaičiavimai atlikti naudojant anksčiau pateiktas formules, keičiant tiekiamo oro į kūryklą temperatūrą ir nuo jos priklausančius dydžius. Apibendrinti skaičiavimo rezultatai pateikti 3.2 lentelėje.

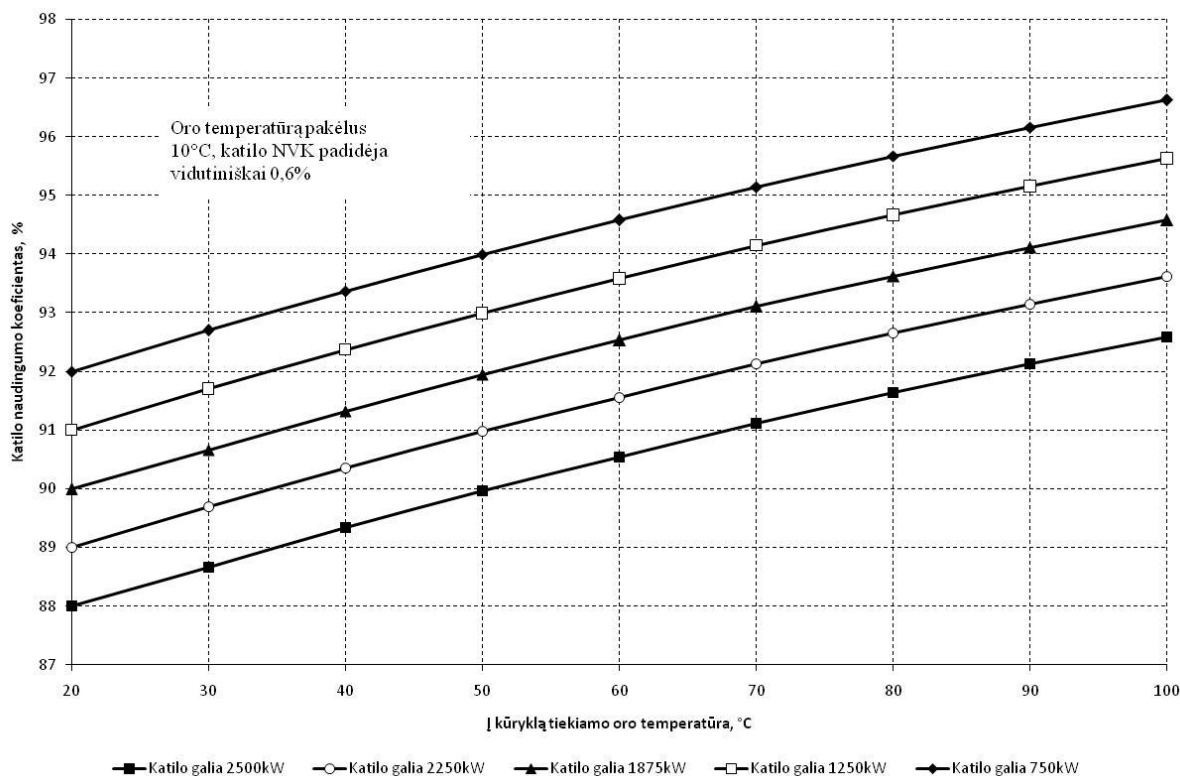
3.2 lentelė. 1250 kW šilumine galia dirbančio katilo efektyvumo priklausomybės nuo tiekiamo į kūryklą oro temperatūros skaičiavimo rezultatai

Oro temperatūra	°C	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Šiluminė galia	kW	1250								
Kuro šilumingumas	kJ/kg	7564								
Drėgmės kiekis kure	%	50								
Katilo naudingumo koeficientas		0,910	0,917	0,924	0,930	0,936	0,941	0,947	0,952	0,956
	%	91,0	91,7	92,4	93,0	93,6	94,1	94,7	95,2	95,6
Kuro sunaudojimas	kg/s	0,180	0,179	0,178	0,177	0,176	0,175	0,174	0,173	0,172
	kg/h	648,466	644,267	640,314	636,609	633,130	629,742	626,632	623,713	620,934
Oro tankis	kg/m ³	1,205	1,165	1,128	1,093	1,06	1,029	1,000	0,972	0,946
Mechaniniai nevisiško sudegimo nuostoliai	%	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nuostoliai su išeinančiais dūmais	%	7,6	6,9	6,2	5,6	5,0	4,5	3,9	3,4	3,0
Cheminiai nevisiško sudegimo nuostoliai	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Šilumos nuostoliai į aplinką	%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Skaičiavimo rezultatai atlikti esant kitoms katilo galioms: 2500 kW, 2250 kW, 1875 kW, 1250 kW ir 750 kW. Procentais tai atitiktų: 100%, 90%, 75%, 50%, 30% nuo nominalaus katilo apkrovimo. Skaičiavimo rezultatai pateikti prieduose (1-5 priedai).

Svarbiausi parametrai, charakterizuojantys tiekiamo į kūryklą oro temperatūros įtaką katilo efektyvumui yra katilo naudingumo koeficientas, nuostoliai su išeinančiais dūmais bei medienos drožlių kuro sutaupymas. Kitiems katilo nuostoliams oro temperatūra turi ženkliai mažesnę įtaką.

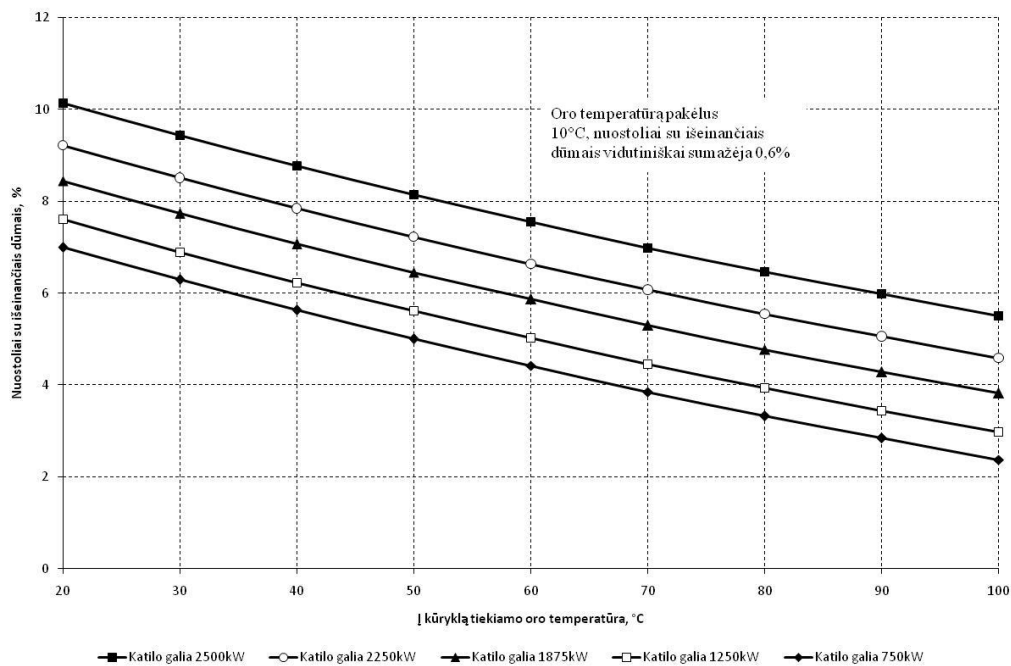
3.1 pav. pateiktas grafikas, kuriame matyti katilo naudingumo koeficiento kitimas esant skirtingoms katilo galioms bei skirtingoms į kūryklą tiekiamo oro temperatūroms.



3.1 pav. Katilo naudingumo koeficiento priklausomybė nuo tiekiamo į kūryklą oro temperatūros

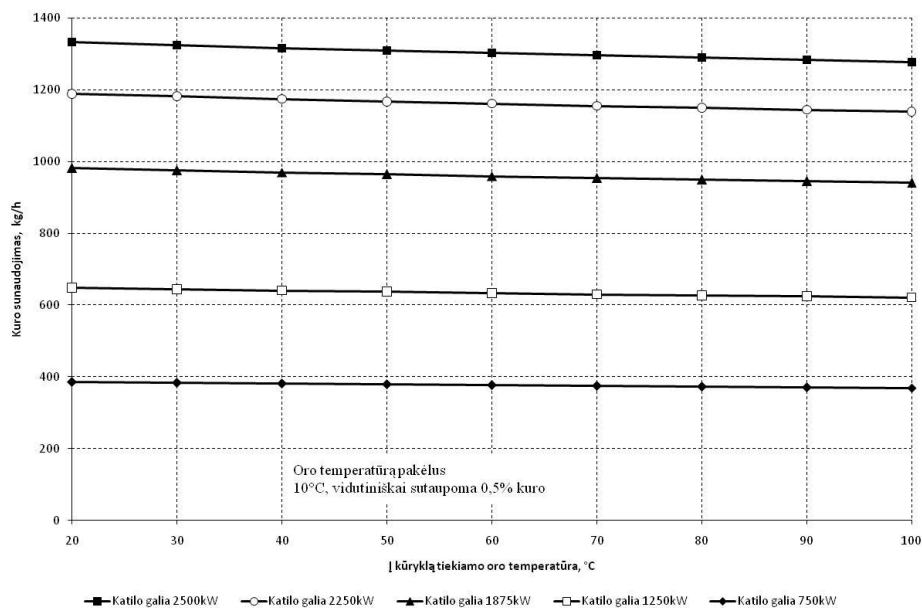
Kaip matyti iš 3.1 pav. padidinus tiekiamo į kūryklą oro temperatūrą didėja katilo naudingumo koeficientas. Padidinus oro temperatūrą 10°C, katilo naudingumo koeficientas vidutiniškai padidėja 0,6%.

Didinant tiekiamo oro temperatūrą, mažėja nuostoliai su išeinančiais dūmais. 3.2 pav. pateiktas nuostolių su išeinančiais dūmais priklausomybės nuo tiekiamo oro temperatūros grafikas.



3.2 pav. Nuostolių su išeinančiais dūmais priklausomybė nuo tiekiamo į kūrą oro temperatūros

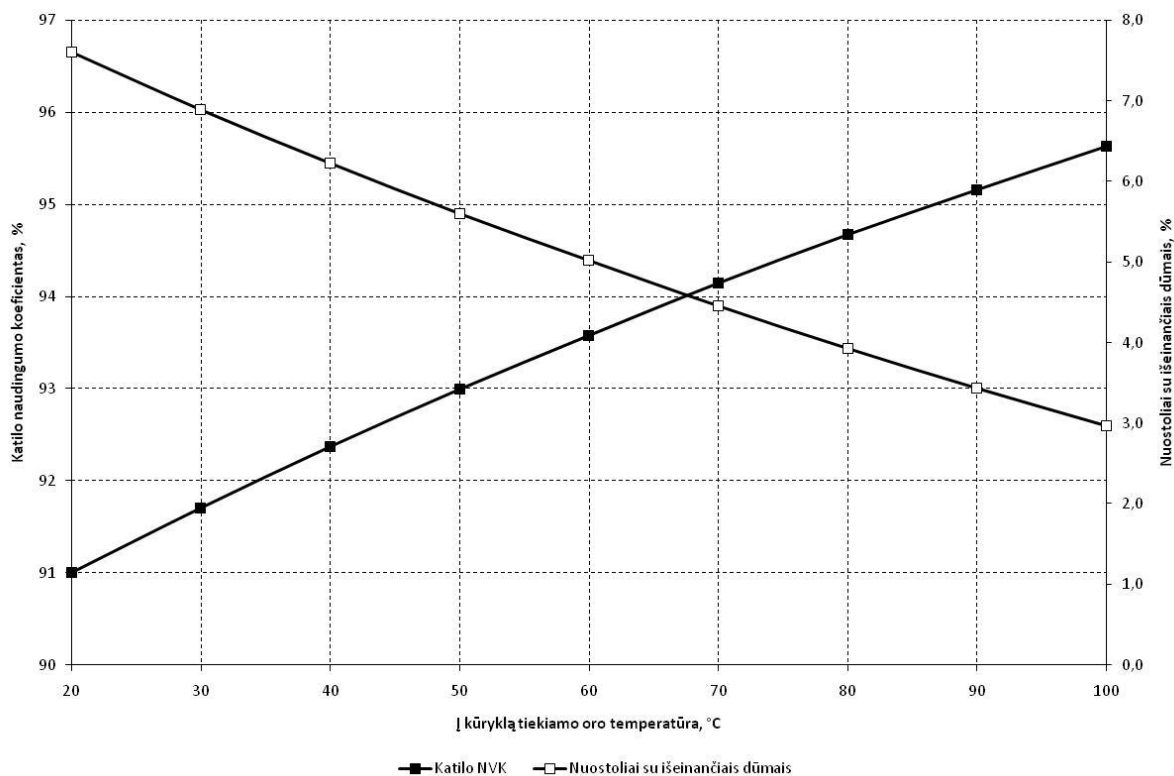
Kaip matyti iš 3.2 pav., didinant tiekiamo į kūrą oro temperatūrą mažėja nuostoliai su išeinančiais dūmais. Šių nuostolių mažėjimas įtakoja katilo naudingumo koeficiento didėjimą. Skaičiavimai rodo, jog praktiškai koku dydžiu sumažėja nuostoliai su išeinančiais dūmais, tokiu dydžiu padidėja katilo naudingumo koeficientas. Katilo naudingumo koeficiento didėjimas įtakoja sunaudojamo kuro mažėjimą tam pačiam šiluminės energijos kiekiui pagaminti. Sunaudojamo per valandą kuro kiekio kitimas priklausomai nuo tiekiamo į kūrą oro temperatūros pateiktas 3.3 pav.



3.3 pav. Kuro sunaudojimo priklausomybė nuo tiekiamo į kūrą oro temperatūros

Į kūryklą tiekiamo oro temperatūros padidėjimas 10°C įtakoja kuro sąnaudų sumažėjimą vidutiniškai 0,5%.

Konkrečiu nagrinėjamu atveju, katilui dirbant vidutine šildymo sezono galia 1250 kW, katilo naudingumo koeficiento ir nuostolių su išeinančiais dūmais kitimas pateiktas 3.4 pav.



3.4 pav. Katilo naudingumo koeficiento ir nuostolių su išeinančiais dūmais kitimas keičiant į kūryklą tiekiamo oro temperatūrą katilui dirbant 1250 kW galia

Į kūryklą tiekiamo oro temperatūrą pakėlus 10°C, vidutiniškai 0,5% padidėja katilo naudingumo koeficientas ir tiek pat sumažėja nuostoliai su išeinančiais dūmais.

Katilui dirbant vidutiniu apkrovimu, t.y. 1250 kW ir tiekiamą į kūryklą orą pašildžius nuo 20°C iki 50°C temperatūros katilo naudingumo koeficientą pakeltume nuo 91% iki 93%. Dūmus atvėsintume tokiu būdu nuo 120°C iki ~90,6°C. Praktiškai labiau kelti tiekiamo oro temperatūrą ir tuo pačiu mažinti išeinančių dūmų temperatūrą negalime, siekiant išvengti vandens garų kondensacijos kamine.

4 Kuro drėgmės įtakos vertinimas katilui dirbant vidutine šildymo sezono galia

Alytaus katilinėje deginamos medienos drožlės, kurios perkamos iš tiekėjų. Stengiamasi pirkti kiek įmanoma sausesnį kurą, tačiau ne visada gaunama sausa žaliava, be to kuras sudrėgsta laikant jį atviroje kuro saugojimo aikštelėje.

Šiame skyriuje vertinama medienos drožlėse esančios drėgmės įtaka katilo efektyvumui.

Atlikus medienos drožlių analizę nustatyta, jog tuo metu naudoto kuro drėgmė sudarė 43,4%, šilumingumas buvo 8885 kJ/kg.

Naudojamosios masės apatinio šilumingumo apskaičiavimo formulė:

$$Q_{an}^n = Q_a^s \cdot \left(1 - \frac{W}{100}\right) - 0,02443 \cdot W, MJ / kg \quad (4.1)$$

Čia: Q_a^s – kuro sausosios masės šilumingumas, MJ/kg; W – kuro drėgmė, %.

Vidutinis Alytaus katilinėje deginamų medienos drožlių sausos masės šilumingumas apskaičiuojamas pasinaudojant 4.1 formule:

$$Q_a^s = \frac{Q_{an}^n + 0,02443 \cdot W}{\left(1 - \frac{W}{100}\right)} = \frac{8,885 + 0,02443 \cdot 43,4}{\left(1 - \frac{43,4}{100}\right)} = 17,571 MJ / kg$$

Primant pastovų kuro sausosios masės šilumingumą, apskaičiuojami naudojamosios masės šilumingumai prie skirtingo drėgmės kiekio kure ir pateikiami 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė. Kuro naudojamosios masės šilumingumas esant skirtingam drėgmės kiekiui kure

Drėgmė, %	35	40	45	50	55	60
Sausosios masės šilumingumas, kJ/kg	17571					
Naudojamosios masės šilumingumas, kJ/kg	10566	9565	8565	7564	6563	5563

Drėgmės kiekio kure įtakos katilo efektyvumui vertinimas atliekamas esant vidutinei katilo šildymo sezono mastu galiai, t.y. 1250 kW. Dirbant katilui tokia galia ir deginant 45% drėgmės kurą jo naudingumo koeficientas siekia apie 91%. Vertinama, kiek pasikeistų katilo naudingumo koeficientas deginant kurą su kitokiu drėgmės kiekiu jame.

Skaičiavimai atlikti sudarant katilo šilumos balansą, naudojant tas pačias formules kaip ir vertinant į kūryklos tiekiamo oro temperatūros įtaką katilo efektyvumui. Šiame skyriuje priimama, jog tiekiamo oro temperatūra lygi 20°C, t.y. oras nėra papildomai pašildomas prieš jį tiekiant į kūryklą.

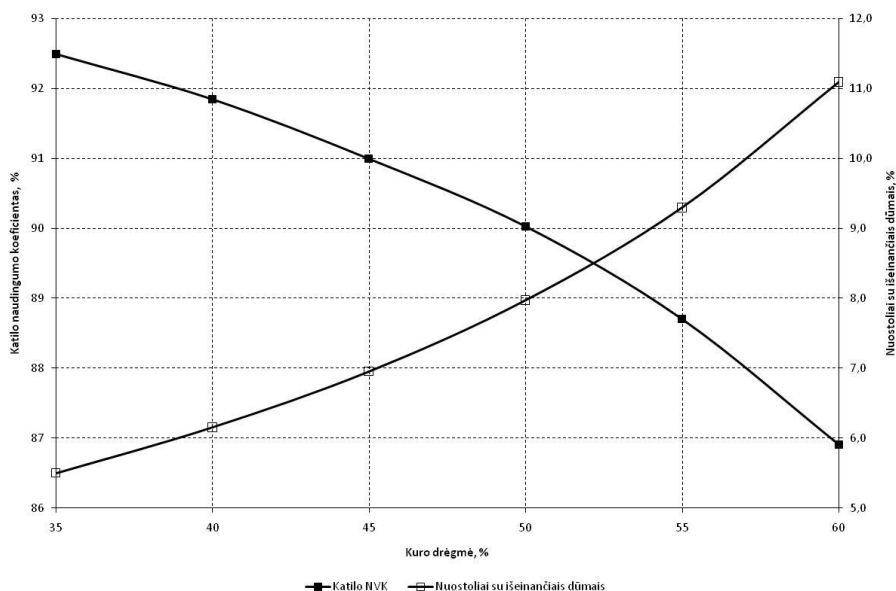
Pagrindiniai dydžiai, charakterizuojantys pasikeitusią situaciją naudojant kurą su skirtingu drėgmės kiekiu jame – katilo naudingumo koeficientas, nuostoliai su išeinančiais dūmais. Tai įtakoja reikalingas kuro sąnaudas tam pačiam energijos kiekiui pagaminti. Kitų šilumos nuostolių įtaka katilo efektyvumui turi ženkliai mažesnę įtaką ir ji nekinta keičiant kuro drėgnumą, todėl jie priimami pastovūs.

Pagrindiniai skaičiavimų rezultatai, atlikti keičiant kure esančią drėgmę ir vertinant katilo naudingumo koeficiento pasikeitimą, pateikiami 4.2 lentelėje. Skaičiavimo rezultatai esant kitoms katilo galioms pateikti prieduose (6-10 priedai).

4.2 lentelė. Skaičiavimo rezultatai, gauti atlikus kuro drėgmės įtakos katilo darbo efektyvumui vertinimą

Šiluminė galia	kW	1250					
Kuro šilumingumas	kJ/kg	10566	9565	8565	7564	6563	5563
Drėgmės kiekis kure	%	35	40	45	50	55	60
Katilo naudingumo koeficientas		0,925	0,918	0,910	0,900	0,887	0,869
	%	92,5	91,8	91,0	90,0	88,7	86,9
Kuro sunaudojimas	kg/s	0,127	0,141	0,159	0,182	0,212	0,254
	kg/h	457,85	508,82	572,68	654,25	763,12	914,86
Vandens garų tūris	m ³ /kg	0,914	0,976	1,038	1,100	1,162	1,224
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	6,112	6,174	6,236	6,298	6,360	6,422
Mechaniniai nevisiško sudegimo nuostoliai	%	1	1	1	1	1	1
Nuostoliai su išeinančiais dūmais	kJ/kg	581,383	588,577	595,772	602,966	610,160	617,354
	%	5,5	6,2	7,0	8,0	9,3	11,1
Cheminiai nevisiško sudegimo nuostoliai	%	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Šilumos nuostoliai į aplinką	%	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

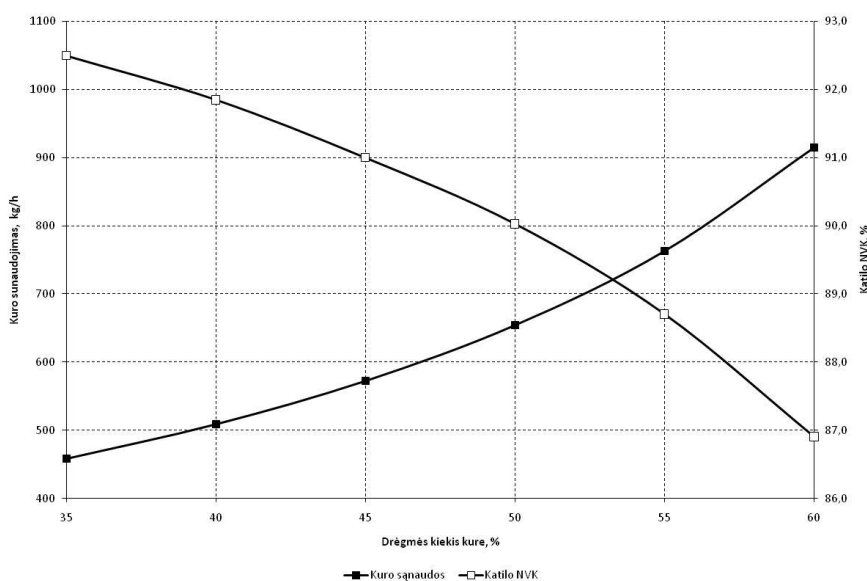
Katilo naudingumo koeficiento ir nuostolių su išeinančiais dūmais kitimas priklausomai nuo drėgmės kiekio kure pateiktas 4.1 pav.



4.1 pav. Katilo naudingumo koeficiento ir nuostolių su išeinančiais dūmais priklausomybė nuo drėgmės kiekio kure

Kaip matyti iš 4.1 pav., didėjant drėgmės kiekiui kure, mažėja katilo naudingumo koeficientas, didėja nuostoliai su išeinančiais dūmais. Nevertinant kitų nuostolių pasikeitimo keičiantis drėgmei, gaunama, jog katilo naudingumo koeficiento padidėjimas lygus nuostolių su išeinančiais dūmais sumažėjimui.

Mažinti kuro drėgmę galima kurą sandėliuojant sandėliuose, natūraliai džiovinant. Sumažinus kuro drėgmę padidėja katilo naudingumo koeficientas, tuo pačiu sumažėja kuro sąnaudos tam pačiam energijos kiekiui pagaminti. 4.2 pav. pateikta kuro sąnaudų ir katilo naudingumo koeficiento priklausomybė nuo drėgmės kiekio kure.



4.2 pav. Kuro sąnaudų ir katilo naudingumo koeficiento priklausomybė nuo drėgmės kiekio kure

Katilo naudingumo koeficiento didėjimas ir kuro sąnaudų mažėjimas mažinant kuro drėgmę nėra proporcingas drėgmės mažėjimui. Pastebėtas ženkliai didesnis katilo naudingumo koeficiento padidėjimas ir kuro sąnaudų sumažėjimas drėgmę sumažinus nuo 60% iki 55% negu nuo 40% iki 35%. Rezultatai pateikti 4.3 lentelėje.

4.3 lentelė. Katilo naudingumo koeficiento didėjimas ir kuro sąnaudų mažėjimas procentais

	Drėgmės kiekis kure, %					
	60	55	50	45	40	35
Katilo naudingumo koeficiento padidėjimas, %		1,80	1,33	0,97	0,85	0,65
Kuro sąnaudotų sumažėjimas, %		16,59	14,27	12,47	11,15	10,02

Kaip matyti iš 4.3 lentelės, drėgmės kiekio kure sumažinimas nuo 60% iki 55% padidina katilo naudingumo koeficientą 1,8%, kuro sąnaudas sumažina 16,59%. Tuo tarpu drėgmės kiekį sumažinus nuo 40% iki 35%, katilo naudingumo koeficiento ir kuro sąnaudų mažėjimas ne toks ženklus ir siekia atitinkamai 0,65% ir 10,02%. Vadinasi, degindami drėgną kurą ir sugebėję jo drėgmę sumažinti pajusime ženkliai ekonominę naudą.

Katilui dirbant skirtingu apkrovimu naudingumo koeficientų priklausomybė nuo kuro drėgmės pateikta 4.4 lentelėje.

4.4 lentelė. Katilo naudingumo koeficientas dirbant skirtingu apkrovimu

Katilo galia		Drėgmės kiekis kure, %					
%	kW	35	40	45	50	55	60
100	2500	90,0	89,1	88,0	86,7	85,0	82,6
90	2250	90,8	90,0	89,0	87,8	86,2	84,1
75	1875	91,6	90,9	90,0	88,9	87,4	85,4
50	1250	92,5	91,8	91,0	90,0	88,7	86,9
30	750	93,3	92,7	92,0	91,0	89,8	88,1

5 Kondensacinio ekonomizerio įrengimo tikslingumo vertinimas

5.1 Biokuro kiekio skaičiavimas

Norint parinkti kondensacinį ekonomizerį, visų pirma reikalinga žinoti iš katilo išeinančių dūmų tūrį, jų komponentinę sudėtį bei pernešamus šilumos kiekius. Dūmų tūris labai priklauso nuo kuro sudėties bei oro pertekliaus koeficiento reikšmės.

Skaičiavimai atliekami esant nominaliam katilo našumui, t.y. 2,5 MW ir kuro drėgmei esant 60%. Skaičiavimo rezultatai esant kitoms katilo galiosm bei drėgmės kiekiam kure pateikti prieduose (11-16 priedai).

Tam, kad pasiekti tokį katilo našumą reikalingas sudeginti kuro kiekis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$B_0 = \frac{Q}{Q_a^n} = \frac{2500}{5563} = 0,499 \text{ kg/s}$$

čia Q – reikalinga šiluminė galia, kJ/s (kW); Q_a^n – apatinis naudojamosios masės šilumingumas, kJ/kg (4.1 lentelė).

Įvertinus katilo naudingumo koeficientą reikalingas kuro kiekis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$B = (1 + (1 - \eta)) \cdot B_0, \text{ kg/s} \quad (5.1)$$

čia η – katilo naudingumo koeficientas, esant nominaliam katilo apkrovimui.

Įstačius į 5.1 formulę skaičius gaunama:

$$B = (1 + (1 - \eta)) \cdot B_0 = (1 + (1 - 0,826)) \cdot 0,499 = 0,528 \text{ kg/s}$$

Dirbant katilui nominaliu apkrovimu per valandą sunaudojamas kuro kiekis:

$$B_{val} = 3600 \cdot B = 3600 \cdot 0,528 = 1899,33 \text{ kg/h} \quad (5.2)$$

Pirminės kuro energijos kiekis:

$$Q_p = \frac{Q_{sk}}{\eta} = \frac{2500}{0,826} = 3026,634 \text{ kWh} \quad (5.3)$$

Čia: Q_{sk} – katilo per valandą pagaminamas šilumos kiekis, kWh; η – katilo naudingumo koeficientas.

5.2 Degimo produktų kiekio skaičiavimas

Skaičiavimams naudoju įvairios medienos naudojamosios masės sudėtį. Sudėtis pateikta 3.1 lentelėje. Tik šiuo atveju priimama, jog kuro drėgmė 60%.

Apskaičiuojame vienam kilogramui kuro sudeginti reikalingo oro deguonies kiekį. Kadangi viename kilograme kuro yra - $\frac{C^n}{100} kg$ anglies, $\frac{H^n}{100} kg$ vandenilio ir $\frac{S_d^n}{100} kg$ sieros, tai, atmetus kure esantį deguonį, jam sudeginti reikia oro deguonies:

$$M_{O_2} = 2,66 \cdot \frac{C^n}{100} + 8 \cdot \frac{H^n}{100} + \frac{S_d^n}{100} - \frac{O^n}{100} = 2,66 \cdot \frac{30,3}{100} + 8 \cdot \frac{3,6}{100} + \frac{0}{100} - \frac{25,1}{100} = 0,843 kg/kg \quad (5.4)$$

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

$$V_o^t = \frac{100 \cdot M_{O_2}}{21 \cdot \rho_o} = \frac{100 \cdot 0,843}{21 \cdot 1,293} = 3,105 m^3/kg \quad (5.5)$$

čia ρ_o – oro tankis normaliomis sąlygomis, kg/m^3 ($\rho_o = 1,293 kg/m^3$)

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:

$$V_o = \alpha \cdot V_o^t = 1,6 \cdot 3,105 = 4,968 m^3/kg \quad (5.6)$$

čia α – oro pertekliaus koeficientas (priimamas $\alpha = 1,6$).

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

$$\begin{aligned} V_{RO_2} &= M_{CO_2} \cdot v_{CO_2} + M_{SO_2} \cdot v_{SO_2} = 3,66 \cdot \frac{C^n}{100} \cdot \frac{22,4}{44} + 2 \cdot \frac{S_d^n}{100} \cdot \frac{22,4}{64} = \\ &= 3,66 \cdot \frac{30,3}{100} \cdot \frac{22,4}{44} + 2 \cdot \frac{0}{100} \cdot \frac{22,4}{64} = 0,565 m^3/kg \end{aligned} \quad (5.7)$$

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

$$V_{N_2}^t = 0,79 \cdot V_o^t + 0,008 \cdot N^n = 0,79 \cdot 3,105 + 0,008 \cdot 0,4 = 2,456 m^3/kg \quad (5.8)$$

Deginant kurą, vandens garo degimo produktuose atsiranda, sudegus kuro vandeniliui, išgaravus drėgmei, taip pat jos įneša atmosferos oras:

$$\begin{aligned} V_{H_2O} &= 0,111 \cdot H^n + 0,0124 \cdot W^n + 0,0161 \cdot V_o = 0,111 \cdot 3,6 + 0,0124 \cdot 60 + 0,0161 \cdot 4,968 = \\ &= 1,224 m^3/kg \end{aligned} \quad (5.9)$$

Bendras degimo produktų tūris:

$$V_d = V_{RO_2} + V_{N_2}^t + (\alpha - 1) \cdot V_o^t + V_{H_2O} = 0,565 + 2,456 + (1,6 - 1) \cdot 3,105 + 1,224 = 6,108 \text{ m}^3 / \text{kg} \quad (5.10)$$

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

$$G_d = B \cdot V_d = 0,528 \cdot 6,108 = 3,222 \text{ m}^3 / \text{s} \quad (5.11)$$

čia B – kuro kiekis, kg/s; V_d – bendras degimo produktų tūris, m³/kg.

Sekundinis vandens garų tūris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$G_{H_2O}^G = B \cdot V_{H_2O} = 0,528 \cdot 1,224 = 0,646 \text{ m}^3 / \text{s} \quad (5.12)$$

5.3 Kondensaciniame ekonomazeryje perduodamos šilumos kiekio skaičiavimas

Apskaičiuojamas masinis drėgnų dūmų debitas:

$$G_d^m = G_d \cdot \rho_d = 3,222 \cdot 0,809 = 2,607 \text{ kg} / \text{s} \quad (5.13)$$

Čia: G_d – sekundinis iš kamino išmetamų dūmų tūris, m³/s; ρ_d – dūmų tankis, kg/m³

Masinis vandens garų debitas:

$$G_{H_2O}^m = G_{H_2O}^G \cdot \rho_{H_2O} = 0,646 \cdot 0,4835 = 0,312 \text{ kg} / \text{s} \quad (5.14)$$

Čia: $G_{H_2O}^G$ – sekundinis vandens garų tūris, m³/s; ρ_{H_2O} – vandens garų tankis, kg/m³ Tuomet

sausų dūmų masinis debitas:

$$G_{s.d.}^m = G_d^m - G_{H_2O}^m = 2,607 - 0,312 = 2,295 \text{ kg} / \text{s} \quad (5.15)$$

Čia: G_d^m – masinis drėgnų dūmų debitas, kg/s; $G_{H_2O}^m$ – masinis vandens garų debitas, kg/s.

Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų, apskaičiuojamas pagal formulę :

$$d_1 = \frac{G_{H_2O}^m}{G_{s.d.}^m} = \frac{0,312}{2,295} = 0,136 \text{ kg} / \text{kg}_{s.d.} \quad (5.16)$$

Rasos taško temperatūra, kurioje prasidės dūmuose esančių vandens garų kondensacija, apskaičiuojama pagal formulę:

$$t_r = 37,6 \cdot \lg(250 \cdot d_1) = 37,6 \cdot \lg(250 \cdot 0,136) = 57,6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.17)$$

Čia: d_1 – dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų, kg/kg_{s.d.}

Dūmuose esantiems vandens garams kondensuojantis mažėja drėgmės kiekis dūmuose ir atitinkamai mažėja vandens garų tūris. Atvėsusiųose dūmuose likusios drėgmės kiekis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$d_2 = 0,004 \cdot e^{0,062t_{d2}} = 0,004 \cdot e^{0,06250} = 0,089 \text{ kg/kg}_{s.d.} \quad (5.18)$$

Čia: t_{d2} – dūmų temperatūra po ekonomizaizerio (priima lygi projektinei 50°C).

Dūmuose likusių vandens garų masinis debitas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$G_{H_2O}^l = d_2 \cdot G_{s.d.}^m = 0,089 \cdot 2,295 = 0,204 \text{ kg/s} \quad (5.19)$$

Čia: d_2 – atvėsusiųose dūmuose likusios drėgmės kiekis, kg/kg_{s.d.}; $G_{s.d.}^m$ – sausų dūmų masinis debitas, kg/s.

Susikondensavusių vandens garų masinis debitas:

$$G_{H_2O}^k = G_{H_2O}^m - G_{H_2O}^l = 0,312 - 0,204 = 0,108 \text{ kg/s} \quad (5.20)$$

Čia: $G_{H_2O}^m$ – masinis vandens garų debitas prieš ekonomizaizerį, kg/s; $G_{H_2O}^l$ – dūmuose likusių vandens garų masinis debitas, kg/s.

Apskaičiuojame, kiek šilumos išsiskiria besikondensuojant vandeniui:

$$Q_{ek} = G_{H_2O}^k \cdot r = 0,108 \cdot 2382,3 = 258,162 \text{ kW} \quad (5.21)$$

Čia: $G_{H_2O}^k$ – vandens garų masinis debitas, kg/s; r – vandens slaptoji garavimo šiluma, kJ/kg.

Drėgnų dūmų vidutinė savitoji šiluma, jiems vėstant nuo 170°C iki rasos taško temperatūros yra:

$$c_{pd} = 1,088 \text{ kJ/kg} \cdot K$$

Ekonomizaizeryje perduodamas šilumos kiekis dėl dūmų fizinės šilumos nustatomas sudarant šilumos balansą:

$$Q_{ef} = c_{pd} \cdot G_G^m \cdot (t_{d1} - t_{d2}) \quad (5.22)$$

Čia: G_G^m – dūmų masinis debitas, einantis per ekonomizaizerį, kg/s; t_{d1} – dūmų temperatūra prieš kondensacinį ekonomizaizerį, °C; t_{d2} – dūmų temperatūra po kondensacinio ekonomizaizerio, °C.

Tuomet pagal 5.22 formulę:

$$Q_{ef} = c_{pd} \cdot G_G^m \cdot (t_{d1} - t_{d2}) = 1,088 \cdot 2,607 \cdot (170 - 50) = 340,360 \text{ kW} \quad (5.23)$$

Kondensacinio ekonomizaizerio galia katilui dirbant nominalia galia:

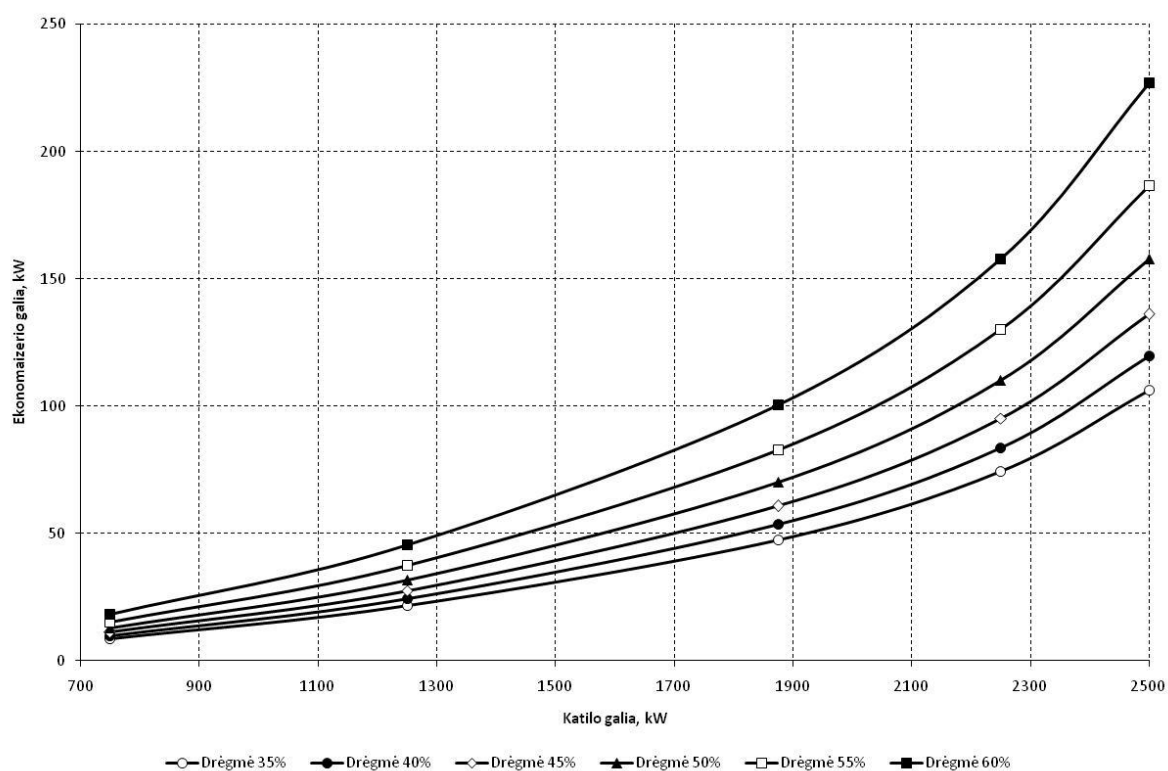
$$Q_{eko} = Q_{ek} + Q_{ef} = 258,162 + 340,360 = 598,522 \text{ kW} \quad (5.24)$$

Taigi, katilui dirbant nominalia galia ir kūrenant 60% drėgmės kurą, kondensacinis ekonomizaizeris papildomai gamintų 598,522 kW šiluminės energijos. Tai praktiškai maksimali įmanoma pasiekti kondensacinio ekonomizaizerio šiluminė galia.

6 Dūmų fizinės šilumos panaudojimo šilumos gamybos efektyvumui didinti vertinimas

6.1 Ekonomaizerio įtakos šilumos gamybos efektyvumui vertinimas

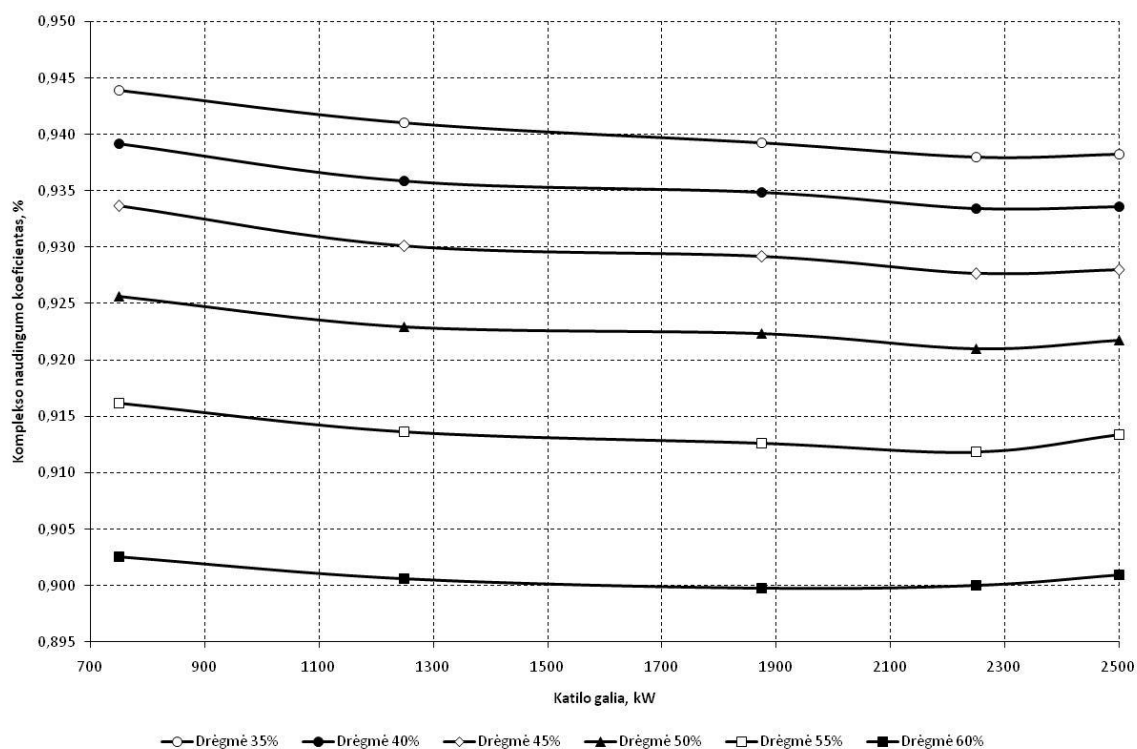
Praeitame skyriuje buvo vertinama dūmuose esančių vandens garų kondensacijos šiluma ir dūmų fizinė šiluma. Šiame skyriuje nagrinėjama galimybė įrengti ekonomaizerį dūmų fizinei šilumai paimti. Naudojant ankstesnio skyriaus skaičiavimo metodiką, atliekamas skaičiavimas priėmus temperatūrą po ekonomaizerio ne mažesnę kaip 90 °C, kad išvengti dūmų kondensacijos kamine. Skaičiavimų rezultatai pateikiami prieduose (17-22 priedai). 6.1 pav. pateikiamas grafikas, kuriame matyti įmanomos paimti dūmų fizinės šilumos priklausomybė nuo katilo galios, esant skirtingam kuro drėgmės kiekiui.



6.1 pav. Ekonomaizerio šiluminė galia paimant dūmų fizinę šilumą esant skirtingoms katilo galioms

Kaip matyti iš 6.1 pav., iš dūmų paėmus tikrai fizinę šilumą, energijos kiekis būtų žymiai mažesnis negu paimant ir kondensacijos šilumą. Ekonomaizerio galia didėja didėjant katilo galioms, bei drėgmės kiekiui kure. Tai paaiškinama didėjančiu išeinančių dūmų tūriu bei kylančia dūmų temperatūra. Esant katilo galioms 750 kW, drėgmės kiekio didėjimas kure ne taip ženkliai įtakoja ekonomaizerio galią, kaip katilui dirbant nominalia galia. Katilo galioms didėjant, ekonomaizerio galia didėja ir ženklėja kuro drėgmės įtaka. Maksimali ekonomaizerio galia pasiekama katilui dirbant nominalia galia ir kuro drėgmei esant 60% ir siekia 226,906 kW.

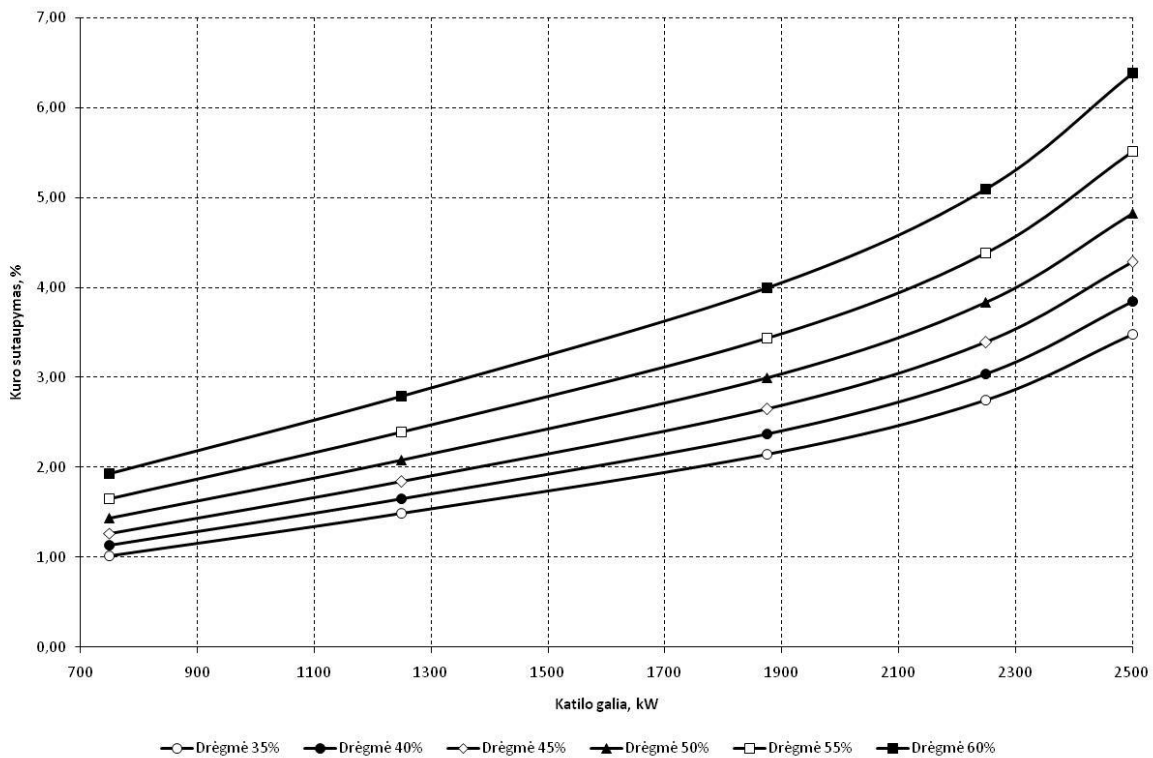
Paimant iš dūmų fizinę šilumą, padidėja bendras katilo ir ekonomizerio komplekso naudingumo koeficientas, kadangi dalį šilumos, kuri būtų išmetama į orą, paimame ir pašildome grįžtamąjį termofikacinį vandenį. Sumažiname nuostolius su išeinančiais dūmais. 6.2 pav. pateikta katilo ir ekonomizerio komplekso naudingumo koeficiento priklausomybė nuo katilo galios ir drėgmės kiekio kure.



6.2 pav. Katilo ir ekonomizerio komplekso naudingumo koeficiento kitimas priklausomai nuo katilo galios ir kuro drėgmės

Iš 6.1 pav. matėme, jog didėjant drėgmės kiekiui kure, ekonomizerio šiluminė galia didėja. Tačiau kaip matyti iš 6.2 pav., tokiu atveju mažėja komplekso naudingumo koeficientas. Naudingumo koeficiento mažėjimas ženklėsnis drėgmei kure pasikeitus tarp 55% ir 60%, negu tarp 35% ir 40% esant toms pačioms katilo galioms. Naudingumo koeficiento kitimas tarp gretimų drėgmės kiekių kure praktiškai pastovus kintant katilo galiams.

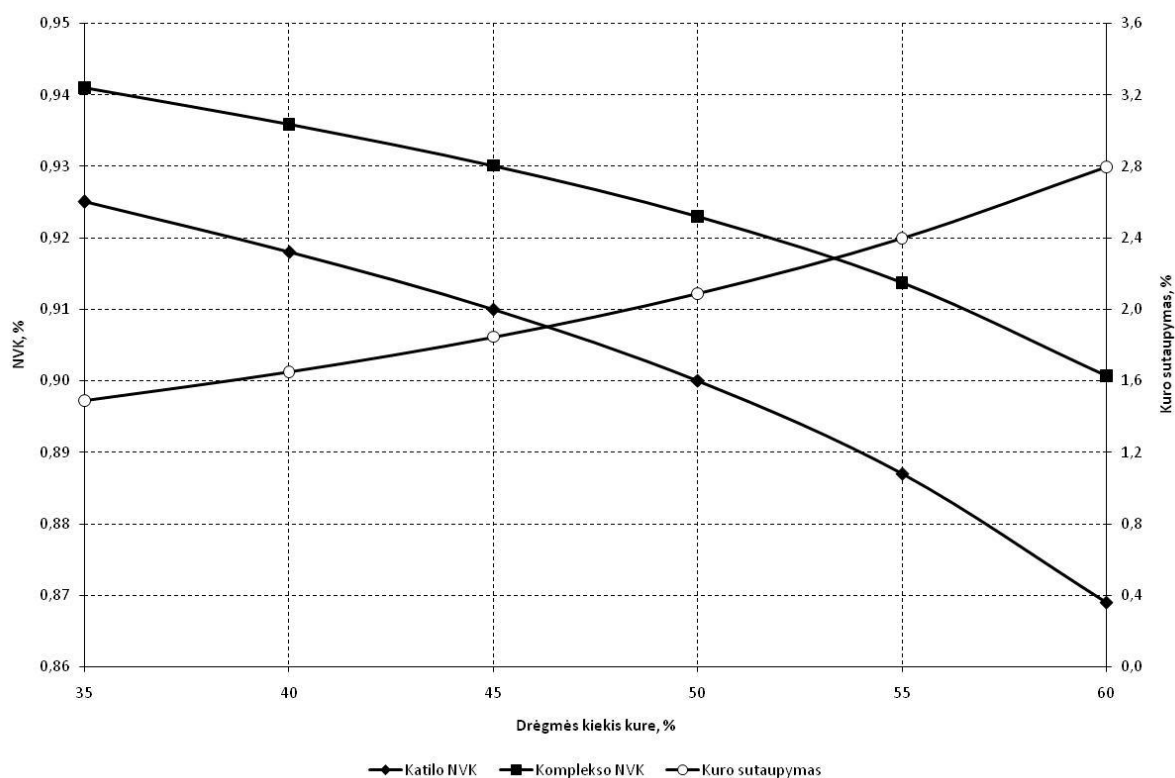
Naudingumo koeficiento padidėjimas įtakoja kuro sąnaudų sumažėjimą tam pačiam energijos kiekiui pagaminti. 6.3 pav. pateiktas grafikas, kuriame matyti, kiek procentais sutaupoma kuro prie skirtingų katilo galių ir drėgmės kiekių kure.



6.3 pav. Kuro sąnaudų mažėjimo katilui dirbant su ekonomazeriu priklausomybė nuo katilo galios ir drėgmės kiekio kure

Didėjant katilo galiai ir drėgmės kiekiui kure, didėja išeinančių dūmų tūris. Nuo to tiesiogiai priklauso iš dūmų paimamos šilumos kiekis. 6.3 pav. matyti, jog kuo didesne galia dirba katilas ir kuo didesnės drėgmės kurą degina, tuo jaučiamas didesnis kuro sąnaudų sumažėjimas iš dūmų paimant fizinę šilumą. Katilui dirbant nominalia galia ir deginant 60% drėgmės kurą, kuro sutaupymas katilui dirbant su ekonomazeriu būtų 6,39%. Tai maksimalus sutaupymas, įmanomas pasiekti su esamu katilu.

Tam, kad įvertinti situaciją šildymo sezono mastu, reikalinga konkrečiau panagrinėti situaciją katilui dirbant vidutine šildymo sezono mastu galia, t.y. 1250 kW. Apibendrinus skaičiavimo rezultatus, 6.4 pav. pateikiamas grafikas, kuriame matyti katilo naudingumo koeficiento, komplekso naudingumo koeficiento bei kuro sutaupymo priklausomybė nuo kuro drėgmės katilui dirbant 1250 kW šilumine galia.



6.4 pav. Katilo naudingumo koeficiento, katilo ir ekonomazerio komplekso naudingumo koeficiento bei kuro sutaupymo priklausomybė nuo kuro drėgmės

Iš 6.4 pav. matyti, jog kuro drėgmei didėjant, katilo naudingumo koeficientas mažėja. Dirbant katilui ir ekonomazeriui, komplekso naudingumo koeficientas mažėja, tačiau drėgmės didėjimas įtakoja ekonomazerio efektyvumo didėjimą. Paveiksle matyti, jog kuro drėgmei esant 35%, komplekso naudingumo koeficientas lyginant su katilo naudingumo koeficientu padidėja 1,6%, o kuro drėgmei esant 60%, naudingumo koeficiento padidėjimas 3,2 %. Kuro sutaupymui drėgmės įtaka kure taip pat ženkli. Kuro sutaupymas didėja didėjant kuro drėgmei. Vadinasi, kuo didesnės drėgmės kurą tenka kūrenti, tuo didesnė ekonominė nauda jaučiama įrengus ekonomazerį.

Priėmus, jog vidutinė kuro drėgmė šildymo sezono metu yra 50%, matome, jog įrengus ekonomazerį naudingumo koeficientą padidintume nuo 90% iki 92,3%, o kuro sunaudotume 2,09% mažiau negu katilui dirbant be ekonomazerio.

Išvados

1. Atliktas oro tiekiamo į kūryklą įtakos vertinimas katilo naudingumo koeficientui. Apskaičiuota, kad padidinus tiekiamo į kūryklą oro temperatūrą nuo 20 °C iki 100 °C katilo naudingumas padidėja 4,6 %.
2. Atliktas naudojamo biokuro drėgmės įtakos skaičiavimas katilo naudingumo koeficientui. Apskaičiuota, kad sumažinus biokuro drėgmę nuo 60 % iki 35 %, priklausomai nuo katilo apkrovimo jo naudingumas padidėja nuo 5 iki 7 %
3. Apskaičiuota, kad įrengus dūmų kondensacinį ekonomaizerį ir katilui dirbant nominalia galia bei naudojant 60 % drėgmės kurą ekonomaizerio maksimali galia siektų 226,906 kW.
4. Apskaičiuota, kad įrengus dūmų kondensacinį ekonomaizerį, priklausomai nuo biokuro katilo apkrovos ir naudojamame biokure esančios drėgmės, pagaminti tam pačiam šilumos kiekiui bus sunaudojama nuo 1,02 iki 6,39 % mažiau biokuro. Taip pat matome, kad įrengtas dūmų kondensacinis ekonomaizeris leidžia eksploatuoti biokuro katilą naudojant didesnės drėgmės biokurą nekrentant katilo naudingumo koeficientui.
5. Apskaičiuota, kad įrengus dūmų kondensacinį ekonomaizerį kompleksinis abiejų įrenginių naudingumo koeficientas išauga, priklausomai nuo biokuro katilo apkrovos ir naudojamo biokuro drėgmės, nuo 1,1 iki 7,5 %.

Literatūros sąrašas

1. Biokuro suvartojimas Lietuvoje ktne. Konferencija „Nepriklausoma energetika – stipri ekonomika“. Prieiga internetu:
http://www.biokuras.lt/uploads/File/2012_10_10_R_Lapinskas_prezentacija-Valstybes_konferencijai1.pdf žiūrėta 2016.05.18
2. Pilipavičius V., Navickas K., Atsinaujinantys agrariniai išteklių ir atliekų perdirbimas. Skaidrės.[žiūrėta 2016 05 18] Prieiga internetu
http://www.lzuu.lt/nm/lprojektas/Atsinaujinantys_agrariniai/16.htm
3. ST EN 303-5: 2012. Šildymo katilai. 5 dalis. Rankomis ir automatiškai pakraunami kieto kuro šildymo katilai, kurių atiduodamoji šiluminė galia iki 500 kW. Terminijos reikalavimai, bandymai ir ženklavimas.
4. European Wood-Heating Technology Survey: An Overview of Combustion Principles and the Energy and Emissions Performance Characteristics of Commercially Available Systems in Austria, Germany, Denmark, Norway, and Sweden. Final Report 10–01. Albany, New York: New York State Energy Research and Development Authority, April 2010.
5. LST EN 14774-2: 2010 Kietasis biokuras. Drėgmės kiekio nustatymas. Džiovinimo krosnyje metodas. 2 dalis. Visuminė drėgmė. Supaprastintas metodas
6. LST EN 14775: 2010 Kietasis biokuras. Peleningumo nustatymas
7. Šaltinis „Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen“ Vokietija.
8. LST CEN/TS 14918:2006/P:2008 Kietasis biokuras. Šilumingumo nustatymas
9. http://www.lsta.lt/files/seminarai/131212_AVGO/E.Puida_Biokuro%20en%20%20charakt%20%20nustatymas.pdf žiūrėta 2016.01.20
10. http://vddb.laba.lt/fedora/get/LT-eLABa-0001:E.02~2011~D_20110804_092446-50146/DS.005.2.01.ETD žiūrėta 2015.12.07
11. <http://www.fizika.lm.lt/content/view/802/69/> žiūrėta 2016.01.17
12. <http://www2.ucdsb.on.ca/tiss/stretton/CHEM1/specheat.html> žiūrėta 2016.05.17

13. Villu V., Ülo K., Peeter M., Tõnu P., Sulev S. Biokuro naudotojo žinynas. Vilnius. 2007
14. G. Gimbutis, K. Kajutis, V. Krukonis ir kt. Šiluminė technika, Vilnius. 1993

Priedai

Į kūryklą tiekiamo oro tūris	m3/kg	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967
Triatomių dujų tūris	m3/kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m3/kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Vandens garų tūris	m3/kg	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
Bendras degimo produktų tūris	m3/kg	5,983	5,983	5,983	5,983	5,983	5,983	5,983	5,983	5,983	5,983
Dūmų temperatūra	°C	110,000	110,000	110,000	110,000	110,000	110,000	110,000	110,000	110,000	110,000
Dūmų tankis	kg/m3	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930
Bendras degimo produktų svoris	kg/kg	5,563	5,563	5,563	5,563	5,563	5,563	5,563	5,563	5,563	5,563
Dūmų savitoji šiluma	kJ/(kg·K)	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071
Oro pertekliaus koeficientas		1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
Oro tankis	kg/m3	1,293	1,205	1,165	1,128	1,093	1,060	1,029	1,000	0,972	0,946
Teorinis degimui reikalingos oro svoris	kg/kg	4,014	3,741	3,617	3,502	3,393	3,291	3,195	3,105	3,018	2,937
Oro specifinė šiluma	kJ/(kg·K)	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,009	1,009	1,009	1,009
Oro	°C	0,000	20,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000	100,000

6 Priedas. Katilo naudingumo koeficiento kitimas keičiantis kuro drėgmei prie 2500 kw apkrovos

Šiluminė galia	kW	2500	2500	2500	2500	2500	2500
Kuro šilumingumas	kJ/kg	10566	9565	8565	7564	6563	5563
Drėgmės kiekis kure	%	35	40	45	50	55	60
Katilo naudingumo koeficientas		0,898	0,890	0,880	0,867	0,850	0,828
	%	89,8	89,0	88,0	86,7	85,0	82,8
Kuro sunaudojimas	kg/s	0,261	0,290	0,327	0,374	0,438	0,527
	kg/h	938,62	1044,53	1176,88	1347,97	1576,35	1896,23
Vienam kg kuro sudeginti reikalingas oro deguonies kiekis	kg/kg	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843
Oro tankis	kg/m ³	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Į kūryklą tiekiamo oro tūris	m ³ /kg	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967
Triatomų dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Vandens garų tūris	m ³ /kg	0,914	0,976	1,038	1,100	1,162	1,224
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	5,797	5,859	5,921	5,983	6,045	6,107
Dūmų temperatūra	°C	170	170	170	170	170	170
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,809	0,809	0,809	0,809	0,809
Bendras degimo produktų svoris	kg/kg	4,690	4,740	4,790	4,840	4,890	4,940
Dūmų savitoji šiluma	kJ/(kg·K)	1,074	1,074	1,074	1,074	1,074	1,074
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Oro tankis	kg/m ³	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205
Teorinis degimui reikalingo oro svoris	kg/kg	3,741	3,741	3,741	3,741	3,741	3,741
Oro specifinė šiluma	kJ/(kg·K)	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005
Oro temperatūra	°C	20	20	20	20	20	20
Mechaniniai nevisiško sudegimo nuostoliai	%	1	1	1	1	1	1
Nuostoliai su	kJ/kg	728,386	737,450	746,515	755,579	764,644	773,709

išeinančiais dūmais	%	6,9	7,7	8,7	10,0	11,7	13,9
Anglies oksido degimo šiluma	kJ/m ³	12640	12640	12640	12640	12640	12640
Anglies oksido kiekis sausuose dūmuose	%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Sausų dūmų tūris	m ³ /kg	4,883	4,883	4,883	4,883	4,883	4,883
Cheminiai nevisiško sudegimo nuostoliai	kJ/kg	30,553	30,553	30,553	30,553	30,553	30,553
	%	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Šilumos nuostoliai į aplinką	%	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

7 Priedas. Katilo naudingumo koeficiento kitimas keičiantis kuro drėgmei prie 2250 kw apkrovos

Šiluminė galia	kW	2250	2250	2250	2250	2250	2250
Kuro šilumingumas	kJ/kg	10566	9565	8565	7564	6563	5563
Drėgmės kiekis kure	%	35	40	45	50	55	60
Katilo naudingumo koeficientas		0,907	0,900	0,890	0,879	0,863	0,843
	%	90,7	90,0	89,0	87,9	86,3	84,3
Kuro sunaudojimas	kg/s	0,233	0,259	0,292	0,334	0,390	0,468
	kg/h	837,90	931,92	1049,74	1200,79	1402,71	1684,94
Vienam kg kuro sudeginti reikalingas oro deguonies kiekis	kg/kg	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843
Oro tankis	kg/m ³	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Į kūryklą tiekiamo oro tūris	m ³ /kg	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967
Triatomų dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Vandens garų tūris	m ³ /kg	0,914	0,976	1,038	1,100	1,162	1,224
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	5,797	5,859	5,921	5,983	6,045	6,107
Dūmų temperatūra	°C	150	150	150	150	150	150
Dūmų tankis	kg/m ³	0,849	0,849	0,849	0,849	0,849	0,849
Bendras degimo produktų svoris	kg/kg	4,921	4,974	5,027	5,079	5,132	5,185
Dūmų savitoji šiluma	kJ/(kg·K)	1,074	1,074	1,074	1,074	1,074	1,074
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Oro tankis	kg/m ³	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205
Teorinis degimui reikalingo oro svoris	kg/kg	3,741	3,741	3,741	3,741	3,741	3,741
Oro specifinė šiluma	kJ/(kg·K)	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005
Oro temperatūra	°C	20	20	20	20	20	20
Mechaniniai nevisiško sudegimo nuostoliai	%	1	1	1	1	1	1
Nuostoliai su išeinančiais dūmais	kJ/kg	665,654	674,048	682,441	690,835	699,229	707,622
	%	6,3	7,0	8,0	9,1	10,7	12,7

Anglies oksido degimo šiluma	kJ/m ³	12640	12640	12640	12640	12640	12640
Anglies oksido kiekis sausuose dūmuose	%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Sausų dūmų tūris	m ³ /kg	4,883	4,883	4,883	4,883	4,883	4,883
Cheminiai nevisiško sudegimo nuostoliai	kJ/kg	30,553	30,553	30,553	30,553	30,553	30,553
	%	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Šilumos nuostoliai į aplinką	%	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

8 Priedas. Katilo naudingumo koeficiento kitimas keičiantis kuro drėgmei prie 1875 kw apkrovos

Šiluminė galia	kW	1875	1875	1875	1875	1875	1875
Kuro šilumingumas	kJ/kg	10566	9565	8565	7564	6563	5563
Drėgmės kiekis kure	%	35	40	45	50	55	60
Katilo naudingumo koeficientas		0,915	0,908	0,900	0,889	0,875	0,856
	%	91,5	90,8	90,0	88,9	87,5	85,6
Kuro sunaudojimas	kg/s	0,193	0,214	0,241	0,275	0,321	0,386
	kg/h	693,10	770,49	866,90	991,47	1157,09	1388,18
Vienam kg kuro sudeginti reikalingas oro deguonies kiekis	kg/kg	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843
Oro tankis	kg/m ³	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Į kūryklą tiekiamo oro tūris	m ³ /kg	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967
Triatomų dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Vandens garų tūris	m ³ /kg	0,914	0,976	1,038	1,100	1,162	1,224
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	5,797	5,859	5,921	5,983	6,045	6,107
Dūmų temperatūra	°C	135	135	135	135	135	135
Dūmų tankis	kg/m ³	0,879	0,879	0,879	0,879	0,879	0,879
Bendras degimo produktų svoris	kg/kg	5,095	5,150	5,204	5,259	5,313	5,368
Dūmų savitoji šiluma	kJ/(kg·K)	1,074	1,074	1,074	1,074	1,074	1,074
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Oro tankis	kg/m ³	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205
Teorinis degimui reikalingo oro svoris	kg/kg	3,741	3,741	3,741	3,741	3,741	3,741
Oro specifinė šiluma	kJ/(kg·K)	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005
Oro temperatūra	°C	20	20	20	20	20	20
Mechaniniai nevysiško sudegimo nuostoliai	%	1	1	1	1	1	1
Nuostoliai su išeinančiais dūmais	kJ/kg	612,135	619,956	627,777	635,599	643,420	651,241
	%	5,8	6,5	7,3	8,4	9,8	11,7

Anglies oksido degimo šiluma	kJ/m^3	12640	12640	12640	12640	12640	12640
Anglies oksido kiekis sausuose dūmuose	%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Sausų dūmų tūris	m^3/kg	4,883	4,883	4,883	4,883	4,883	4,883
Cheminiai nevishiško sudegimo nuostoliai	kJ/kg	30,553	30,553	30,553	30,553	30,553	30,553
	%	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Šilumos nuostoliai į aplinką	%	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85

9 Priedas. Katilo naudingumo koeficiento kitimas keičiantis kuro drėgmei prie 1250 kw apkrovos.

Šiluminė galia	kW	1250	1250	1250	1250	1250	1250
Kuro šilumingumas	kJ/kg	10566	9565	8565	7564	6563	5563
Drėgmės kiekis kure	%	35	40	45	50	55	60
Katilo naudingumo koeficientas		0,924	0,917	0,910	0,900	0,887	0,870
	%	92,4	91,7	91,0	90,0	88,7	87,0
Kuro sunaudojimas	kg/s	0,127	0,141	0,159	0,182	0,212	0,254
	kg/h	458,43	509,34	572,68	654,43	762,95	914,05
Vienam kg kuro sudeginti reikalingas oro deguonies kiekis	kg/kg	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843
Oro tankis	kg/m ³	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Į kūryklą tiekiamo oro tūris	m ³ /kg	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967
Triatomų dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Vandens garų tūris	m ³ /kg	0,914	0,976	1,038	1,100	1,162	1,224
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	5,797	5,859	5,921	5,983	6,045	6,107
Dūmų temperatūra	°C	120	120	120	120	120	120
Dūmų tankis	kg/m ³	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910	0,910
Bendras degimo produktų svoris	kg/kg	5,273	5,329	5,385	5,442	5,498	5,555
Dūmų savitoji šiluma	kJ/(kg·K)	1,074	1,074	1,074	1,074	1,074	1,074
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Oro tankis	kg/m ³	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205
Teorinis degimui reikalingo oro svoris	kg/kg	3,741	3,741	3,741	3,741	3,741	3,741
Oro specifinė šiluma	kJ/(kg·K)	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005
Oro temperatūra	°C	20	20	20	20	20	20
Mechaniniai nevysiško sudegimo nuostoliai	%	1	1	1	1	1	1
Nuostoliai su išeinančiais dūmais	kJ/kg	553,514	560,708	567,902	575,096	582,290	589,485
	%	5,2	5,9	6,6	7,6	8,9	10,6

Anglies oksido degimo šiluma	kJ/m ³	12640	12640	12640	12640	12640	12640
Anglies oksido kiekis sausuose dūmuose	%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Sausų dūmų tūris	m ³ /kg	4,883	4,883	4,883	4,883	4,883	4,883
Cheminiai nevisiško sudegimo nuostoliai	kJ/kg	30,553	30,553	30,553	30,553	30,553	30,553
	%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Šilumos nuostoliai į aplinką	%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

10 Priedas. Katilo naudingumo koeficiento kitimas keičiantis kuro drėgmei prie 750 kw apkrovos.

Šiluminė galia	kW	750	750	750	750	750	750
Kuro šilumingumas	kJ/kg	10566	9565	8565	7564	6563	5563
Drėgmės kiekis kure	%	35	40	45	50	55	60
Katilo naudingumo koeficientas		0,933	0,927	0,920	0,911	0,899	0,883
	%	93,3	92,7	92,0	91,1	89,9	88,3
Kuro sunaudojimas	kg/s	0,076	0,084	0,095	0,108	0,126	0,151
	kg/h	272,76	302,93	340,46	388,82	452,95	542,12
Vienam kg kuro sudeginti reikalingas oro deguonies kiekis	kg/kg	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843
Oro tankis	kg/m ³	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Į kūryklą tiekiamo oro tūris	m ³ /kg	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967
Triatomų dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Vandens garų tūris	m ³ /kg	0,914	0,976	1,038	1,100	1,162	1,224
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	5,797	5,859	5,921	5,983	6,045	6,107
Dūmų temperatūra	°C	110	110	110	110	110	110
Dūmų tankis	kg/m ³	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930	0,930
Bendras degimo produktų svoris	kg/kg	5,391	5,449	5,506	5,564	5,622	5,679
Dūmų savitoji šiluma	kJ/(kg·K)	1,074	1,074	1,074	1,074	1,074	1,074
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Oro tankis	kg/m ³	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205
Teorinis degimui reikalingo oro svoris	kg/kg	3,741	3,741	3,741	3,741	3,741	3,741
Oro specifinė šiluma	kJ/(kg·K)	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005
Oro temperatūra	°C	20	20	20	20	20	20
Mechaniniai nevysiško sudegimo nuostoliai	%	1	1	1	1	1	1
Nuostoliai su išeinančiais dūmais	kJ/kg	511,290	518,033	524,775	531,518	538,260	545,003
	%	4,8	5,4	6,1	7,0	8,2	9,8

Anglies oksido degimo šiluma	kJ/m^3	12640	12640	12640	12640	12640	12640
Anglies oksido kiekis sausuose dūmuose	%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Sausų dūmų tūris	m^3/kg	4,883	4,883	4,883	4,883	4,883	4,883
Cheminiai nevisiško sudegimo nuostoliai	kJ/kg	30,553	30,553	30,553	30,553	30,553	30,553
	%	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Šilumos nuostoliai į aplinką	%	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

11 Priedas. Dūmų kondensacinio ekonomizaizerio tikslingumo vertinimas kuro drėgmei 35 %

Dydis	Matavimo vienetas	Kintami katilo darbo režimai				
		100	90	75	50	30
Katilo galia	%	100	90	75	50	30
	MW	2,500	2,250	1,875	1,250	0,750
Per valandą pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2500	2250	1875	1250	750
Apatinis naudojamosios masės šilumingumas	kJ/kg	10566				
Reikalingas kuro kiekis neįvertinus katilo NVK	kg/s	0,237	0,213	0,177	0,118	0,071
Katilo NVK		0,900	0,908	0,916	0,925	0,933
Reikalingas kuro kiekis įvertinus katilo NVK	kg/s	0,260	0,233	0,192	0,127	0,076
Per valandą sunaudojamas kuro kiekis	kg/val	936,97	837,14	692,50	457,84	272,66
Pirminės kuro energijos kiekis	kWh	2778	2478	2047	1351	804
Kurui sudeginti reikalingas deguonies kiekis	kg/kg	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843
Oro tankis	kg/m ³	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967
Triatomių dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Drėgmės kiekis kure	%	35	35	35	35	35
Vandens garų tūris	m ³ /kg	0,914	0,914	0,914	0,914	0,914
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	5,797	5,797	5,797	5,797	5,797
Sekundinis iš kamino išmetamų dūmų tūris normaliomis sąlygomis	m ³ /s	1,509	1,348	1,115	0,737	0,439
Sekundinis vandens garų tūris	m ³ /s	0,238	0,212	0,176	0,116	0,069

Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Masinis drėgnų dūmų debitas	kg/s	1,221	1,145	0,980	0,671	0,408
Vandens garų tankis	kg/m ³	0,484	0,507	0,527	0,547	0,572
Masinis vandens garų debitas	kg/s	0,115	0,108	0,093	0,064	0,040
Sausų dūmų masinis debitas	kg/s	1,106	1,037	0,888	0,607	0,369
Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų	kg/kg _{s.d.}	0,104	0,104	0,104	0,105	0,107
Rasos taško temperatūra	°C	53,2	53,2	53,3	53,3	53,7
Priimama dūmų temperatūra po kondensacinio ekonomaizerio	°C	50	50	50	50	50
Iš katilo išeinančių dūmų temperatūra	°C	170	150	135	120	110
Atvėsusiųose dūmuose likusios drėgmės kiekis	kg/kg _{s.d.}	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
Dūmuose likusių vandens garų masinis debitas	kg/s	0,098	0,092	0,079	0,054	0,033
Susikondensavusių vandens garų masinis debitas	kg/s	0,017	0,016	0,014	0,010	0,007
Grįžtamoji termifikacinio vandens temperatūra	°C	46	44	41	37	32
Vandens slaptoji garavimo šiluma	kJ/kg	2382,3	2382,3	2382,3	2382,3	2382,3
Šilumos kiekis besikondensuojant vandeniui	kW	39,996	37,278	32,877	22,929	16,284
Drėgnų dūmų vidutinė savitoji šiluma	kJ/kgK	1,088	1,083	1,078	1,074	1,071
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Dūmų masinis debitas	kg/s	1,221	1,145	0,980	0,671	0,408
Ekonomaizeryje perduodamas šilumos kiekis dėl dūmų fizinės šilumos	kW	159,368	123,951	89,818	50,439	26,240
Kondensacinio ekonomaizerio galia	kW	199,364	161,229	122,696	73,368	42,524
Vidutinė specifinė vandens šiluma	kJ/kgK	4,174	4,174	4,174	4,174	4,174

Tūrinis termofikato debitas per ekonomazerį	m ³ /h	60	55	46	33	22
Termofikacinio vandens tankis	kg/m ³	989,74	989,74	989,74	989,74	989,74
Masinis termofikato debitas per ekonomazerį	kg/s	16,496	15,121	12,647	9,073	6,048
Termofikacinio vandens temperatūra po kondensacinio ekonomazerio	°C	48,9	46,6	43,3	38,9	33,7
Kompleksinis katilo ir kondensacinio ekonomazerio pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2699,364	2411,229	1997,696	1323,368	792,524
Katilo ir kondensacinio ekonomazerio komplekso naudingumo koeficientas		0,972	0,973	0,976	0,979	0,986
Komplekso naudingumo koeficientas, lyginant su katilo naudingumo koeficientu, padidės	%	7,2	6,5	6,0	5,4	5,3
Įrengus kondensacinį ekonomazerį bus sunaudojama medienos drožlių	kg/s	0,243	0,219	0,182	0,121	0,072
	kg/h	875,83	787,26	654,21	434,71	259,14
Komplekse per valandą sutaupoma medienos drožlių	kg/h	61,13	49,88	38,29	23,12	13,52
Kuro sutaupymas	%	6,52	5,96	5,53	5,05	4,96

12 Priedas. Dūmų kondensacinio ekonomizaizerio tikslingumo vertinimas kuro drėgmei 40 %						
Dydis	Matavimo vienetas	Kintami katilo darbo režimai				
Katilo galia	%	100	90	75	50	30
	MW	2,500	2,250	1,875	1,250	0,750
Per valandą pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2500	2250	1875	1250	750
Apatinis naudojamosios masės šilumingumas	kJ/kg	9565				
Reikalingas kuro kiekis neįvertinus katilo NVK	kg/s	0,261	0,235	0,196	0,131	0,078
Katilo NVK		0,891	0,900	0,909	0,918	0,927
Reikalingas kuro kiekis įvertinus katilo NVK	kg/s	0,290	0,259	0,214	0,141	0,084
Per valandą sunaudojamas kuro kiekis	kg/val	1043,49	931,52	769,92	509,04	302,89
Pirminės kuro energijos kiekis	kWh	2806	2500	2063	1362	809
Kurui sudeginti reikalingas deguonies kiekis	kg/kg	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843
Oro tankis	kg/m ³	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967
Triatomių dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Drėgmės kiekis kure	%	40	40	40	40	40
Vandens garų tūris	m ³ /kg	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	5,859	5,859	5,859	5,859	5,859
Sekundinis iš kamino išmetamų dūmų tūris normaliomis sąlygomis	m ³ /s	1,698	1,516	1,253	0,828	0,493
Sekundinis vandens garų tūris	m ³ /s	0,283	0,252	0,209	0,138	0,082
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930

Masinis drėgnų dūmų debitas	kg/s	1,374	1,287	1,101	0,754	0,458
Vandens garų tankis	kg/m ³	0,484	0,507	0,527	0,547	0,572
Masinis vandens garų debitas	kg/s	0,137	0,128	0,110	0,075	0,047
Sausų dūmų masinis debitas	kg/s	1,237	1,159	0,992	0,678	0,412
Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų	kg/kg _{s.d.}	0,111	0,110	0,111	0,111	0,114
Rasos taško temperatūra	°C	54,2	54,2	54,3	54,3	54,7
Priimama dūmų temperatūra po kondensacinio ekonomaizerio	°C	50	50	50	50	50
Iš katilo išeinančių dūmų temperatūra	°C	170	150	135	120	110
Atvėsusiųose dūmuose likusios drėgmės kiekis	kg/kg _{s.d.}	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
Dūmuose likusių vandens garų masinis debitas	kg/s	0,110	0,103	0,088	0,060	0,037
Susikondensavusių vandens garų masinis debitas	kg/s	0,027	0,025	0,022	0,015	0,010
Grįžtamoji termofikacinio vandens temperatūra	°C	46	44	41	37	32
Vandens slaptoji garavimo šiluma	kJ/kg	2382,3	2382,3	2382,3	2382,3	2382,3
Šilumos kiekis besikondensuojant vandeniui	kW	64,006	59,697	52,212	36,244	24,803
Drėgnų dūmų vidutinė savitoji šiluma	kJ/kgK	1,088	1,083	1,078	1,074	1,071
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Dūmų masinis debitas	kg/s	1,374	1,287	1,101	0,754	0,458
Ekonomaizeryje perduodamas šilumos kiekis dėl dūmų fizinės šilumos	kW	179,384	139,401	100,927	56,681	29,460
Kondensacinio ekonomaizerio galia	kW	243,390	199,098	153,139	92,925	54,263
Vidutinė specifinė vandens šiluma	kJ/kgK	4,174	4,174	4,174	4,174	4,174

Tūrinis termofikato debitas per ekonomazerį	m ³ /h	60	55	46	33	22
Termofikacinio vandens tankis	kg/m ³	989,74	989,74	989,74	989,74	989,74
Masinis termofikato debitas per ekonomazerį	kg/s	16,496	15,121	12,647	9,073	6,048
Termofikacinio vandens temperatūra po kondensacinio ekonomazerio	°C	49,5	47,2	43,9	39,5	34,1
Kompleksinis katilo ir kondensacinio ekonomazerio pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2743,390	2449,098	2028,139	1342,925	804,263
Katilo ir kondensacinio ekonomazerio komplekso naudingumo koeficientas		0,978	0,980	0,983	0,986	0,994
Komplekso naudingumo koeficientas, lyginant su katilo naudingumo koeficientu, padidės	%	8,7	8,0	7,4	6,8	6,7
Įrengus kondensacinį ekonomazerį bus sunaudojama medienos drožlių	kg/s	0,267	0,240	0,199	0,132	0,079
	kg/h	961,87	864,08	717,52	476,94	283,95
Komplekse per valandą sutaupoma medienos drožlių	kg/h	81,62	67,44	52,39	32,11	18,93
Kuro sutaupymas	%	7,82	7,24	6,80	6,31	6,25

13 Priedas. Dūmų kondensacinio ekonomizaizerio tikslingumo vertinimas kuro drėgmei 45 %

Dydis	Matavimo vienetas	Kintami katilo darbo režimai				
		100	90	75	50	30
Katilo galia	%	100	90	75	50	30
	MW	2,500	2,250	1,875	1,250	0,750
Per valandą pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2500	2250	1875	1250	750
Apatinis naudojamosios masės šilumingumas	kJ/kg	8565				
Reikalingas kuro kiekis neįvertinus katilo NVK	kg/s	0,292	0,263	0,219	0,146	0,088
Katilo NVK		0,88	0,89	0,90	0,91	0,92
Reikalingas kuro kiekis įvertinus katilo NVK	kg/s	0,327	0,292	0,241	0,159	0,095
Per valandą sunaudojamas kuro kiekis	kg/val	1176,88	1049,74	866,90	572,68	340,46
Pirminės kuro energijos kiekis	kWh	2840,909	2528,090	2083,333	1373,626	815,217
Kurui sudeginti reikalingas deguonies kiekis	kg/kg	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843
Oro tankis	kg/m ³	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967
Triatomų dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Drėgmės kiekis kure	%	45	45	45	45	45
Vandens garų tūris	m ³ /kg	1,038	1,038	1,038	1,038	1,038
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	5,921	5,921	5,921	5,921	5,921
Sekundinis iš kamino išmetamų dūmų tūris normaliomis sąlygomis	m ³ /s	1,936	1,727	1,426	0,942	0,560
Sekundinis vandens garų tūris	m ³ /s	0,339	0,303	0,250	0,165	0,098
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930

Masinis drėgnų dūmų debitas	kg/s	1,566	1,466	1,253	0,857	0,521
Vandens garų tankis	kg/m ³	0,484	0,507	0,527	0,547	0,572
Masinis vandens garų debitas	kg/s	0,164	0,153	0,132	0,090	0,056
Sausų dūmų masinis debitas	kg/s	1,402	1,312	1,122	0,767	0,465
Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų	kg/kg _{s.d.}	0,117	0,117	0,117	0,118	0,121
Rasos taško temperatūra	°C	55,1	55,1	55,2	55,2	55,6
Priimama dūmų temperatūra po kondensacinio ekonomaizerio	°C	50	50	50	50	50
Iš katilo išeinančių dūmų temperatūra	°C	170	150	135	120	110
Atvėsusiųose dūmuose likusios drėgmės kiekis	kg/kg _{s.d.}	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
Dūmuose likusių vandens garų masinis debitas	kg/s	0,124	0,117	0,100	0,068	0,041
Susikondensavusių vandens garų masinis debitas	kg/s	0,040	0,037	0,032	0,022	0,015
Grižtamoji termofikacinio vandens temperatūra	°C	46	44	41	37	32
Vandens slaptoji garavimo šiluma	kJ/kg	2382,3	2382,3	2382,3	2382,3	2382,3
Šilumos kiekis besikondensuojant vandeniui	kW	94,138	87,801	76,422	52,870	35,425
Drėgnų dūmų vidutinė savitoji šiluma	kJ/kgK	1,088	1,083	1,078	1,074	1,071
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Dūmų masinis debitas	kg/s	1,566	1,466	1,253	0,857	0,521
Ekonomaizeryje perduodamas šilumos kiekis dėl dūmų fizinės šilumos	kW	204,456	158,754	114,843	64,441	33,465
Kondensacinio ekonomaizerio galia	kW	298,594	246,555	191,264	117,312	68,890
Vidutinė specifinė vandens šiluma	kJ/kgK	4,174	4,174	4,174	4,174	4,174

Tūrinis termofikato debitas per ekonomazerį	m ³ /h	60	55	46	33	22
Termofikacinio vandens tankis	kg/m ³	989,74	989,74	989,74	989,74	989,74
Masinis termofikato debitas per ekonomazerį	kg/s	16,496	15,121	12,647	9,073	6,048
Termofikacinio vandens temperatūra po kondensacinio ekonomazerio	°C	50,3	47,9	44,6	40,1	34,7
Kompleksinis katilo ir kondensacinio ekonomazerio pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2798,594	2496,555	2066,264	1367,312	818,890
Katilo ir kondensacinio ekonomazerio komplekso naudingumo koeficientas		0,985	0,988	0,992	0,995	1,005
Komplekso naudingumo koeficientas, lyginant su katilo naudingumo koeficientu, padidės	%	10,5	9,8	9,2	8,5	8,5
Įrengus kondensacinį ekonomazerį bus sunaudojama medienos drožlių	kg/s	0,296	0,266	0,221	0,147	0,087
	kg/h	1066,44	957,51	794,55	527,81	313,82
Komplekse per valandą sutaupoma medienos drožlių	kg/h	110,44	92,23	72,35	44,87	26,64
Kuro sutaupymas	%	9,38	8,79	8,35	7,84	7,82

14 Priedas. Dūmų kondensacinio ekonomizerio tikslingumo vertinimas kuro drėgmei 50 %						
Dydis	Matavimo vienetas	Kintami katilo darbo režimai				
		100	90	75	50	30
Katilo galia	%	100	90	75	50	30
	MW	2,500	2,250	1,875	1,250	0,750
Per valandą pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2500	2250	1875	1250	750
Apatinis naudojamosios masės šilumingumas	kJ/kg	7564				
Reikalingas kuro kiekis neįvertinus katilo NVK	kg/s	0,331	0,297	0,248	0,165	0,099
Katilo NVK		0,867	0,878	0,889	0,900	0,910
Reikalingas kuro kiekis įvertinus katilo NVK	kg/s	0,374	0,334	0,275	0,182	0,108
Per valandą sunaudojamas kuro kiekis	kg/val	1348,10	1201,51	991,44	654,42	389,08
Pirminės kuro energijos kiekis	kWh	2883,506	2562,642	2109,111	1388,889	824,176
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	4,968	4,968	4,968	4,968	4,968
Triatomių dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Drėgmės kiekis kure	%	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Vandens garų tūris	m ³ /kg	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	5,984	5,984	5,984	5,984	5,984
Sekundinis iš kamino išmetamų dūmų tūris normaliomis sąlygomis	m ³ /s	2,241	1,997	1,648	1,088	0,647
Sekundinis vandens garų tūris	m ³ /s	0,412	0,367	0,303	0,200	0,119
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Masinis drėgnų dūmų debitas	kg/s	1,813	1,696	1,449	0,990	0,601
Vandens garų tankis	kg/m ³	0,484	0,507	0,527	0,547	0,572
Masinis vandens garų debitas	kg/s	0,199	0,186	0,160	0,109	0,068

Sausų dūmų masinis debitas	kg/s	1,614	1,509	1,289	0,881	0,533
Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų	kg/kg _{s.d.}	0,123	0,123	0,124	0,124	0,127
Rasos taško temperatūra	°C	56,0	56,0	56,1	56,1	56,5
Priimama dūmų temperatūra po kondensacinio ekonomaizerio	°C	50	50	50	50	50
Iš katilo išeinančių dūmų temperatūra	°C	170	150	135	120	110
Atvėsusiųose dūmuose likusios drėgmės kiekis	kg/kg _{s.d.}	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
Dūmuose likusių vandens garų masinis debitas	kg/s	0,143	0,134	0,114	0,078	0,047
Susikondensavusių vandens garų masinis debitas	kg/s	0,056	0,052	0,045	0,031	0,021
Grįžtamoji termofikacinio vandens temperatūra	°C	46	44	41	37	32
Vandens slaptoji garavimo šiluma	kJ/kg	2382,3	2382,3	2382,3	2382,3	2382,3
Šilumos kiekis besikondensuojant vandeniui	kW	132,949	123,964	107,543	74,222	49,099
Drėgnų dūmų vidutinė savitoji šiluma	kJ/kgK	1,088	1,083	1,078	1,074	1,071
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Dūmų masinis debitas	kg/s	1,813	1,696	1,449	0,990	0,601
Ekonomizaizeryje perduodamas šilumos kiekis dėl dūmų fizinės šilumos	kW	236,673	183,625	132,728	74,416	38,648
Kondensacinio ekonomaizerio galia	kW	369,622	307,589	240,271	148,638	87,747
Vidutinė specifinė vandens šiluma	kJ/kgK	4,174	4,174	4,174	4,174	4,174
Tūrinis termofikato debitas per ekonomazerį	m ³ /h	60	55	46	33	22
Termofikacinio vandens tankis	kg/m ³	989,74	989,74	989,74	989,74	989,74
Masinis termofikato debitas per ekonomazerį	kg/s	16,496	15,121	12,647	9,073	6,048

Termofikacinio vandens temperatūra po kondensacinio ekonomaizerio	°C	51,4	48,9	45,6	40,9	35,5
Kompleksinis katilo ir kondensacinio ekonomaizerio pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2869,622	2557,589	2115,271	1398,638	837,747
Katilo ir kondensacinio ekonomaizerio komplekso naudingumo koeficientas		0,995	0,998	1,003	1,007	1,016
Komplekso naudingumo koeficientas, lyginant su katilo naudingumo koeficientu, padidės	%	12,8	12,0	11,4	10,7	10,6
Įrengus kondensacinį ekonomaizerį bus sunaudojama medienos drožlių	kg/s	0,332	0,298	0,247	0,164	0,098
	kg/h	1195,58	1072,97	889,78	590,75	351,08
Komplekse per valandą sutaupoma medienos drožlių	kg/h	152,52	128,53	101,66	63,67	38,00
Kuro sutaupymas	%	11,31	10,70	10,25	9,73	9,77

15 Priedas. Dūmų kondensacinio ekonomizaizerio tikslingumo vertinimas kuro drėgmei 55 %

Dydis	Matavimo vienetas	Kintami katilo darbo režimai				
		100	90	75	50	30
Katilo galia	%	100	90	75	50	30
	MW	2,500	2,250	1,875	1,250	0,750
Per valandą pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2500	2250	1875	1250	750
Apatinis naudojamosios masės šilumingumas	kJ/kg	6563				
Reikalingas kuro kiekis neįvertinus katilo NVK	kg/s	0,381	0,343	0,286	0,190	0,114
Katilo NVK		0,850	0,862	0,874	0,887	0,898
Reikalingas kuro kiekis įvertinus katilo NVK	kg/s	0,438	0,390	0,322	0,212	0,126
Per valandą sunaudojamas kuro kiekis	kg/val	1577,02	1404,51	1158,08	763,14	453,36
Pirminės kuro energijos kiekis	kWh	2941,176	2610,209	2145,309	1409,245	835,189
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	4,968	4,968	4,968	4,968	4,968
Triatomų dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Drėgmės kiekis kure	%	55	55	55	55	55
Vandens garų tūris	m ³ /kg	1,162	1,162	1,162	1,162	1,162
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	6,046	6,046	6,046	6,046	6,046
Sekundinis iš kamino išmetamų dūmų tūris normaliomis sąlygomis	m ³ /s	2,648	2,359	1,945	1,282	0,761
Sekundinis vandens garų tūris	m ³ /s	0,509	0,453	0,374	0,246	0,146
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Masinis drėgnų dūmų debitas	kg/s	2,143	2,003	1,710	1,166	0,708
Vandens garų tankis	kg/m ³	0,484	0,507	0,527	0,547	0,572

Masinis vandens garų debitas	kg/s	0,246	0,230	0,197	0,135	0,084
Sausų dūmų masinis debitas	kg/s	1,897	1,773	1,513	1,032	0,624
Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų	kg/kg _{s.d.}	0,130	0,130	0,130	0,131	0,134
Rasos taško temperatūra	°C	56,8	56,8	56,9	56,9	57,3
Priimama dūmų temperatūra po kondensacinio ekonomaizerio	°C	50	50	50	50	50
Iš katilo išeinančių dūmų temperatūra	°C	170	150	135	120	110
Atvėsusiuose dūmuose likusios drėgmės kiekis	kg/kg _{s.d.}	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
Dūmuose likusių vandens garų masinis debitas	kg/s	0,168	0,157	0,134	0,092	0,055
Susikondensavusių vandens garų masinis debitas	kg/s	0,078	0,072	0,063	0,043	0,028
Grižtamoji termofikacinio vandens temperatūra	°C	46	44	41	37	32
Vandens slaptoji garavimo šiluma	kJ/kg	2382,3	2382,3	2382,3	2382,3	2382,3
Šilumos kiekis besikondensuojant vandeniui	kW	184,939	172,375	149,174	102,671	67,259
Drėgnų dūmų vidutinė savitoji šiluma	kJ/kgK	1,088	1,083	1,078	1,074	1,071
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Dūmų masinis debitas	kg/s	2,143	2,003	1,710	1,166	0,708
Ekonomaizeryje perduodamas šilumos kiekis dėl dūmų fizinės šilumos	kW	279,733	216,874	156,644	87,679	45,500
Kondensacinio ekonomaizerio galia	kW	464,672	389,249	305,818	190,350	112,759
Vidutinė specifinė vandens šiluma	kJ/kgK	4,174	4,174	4,174	4,174	4,174
Tūrinis termofikato debitas per ekonomaizerį	m ³ /h	60	55	46	33	22
Termofikacinio vandens tankis	kg/m ³	989,74	989,74	989,74	989,74	989,74

Masinis termofikato debitas per ekonomazerį	kg/s	16,496	15,121	12,647	9,073	6,048
Termofikacinio vandens temperatūra po kondensacinio ekonomazerio	°C	52,7	50,2	46,8	42,0	36,5
Kompleksinis katilo ir kondensacinio ekonomazerio pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2964,672	2639,249	2180,818	1440,350	862,759
Katilo ir kondensacinio ekonomazerio komplekso naudingumo koeficientas		1,008	1,011	1,017	1,022	1,033
Komplekso naudingumo koeficientas, lyginant su katilo naudingumo koeficientu, padidės	%	15,8	14,9	14,3	13,5	13,5
Įrengus kondensacinį ekonomazerį bus sunaudojama medienos drožlių	kg/s	0,378	0,339	0,281	0,186	0,111
	kg/h	1360,37	1220,46	1011,47	670,53	397,82
Komplekse per valandą sutaupoma medienos drožlių	kg/h	216,65	184,05	146,61	92,61	55,54
Kuro sutaupymas	%	13,74	13,10	12,66	12,14	12,25

16 Priedas. Dūmų kondensacinio ekonomizerio tikslingumo vertinimas kuro drėgmei 60 %						
Dydis	Matavimo vienetas	Kintami katilo darbo režimai				
		100	90	75	50	30
Katilo galia	%	100	90	75	50	30
	MW	2,500	2,250	1,875	1,250	0,750
Per valandą pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2500	2250	1875	1250	750
Apatinis naudojamosios masės šilumingumas	kJ/kg	5563				
Reikalingas kuro kiekis neįvertinus katilo NVK	kg/s	0,449	0,404	0,337	0,225	0,135
Katilo NVK		0,826	0,841	0,854	0,869	0,881
Reikalingas kuro kiekis įvertinus katilo NVK	kg/s	0,528	0,469	0,386	0,254	0,151
Per valandą sunaudojamas kuro kiekis	kg/val	1899,33	1687,56	1390,53	914,88	543,11
Pirminės kuro energijos kiekis	kWh	3026,634	2675,386	2195,550	1438,435	851,305
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	4,968	4,968	4,968	4,968	4,968
Triatomių dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Drėgmės kiekis kure	%	60	60	60	60	60
Vandens garų tūris	m ³ /kg	1,224	1,224	1,224	1,224	1,224
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	6,108	6,108	6,108	6,108	6,108
Sekundinis iš kamino išmetamų dūmų tūris normaliomis sąlygomis	m ³ /s	3,222	2,863	2,359	1,552	0,921
Sekundinis vandens garų tūris	m ³ /s	0,646	0,574	0,473	0,311	0,185
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Masinis drėgnų dūmų debitas	kg/s	2,607	2,431	2,074	1,412	0,857
Vandens garų tankis	kg/m ³	0,484	0,507	0,527	0,547	0,572
Masinis vandens garų debitas	kg/s	0,312	0,291	0,249	0,170	0,106

Sausų dūmų masinis debitas	kg/s	2,295	2,140	1,825	1,242	0,751
Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų	kg/kg _{s.d.}	0,136	0,136	0,137	0,137	0,141
Rasos taško temperatūra	°C	57,6	57,6	57,6	57,7	58,1
Priimama dūmų temperatūra po kondensacinio ekonomizerio	°C	50	50	50	50	50
Iš katilo išeinančių dūmų temperatūra	°C	170	150	135	120	110
Atvėsusiųose dūmuose likusios drėgmės kiekis	kg/kg _{s.d.}	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089
Dūmuose likusių vandens garų masinis debitas	kg/s	0,204	0,190	0,162	0,110	0,067
Susikondensavusių vandens garų masinis debitas	kg/s	0,108	0,101	0,087	0,060	0,039
Grįžtamoji termofikacinio vandens temperatūra	°C	46	44	41	37	32
Vandens slaptoji garavimo šiluma	kJ/kg	2382,3	2382,3	2382,3	2382,3	2382,3
Šilumos kiekis besikondensuojant vandeniui	kW	258,162	240,115	207,398	142,409	92,610
Drėgnų dūmų vidutinė savitoji šiluma	kJ/kgK	1,088	1,083	1,078	1,074	1,071
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Dūmų masinis debitas	kg/s	2,607	2,431	2,074	1,412	0,857
Ekonomizeryje perduodamas šilumos kiekis dėl dūmų fizinės šilumos	kW	340,360	263,253	190,013	106,191	55,066
Kondensacinio ekonomizerio galia	kW	598,522	503,367	397,411	248,600	147,677
Vidutinė specifinė vandens šiluma	kJ/kgK	4,174	4,174	4,174	4,174	4,174
Tūrinis termofikato debitas per ekonomizerį	m ³ /h	60	55	46	33	22
Termofikacinio vandens tankis	kg/m ³	989,74	989,74	989,74	989,74	989,74
Masinis termofikato debitas per ekonomizerį	kg/s	16,496	15,121	12,647	9,073	6,048

Termofikacinio vandens temperatūra po kondensacinio ekonomaizerio	°C	54,7	52,0	48,5	43,6	37,8
Kompleksinis katilo ir kondensacinio ekonomaizerio pagaminamas šilumos kiekis	kWh	3098,522	2753,367	2272,411	1498,600	897,677
Katilo ir kondensacinio ekonomaizerio komplekso naudingumo koeficientas		1,024	1,029	1,035	1,042	1,054
Komplekso naudingumo koeficientas, lyginant su katilo naudingumo koeficientu, padidės	%	19,8	18,8	18,1	17,3	17,3
Įrengus kondensacinį ekonomaizerį bus sunaudojama medienos drožlių	kg/s	0,439	0,393	0,325	0,215	0,127
	kg/h	1579,41	1413,61	1170,90	775,08	458,91
Komplekse per valandą sutaupoma medienos drožlių	kg/h	319,93	273,95	219,63	139,80	84,19
Kuro sutaupymas	%	16,84	16,23	15,79	15,28	15,50

17 Priedas. Dūmų kondensacinio ekonomizerio vertinimas gamybos efektyvumui kuro drėgmei 35 %						
Dydis	Matavimo vienetas	Kintami katilo darbo režimai				
	%	100	90	75	50	30
Katilo galia	MW	2,500	2,250	1,875	1,250	0,750
Per valandą pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2500	2250	1875	1250	750
Apatinis naudojamosios masės šilumingumas	kJ/kg	10566				
Reikalingas kuro kiekis neįvertinus katilo NVK	kg/s	0,237	0,213	0,177	0,118	0,071
Katilo NVK		0,900	0,908	0,916	0,925	0,933
Reikalingas kuro kiekis įvertinus katilo NVK	kg/s	0,260	0,233	0,192	0,127	0,076
Per valandą sunaudojamas kuro kiekis	kg/val	936,97	837,14	692,50	457,84	272,66
Pirminės kuro energijos kiekis	kWh	2778	2478	2047	1351	804
Kurui sudeginti reikalingas deguonies kiekis	kg/kg	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843
Oro tankis	kg/m ³	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967
Triatomių dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Drėgmės kiekis kure	%	35	35	35	35	35
Vandens garų tūris	m ³ /kg	0,914	0,914	0,914	0,914	0,914
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	5,797	5,797	5,797	5,797	5,797
Sekundinis iš kamino išmetamų dūmų tūris normaliomis sąlygomis	m ³ /s	1,509	1,348	1,115	0,737	0,439
Sekundinis vandens garų tūris	m ³ /s	0,238	0,212	0,176	0,116	0,069
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930

Masinis drėgnų dūmų debitas	kg/s	1,221	1,145	0,980	0,671	0,408
Vandens garų tankis	kg/m ³	0,484	0,507	0,527	0,547	0,572
Masinis vandens garų debitas	kg/s	0,115	0,108	0,093	0,064	0,040
Sausų dūmų masinis debitas	kg/s	1,106	1,037	0,888	0,607	0,369
Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų	kg/kg _{s.d.}	0,104	0,104	0,104	0,105	0,107
Rasos taško temperatūra	°C	53,2	53,2	53,3	53,3	53,7
Priimama dūmų temperatūra po ekonomazerio	°C	90	90	90	90	90
Iš katilo išeinančių dūmų temperatūra	°C	170	150	135	120	110
Atvėsusiuose dūmuose likusios drėgmės kiekis	kg/kg _{s.d.}	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060
Dūmuose likusių vandens garų masinis debitas	kg/s	1,172	1,099	0,941	0,644	0,391
Susikondensavusių vandens garų masinis debitas	kg/s	-1,057	-0,992	-0,849	-0,580	-0,351
Grįžtamoji termofikacinio vandens temperatūra	°C	46	44	41	37	32
Drėgnų dūmų vidutinė savitoji šiluma	kJ/kgK	1,088	1,083	1,078	1,074	1,071
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Dūmų masinis debitas	kg/s	1,221	1,145	0,980	0,671	0,408
Ekonomazeriye perduodamas šilumos kiekis dėl dūmų fizinės šilumos	kW	106,245	74,371	47,551	21,617	8,747
Vidutinė specifinė vandens šiluma	kJ/kgK	4,174	4,174	4,174	4,174	4,174
Tūrinis termofikato debitas per ekonomazerį	m ³ /h	60	55	46	33	22
Termofikacinio vandens tankis	kg/m ³	989,74	989,74	989,74	989,74	989,74
Masinis termofikato debitas per ekonomazerį	kg/s	16,496	15,121	12,647	9,073	6,048
Termofikacinio vandens temperatūra po ekonomazerio	°C	47,5	45,2	41,9	37,6	32,3

Kompleksinis katilo ir ekonomizaizerio pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2606,245	2324,371	1922,551	1271,617	758,747
Katilo ir ekonomizaizerio komplekso naudingumo koeficientas		0,938	0,938	0,939	0,941	0,944
Komplekso naudingumo koeficientas, lyginant su katilo naudingumo koeficientu, padidės	%	3,8	3,0	2,3	1,6	1,1
Įrengus ekonomizaizerį bus sunaudojama medienos drožlių	kg/s	0,251	0,226	0,188	0,125	0,075
	kg/h	904,39	814,13	677,66	451,02	269,88
Komplekse per valandą sutaupoma medienos drožlių	kg/h	32,58	23,01	14,84	6,81	2,78
Kuro sutaupymas	%	3,48	2,75	2,14	1,49	1,02

18 Priedas. Dūmų kondensacinio ekonomizaizerio vertinimas gamybos efektyvumui kuro drėgmei 40 %						
Dydis	Matavimo vienetas	Kintami katilo darbo režimai				
Katilo galia	%	100	90	75	50	30
	MW	2,500	2,250	1,875	1,250	0,750
Per valandą pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2500	2250	1875	1250	750
Apatinis naudojamosios masės šilumingumas	kJ/kg	9565				
Reikalingas kuro kiekis neįvertinus katilo NVK	kg/s	0,261	0,235	0,196	0,131	0,078
Katilo NVK		0,891	0,900	0,909	0,918	0,927
Reikalingas kuro kiekis įvertinus katilo NVK	kg/s	0,290	0,259	0,214	0,141	0,084
Per valandą sunaudojamas kuro kiekis	kg/val	1043,49	931,52	769,92	509,04	302,89
Pirminės kuro energijos kiekis	kWh	2806	2500	2063	1362	809
Kurui sudeginti reikalingas deguonies kiekis	kg/kg	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843
Oro tankis	kg/m ³	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967
Triatomių dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Drėgmės kiekis kure	%	40	40	40	40	40
Vandens garų tūris	m ³ /kg	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	5,859	5,859	5,859	5,859	5,859
Sekundinis iš kamino išmetamų dūmų tūris normaliomis sąlygomis	m ³ /s	1,698	1,516	1,253	0,828	0,493
Sekundinis vandens garų tūris	m ³ /s	0,283	0,252	0,209	0,138	0,082
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930

Masinis drėgnų dūmų debitas	kg/s	1,374	1,287	1,101	0,754	0,458
Vandens garų tankis	kg/m ³	0,484	0,507	0,527	0,547	0,572
Masinis vandens garų debitas	kg/s	0,137	0,128	0,110	0,075	0,047
Sausų dūmų masinis debitas	kg/s	1,237	1,159	0,992	0,678	0,412
Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų	kg/kg _{s.d.}	0,111	0,110	0,111	0,111	0,114
Rasos taško temperatūra	°C	54,2	54,2	54,3	54,3	54,7
Priimama dūmų temperatūra po ekonomizerio	°C	90	90	90	90	90
Iš katilo išeinančių dūmų temperatūra	°C	170	150	135	120	110
Atvėsusiuose dūmuose likusios drėgmės kiekis	kg/kg _{s.d.}	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060
Dūmuose likusių vandens garų masinis debitas	kg/s	1,312	1,229	1,051	0,719	0,436
Susikondensavusių vandens garų masinis debitas	kg/s	-1,175	-1,101	-0,941	-0,644	-0,389
Grįžtamoji termofikacinio vandens temperatūra	°C	46	44	41	37	32
Drėgnų dūmų vidutinė savitoji šiluma	kJ/kgK	1,088	1,083	1,078	1,074	1,071
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Dūmų masinis debitas	kg/s	1,374	1,287	1,101	0,754	0,458
Ekonomizeryje perduodamas šilumos kiekis dėl dūmų fizinės šilumos	kW	119,589	83,641	53,432	24,292	9,820
Vidutinė specifinė vandens šiluma	kJ/kgK	4,174	4,174	4,174	4,174	4,174
Tūrinis termofikato debitas per ekonomizerį	m ³ /h	60	55	46	33	22
Termofikacinio vandens tankis	kg/m ³	989,74	989,74	989,74	989,74	989,74
Masinis termofikato debitas per ekonomizerį	kg/s	16,496	15,121	12,647	9,073	6,048

Termofikacinio vandens temperatūra po kondensacinio ekonomaizerio	°C	47,7	45,3	42,0	37,6	32,4
Kompleksinis katilo ir ekonomaizerio pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2619,589	2333,641	1928,432	1274,292	759,820
Katilo ir ekonomaizerio komplekso naudingumo koeficientas		0,934	0,933	0,935	0,936	0,939
Komplekso naudingumo koeficientas, lyginant su katilo naudingumo koeficientu, padidės	%	4,3	3,3	2,6	1,8	1,2
Įrengus ekonomaizerį bus sunaudojama medienos drožlių	kg/s	0,279	0,251	0,209	0,139	0,083
	kg/h	1003,39	903,19	751,64	500,65	299,46
Komplekse per valandą sutaupoma medienos drožlių	kg/h	40,10	28,33	18,28	8,39	3,43
Kuro sutaupymas	%	3,84	3,04	2,37	1,65	1,13

19 Priedas. Dūmų kondensacinio ekonomizaizerio vertinimas gamybos efektyvumui kuro drėgmei 45 %						
Dydis	Matavimo vienetas	Kintami katilo darbo režimai				
Katilo galia	%	100	90	75	50	30
	MW	2,500	2,250	1,875	1,250	0,750
Per valandą pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2500	2250	1875	1250	750
Apatinis naudojamosios masės šilumingumas	kJ/kg	8565				
Reikalingas kuro kiekis neįvertinus katilo NVK	kg/s	0,292	0,263	0,219	0,146	0,088
Katilo NVK		0,88	0,89	0,90	0,91	0,92
Reikalingas kuro kiekis įvertinus katilo NVK	kg/s	0,327	0,292	0,241	0,159	0,095
Per valandą sunaudojamas kuro kiekis	kg/val	1176,88	1049,74	866,90	572,68	340,46
Pirminės kuro energijos kiekis	kWh	2840,909	2528,090	2083,333	1373,626	815,217
Kurui sudeginti reikalingas deguonies kiekis	kg/kg	0,843	0,843	0,843	0,843	0,843
Oro tankis	kg/m ³	1,293	1,293	1,293	1,293	1,293
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	4,967	4,967	4,967	4,967	4,967
Triatomių dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Drėgmės kiekis kure	%	45	45	45	45	45
Vandens garų tūris	m ³ /kg	1,038	1,038	1,038	1,038	1,038
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	5,921	5,921	5,921	5,921	5,921
Sekundinis iš kamino išmetamų dūmų tūris normaliomis sąlygomis	m ³ /s	1,936	1,727	1,426	0,942	0,560
Sekundinis vandens garų tūris	m ³ /s	0,339	0,303	0,250	0,165	0,098
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930

Masinis drėgnų dūmų debitas	kg/s	1,566	1,466	1,253	0,857	0,521
Vandens garų tankis	kg/m ³	0,484	0,507	0,527	0,547	0,572
Masinis vandens garų debitas	kg/s	0,164	0,153	0,132	0,090	0,056
Sausų dūmų masinis debitas	kg/s	1,402	1,312	1,122	0,767	0,465
Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų	kg/kg _{s.d.}	0,117	0,117	0,117	0,118	0,121
Rasos taško temperatūra	°C	55,1	55,1	55,2	55,2	55,6
Priimama dūmų temperatūra po ekonomazerio	°C	90	90	90	90	90
Iš katilo išeinančių dūmų temperatūra	°C	170	150	135	120	110
Atvėsusiuose dūmuose likusios drėgmės kiekis	kg/kg _{s.d.}	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060
Dūmuose likusių vandens garų masinis debitas	kg/s	1,487	1,392	1,189	0,813	0,493
Susikondensavusių vandens garų masinis debitas	kg/s	-1,323	-1,238	-1,058	-0,723	-0,437
Grįžtamoji termofikacinio vandens temperatūra	°C	46	44	41	37	32
Drėgnų dūmų vidutinė savitoji šiluma	kJ/kgK	1,088	1,083	1,078	1,074	1,071
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Dūmų masinis debitas	kg/s	1,566	1,466	1,253	0,857	0,521
Ekonomazeriye perduodamas šilumos kiekis dėl dūmų fizinės šilumos	kW	136,304	95,252	60,799	27,618	11,155
Vidutinė specifinė vandens šiluma	kJ/kgK	4,174	4,174	4,174	4,174	4,174
Tūrinis termofikato debitas per ekonomazerį	m ³ /h	60	55	46	33	22
Termofikacinio vandens tankis	kg/m ³	989,74	989,74	989,74	989,74	989,74
Masinis termofikato debitas per ekonomazerį	kg/s	16,496	15,121	12,647	9,073	6,048
Termofikacinio vandens temperatūra po ekonomazerio	°C	48,0	45,5	42,2	37,7	32,4

Kompleksinis katilo ir ekonomizaizerio pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2636,304	2345,252	1935,799	1277,618	761,155
Katilo ir ekonomizaizerio komplekso naudingumo koeficientas		0,928	0,928	0,929	0,930	0,934
Komplekso naudingumo koeficientas, lyginant su katilo naudingumo koeficientu, padidės	%	4,8	3,8	2,9	2,0	1,4
Įrengus ekonomizaizerį bus sunaudojama medienos drožlių	kg/s	0,313	0,282	0,234	0,156	0,093
	kg/h	1126,47	1014,11	843,90	562,12	336,14
Komplekse per valandą sutaupoma medienos drožlių	kg/h	50,42	35,63	23,00	10,56	4,31
Kuro sutaupymas	%	4,28	3,39	2,65	1,84	1,27

20 Priedas. Dūmų kondensacinio ekonomizerio vertinimas gamybos efektyvumui kuro drėgmei 50 %						
Dydis	Matavimo vienetas	Kintami katilo darbo režimai				
		100	90	75	50	30
Katilo galia	%	100	90	75	50	30
	MW	2,500	2,250	1,875	1,250	0,750
Per valandą pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2500	2250	1875	1250	750
Apatinis naudojamosios masės šilumingumas	kJ/kg	7564				
Reikalingas kuro kiekis neįvertinus katilo NVK	kg/s	0,331	0,297	0,248	0,165	0,099
Katilo NVK		0,867	0,878	0,889	0,900	0,910
Reikalingas kuro kiekis įvertinus katilo NVK	kg/s	0,374	0,334	0,275	0,182	0,108
Per valandą sunaudojamas kuro kiekis	kg/val	1348,10	1201,51	991,44	654,42	389,08
Pirminės kuro energijos kiekis	kWh	2883,506	2562,642	2109,111	1388,889	824,176
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	4,968	4,968	4,968	4,968	4,968
Triatomių dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Drėgmės kiekis kure	%	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Vandens garų tūris	m ³ /kg	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	5,984	5,984	5,984	5,984	5,984
Sekundinis iš kamino išmetamų dūmų tūris normaliomis sąlygomis	m ³ /s	2,241	1,997	1,648	1,088	0,647
Sekundinis vandens garų tūris	m ³ /s	0,412	0,367	0,303	0,200	0,119
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Masinis drėgnų dūmų debitas	kg/s	1,813	1,696	1,449	0,990	0,601
Vandens garų tankis	kg/m ³	0,484	0,507	0,527	0,547	0,572

Masinis vandens garų debitas	kg/s	0,199	0,186	0,160	0,109	0,068
Sausų dūmų masinis debitas	kg/s	1,614	1,509	1,289	0,881	0,533
Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų	kg/kg _{s.d.}	0,123	0,123	0,124	0,124	0,127
Rasos taško temperatūra	°C	56,0	56,0	56,1	56,1	56,5
Priimama dūmų temperatūra po ekonomazerio	°C	90	90	90	90	90
Iš katilo išeinančių dūmų temperatūra	°C	170	150	135	120	110
Atvėsusiųose dūmuose likusios drėgmės kiekis	kg/kg _{s.d.}	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060
Dūmuose likusių vandens garų masinis debitas	kg/s	1,711	1,600	1,367	0,934	0,566
Susikondensavusių vandens garų masinis debitas	kg/s	-1,512	-1,414	-1,207	-0,824	-0,498
Grįžtamoji termofikacinio vandens temperatūra	°C	46	44	41	37	32
Drėgnų dūmų vidutinė savitoji šiluma	kJ/kgK	1,088	1,083	1,078	1,074	1,071
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Dūmų masinis debitas	kg/s	1,813	1,696	1,449	0,990	0,601
Ekonomazeriye perduodamas šilumos kiekis dėl dūmų fizinės šilumos	kW	157,782	110,175	70,268	31,893	12,883
Vidutinė specifinė vandens šiluma	kJ/kgK	4,174	4,174	4,174	4,174	4,174
Tūrinis termofikato debitas per ekonomazerį	m ³ /h	60	55	46	33	22
Termofikacinio vandens tankis	kg/m ³	989,74	989,74	989,74	989,74	989,74
Masinis termofikato debitas per ekonomazerį	kg/s	16,496	15,121	12,647	9,073	6,048
Termofikacinio vandens temperatūra poekonomazerio	°C	48,3	45,7	42,3	37,8	32,5

Kompleksinis katilo ir ekonomizaizerio pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2657,782	2360,175	1945,268	1281,893	762,883
Katilo ir kondensacinio ekonomizaizerio komplekso naudingumo koeficientas		0,922	0,921	0,922	0,923	0,926
Komplekso naudingumo koeficientas, lyginant su katilo naudingumo koeficientu, padidės	%	5,5	4,3	3,3	2,3	1,6
Įrengus kondensacinį ekonomizaizerį bus sunaudojama medienos drožlių	kg/s	0,356	0,321	0,267	0,178	0,107
	kg/h	1282,99	1155,47	961,71	640,75	383,50
Komplekse per valandą sutaupoma medienos drožlių	kg/h	65,11	46,04	29,73	13,66	5,58
Kuro sutaupymas	%	4,83	3,83	3,00	2,09	1,43

21 Priedas. Dūmų kondensacinio ekonomazerio vertinimas gamybos efektyvumui kuro drėgmei 55 %						
Dydis	Matavimo vienetas	Kintami katilo darbo režimai				
		100	90	75	50	30
Katilo galia	%	100	90	75	50	30
	MW	2,500	2,250	1,875	1,250	0,750
Per valandą pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2500	2250	1875	1250	750
Apatinis naudojamosios masės šilumingumas	kJ/kg	6563				
Reikalingas kuro kiekis neįvertinus katilo NVK	kg/s	0,381	0,343	0,286	0,190	0,114
Katilo NVK		0,850	0,862	0,874	0,887	0,898
Reikalingas kuro kiekis įvertinus katilo NVK	kg/s	0,438	0,390	0,322	0,212	0,126
Per valandą sunaudojamas kuro kiekis	kg/val	1577,02	1404,51	1158,08	763,14	453,36
Pirminės kuro energijos kiekis	kWh	2941,176	2610,209	2145,309	1409,245	835,189
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	4,968	4,968	4,968	4,968	4,968
Triatomių dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Drėgmės kiekis kure	%	55	55	55	55	55
Vandens garų tūris	m ³ /kg	1,162	1,162	1,162	1,162	1,162
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	6,046	6,046	6,046	6,046	6,046
Sekundinis iš kamino išmetamų dūmų tūris normaliomis sąlygomis	m ³ /s	2,648	2,359	1,945	1,282	0,761
Sekundinis vandens garų tūris	m ³ /s	0,509	0,453	0,374	0,246	0,146
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Masinis drėgnų dūmų debitas	kg/s	2,143	2,003	1,710	1,166	0,708
Vandens garų tankis	kg/m ³	0,484	0,507	0,527	0,547	0,572

Masinis vandens garų debitas	kg/s	0,246	0,230	0,197	0,135	0,084
Sausų dūmų masinis debitas	kg/s	1,897	1,773	1,513	1,032	0,624
Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų	kg/kg _{s.d.}	0,130	0,130	0,130	0,131	0,134
Rasos taško temperatūra	°C	56,8	56,8	56,9	56,9	57,3
Priimama dūmų temperatūra po ekonomazerio	°C	90	90	90	90	90
Iš katilo išeinančių dūmų temperatūra	°C	170	150	135	120	110
Atvėsusiųose dūmuose likusios drėgmės kiekis	kg/kg _{s.d.}	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060
Dūmuose likusių vandens garų masinis debitas	kg/s	2,011	1,880	1,604	1,094	0,662
Susikondensavusių vandens garų masinis debitas	kg/s	-1,765	-1,650	-1,407	-0,959	-0,578
Grįžtamoji termofikacinio vandens temperatūra	°C	46	44	41	37	32
Drėgnų dūmų vidutinė savitoji šiluma	kJ/kgK	1,088	1,083	1,078	1,074	1,071
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Dūmų masinis debitas	kg/s	2,143	2,003	1,710	1,166	0,708
Ekonomazeryje perduodamas šilumos kiekis dėl dūmų fizinės šilumos	kW	186,488	130,124	82,929	37,577	15,167
Vidutinė specifinė vandens šiluma	kJ/kgK	4,174	4,174	4,174	4,174	4,174
Tūrinis termofikato debitas per ekonomazerį	m ³ /h	60	55	46	33	22
Termofikacinio vandens tankis	kg/m ³	989,74	989,74	989,74	989,74	989,74
Masinis termofikato debitas per ekonomazerį	kg/s	16,496	15,121	12,647	9,073	6,048
Termofikacinio vandens temperatūra po ekonomazerio	°C	48,7	46,1	42,6	38,0	32,6

Kompleksinis katilo ir ekonomizaizerio pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2686,488	2380,124	1957,929	1287,577	765,167
Katilo ir ekonomizaizerio komplekso naudingumo koeficientas		0,913	0,912	0,913	0,914	0,916
Komplekso naudingumo koeficientas, lyginant su katilo naudingumo koeficientu, padidės	%	6,3	5,0	3,9	2,7	1,8
Įrengus ekonomizaizerį bus sunaudojama medienos drožlių	kg/s	0,414	0,373	0,311	0,207	0,124
	kg/h	1490,07	1342,98	1118,33	744,86	445,89
Komplekse per valandą sutaupoma medienos drožlių	kg/h	86,95	61,53	39,76	18,28	7,47
Kuro sutaupymas	%	5,51	4,38	3,43	2,40	1,65

22 Priedas. Dūmų kondensacinio ekonomazerio vertinimas gamybos efektyvumui kuro drėgmei 60 %

Dydis	Matavimo vienetas	Kintami katilo darbo režimai				
		100	90	75	50	30
Katilo galia	%	100	90	75	50	30
	MW	2,500	2,250	1,875	1,250	0,750
Per valandą pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2500	2250	1875	1250	750
Apatinis naudojamosios masės šilumingumas	kJ/kg	5563				
Reikalingas kuro kiekis neįvertinus katilo NVK	kg/s	0,449	0,404	0,337	0,225	0,135
Katilo NVK		0,826	0,841	0,854	0,869	0,881
Reikalingas kuro kiekis įvertinus katilo NVK	kg/s	0,528	0,469	0,386	0,254	0,151
Per valandą sunaudojamas kuro kiekis	kg/val	1899,33	1687,56	1390,53	914,88	543,11
Pirminės kuro energijos kiekis	kWh	3026,634	2675,386	2195,550	1438,435	851,305
Teorinis degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	3,105	3,105	3,105	3,105	3,105
Oro pertekliaus koeficientas		1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Degimui reikalingas oro tūris	m ³ /kg	4,968	4,968	4,968	4,968	4,968
Triatomių dujų tūris	m ³ /kg	0,565	0,565	0,565	0,565	0,565
Azoto tūris	m ³ /kg	2,456	2,456	2,456	2,456	2,456
Drėgmės kiekis kure	%	60	60	60	60	60
Vandens garų tūris	m ³ /kg	1,224	1,224	1,224	1,224	1,224
Bendras degimo produktų tūris	m ³ /kg	6,108	6,108	6,108	6,108	6,108
Sekundinis iš kamino išmetamų dūmų tūris normaliomis sąlygomis	m ³ /s	3,222	2,863	2,359	1,552	0,921
Sekundinis vandens garų tūris	m ³ /s	0,646	0,574	0,473	0,311	0,185
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Masinis drėgnų dūmų debitas	kg/s	2,607	2,431	2,074	1,412	0,857
Vandens garų tankis	kg/m ³	0,484	0,507	0,527	0,547	0,572

Masinis vandens garų debitas	kg/s	0,312	0,291	0,249	0,170	0,106
Sausų dūmų masinis debitas	kg/s	2,295	2,140	1,825	1,242	0,751
Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų	kg/kg _{s.d.}	0,136	0,136	0,137	0,137	0,141
Rasos taško temperatūra	°C	57,6	57,6	57,6	57,7	58,1
Priimama dūmų temperatūra po ekonomazerio	°C	90	90	90	90	90
Iš katilo išeinančių dūmų temperatūra	°C	170	150	135	120	110
Atvėsusiųose dūmuose likusios drėgmės kiekis	kg/kg _{s.d.}	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060
Dūmuose likusių vandens garų masinis debitas	kg/s	2,433	2,269	1,935	1,317	0,797
Susikondensavusių vandens garų masinis debitas	kg/s	-2,121	-1,978	-1,686	-1,147	-0,691
Grįžtamoji termofikacinio vandens temperatūra	°C	46	44	41	37	32
Drėgnų dūmų vidutinė savitoji šiluma	kJ/kgK	1,088	1,083	1,078	1,074	1,071
Dūmų tankis	kg/m ³	0,809	0,849	0,879	0,910	0,930
Dūmų masinis debitas	kg/s	2,607	2,431	2,074	1,412	0,857
Ekonomazeriye perduodamas šilumos kiekis dėl dūmų fizinės šilumos	kW	226,906	157,952	100,595	45,510	18,355
Vidutinė specifinė vandens šiluma	kJ/kgK	4,174	4,174	4,174	4,174	4,174
Tūrinis termofikato debitas per ekonomazerį	m ³ /h	60	55	46	33	22
Termofikacinio vandens tankis	kg/m ³	989,74	989,74	989,74	989,74	989,74
Masinis termofikato debitas per ekonomazerį	kg/s	16,496	15,121	12,647	9,073	6,048
Termofikacinio vandens temperatūra po ekonomazerio	°C	46,0	46,5	42,9	38,2	32,7

Kompleksinis katilo ir ekonomizaizerio pagaminamas šilumos kiekis	kWh	2726,906	2407,952	1975,595	1295,510	768,355
Katilo ir kondensacinio ekonomizaizerio komplekso naudingumo koeficientas		0,901	0,900	0,900	0,901	0,903
Komplekso naudingumo koeficientas, lyginant su katilo naudingumo koeficientu, padidės	%	7,5	5,9	4,6	3,2	2,2
Įrengus kondensacinį ekonomizaizerį bus sunaudojama medienos drožlių	kg/s	0,494	0,445	0,371	0,247	0,148
	kg/h	1778,05	1601,60	1334,93	889,29	532,64
Komplekse per valandą sutaupoma medienos drožlių	kg/h	121,29	85,96	55,59	25,59	10,46
Kuro sutaupymas	%	6,39	5,09	4,00	2,80	1,93