

# **Išeinančių dūmų šilumos panaudojimo efektyvumo gerinimas panaudojant šilumos siurbį**

2019 - 02 - 18

## **Turiny**

1. Išeinančių dūmų šilumos išnaudojimo efektyvumo gerinimas.....	1
1.1 Slaptosios šilumos įvertinimas .....	1
1.2 Antro laipsnio DKE su absorbciniu šilumos siurbliu.....	1
1.2.1 Schemos aprašymas.....	2
1.2.2 Pavyzdinis antro laipsnio DKE su absorbciniu šilumos siurbliu skaičiavimas.....	2
1.2.3 Ekonominiai skaičiavimai .....	5
1.3 Išvados.....	7
A PRIEDAS. Schemos.....	8

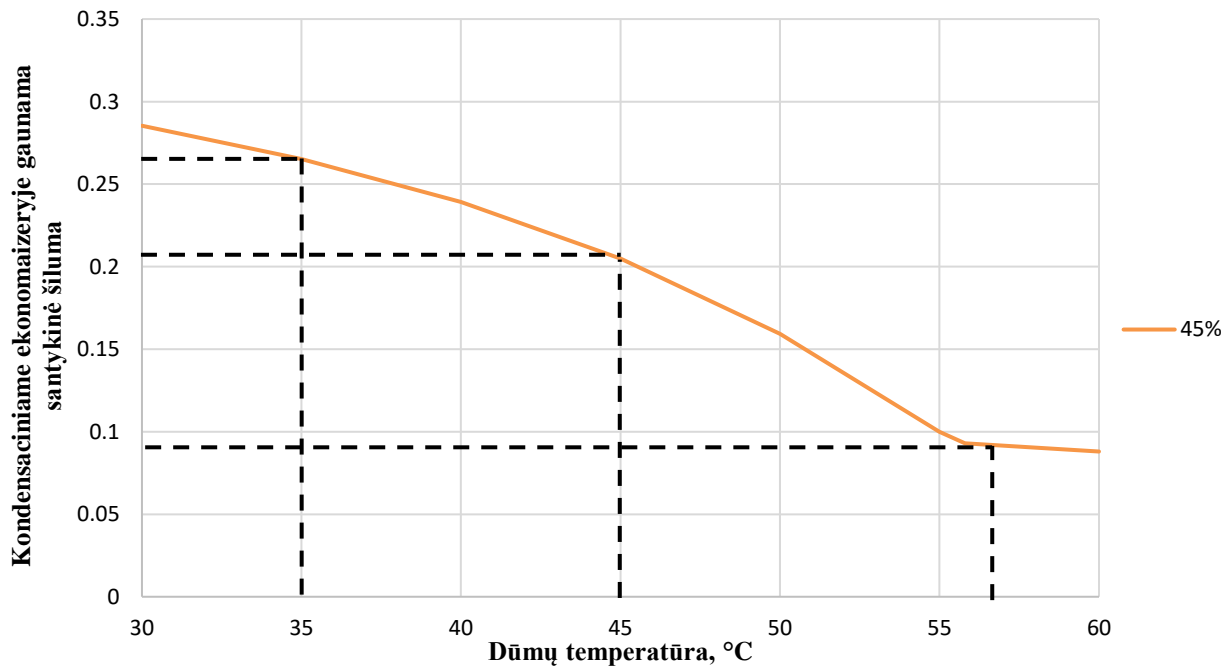
## 1. Išeinančių dūmų šilumos išnaudojimo efektyvumo gerinimas

### 1.1 Slaptosios šilumos įvertinimas

Šiuo metu biokuro katilinėse esamų katilų išeinančių dūmų šiluma panaudojama dūmų kondensacinių ekonomaizerių (DKE) pagalba. Tačiau dūmai ataušinami tik iki grįžtamo termofikacinio vandens temperatūros, kuri vidutiniškai metų laikotarpyje atitinka 45°C. Šilumos gaunamos iš dūmų, priklausomybė nuo dūmų ataušimo temperatūros ir kuro drėgmės pateikiama 1 lentelėje ir 1 pav.

1 Lentelė. Šilumos, gaunamos iš dūmų, tipinė priklausomybė nuo dūmų ataušimo temperatūros ir kuro drėgmės.

Kuro drėgmė	Dūmų temperatūra						
	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
45%	0,29	0,272	0,25	0,21	0,16	0,1	0,08



1 pav. Kondensaciniame šilumokaityje galimos gauti santykinės šilumos priklausomybė nuo dūmų ataušinimo temperatūros.

### 1.2 Antro laipsnio DKE su absorbciniu šilumos siurbliu

Įrengiant antro laipsnio kondensacinį ekonomaizerį, numatoma išeinančių dūmų temperatūrą ataušinti nuo  $t_{1d} = 45^{\circ}\text{C}$  iki  $t_{2d} = 35^{\circ}\text{C}$ . Pagal 1 pav. Tai atitinka DKE gaunamą santykinę šilumą  $q_{ds.45^{\circ}\text{C}} = 0,21$ ;  $q_{ds.35^{\circ}\text{C}} = 0,272$ . Santykinė šiluma, žemiau kurios vyksta kondensacija  $q_{ds.57^{\circ}\text{C}} = 0,08$ .

### 1.2.1 Schemos aprašymas

Antro laipsnio DKE su absorbciniu šilumos siurbliu technologinė schema pateikiama A priede.

Dūmai 45°C temperatūros iš esamo pirmo laipsnio DKE paduodami į antro laipsnio DKE, kuriame numatoma juos atvėsinti iki 35°C ir atitinkamai sukondensuoti dūmuose esančių garų kiekį.

Antro laipsnio DKE dūmų aušinimui panaudojamas ataušintas kondensatas. Iš kondensato talpos nusodintuvo siurblio pagalba, kondensatas paduodamas į absorbcinį šilumos siurblį, kur jis ataušinamas. Absorbciniame šilumos siurblyje šiluma iš kondensato, pašildyto antro laipsnio DKE, perduodama grįžtamam termofikaciniam vandeniui. Ataušintas absorbciniame šilumos siurblyje kondensatas pirmiausia ataušina išmetamą perteklinį kondensatą iš abiejų laipsnių DKE. Šis šilumos kiekis taip pat perduodamas grįžtamo vandens šildymui. Po to kondensatas keliauja į antro laipsnio DKE.

Absorbcinis šilumos siurblys perkeliant energiją iš žemų parametrų į aukštesnius naudoja garą. Energijos perkėlimui, jei objekte nėra garo katilų, galima panaudoti ir aukštų parametrų vandenį.

### 1.2.2 Pavyzdinis antro laipsnio DKE su absorbciniu šilumos siurbliu skaičiavimas.

Prielaidos:

- Šilumos siurblys įrengiamas prie 20MW galios biokuro katilo.
- Bendra katilinės metinė šilumos gamyba - 80% biokuru, 20% dujomis.
- Katilo darbo valandų skaičius per metus – 5000h

**Santykinės šilumos skirtumas:**

$$\Delta q_{ds} = q_{ds.35^{\circ}\text{C}} - q_{ds.45^{\circ}\text{C}} = 0,272 - 0,21 = 0,062$$

**Antro laipsnio DKE gaunama šiluminė galia:**

$$Q_{ek.2l} = Q_{BK\ galia} \cdot \Delta q_{ds} = 20 \cdot 0,062 = 1,24\ MW$$

**Šiluminė galia pirmo ir antro laipsnio DKE:**

$$Q_{ek} = Q_{BK\ galia} \cdot q_{ds.35^{\circ}\text{C}} = 20 \cdot 0,272 = 5,44\ MW$$

**Pirmo laipsnio DKE gaunama šiluminė galia:**

$$Q_{ek.1l} = Q_{ek} - Q_{ek.2l} = 5,44 - 1,24 = 4,2\ MW$$

**Slaptoji garavimo šiluminė galia pirmo ir antro laipsnio DKE:**

$$Q_{ek.slapt.} = Q_{BK\ galia} \cdot (q_{ds.35^{\circ}\text{C}} - q_{ds.57^{\circ}\text{C}}) = 20 \cdot (0,272 - 0,08) = 3,84\ MW$$

**Kondensato kiekis iš pirmo ir antro laipsnio DKE:**

$$\text{Prie atmosferinių sąlygų: } h_{slapt.} = h_{garų} - h_{vandens} = 2259,35 \frac{kJ}{kg}$$

$$G_{kond.} = \frac{Q_{ek.slapt.} \cdot 3600}{h_{slapt.}} = \frac{3,84 \cdot 3600}{2259,35} = 6,12 \text{ t/h}$$

**Kondensato kiekis iš antro laipsnio DKE:**

$$G_{kond.2l.} = \frac{Q_{ek.2l.} \cdot 3600}{h_{slapt.}} = \frac{1,24 \cdot 3600}{2259,35} = 1,98 \text{ t/h}$$

**Kondensato kiekis iš pirmo laipsnio DKE:**

$$G_{kond.1l.} = G_{kond.} - G_{kond.2l.} = 6,12 - 1,98 = 4,14 \text{ t/h}$$

Antro laipsnio DKE dūmų aušinimas numatomas absorbciniame šilumos siurblyje ataušintu kondensatu. Absorbciniame šilumos siurblyje ataušintas kondensatas bus panaudotas ne tik dūmų temperatūros sumažinimui, bet ir išmetamo perteklinio kondensato į kanalizaciją aušinimui. Į aušintuvą patenka 4,14 t/h 45°C kondensatas iš pirmo bei 1,98 t/h  $T_{iš.2l.} = 34^\circ\text{C}$  kondensatas iš antro laipsnio DKE.

**Bendra kondensato temperatūra į aušintuvą:**

$$T_{k1} = \frac{4,14 \cdot 45 + 1,98 \cdot 34}{(4,14 + 1,98)} = 41,45^\circ\text{C}$$

Aušintuvą parenkamas taip, kad į kanalizaciją išleidžiamo kondensato temperatūra būtų  $T_{k2} = 21^\circ\text{C}$ .

**Šiluminė galia, gaunama iš perteklinio kondensato:**

$$Q_{nuot.} = \frac{G_{kond.} \cdot c_v (T_{k1} - T_{k2})}{3600} = \frac{6,12 \cdot 4,187 \cdot (41,45 - 21)}{3600} = 0,146 \text{ MW}$$

$$c_v - \text{vandens savitoji šiluma } 4,187 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ\text{C}}$$

Siekiant ataušinti dūmus antro laipsnio ekonomaizeryje iki 35°C, parenkama aušinamo vandens temperatūra  $T_{i.2l.} = 20^\circ\text{C}$ .

**Antro laipsnio DKE cirkuliuojančio vandens kiekis:**

$$G_{vand.2l.} = \frac{Q_{ek.2l.} \cdot 3600}{c_v \cdot (T_{iš.2l.} - T_{i.2l.})} = \frac{1,24 \cdot 3600}{4,187 \cdot (34 - 20)} = 76,16 \text{ t/h}$$

**Absorbcinio šilumos siurblyje ataušinto vandens temperatūra:**

$$T_{iš.AS} = T_{i.2l.} - \frac{Q_{nuot.} \cdot 3600}{G_{vand.2l.} \cdot c_v} = 20 - \frac{0,146 \cdot 3600}{76,16 \cdot 4,187} = 18,35^\circ\text{C}$$

**Absorbcinio šilumos siurblio galia:**

$$Q_{AS} = \frac{G_{vand.2l} \cdot c_v \cdot (T_{iš.2l} - T_{iš.AS})}{3600} = \frac{76,16 \cdot 4,187 \cdot (34 - 18,35)}{3600} = 1,39 \text{ MW}$$

Pagal absorbcinio šilumos siurblio gamintojo duomenis gaunamas šaldymo našumo koeficientas  $COP = 0,71$ .

**Absorbcinio šilumos siurblio varomoji galia (darbas):**

$$Q_{var.} = \frac{Q_{AS}}{COP} = \frac{1,39}{0,71} = 1,95 \text{ MW}$$

Šiam darbui generuoti bus panaudojamas 3 bar slėgio, 142,92°C, sotus garas;

Garų entalpija:  $h_{3bar.garo.} = 2737,88 \text{ kJ/kg}$ ;

Vandens entalpija:  $h_{3bar.vandens.} = 598,41 \text{ kJ/kg}$ ;

Slaptoji išgarinimo entalpija:  $h_{3bar.slapt.} = h_{3bar.garų} - h_{3bar.vandens} = 2139,47 \text{ kJ/kg}$ .

**Absorbcinio šilumos siurblio galia, kuri atiduodama termofikaciniam vandeniui:**

$$Q_{t.v.AS.} = Q_{AS} + Q_{var.} = 1,39 + 1,95 = 3,34 \text{ MW}$$

**Absorbciniam šilumos siurbliui reikalingas garo kiekis:**

$$G_{var.g.} = \frac{Q_{var.} \cdot 3600}{h_{3bar.slapt.}} = \frac{1,95 \cdot 3600}{2139,47} = 3,29 \text{ t/h}$$

**Termofikacinio vandens kiekis į pirmo laipsnio DKE:**

Laikant, kad jis pakelia termofikacinio vandens temperatūrą nuo  $T_{t.v.į.1l.} = 45^\circ\text{C}$  iki  $T_{t.v.iš.1l.} = 55^\circ\text{C}$

$$G_{t.v.1l.} = \frac{Q_{ek.1l} \cdot 3600}{c_v \cdot (T_{iš.1l.} - T_{į.1l.})} = \frac{4,2 \cdot 3600}{4,187 \cdot (55 - 45)} = 361,12 \text{ t/h}$$

**Termofikacinio vandens temperatūra vandeniui išeinant iš absorbcinio siurblio:**

$$T_{t.v.iš.AS} = T_{t.v.iš.1l.} + \frac{Q_{t.v.AS.} \cdot 3600}{G_{t.v.1l.} \cdot c_v} = 55 + \frac{3,34 \cdot 3600}{361,12 \cdot 4,187} = 63,07^\circ\text{C}$$

Skaičiavimo rezultatai įrašomi į antro laipsnio DKE su absorbciniu šilumos siurbliu schema (priedas A).

### 1.2.3 Ekonominiai skaičiavimai

**Antro laipsnio DKE metinis šilumos generavimas, priėmus 5000h darbo laiką per metus:**

$$N_{2l.} = N_{BK/metus} \cdot \Delta q_{ds} = 100000 \cdot 0,062 = 6200 MWh$$

$\Delta q_{ds} = 0,062$  – santykinės šilumos skirtumas;

$N_{BK/metus} = 100000 MWh$  - metinė biokuro vandens šildymo katilų generuojama šiluma prie 5000 darbo valandų skaičiaus.

**Kondensato kiekis iš pirmo ir antro laipsnio DKE:**

$$G_{kond.metinis} = \frac{G_{kond.} \cdot N_{BK/metus}}{Q_{BK\ galia}} = \frac{6,12 \cdot 100000}{20} = 30593\ t/metus$$

$G_{kond.} = 6,12\ t/h$  - kondensato kiekis per valandą iš pirmo ir antro laipsnio DKE.

**Kondensato temperatūra į ir iš aušintuvo:**

$$T_{k1} = 41,45\ ^\circ C \quad T_{k2} = 21\ ^\circ C$$

**Šilumos kiekis per metus iš kondensato aušintuvo:**

$$N_{kond.} = \frac{G_{kond.metus} \cdot c_v(T_{k1} - T_{k2})}{3600} = \frac{30593 \cdot 4,187 \cdot (41,45 - 21)}{3600} = 728\ MWh$$

**Šilumos kiekis iš antro laipsnio DKE ir kondensato aušinimo:**

$$N_{2l. ir\ kond.} = 6200 + 728 = 6928\ MWh$$

- Šilumos generavimo naudojant iškastinį kurą sumažėjimas (2/3) : 4618 MWh
- Šilumos generavimo naudojant biokurą sumažėjimas (1/3): 2309 MWh

**Sutaupytos išlaidos dėl iškastinio kuro naudojimo sumažėjimo:**

$$4618\ MWh \cdot 17 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 87237\ \text{€/metus}$$

17 €/MWh - kainų skirtumas tarp dujų ir biokuro.

**Sutaupytos išlaidos dėl biokuro naudojimo sumažėjimo:**

$$2309\ MWh \cdot 18 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 41566\ \text{€/metus}$$

18 €/MWh - biokuro kaina.

**Antro laipsnio DKE naudojimui reikalingas elektros energijos kiekis:**

$$E_{2,l} = \frac{G_{vand.2l} \cdot P \cdot 1000 \cdot t}{\eta \cdot 3600 \cdot 1000} = \frac{76,16 \cdot 5 \cdot 10^5 \cdot 5000}{0,8 \cdot 3600} = 66111 \text{ kWh/metus}$$

$\eta$  - siurblio naudingumo koeficientas (0,8);

$t$  – katilo darbo valandų skaičius metuose (5000 h);

$P$  – slėgis, reikalingas išpurškimui (5 bar);

$G_{vand.2l}$  – antro laipsnio DKE cirkuliuojančio vandens debitas.

**Išlaidos elektros energijai:**

$$E_{2,l} \cdot k_{el.energ.} = 66111 \cdot 0,1 = 6611 \text{ €/metus}$$

$k_{el.energ.} = 0,1 \text{ €/kWh}$  - elektros kaina.

**Išlaidos kanalizuojamam vandeniui:**

$$G_{kond.2l} \cdot k_{k.vandens} \cdot t = 1,98 \cdot 0,74 \cdot 5000 = 7310 \text{ €/metus}$$

$k_{k.vandens} = 0,74 \text{ €/m}^3$  - kanalizuojamo vandens tarifas.

4 Lentelė. Absorbicinio šilumos siurblio įrengimo ekonominių skaičiavimų rezultatai.

Eil. Nr.	Pavadinimas	Vienetai	Kiekis
<b>1.</b>	<b>Pradinė investicija</b>	<b>€</b>	<b>671188</b>
2.	Išlaidos elektros energijai	€/metus	6611
3.	Išlaidos kanalizuojamam vandeniui	€/metus	7310
4.	Išlaidos eksploatacijai	€/metus	23233
<b>5.</b>	<b>Visos išlaidos</b>	<b>€/metus</b>	<b>37154</b>
6.	Sutaupymai dėl iškastinio kuro naudojimo sumažinimo	€/metus	87237
7.	Sutaupymai dėl biokuro katilo efektyvumo pagerinimo	€/metus	41566
8.	Sutaupymai iš ATL	€/metus	20490
<b>9.</b>	<b>Visi sutaupymai</b>	<b>€/metus</b>	<b>149293</b>
<b>10.</b>	<b>Sutaupymai atėmus išlaidas</b>	<b>€/metus</b>	<b>112139</b>
<b>11.</b>	<b>Atsipirkimo laikas</b>	<b>metai</b>	<b>6</b>



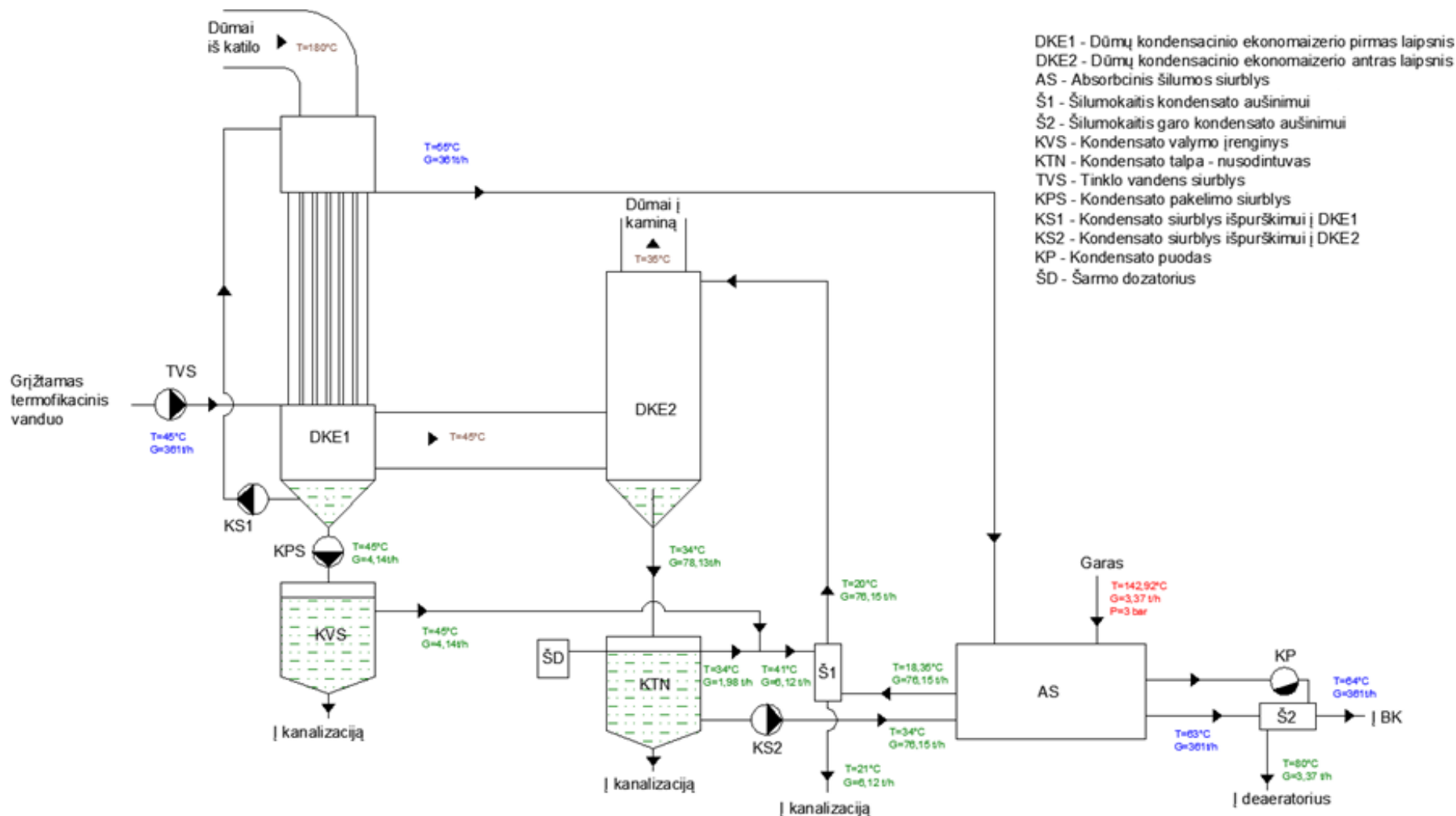
### 1.3 Išvados

Nors šilumos siurblių panaudojimas išmetamos šilumos utilizavimui nėra paplitęs Lietuvoje, užsienio šalyse yra daug sėkmingai įgyvendintų projektų. Biokuro katilinėse įrengus šilumos siurblius padidėtų išmetamų dūmų šilumos utilizavimas. Atlikus techninį – ekonominį vertinimą nustatyta, kad įrengus absorbcinį šilumos siurblių prie 20 MW galios biokuro katilo, esant bendrai katilinės metinei šilumos gamybai - 80% biokuru, 20% dujomis ir esant katilo darbo valandų skaičiui per metus – 5000h, įrangos dėka būtų sutaupoma 128803 € per metus. Taip pat gamtinių dujų suvartojimas per metus sumažėtų 480 tūkst.  $\text{nm}^3$ , atitinkamai būtų išmetama 321 tonomis mažiau  $\text{CO}_2$  dujų. Taip iš ATL būtų sutaupoma 20490 € pajamų per metus.

Priėmus prielaidą, kad visi Lietuvoje CŠT priklausantys biokuro katilai veikia prie šioje analizėje užsiduotų sąlygų ir įvertinus, kad bendra visų instaliuotų biokuro katilų galia (be ekonomazerių) yra 1247 MW (LŠTA 2017m. duomenys), galima teigti jog įrengus absorbcinius šilumos siurblius, potencialūs sutaupymai siektų apie 8 mln. € per metus. Taip pat potencialus gamtinių dujų suvartojimas per metus sumažėtų apie 30 mln.  $\text{nm}^3$ , atitinkamai būtų išmetama apie 20 tūkst. tonomis mažiau  $\text{CO}_2$  dujų. Taip iš ATL būtų sutaupoma apie 1,28 mln. € pajamų per metus.

Pastebėtina, kad technologijos įrengimo kaštai gali būti sumažinti panaudojant esamą katilinės įrangą (esamų ekonomazerių pritaikymas). Tačiau būtina įvertinti, kad esamos įrangos panaudojimas gali sumažinti bendrą įrenginio efektyvumą.

**A PRIEDAS. Schemas.**



- DKE1 - Dūmų kondensacinio ekonomizerio pirmas laipsnis
- DKE2 - Dūmų kondensacinio ekonomizerio antras laipsnis
- AS - Absorbcinis šilumos siurblys
- Š1 - Šilumokaitis kondensato aušinimui
- Š2 - Šilumokaitis garo kondensato aušinimui
- KVS - Kondensato valymo įrenginys
- KTN - Kondensato talpa - nusodintuvas
- TVS - Tinklo vandens siurblys
- KPS - Kondensato pakavimo siurblys
- KS1 - Kondensato siurblys išpurškimui į DKE1
- KS2 - Kondensato siurblys išpurškimui į DKE2
- KP - Kondensato puodas
- ŠD - Šarmo dozatorius