

Žemiau rasos taško temperatūros vėsinamų dūmų šilumos panaudojimo galimybių įvertinimas

Kazys Marcinauskas,

Irena Korsakienė

*Lietuvos energetikos institutas,
Efektyvaus energijos naudojimo
tyrimų ir informacijos centras,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas,
el. paštas: korsak@mail.lei.lt*

Petras Kuzmickas

*UAB „Germeda“,
K. Būgos g. 46, LT-44326 Kaunas,
el. paštas: germeda@takas.lt*

Deginant gamtines dujas iš katilų šalinamuose dūmuose yra daug vandens garų, kurių kondensacijos šiluma iki pastarųjų metų Lietuvoje nebuvo naudojama. Naudojant kondensacinius ekonomizerius dūmai vėsinami žemiau rasos taško temperatūros, panaudojama ne tik dalis vėsinamų dūmų fizinės šilumos, bet ir dalis dūmuose esančių vandens garų kondensacijos šilumos, taupomas brangus kuras – gamtinės dujos, mažėja aplinkos oro tarša šiltnamio dujomis.

Straipsnyje pateiktas žemiau rasos taško temperatūros vėsinamų dūmų šilumos panaudojimo vienoje iš Anykščių miesto katilinių galimybių įvertinimas.

Raktažodžiai: rasos taško temperatūra, kondensacinis ekonomizeris

1. ĮVADAS

Kuro savitąją degimo šilumą (kaloringumą) vadinamas šilumos, išsiskiriančios visiškai sudegant 1 kg kietojo bei skystojo arba 1 nm³ dujinio kuro, kiekis. Naudojamos dvi kuro savitosios degimo šilumos sąvokos: aukštutinė – Q_a ir žemutinė – Q_z. Skirtumas tarp jų tik tas, kad aukštutinė savitoji degimo šiluma apima šilumą, išsiskiriančią kondensuojantis dūmuose esantiems vandens garams.

Šiuolaikiniuose energetiniuose katiluose šilumos nuostoliai su išeinančiais dūmais (q_z) įvertina tik fizinę dūmų šilumą ir sudaro 4–5%, o katilo naudingumo koeficientas siekia 92–93%. Atliekant katilo šiluminį skaičiavimą katilų šiluminio skaičiavimo normatyviniu metodu [1], sudaromas katilo šiluminis balansas, kuriame disponuojamas šilumos kiekis skaičiuojamas naudojant kuro žemutinę savitąją degimo šilumą. Deginant gamtines dujas cheminių reakcijų metu susidaro daug vandens garų, kurių kondensacijos šiluma normatyviniu metodu neįvertinama, nes normatyvinis metodas ir kiti norminiai dokumentai nurodo, kad iš katilo išeinančių dūmų temperatūra privalo būti keliolika laipsnių aukštesnė už rasos taško temperatūrą, t. y. kad kamine neprasidėtų dūmuose esančių vandens garų kondensacija. Normatyvinis metodas taip pat neįvertina ir į katilą tiekiamame ore esančios drėgmės (jau vandens garų pavidalu) kondensacijos šilumos.

Esant teoriniam dujų degimui, t. y. kai oro pertekliaus koeficientas α = 1,0, iš 1 nm³ gamtinių dujų susidaro ~10,55 nm³ dūmų, kuriuose yra ~2,0 nm³ van-

dens garų. Šilumos nuostoliai dėl dūmuose esančių vandens garų kondensacijos šilumos nepanaudojimo sudaro: – skaičiuojant pagal kuro žemutinę savitąją degimo šilumą

$$q_{H_2O}^z = V_{H_2O} \times \rho_{H_2O} \times r \times 100 : Q_z \quad \%; \quad (1)$$

čia V_{H₂O} – vandens garų tūris nm³/nm³,
ρ_{H₂O} – vandens garų tankis kg/nm³,
r – slaptoji garavimo (kondensacijos) šiluma, kJ/kg,
Q_z – kuro žemutinė savitoji degimo šiluma, kJ/nm³,
q_{H₂O}^z = 2,0 × 0,804 × 2500,8 × 100 : 35942 = 11,19%;
– skaičiuojant pagal kuro aukštutinę savitąją degimo šilumą

$$q_{H_2O}^a = V_{H_2O} \times \rho_{H_2O} \times r \times 100 : Q_a \quad \%; \quad (2)$$

čia Q_a – kuro aukštutinė savitoji degimo šiluma kJ/nm³;

$$Q_a = Q_z + V_{H_2O} \times \rho_{H_2O} \times r = 39963 \quad \text{kJ/nm}^3$$

$$\text{ir } q_{H_2O}^a = 10,06\%.$$

Tokiu būdu, deginant gamtines dujas, su dūmais į aplinką šalinami nemaži šilumos kiekiai. Didelę šios šilumos dalį galima panaudoti įrengiant kondensacinius ekonomizerius prie esamų katilų arba statant naujus katilus su kondensaciniais paviršiais.

Sovietų Sąjungoje iš katilų šalinamuose dūmuose esančių vandens garų kondensacijos šilumos panaudojimu domėtasi nuo praėjusio šimtmečio vidurio. Bene

pirmoji knyga, skirta šiai problemai spręsti (pastaba: nagrinėtas durpių deginimo atvejis), išleista 1957 m. [2]. Daugiausia dėmesio skirta kontaktinių kondensacinių ekonomaizerių tobulinimui. Šių tyrimų rezultatai išsamiai aptarti ir apibendrinti knygoje [3], kurioje pateikti ir konkretūs pramonės ir energetikos įmonėse įdiegtų kontaktinių ekonomaizerių pavyzdžiai.

Šiuo metu Lietuvoje jau keliose įmonėse prie veikiančių katilų yra įrengti kondensaciniai ekonomaizeriai, yra sumontuoti ir vandens šildymo katilų su kondensaciniais paviršiais.

Šiame straipsnyje pateikiama žemiau rasos taško temperatūros vėsinamų dūmų šilumos kiekio, kuris perduodamas kondensaciniame šilumokaityje termofikaciniam grįžtamos linijos vandeniui, skaičiavimas bei kondensacinio ekonomaizerio diegimo techninis ekonominis pagrindimas.

Skaičiavimams naudotos gamtinių dujų charakteristikos pateiktos 1 lentelėje.

Taip pat naudotasi Anykščių miesto Žemutinės dalies katilinėje veikiančio vandens šildymo katilo Nr. 1 režiminės kortelės duomenimis [5].

2. IŠ KATILŲ ŠALINAMŲ DŪMŲ KOMPONENČIŲ TŪRIO IR MASĖS SKAIČIAVIMAS BEI RASOS TAŠKO NUSTATYMAS

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

Į katilą tiekiamo oro ir katilė susidaranciu dūmų kai kurių komponentų tūrių skaičiavimo rezultatai priklaus

somai nuo konkrečios (žr. 1 lentelę) gamtinių dujų sudėties pateikti 2 lentelėje. Skaičiavimai atlikti 100-ūi nm^3 gamtinių dujų, t. y. esant normalioms sąlygoms (0°C ir $101,3 \text{ kPa}$).

Deginant $V_{g.d.} = 100 \text{ nm}^3$ gamtinių dujų, kai oro pertekliaus koeficientas $\alpha = 1,20$, susidariusių drėgnų dūmų tūris $V_{dr.d.} = 1264,646 \text{ nm}^3$, kuriuose esančių vandens garų tūris $V_{H_2O} = 218,248 \text{ nm}^3$. Tokiu būdu sausų dūmų tūris yra:

$$V_{s.d.} = V_{dr.d.} - V_{H_2O} \text{ nm}^3, \quad (3)$$

$$V_{s.d.} = 1264,646 - 218,248 = 1046,398 \text{ nm}^3.$$

Norint nustatyti drėgnų dūmų masę, visų pirma reikia apskaičiuoti sausų gamtinių dujų tankį:

$$\rho_{g.d.}^s = 0,01 \left(\rho_{CO_2} CO_2 + \rho_{N_2} N_2 + \rho_{O_2} O_2 + \sum \rho_{C_m H_n} C_m H_n \right) \text{ kg/nm}^3. \quad (4)$$

Į šią formulę įrašę gamtinių dujų tam tikrų komponentų procentines dalis ir tankių reikšmes iš 1 lentelės gausime, kad sausų gamtinių dujų tankis $\rho_{g.d.}^s = 0,7311 \text{ kg/nm}^3$.

Drėgnų dūmų masę randama naudojant formulę iš [1]:

$$G_{dr.d.} = (\rho_{g.d.}^s + \frac{d_{g.d.}}{1000}) \times V_{g.d.} + 1,306\alpha V^0 \text{ kg}, \quad (5)$$

$$G_{dr.d.} = 0,7311 \times 100 + 1,306 \times 1,20 \times 954,5 = 1569,002 \text{ kg};$$

čia $d_{g.d.}$ – drėgmės kiekis gamtinėse dujose g/nm^3 (nagrinėjamu atveju $d_{g.d.} = 0$);

$V_{g.d.}$ – deginamų gamtinių dujų kiekis nm^3 (nagrinėjamu atveju $V_{g.d.} = 100 \text{ nm}^3$);

1 lentelė. Gamtinių dujų charakteristikos

Gamtinių dujų sudėtis [AB „Lietuvos dujos“ duomenys]			Žinyno [4] duomenys esant normalioms sąlygoms (0°C ir $101,3 \text{ kPa}$)	
gaminė dujų komponentė	tūrinė dalis %		dujų tankis kg/nm^3	žemutinė savitoji degimo šiluma kJ/nm^3
Metanas CH_4	98,117		0,7168	35840
Etanas C_2H_6	0,700		1,3566	63730
Propanas C_3H_8	0,225		2,019	93370
I. Butanas C_4H_{10}	0,040		2,668	121840
N. Butanas C_4H_{10}	0,042		2,703	123770
I. Pentanas C_5H_{12}	0,009		3,221*	146340*
N. Pentanas C_5H_{12}	0,005		3,221*	146340*
Azotas N_2	0,811		1,2505	-
Deguonis O_2	0,009		1,429	-
Angliarūgštė CO_2	0,042		1,9768	-
Gamtinių dujų, kai $t_{g.d.} = 20^\circ\text{C}$: – žemutinė savitoji degimo šiluma 8000 kcal/m^3 ; – tankis $0,6837 \text{ kg/m}^3$.			* Žinyne [4] pateiktos bendros pentano charakteristikos.	

2 lentelė. Dūmų kiekių skaičiavimas, deginant 100 nm³ gamtinių dujų (esant normalioms sąlygoms: 0°C ir 101,3 kPa)

Poz. Nr.	Gamtinių dujų komponentės	Komponentių kiekis nm ³ 100-e nm ³ g.d.	Degimo reakcijos formulė	Oro kiekis nm ³			Degimo produktas nm ³					
				O ₂	N ₂	iš viso	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂	iš viso	
1	Metanas, CH ₄	98,117	CH ₄ +2O ₂ = CO ₂ +2H ₂ O	196,234	738,2136	934,4476	98,117	196,234	738,2136	-	-	-
2	Etanas, C ₂ H ₆	0,700	C ₂ H ₆ +3,5O ₂ = 2CO ₂ +3H ₂ O	2,450	9,2167	11,6667	1,400	2,100	9,2167	-	-	-
3	Propanas, C ₃ H ₈	0,225	C ₃ H ₈ +5O ₂ = 3CO ₂ +4H ₂ O	1,125	4,2321	5,3571	0,675	0,900	4,2321	-	-	-
4a	I. Butanas, C ₄ H ₁₀	0,040	C ₄ H ₁₀ +6,5O ₂ = 4CO ₂ +5H ₂ O	0,260	0,9781	1,2381	0,160	0,200	0,9781	-	-	-
4b	N. Butanas, C ₄ H ₁₀	0,042	C ₄ H ₁₀ +6,5O ₂ = 4CO ₂ +5H ₂ O	0,273	1,0270	1,3000	0,168	0,210	1,0270	-	-	-
5a	I. Pentanas, C ₅ H ₁₂	0,009	C ₅ H ₁₂ +8O ₂ = 5CO ₂ +6H ₂ O	0,072	0,2709	0,3429	0,045	0,054	0,2709	-	-	-
5b	N. Pentanas, C ₅ H ₁₂	0,005	C ₅ H ₁₂ +8O ₂ = 5CO ₂ +6H ₂ O	0,040	0,1505	0,1905	0,025	0,030	0,1505	-	-	-
6	Azotas, N ₂	0,811	-	-	-	-	-	-	0,8110	-	-	-
7	Degonius, O ₂	0,009	-	(-0,009)	(-0,0339)	(-0,0429)	-	-	(-0,0339)	-	-	-
8	Angliarūgštė, CO ₂	0,042	-	-	-	-	0,042	-	-	-	-	-
9	Iš viso	100,000	-	200,445	754,055	954,500	100,632	199,728	754,866	-	-	1055,226
10	Dujų drėgmė	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-
11	Oro drėgmė (d ₀ = 13 g/nm ³)	-	-	-	-	-	-	15,433	-	-	-	15,433
12	Iš viso, esant teoriniam dujų degimui (α = 1,0)	-	-	200,445	754,055	954,500	100,632	215,161	754,866	0	1073,406	-
13	Perteklinio oro kiekis α = 1,20	-	-	40,089	150,811	190,900	-	-	150,811	40,089	190,900	-
14	Papildomas drėgmės kiekis su pertekliniu oru	-	-	-	-	-	-	3,087	-	-	-	3,087
15	Iš viso, deginant dujas su pertekliniu oru (α = 1,20)	-	-	240,534	904,866	1145,400	100,632	218,248	905,677	40,089	1264,646	-

Pastaba. Azoto tūris skaičiuotas taikant proporciją N₂ : O₂ = 79 : 21.

V^o – teorinis oro kiekis nm³ (iš 2 lentelės $V^o = 954,500$ nm³).

Vandens garų masė drėgnuose dūmuose yra:

$$G_{H_2O} = V_{H_2O} \times \rho_{H_2O} \text{ kg}, \quad (6)$$

$$G_{H_2O} = 218,248 \times 0,804 = 175,471 \text{ kg};$$

čia ρ_{H_2O} – vandens garų tankis normaliomis sąlygomis, $\rho_{H_2O} = 0,804$ kg/nm³.

Sausų dūmų masė yra:

$$G_{s.d.} = G_{dr.d.} - G_{H_2O} \text{ kg}, \quad (7)$$

$$G_{s.d.} = 1569,002 - 175,471 = 1393,531 \text{ kg}.$$

Dūmuose esantis drėgmės kiekis, tenkantis 1 kg sausų dūmų, yra:

$$d_1 = G_{H_2O} : G_{s.d.} \times 1000 \text{ g/kg}_{s.d.}, \quad (8)$$

$$d_1 = 175,471 : 1393,531 \times 1000 = 125,918 \text{ g/kg}_{s.d.}$$

Vandens garų tūrinė dalis dūmuose (parcialinis slėgis) yra:

$$r_{H_2O} = V_{H_2O} : V_{dr.d.}, \quad (9)$$

$$r_{H_2O} = 218,248 : 1264,646 = 0,1726.$$

Rasos taško temperatūra, kurioje prasidės dūmuose esančių vandens garų kondensacija, randama iš žinyno [6] III.4 lentelės pagal apskaičiuotą vandens garų parcialinį slėgį arba naudojant straipsnyje [7] pateiktą formulę:

$$t_r = 37,6 \times \lg(250 \times d_1) \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (10)$$

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

$$t_r = 37,6 \times \lg(250 \times 0,125928) = 56,33^\circ\text{C}.$$

3. KONDENSACINIAME EKONOMAIZERYJE PERDUODAMOS ŠILUMOS KIEKIO SKAIČIAVIMAS

Vandens šildymo katilo BIASI NTN-AR-2500 režiminės kortelės duomenimis [5], katilui veikiant maksimalia gاليا, oro pertekliaus koeficientas yra 1,20, o iš katilo šalinamų dūmų temperatūra – 167,5°C. Kad kondensacinis ekonomizaizeris veiktų kuo efektyviau, reikia kuo šaltesnio vandens, kuriuo ekonomizaizeryje bus vėsiami dūmai. Dūmams vėsinti galima naudoti šilumos tinklų grįžtamos linijos

3 lentelė. Dūmų atiduodamos šilumos kiekis, juos vėsinant nuo 167,5 iki 56,33°C ir nuo 56,33 iki 52°C

Eil. Nr.	Rodiklis ir dimensija	Dūmų komponentės					Iš viso	Pastabos
		CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂			
1	Dūmų komponentės tūris prie $t_d = 0^\circ\text{C}$ m ³	100,632	218,248	905,677	40,089	1264,646	2 lent. 15 poz.	
2a	Dūmų komponentės tūrinė specifinė šiluma kJ/m ³ °C	1,75909	1,51681	1,30273	1,32951	-	Iš žinyno [4] 52 lentelės	
2b	$t_d = 56,33^\circ\text{C}$	1,65646	1,50044	1,29976	1,31255	-		
3a	Šilumos kiekis, kurį perneša dūmų komponentė, kJ	29650,98	55449,32	197625,31	8927,54	291653,15	$P1 \times P2a \times t_d$	
3b	$t_d = 56,33^\circ\text{C}$	9389,81	18446,27	66309,58	2964,02	97109,68	$P1 \times P2b \times t_d$	
4a	Dūmų atiduodamos šilumos kiekis	20261,17	37003,05	131315,73	5963,52	194543,47	P3a-P3b	
4b	kWh	5,6286	10,2794	36,4795	1,6567	54,0442	$P4a \times 277,8 \times 10^{-6}$	
5	Dūmų komponentės tūrinė specifinė šiluma kJ/m ³ °C	1,65211	1,49997	1,29968	1,31204	-	Iš žinyno [4] 52 lentelės	
1a	Likusių vandens garų tūris po kondensacijos, kai $t_d = 0^\circ\text{C}$, m ³	-	174,215	-	-	-	Iš (13) formulės	
6	Šilumos kiekis, kurį perneša dūmų komponentė, kJ	8645,27	13588,50	61208,70	2735,12	86177,59	$P1 \times P5 \times t_d$ (H ₂ O atveju P1a)	
7a	Dūmų atiduodamos šilumos kiekis	744,54	4857,77	5100,88	228,90	10932,09	P3b-P6	
7b	kWh	0,2068	1,3495	1,4170	0,0636	3,0369	$P7a \times 277,8 \times 10^{-6}$	
8	Kondensaciniame ekonomizaizeryje atiduodamos šilumos kiekis su dūmų fizine šiluma	5,8354	11,6289	37,8965	1,7203	57,0811	P4b+P7b	
9a	Deginant gamtines dujas cheminių reakcijų metu susidariusių vandens garų garinimo šilumos dėka	-	401581,75	-	-	-	$199,728 \text{ m}^3 \times 0,804 \text{ kg/m}^3 \times 2500,8 \text{ kJ/kg}$, t.y. $Q_a - Q_z$	
9b	dūmuose esančios šilumos kiekis	-	111,5594	-	-	-	$P9a \times 277,8 \times 10^{-6}$	
10a	Ore esančios drėgmės (vandens garų pavidalu) kondensacijos šilumos kiekis	-	37237,11	-	-	-	$18,520 \text{ m}^3 \times 0,804 \text{ kg/m}^3 \times 2500,8 \text{ kJ/kg}$	
10b	kWh	-	10,3445	-	-	-	$P10a \times 277,8 \times 10^{-6}$	
11	56,33–52°C temperatūrų intervale susikondensavusių vandens garų (kondensato) masė	-	35,401	-	-	-	Iš (15) formulės	
12a	Su kondensatu (atvėsusiu iki 42°C) į aplinką pašalintos šilumos kiekis	-	6208,01	-	-	-	$P11 \times 4,174 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 42^\circ\text{C}$	
12b	kWh	-	1,7246	-	-	1,7246	$P12a \times 277,8 \times 10^{-6}$	
13	56,33–52°C temperatūrų intervale susikondensavusių vandens garų tūris	-	44,033	-	-	-	P1 – P1a	
14a	Garų kondensacijos metu išsiskyriosios šilumos kiekis	-	88534,65	-	-	-	$P13 \times 0,804 \text{ kg/m}^3 \times 2500,8 \text{ kJ/kg}$	
14b	kWh	-	24,5949	-	-	24,5949	$P14a \times 277,8 \times 10^{-6}$	
15	Visas kondensaciniame ekonomizaizeryje termofikaciniam vandeniui perduotos šilumos kiekis	5,8354	34,4992	37,8965	1,7203	79,9514	P8 + P14b – P12b	

termofikacinį vandenį. Anykščių miesto Žemutinės dalies katilinėje grįžtančio termofikacinio vandens temperatūra $\sim 40^\circ\text{C}$ [5]. Taigi skaičiavimuose priimame $t_{gr}^{t.v.} = 40^\circ\text{C}$.

3 lentelėje pateikti šilumos, kurią atiduoda vėsdami dūmai (dūmų fizinė šiluma) ir besikondensuojantys dūmuose esantys vandens garai, kiekių skaičiavimo rezultatai. Į kondensacinį ekonomizaizerį tiekiant 40°C temperatūros termofikacinį grįžtamos linijos vandenį dūmai turėtų būti atvėsinami iki $\approx 52^\circ\text{C}$.

Dūmuose esantiems vandens garams kondensuojantis mažėja drėgmės kiekis dūmuose ir atitinkamai mažėja vandens garų tūris. Atvėsusiuose dūmuose likusios drėgmės kiekį galima rasti naudojant straipsnyje [8] pateiktą formulę:

$$d_2 = 0,004 e^{0,062t_d} \times 1000 \text{ g/kg}_{s.d.} \quad (11)$$

Dūmams atvėsus iki 52°C likusios drėgmės kiekis bus:

$$d_2 = 0,004 e^{0,062 \times 52} \times 1000 = 100,514 \text{ g/kg}_{s.d.}$$

Dūmuose likusių vandens garų masė bus:

$$G_{H_2O}^I = d_2 \times G_{s.d.} : 1000 \text{ kg}, \quad (12)$$

$$G_{H_2O}^I = 100,514 \times 1393,531 : 1000 = 140,069 \text{ kg},$$

o likusių vandens garų tūris (normaliomis sąlygomis) bus:

$$V_{H_2O}^I = G_{H_2O}^I : \rho_{H_2O} \text{ m}^3, \quad (13)$$

$$V_{H_2O}^I = 140,069 : 0,804 = 174,215 \text{ m}^3.$$

Kondensaciniame ekonomizaizeryje susikondensavusios drėgmės kiekis bus:

$$\Delta d = d_1 - d_2 \text{ g/kg}_{s.d.}, \quad (14)$$

$$\Delta d = 125,918 - 100,514 = 25,404 \text{ g/kg}_{s.d.}$$

Kondensato masė bus:

$$G_{kond.} = \Delta d \times G_{s.d.} : 1000 \text{ kg}, \quad (15)$$

$$G_{kond.} = 25,404 \times 1393,531 : 1000 = 35,401 \text{ kg}.$$

Šilumos mainai kondensaciniame ekonomizaizeryje vykstant vandens garų kondensacijai, kai dalis šilumokaičių vamzdelių padengta kondensato plėvele, yra labai sudėtingas procesas. Šilumos atidavimas vamzdziių sienelėms, kai jas apiplauna kondensatas, yra per eilę (10 kartų) geresnis, nei kai jas apiplauna tik dūmai. Todėl kondensatas turėtų atvėsti labiau negu dūmai.

Priimame, kad kondensatas atvės iki 42°C .

Iš 3 lentelės 15 poz. turime, kad dūmus ekonomizaizeryje vėsinant 40°C temperatūros termofikacinio van-

deniu, kondensaciniame ekonomizaizeryje termofikaciniam vandeniui bus perduotas šilumos kiekis $Q_{I \text{ kond. ek.}} = 79,9514 \text{ kWh}$, tarp jų $34,4992 \text{ kWh}$ tik dėl vandens garų kondensacijos šilumos.

Gamtinių dujų žemutinė savitoji degimo šiluma (kai 0°C ir $101,3 \text{ kPa}$) nustatoma naudojant formulę:

$$Q_z^s = 0,01[Q_{H_2S} H_2 S + Q_{CO} CO + Q_{H_2} H_2 + \Sigma(Q_{C_m H_n} C_m H_n)] \text{ kJ/nm}^3; \quad (16)$$

čia Q_{H_2S} , Q_{CO} , Q_{H_2} , $Q_{C_m H_n}$ – gamtinių dujų tam tikrų komponentų žemutinės savitosios degimo šilumos (1 lentelė); H_2S , CO , H_2 , $C_m H_n$ – tam tikrų komponentų tūrinės dalys (1 lentelė).

Pagal 1 lentelėje pateiktas gamtinių dujų charakteristikas, mūsų nagrinėjamu atveju gamtinių dujų žemutinė savitoji degimo šiluma $-Q_z^s = 35942,5 \text{ kJ/nm}^3 : 4,1868 \text{ kJ/kcal} = 8585 \text{ kcal/nm}^3$.

AB „Lietuvos dujos“ duomenis apie gamtinių dujų tankį ir žemutinę savitąją degimo šilumą (kaloringumą) pateikia, kai $t_{g.d.} = 20^\circ\text{C}$. Konkrečiu, mūsų nagrinėjamu, gamtinių dujų sudėties atveju buvo nurodyta, kad gamtinių dujų tankis $\rho = 0,6837 \text{ kg/m}^3$, o žemutinė savitoji degimo šiluma $-Q_z^s = 8000 \text{ kcal/m}^3$.

Gamtinių dujų tūris esant 0 ir 20°C temperatūroms skiriasi daugikliu $(273+20) : 273 = 1,07326$.

Tuo pačiu daugikliu skiriasi ir gamtinių dujų žemutinės savitosios degimo šilumos, kai $t_{g.d.} = 0^\circ\text{C}$ ir $t_{g.d.} = 20^\circ\text{C}$.

Teorinis šilumos kiekis deginant 100 nm^3 gamtinių dujų, kurių žemutinė savitoji degimo šiluma yra 8585 kcal/nm^3 , bus:

$$Q^s = 100 \times 8585 \times 1,163 \times 10^{-3} = 998,436 \text{ kWh}.$$

Katilo naudingumo koeficientas (pagal režiminę kortelę) $\eta_k = 91,9\%$, tad katilas pagamins šilumos:

$$Q_k = \eta_k \times Q^s : 100 \text{ kWh}, \quad (17)$$

$$Q_k = 91,9 \times 998,436 : 100 = 917,563 \text{ kWh}.$$

Komplekse „katilas + kondensacinis ekonomizaizeris“ pagamintas šilumos kiekis bus:

$$Q_{kompl.} = Q_k + Q_{kond. ek.} \text{ kWh}, \quad (18)$$

$$Q_{kompl.} = 917,536 + 79,951 = 997,406 \text{ kWh}.$$

Komplekso naudingumo koeficientas (skaičiuojant pagal žemutinę savitąją degimo šilumą) bus:

$$\eta_k = Q_{kompl.} : Q^s \times 100\%, \quad (19)$$

$$\eta_k = 997,406 : 998,436 \times 100 = 99,9\%,$$

t. y. komplekso „katilas + kondensacinis ekonomaizeris“ naudingumo koeficientas, lyginant su katilo naudingumo koeficientu, padidės:

$$\Delta\eta = \eta_{kompl.} - \eta_k \%, \quad (20)$$

$$\Delta\eta = 99,90 - 91,9 = 8,0\%.$$

Šis katilo su kondensaciniu ekonomaizeriu naudingumo koeficientas padidėja (lyginant su katilu be kondensacinio ekonomaizerio) todėl, kad „įsisavinama“ ne tik dūmų fizinė šiluma, vėsinant juos nuo 167,5 iki 52°C, bet ir dalis dūmuose esančių vandens garų kondensacijos šilumos.

4. KONDENSACINIO EKONOMAIZERIO STATYBOS ANYKŠČIŲ MIESTO ŽEMUTINĖS DALIES KATILINĖJE TECHNINIS EKONOMINIS PAGRINDIMAS

Iš Anykščių miesto Žemutinės dalies katilinėje esančio vandens šildymo katilo Nr. 1 režiminės kortelės turime, kad maksimalia galia veikiančiame katile per valandą sudeginama 335,5 m³ gamtinių dujų (g.d.) ($t_{g.d.} = 20^\circ\text{C}$), t. y. 312,6 nm³ g.d.

Katile be kondensacinio ekonomaizerio pagaminama šilumos:

$$Q_k = 312,6 \text{ nm}^3 \times 8585 \text{ kcal/nm}^3 \times 0,919 \times 0,001163 \text{ kWh/kcal} = 2868 \text{ kWh}.$$

Įrengus kondensacinį ekonomaizerį komplekse, gaminant 2868 kWh šilumos, bus sunaudota gamtinių dujų:

$$V_{g.d.} = 2868 \text{ kWh} : (8585 \text{ kcal/nm}^3 \times 0,999 \times 0,001163 \text{ kWh/kcal}) = 287,54 \text{ nm}^3 \text{ arba } 308,6 \text{ m}^3 \text{ g.d.}$$

Komplekse per valandą būtų taupoma gamtinių dujų:

$$335,5 - 308,6 = 26,9 \text{ m}^3 \text{ g.d.}$$

Taip būtų tuo atveju, jeigu per kondensacinį ekonomaizerį tekėtų visi iš katilo išeinantys dūmai. Šie dūmai, patekę į kaminą, būtų vėsinami toliau ir kamine susikondensuotą dalis garų, o tai neleistina. Galimos dvi išeitys: viena – tai gaminti kaminą iš nerūdijančio metalo, o tai papildomos išlaidos; kita – dalį dūmų (apie 15% jų tūrio, pagal užsienio šalių patirtį) nukreipti apėjimo kanalu už kondensacinio ekonomaizerio ir pašildyti iš jo išeinančius drėgnus dūmus, išvengiant vandens garų kondensacijos kamine. Tačiau kartu sumažėtų kondensaciniame ekonomaizeriye iš dūmų „įsisavinamos“ šilumos kiekiai ir būtų sušildoma tik 22,86 m³/val., t. y. 6,81% gamtinių dujų.

Kondensacinio ekonomaizerio šiluminė galia deginant katile 335,5 m³ gamtinių dujų per valandą ir įvertinus tai, kad 15% dūmų nepateks į kondensacinį ekonomaizerį, būtų:

$$335,5 : 1,07326 \times 79,951 \times 0,85 : 100 = 212,44 \text{ kW}.$$

Firmos „Viessmann“ gamybos kondensacinio ekonomaizerio Vitotrans 333 kataloge nurodyta, kad kondensacinio ekonomaizerio, jam veikiant kartu su katilu Vitomax 300 (katilo nominali galia 2,9 MW), šiluminė galia yra 305 kW (kai iš katilo šalinamų dūmų temperatūra 200°C, o į kondensacinį ekonomaizerį tiekiamo termofikacinio vandens temperatūra 40°C).

Mūsų nagrinėjamo Žemutinės dalies katilinės katilo Nr. 1 maksimali galia 2,87 MW, t. y. tokia pati kaip Vitomax 300, tačiau šalinamų dūmų temperatūra žemesnė – 167,5°C.

Kataloge pateiktas kondensacinio ekonomaizerio Vitotrans 333 šiluminės galios perskaičiavimo grafikas, iš kurio randame, kad, dūmų temperatūrai esant 167,5°C, šiluminės galios perskaičiavimo koeficientas turėtų būti ~0,82.

Taigi kondensacinio ekonomaizerio Vitotrans 333, sumontuoto Žemutinės dalies katilinėje kartu su katilu Nr. 1, įvertinant tai, kad pro jį praeis tik 85% dūmų, šiluminė galia turėtų būti:

$$305 \text{ kW} \times 0,82 \times 0,85 = 212,58 \text{ kW}.$$

Tai atitinka anksčiau apskaičiuotą kondensacinio ekonomaizerio šiluminę galią 212,44 kW.

Iš katalogo parenkame kondensacinį ekonomaizerį Vitotrans 333, kurio užsakymo numeris Z000746 ir kurio kaina (kartu su kondensato neutralizatoriumi) – 141100 Lt (be PVM).

2003 m. Žemutinės dalies katilinėje sudeginta 1452,281 tūkst. m³ gamtinių dujų, iš kurių ~85%, t. y. 1234,44 tūkst. m³, sudeginta šildymo sezonu, kai tiekias termofikacinis vanduo.

Nuo 2006 m. gegužės 24 d. (žr. [9]) neliko apribojimų taikant teisės akto [10] 143 punkto antrojo sakinio nuostatas. Anykščių m. Žemutinės dalies katilinėje, kurioje per metus deginama daugiau kaip 1 mln. m³ gamtinių dujų (pastaba: katilinė yra 5 grupės vartotojas), už sunaudotas gamtines dujas tenka mokėti 584,81 Lt/tūkst. m³ g.d. [11].

Priimame, kad per 2006–2007 m. šildymo sezoną bus sudeginta 1234,44 tūkst. m³ gamtinių dujų. Tad kondensacinis ekonomaizeris per šildymo sezoną leistų taupyti lėšų:

$$1234,44 \text{ tūkst. m}^3 \text{ g.d./š. sez.} \times 0,0681 \times 584,81 \text{ Lt/tūkst. m}^3 \text{ g.d.} = 49162 \text{ Lt/š. sez.}$$

Bendra investicijų suma kondensaciniame ekonomaizeriui įrengti Žemutinės dalies katilinėje, įskaitant kondensacinio ekonomaizerio bei kondensato neutralizatoriaus pirkimo išlaidas, įrangos montavimo bei projektavimo išlaidas – 165000 Lt (be PVM), o jų atsipirkimo trukmė:

$$165000 \text{ Lt} : 49162 \text{ Lt/š. sez.} \approx 3,36 \text{ š. sez.}$$

Būtina pažymėti, kad deginant 100 nm³ gamtinių dujų su dūmais į aplinką šalinama 100,632 nm³ CO₂ dujų (2 lentelės 12 poz.) – šiltnamio efektą didinančių dujų.

Žemutinės dalies katilinėje, įrengus kondensacinį ekonomizerį ir komplekse „katilas+kondensacinis ekonomizeris“ gaminant tą patį šilumos kiekį kaip ir katilė be kondensacinio ekonomizerio, per šildymo sezoną į atmosferą būtų šalinama mažiau CO₂ dujų:

$$1234440 \text{ m}^3 \text{ g.d./š. sez.} : 1,07326 \text{ m}^3 \text{ g.d./nm}^3 \text{ g.d.} \times \\ \times 100,632 \text{ nm}^3 \text{ CO}_2 \times 0,0681 = 78822 \text{ nm}^3 \text{ CO}_2/\text{š. sez.},$$

arba

$$78822 \text{ nm}^3 \text{ CO}_2/\text{š. sez.} \times 1,9768 \text{ kg CO}_2/\text{nm}^3 \text{ CO}_2 = \\ = 155815 \text{ kg CO}_2/\text{š. sez.} = 155,815 \text{ t CO}_2/\text{š. sez.}$$

5. IŠVADOS

1. Pateikta skaičiavimo metodika leidžia nustatyti kondensaciniame ekonomizeriujė perduodamos šilumos kiekį.

2. Anykščių miesto Žemutinės dalies katilinėje įrengus kondensacinį ekonomizerį, kuriame dūmai vėsina mi žemiau rasos taško temperatūros termofikacinių grįžtamos linijos vandeniu, būtų taupoma 6,81% gamtinių dujų, o investicijų, įskaitant priestato statybos išlaidas, atsipirkimo trukmė 3,36 šildymo sezono.

3. Neišvengiamai augant gamtinių dujų kainai investicijų atsipirkimo trukmė mažės.

Gauta 2006 04 18
Parengta 2006 11 10

Literatūra

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод), Ленинград: ЦКТИ, 1973. Т.1. 358 с.
2. Пекелис Г. Б. Глубокое охлаждение отходящих продуктов сгорания энергетических установок. Минск: Изд-во ЦК КПБ, 1957. 84 с.
3. Аронов И. З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа. Ленинград: Недра, 1990. 280 с.
4. Ионин А. А. Газоснабжение. Москва: Стройиздат, 1975. 439 с.
5. Anykščių miesto 12-kos katilinių centralizuoto šilumos tiekimo sistemų šilumos balanso 2001-07-01–2002-07-01 laikotarpiu ekspertinis įvertinimas ir šilumos nuostolių mažinimui būtinų rekonstrukcijų techninis ekonominis pagrįdimas / LEI ataskaita. Kaunas, 2002. 439 p.
6. Гусев Ю. Л. Основы проектирования котельных установок. Москва: Изд-во литературы по строительству, 1973. 95 с.
7. Бухаркин Е. Н. Обеспечение надежных условий эксплуатации газоотводящего тракта в котельных с конденсационными экономайзерами // Теплоэнергетика. 1993. № 7. С. 29–34.
8. Кремнев О. А., Сатановский Л. П. Воздушно-водоиспарительное охлаждение оборудования. Москва: Машиностроение, 1967.

9. Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2006 m. gegužės 18 d. įsakymas Nr. 4-171 „Dėl Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2002 m. vasario 5 d. įsakymo Nr. 43 „Dėl gamtinių dujų perdavimo, paskirstymo, laikymo ir tiekimo taisyklių patvirtinimo“ pakeitimo“ (Valstybės žinios. 2006. Nr. 58–2071).

10. Gamtinių dujų perdavimo, paskirstymo, laikymo ir tiekimo taisyklės, patvirtintos Lietuvos Respublikos ūkio ministro 2002 m. vasario 5 d. įsakymu Nr. 43 (Valstybės žinios. 2002. Nr. 15–598).

11. AB „Lietuvos dujos“ pranešimas // Informaciniai pranešimai. 2006. Nr. 39. P. 15.

Kazys Marcinauskas, Irena Korsakienė, Petras Kuzmickas

FEASIBILITY OF USING HEAT FROM EXHAUST GAS COOLED BELOW DEW POINT TEMPERATURE

S u m m a r y

Large amounts of water steam accumulate in exhaust gas during the natural gas incineration process, and the condensation heat of this steam is almost not used in Lithuania. Condensing economizers are used to cool exhaust gas below dew point temperature, and in addition to physical heat from cooled exhaust gas, a certain share of condensation heat from water steam accumulated in exhaust gas is also used. This saves an expensive fuel (natural gas) and reduces environmental pollution with greenhouse gases. Our paper presents an assessment of the feasibility to use heat from exhaust gas cooled below dew point temperature in one of boiler-houses in the Anykščiai town.

Key words: dew point temperature, condensing economizer

Казис Марцинаускас, Ирена Корсакиене, Пятрас Кузмицкас

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ТЕПЛОТУ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ, ОХЛАЖДАЕМЫХ НИЖЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОЧКИ РОСЫ

Р е з ю м е

При сжигании природного газа в котельных уходящие дымовые газы содержат большое количество водяных паров, скрытая теплота конденсации которых до последнего времени в Литве не использовалась. В случае охлаждения дымовых газов ниже температуры точки росы наряду с более полным использованием физической теплоты дымовых газов дополнительно используется скрытая теплота конденсации части содержащихся в дымовых газах водяных паров. Применение конденсационных экономайзеров позволяет экономить дорогое топливо – природный газ, снизить загрязнение окружающей среды парниковыми газами.

В статье предложена оценка возможности использовать теплоты охлаждаемых ниже температуры точки росы уходящих дымовых газов в одной из котельных города Аникшчяй.

Ключевые слова: температура точки росы, конденсационный экономайзер