



ES "Horizon2020" programmas finansēts projekts  
"Centralizētās siltumapgādes sistēmu darbības uzlabošana  
Centrāleiropā un Austrumeiropā" (KeepWarm),  
Granta Līgums Nr. 784966

II. 2.3. Kapacitātes stiprināšana par AER izmantošanu,  
atkritumiem un siltuma, kā blakusprodukta izmantošanu.

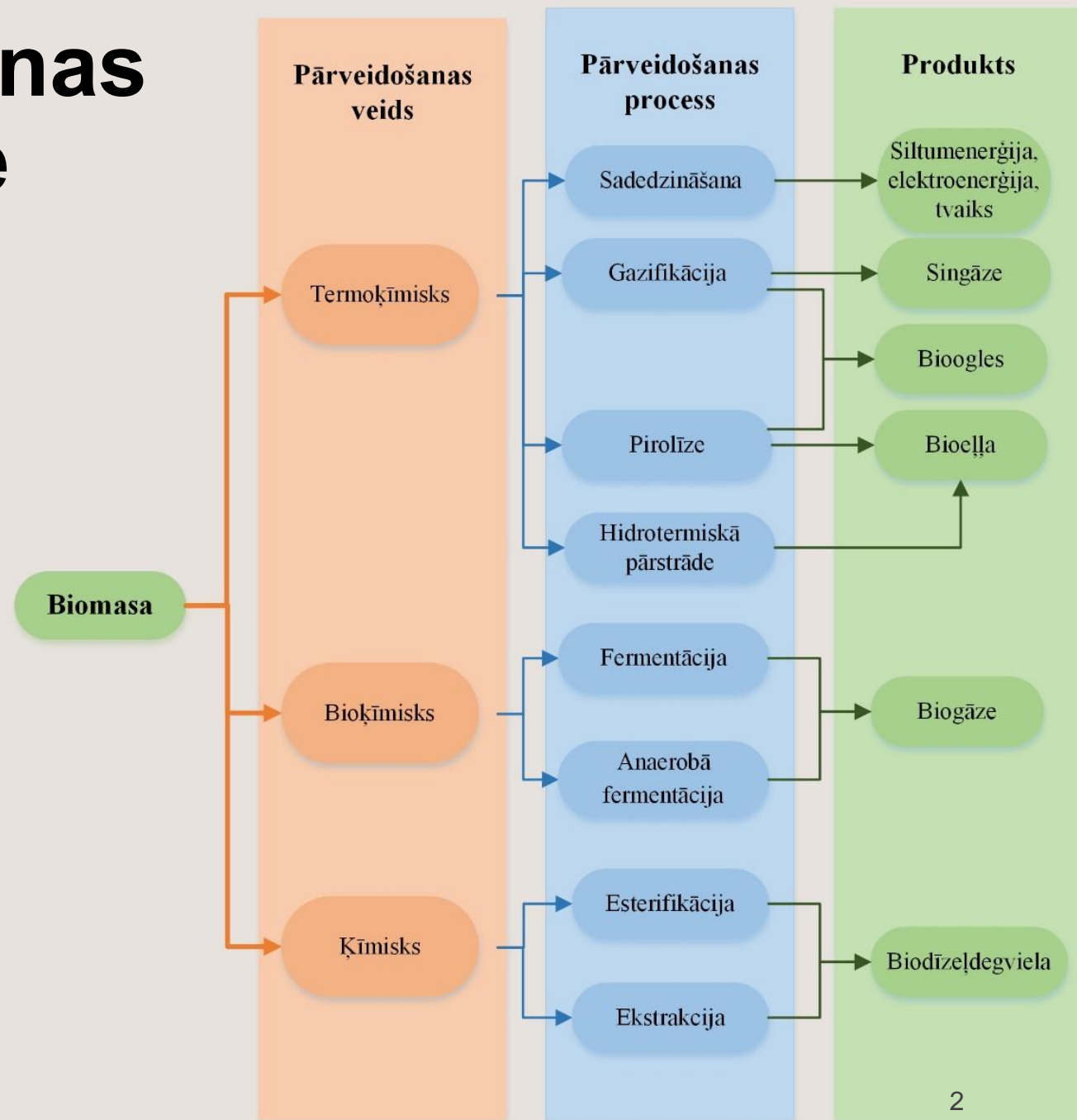


# Biomasa gazifikācija

Dr. sc. ing.  
Vladimirs Kirsanovs

# Biomasa pārveidošanas tehnoloģijas izvēle

- jābalstās uz inovatīvu un ilgtspējīgu tehnoloģiju izmantošanu;
- jābūt ekonomiski, sociāli, tautsaimnieciski un ekoloģiski pamatotai



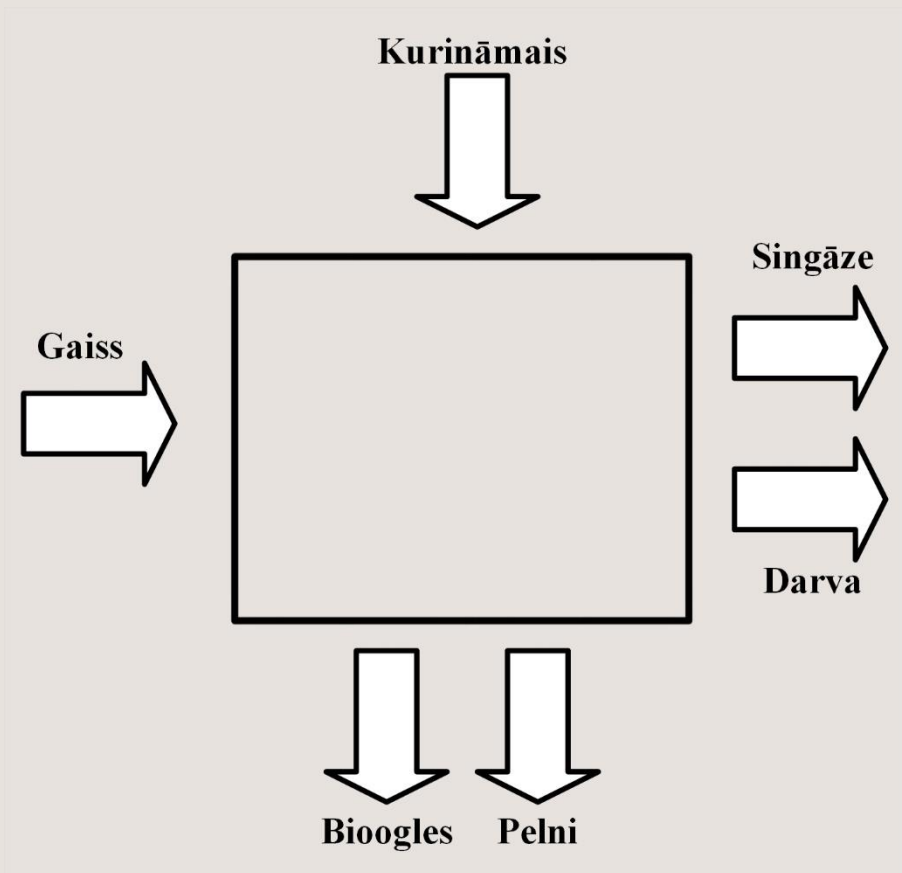
# Biomasas gazifikācija

- Biomasas gazifikācija ir termokīmisks process, kura rezultāta cieta biomasa tiek pārveidotā degošā gāzē, kura bieži tiek saukta par singāzi.
- Biomasas sadalīšana notiek ar nelielu skābekļa klātbūtni un paaugstinātas temperatūras apstākļos, kura var svārstīties no 700 līdz 1000 °C.
- Gazifikācijas rezultātā iegūta gāze tipiski sastāv no CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> un H<sub>2</sub>O.
- Veidojas arī blakus produkti – darva un bioogle.

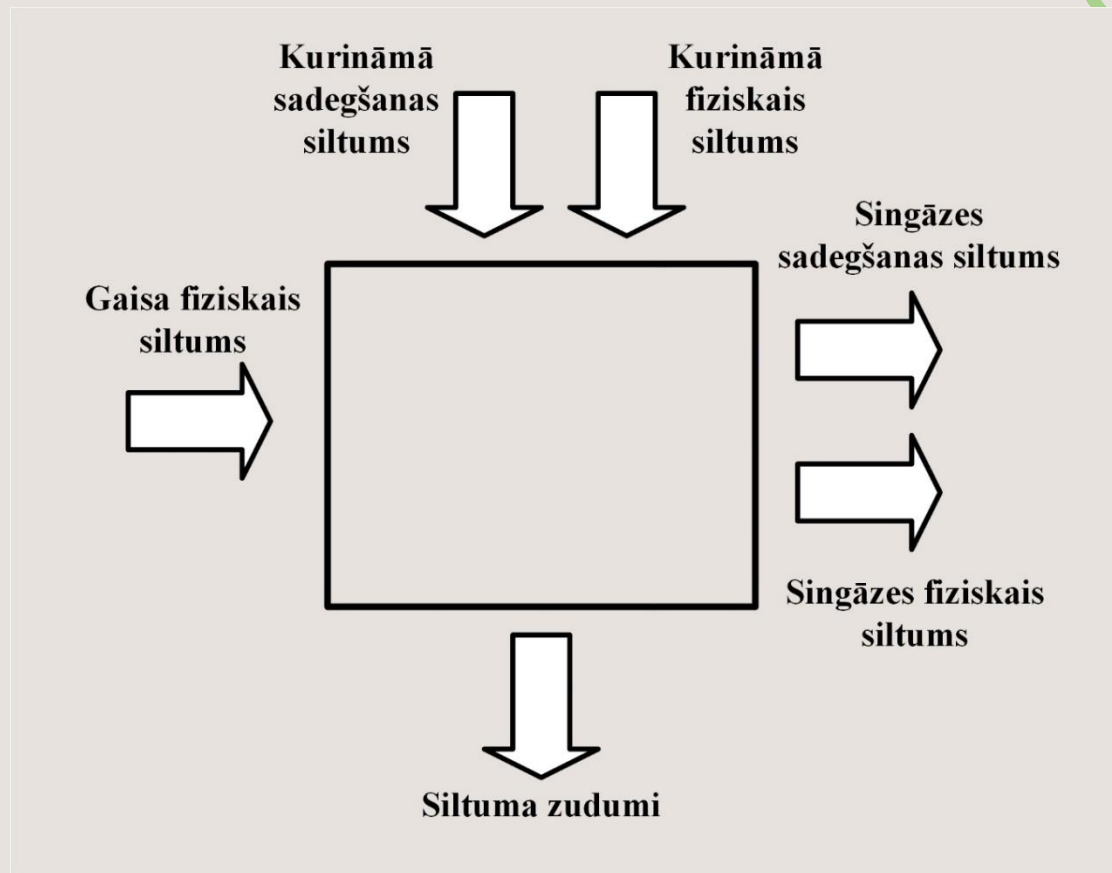
# Biomasa's gazifikācija

- Balstoties uz siltuma un masas apmaiņas procesiem gazifikācijas procesu tipiski var sadalīt četrās stadijās:
  - žāvēšanas,
  - pirolīzes,
  - oksidēšanas,
  - reducēšanas.

# Masas un enerģijas bilance



Masas bilance



Enerģijas bilance

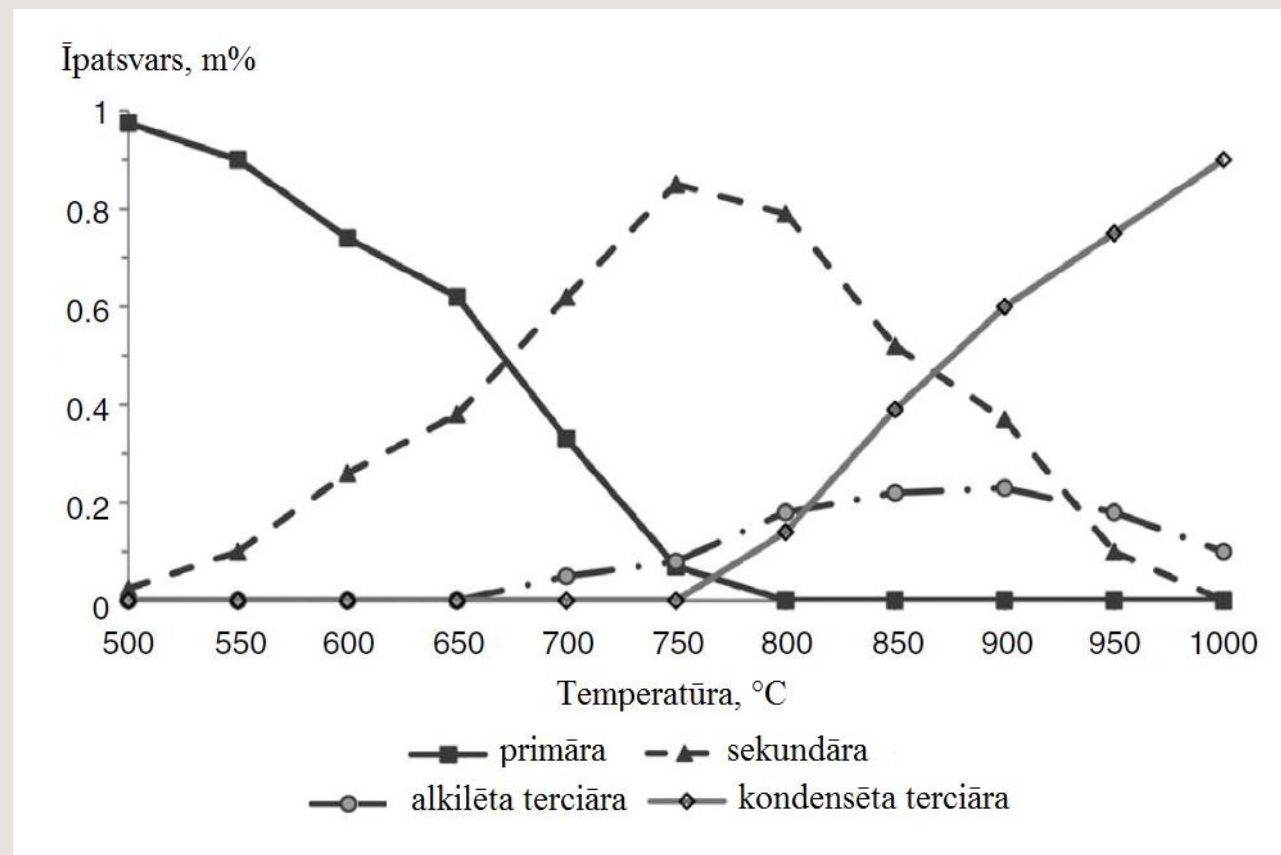
# Blakusprodukti - darva

- Darva ir sarežģīts organisko savienojumu maisījums, jo satur gan vieglus savienojumus, kā fenols un benzols, gan arī smagus negaistošus polihromatiskus savienojumus.
- Rada negatīvu ietekmi uz gazifikatora darbību, aizsprostojot caurules.

# Darvas veidi

- Darvu var iedalīt četras grupās:
  - primāra darva;
  - sekundāra darva;
  - alkilēta terciāra darva;
  - kondensēta terciāra darva.

Avots: Milne, T., Evans, R. & Abatzoglou, N., 1998. *Biomass gasifier tars: their nature, formation and conversion*. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory



# Darvas daudzums

- Darvas daudzums, kas tiek saražots gazifikācijas procesa rezultātā, būtiski svārstās atkarība no
  - izmantota gazifikatora tipa;
  - gazifikācijas temperatūra;
  - gaisa patēriņa koeficienta vai tvaika/kurināma attiecības;
  - gaisa padošanas sistēmas;
  - kurināmā mitruma;
  - kurināmā izmērs, ķīmiskais sastāvs un t.t.



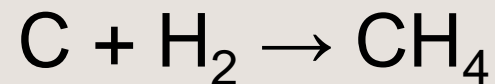
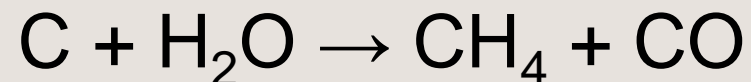
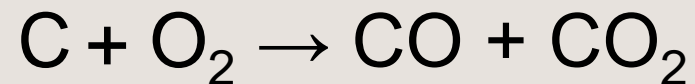
# Blakusprodukti - bioogle



- Bioogle ir kurināmais, kas netika pilnīgi sadalīts gazifikācijas procesa rezultātā un tiek izvadīts no gazifikatora cietā veidā.
- Bioogles sastāvu raksturo trīs ķīmiskie elementi – ogleklis, ūdeņradis un skābeklis.
- Augsta oglekļa īpatsvars → augsts sadegšanas siltums (virs 30 MJ/kg).
- Iegūtas bioogles var izmantot tālāk enerģijas iegūšanai.

# Bioogles daudzums

- Galvenās bioogles sadalīšanas reakcijas:



- Galvenie faktoriem kas nosāka saražoto bioogles daudzumu ir temperatūra, gaisa patēriņa koeficients, kurināma mitrums un t.t.

# Darva un bioogles daudzuma prognozēšana

$$w_{tar} = (6.411 - 0.203 \cdot \sqrt{T_g})^2 + 0.248 \cdot AF - 0.024 \cdot W_f$$

$$w_{char_f} = (6.443 - 0.006 \cdot T_g)^2 + 2.108 \cdot AF + 0.193 \cdot W_f + 0.487 \cdot A_f$$

$T_g$  - temperatūra gazifikatorā reaktorā, °C;

$AF$  – gazifikatorā ievadītā gaisa daudzuma attiecība pret ievadīto kurināmā daudzumu, m<sup>3</sup>/kg;

$W_f$  – kurināmā mitrums, %;

$A_f$  – kurināmā pelnu daudzums, %.

# Singāzes sadeģšanas siltums

$$LHV_{\text{sin}} = \frac{w_{CO_v} \cdot LHV_{CO} + w_{H_2_v} \cdot LHV_{H_2} + w_{CH_4_v} \cdot LHV_{CH_4}}{100}$$

- $LHV_{\text{sin}}$  - singāzes sadeģšanas siltums, MJ/Nm<sup>3</sup>;
- $LHV_{CO}$ ,  $LHV_{H_2}$ ,  $LHV_{CH_4}$  – CO, H<sub>2</sub> vai CH<sub>4</sub> sadeģšanas siltums, MJ/Nm<sup>3</sup>;
- $w_{CO}$ ,  $w_{H_2}$ ,  $w_{CH_4}$  – CO, H<sub>2</sub> vai CH<sub>4</sub> ģpatsvars singāzē, %.
  - CO = 12.63 MJ/m<sup>3</sup>;
  - H<sub>2</sub> = 10.78 MJ/m<sup>3</sup>;
  - CH<sub>4</sub> = 35.88 MJ/m<sup>3</sup>;

# Gazifikācijas procesa efektivitāte

$$Eff_{cold} = \frac{LHV_{sin} \cdot V_{sin}}{LHV_f \cdot m_f} \quad Eff_{hot} = \frac{LHV_{sin} \cdot V_{sin} + q_{sin} \cdot V_{sin}}{LHV_f \cdot m_f}$$

- $Eff_{cold}$  - gazifikācijas procesa aukstas gāzes efektivitāte, %;
- $Eff_{hot}$  - gazifikācijas procesa karstās gāzes efektivitāte, %;
- $V_{sin}$  – saražotas gāzes daudzums,  $m^3/h$ ;
- $q_{sin}$  - noņemtais fiziskais siltums no singāzes,  $MJ/Nm^3$ ;
- $LHV_f$  - kurināmā sadegšanas siltums,  $MJ/kg$ ;
- $m_f$  – kurināmā patēriņš,  $kg/h$ .

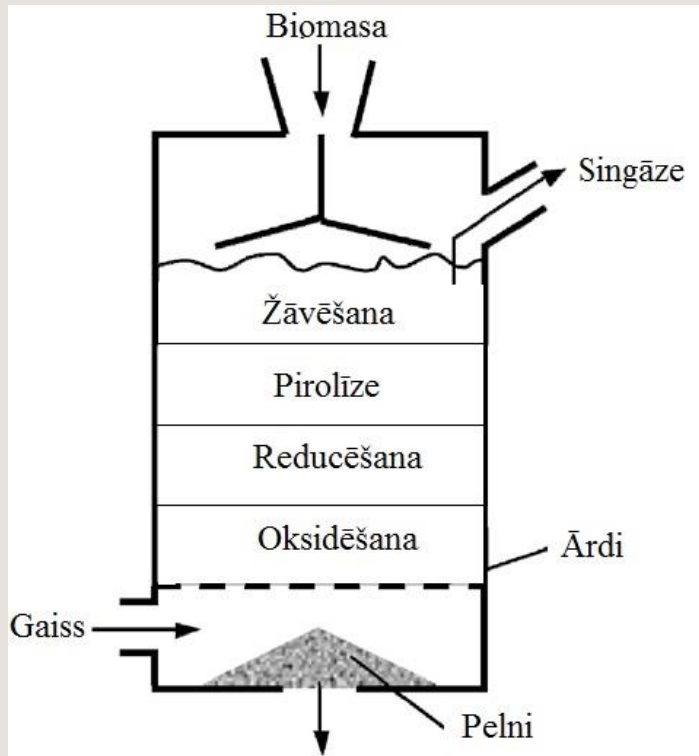
# Gazifikācijas procesu ietekmējošie faktori



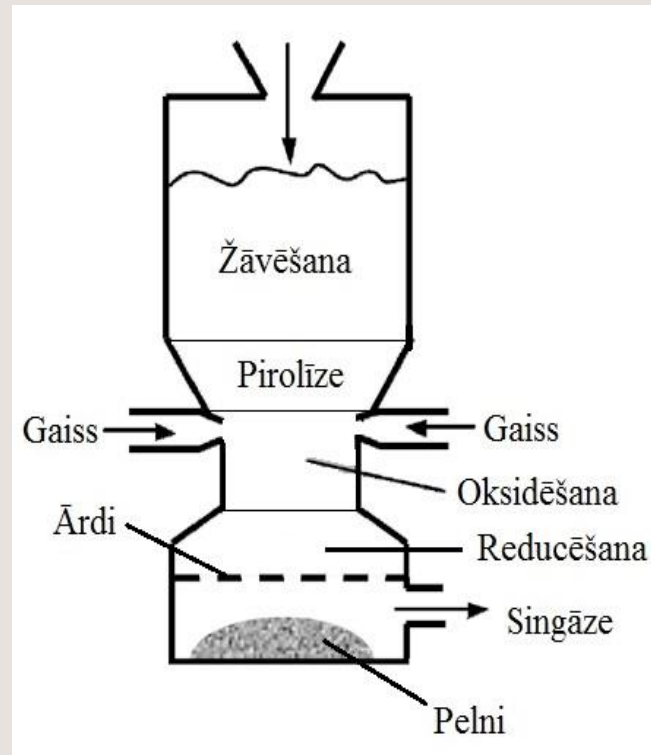
# Biomasas gazifikācijas tehnoloģiskie risinājumi

- Ar nekustīgiem ārdiem (kustīgais slānis)
  - Lejupvērsta velkme
  - Augšupvērsta velkme
- Verdoša slāņa
  - Burbuļojoša
  - Cirkulējoša

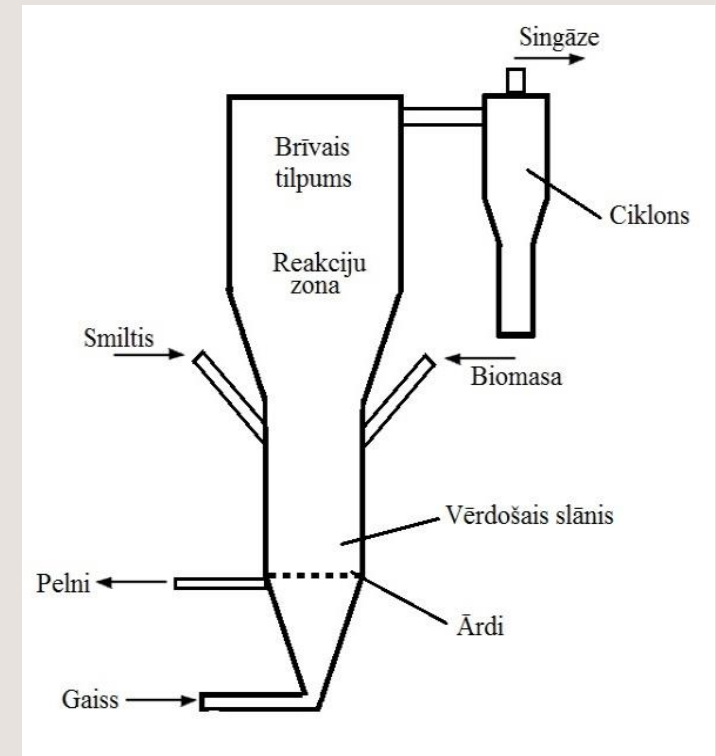
# Biomases gazifikācijas tehnoloģiskie risinājumi



Augšupvērsta  
velkmes



Lejupvērsta  
velkmes



Verdoša  
slāņa



# Tehnoloģisko risinājumu salīdzinājums

	<b>Lejupvērstas velkmes</b>	<b>Augšupvērstas velkmes</b>	<b>Verdoša slāņa</b>
<b>Darvas daudzums, g/Nm<sup>3</sup></b>	<1	50	10
<b>Singāzes temperatūra, °C</b>	700	300	750
<b>Singāzes sadegšanas siltums, MJ/Nm<sup>3</sup></b>	4.5 – 5	5 – 6	6
<b>Karstās gāzes efektivitāte, %</b>	85 – 90	90 – 95	75 – 90
<b>Optimāla termiskā jauda, MW</b>	Līdz 1	1 – 10	1 – 100

# Gazifikācijas reaģents

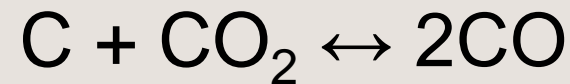
- Gazifikācijas aģenta uzdevums ir nodrošināt biomasas sadalīšanos un daļējo degšanu. Gazifikācijas aģents parasti tiek ievadīts oksidācijas zonā un piedalās degšanas reakcijās.

<b>Gazifikācijas aģents</b>	<b>Singāzes sadegšanas siltums, MJ/Nm<sup>3</sup></b>
<b>Gaiss</b>	4 – 7
<b>Tvaiks</b>	10 – 18
<b>Skābeklis</b>	12 – 28

# Temperatūra gazifikatorā

- Noteicoša loma uz gazifikācijas procesu un reakcijām, kuras norisinās gazifikatorā.

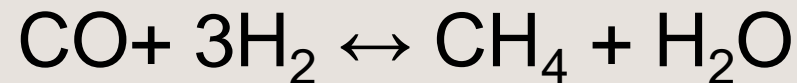
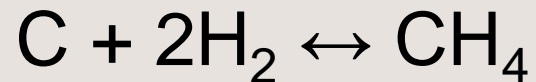
- Pieaug oglekļa monoksīda (CO) daudzums:



- Ūdeņraža (H<sub>2</sub>) koncentrācija pieaug līdz temperatūra sasniedz noteikto līmeni:



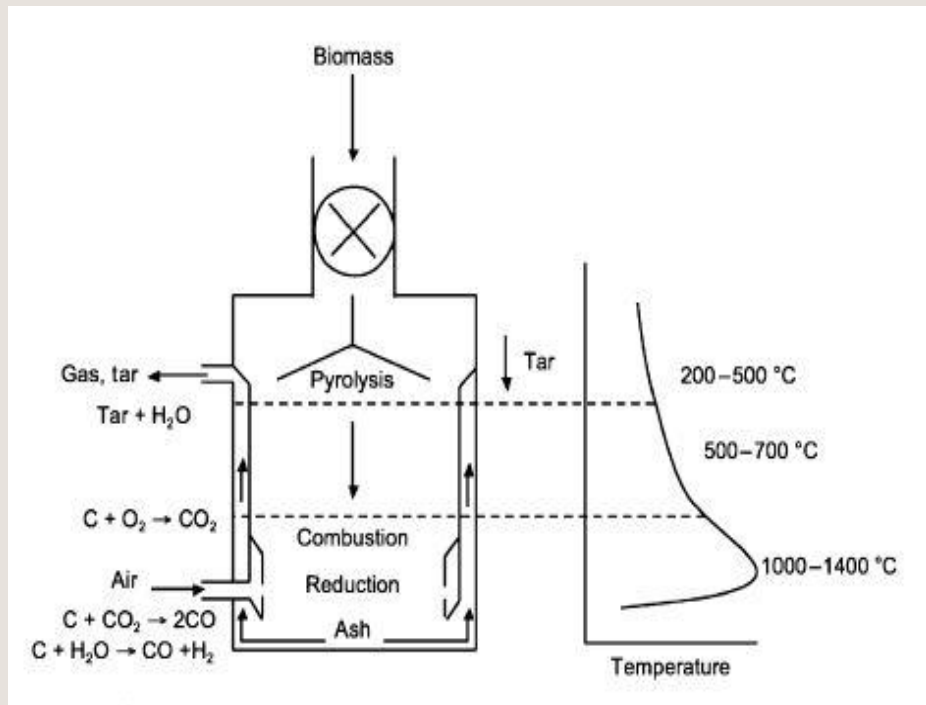
- Metāna (CH<sub>4</sub>) koncentrācija samazinās:



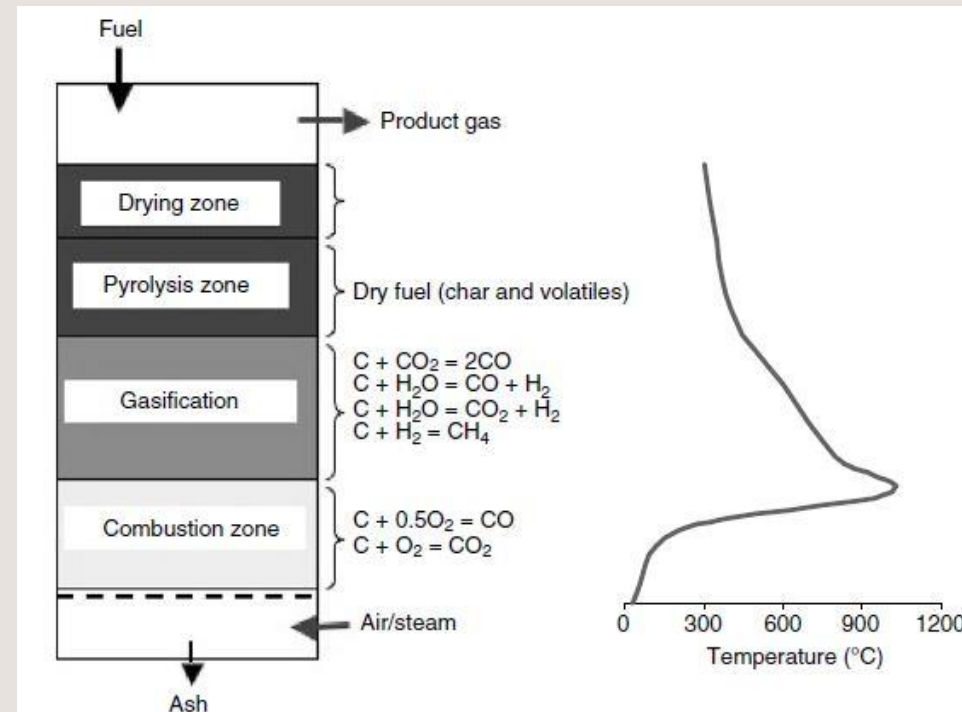
# Temperatūra gazifikatorā

Temperatūra gazifikatorā būtiski atšķiras dažādās zonās.

Lejupvērsta tipa  
gazifikators



Augšupvērsta tipa  
gazifikators



# Temperatūras pieauguma ietekme uz singāzes sastāvu

Gazifikatora tips	Aģents	Kurināmā veids	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Aplūkojama temperatūra, °C	Avots
Lejupvērsts	Gaiss	Niedres	↑	↓	↓	800-1200	Antonopoulos
Lejupvērsts	Gaiss	Koksne	↓	↓	~	750-1100	Karamarkovic
Lejupvērsts	Tvaiks	Koksnes skaidas	↓	↑	↓	750-850	Wei
Augšupvērsts	Tvaiks	Ciedra koks	↑	↑	↓	650-950	Aljbour
Verdoša slāņa	Gaiss	Olīvu kauliņi	↑	↓	↕	750-850	Michailos
Verdoša slāņa	Gaiss	Biomاسas pārpalikumi	↑	↑	↑	700-1000	Mohammed
Verdoša slāņa	Gaiss	Olīvu kauliņi	↕	↓	↕	750-850	Skoulou
Verdoša slāņa	Gaiss	Olīvu koku materiāls	↕	↑	↕	750-950	Skoulou
Verdoša slāņa	Gaiss	Niedres	↑	↑	~	660-850	Xue
Verdoša slāņa	Gaiss	Priedes šķelda	↕	↑	~	750-950	Zabaniotou
Verdoša slāņa	Tvaiks	Koksnes atlikumi	↓	↑	↓	800-900	Erkiaga

# Gaisa patēriņa koeficients (ER)

$$\alpha = \frac{V_g}{V_g^0}$$

- $\alpha$  – gaisa patēriņa koeficients;
- $V_g$  – gazifikatorā ievadītais gaisa daudzums, kg/kg;
- $V_g^0$  – teorētiski nepieciešamais gaisa daudzums, kg/kg.

# Gaisa patēriņa koeficients (ER)

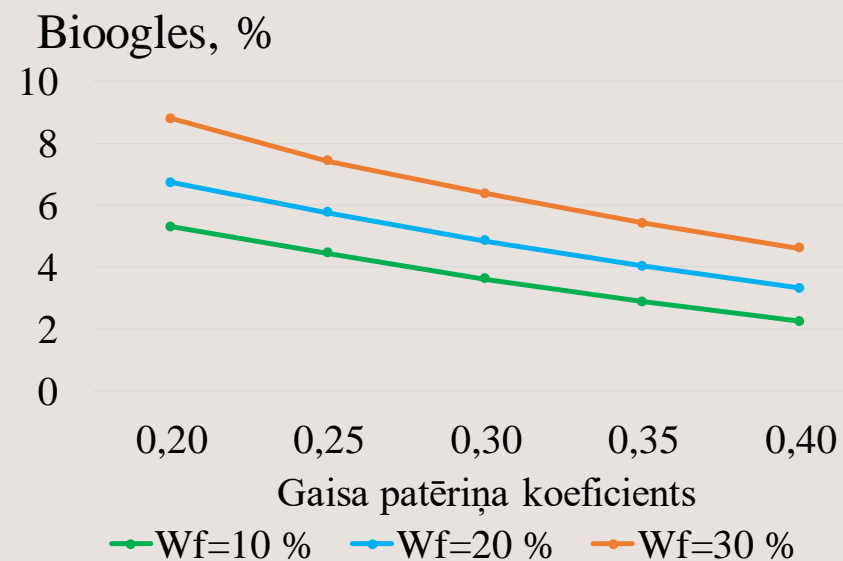
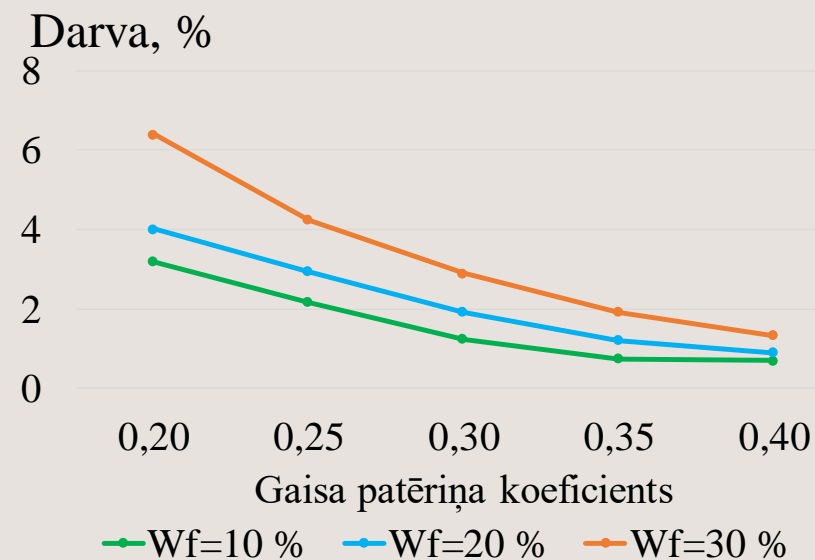
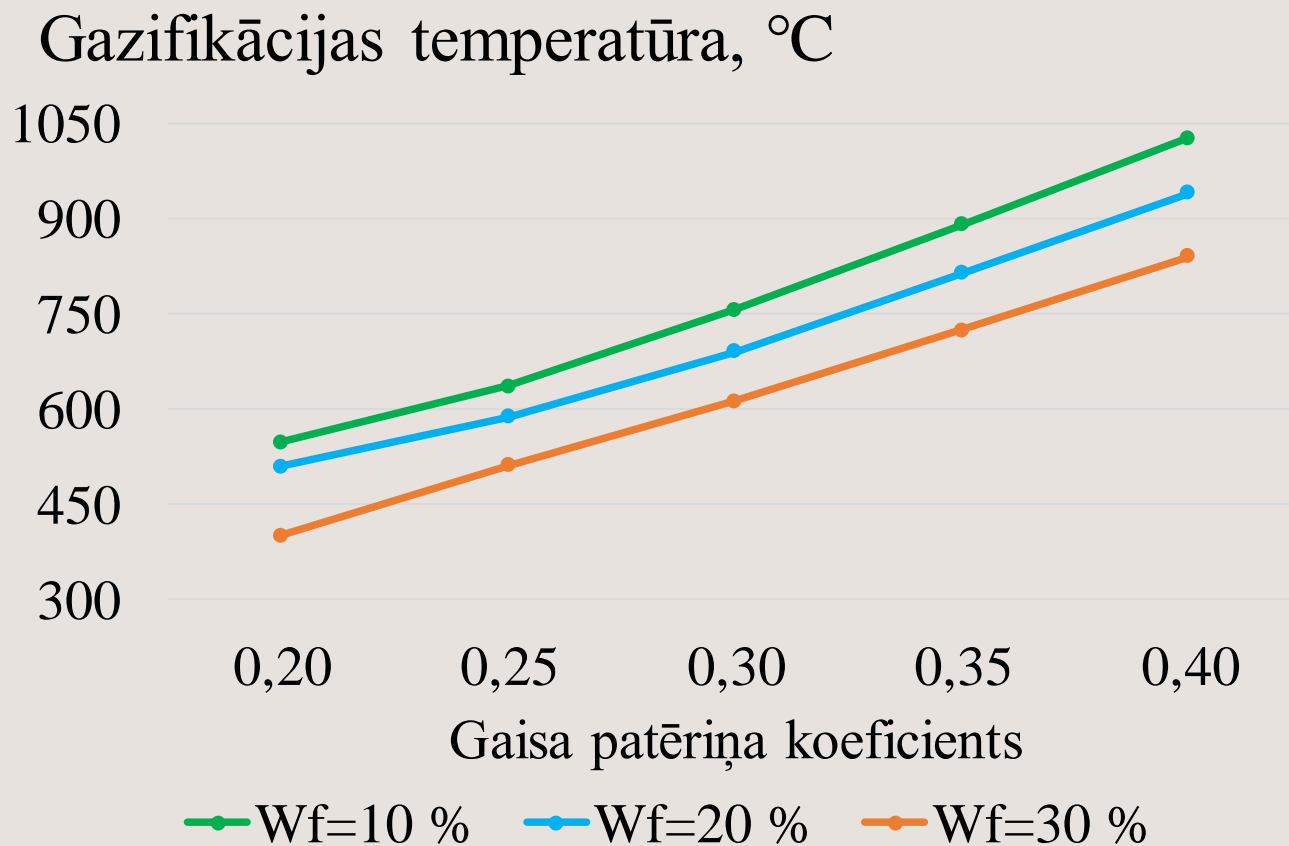
- Gaisa patēriņa koeficients gazifikācijas procesam ir mazāks par 1, un parasti svārstās robežā no 0.2 līdz 0.4.
- Gaisa patēriņa koeficients atšķiras starp gazifikatora zonām.
- Oksidācijas reakcijas ir ievērojami aktīvākas pie lielāka ievadīta skābekļa daudzuma.

# Kurināmā mitrums

- Gazificēt var arī biomasu ar augsto mitrumu saturu, tomēr biežāk gazifikācijas procesam izmanto jau daļēji izžāvēto kurināmo.
- Vienas kilograma ūdens iztvaikošanai ir nepieciešams patērēt 2260 kJ kurināmā enerģijas.

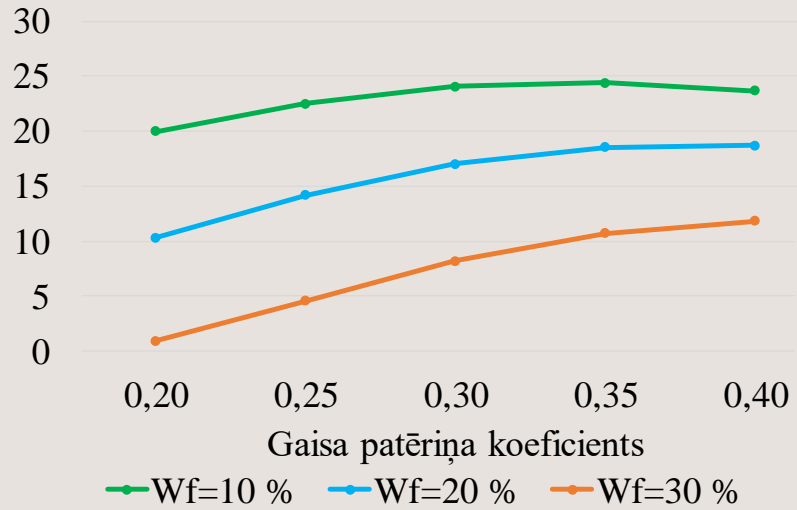


# Gaisa patēriņa un kurināmā mitruma ietekme

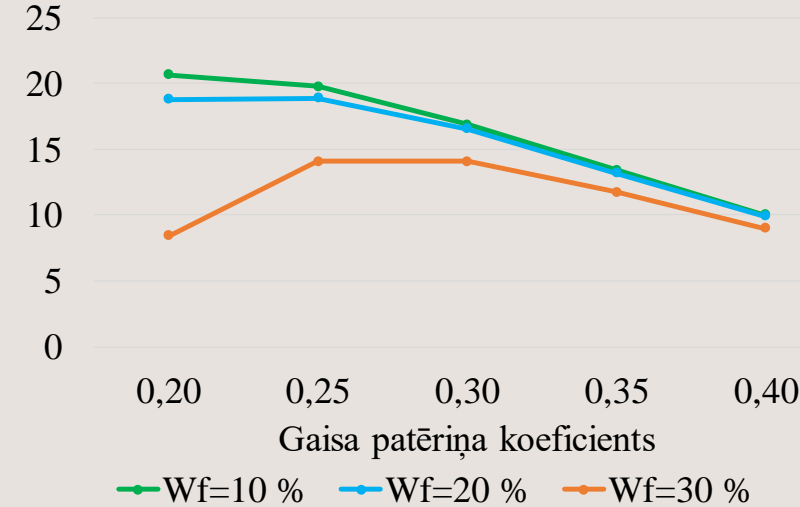


# Gaisa patēriņa un kurināmā mitruma ietekme (II)

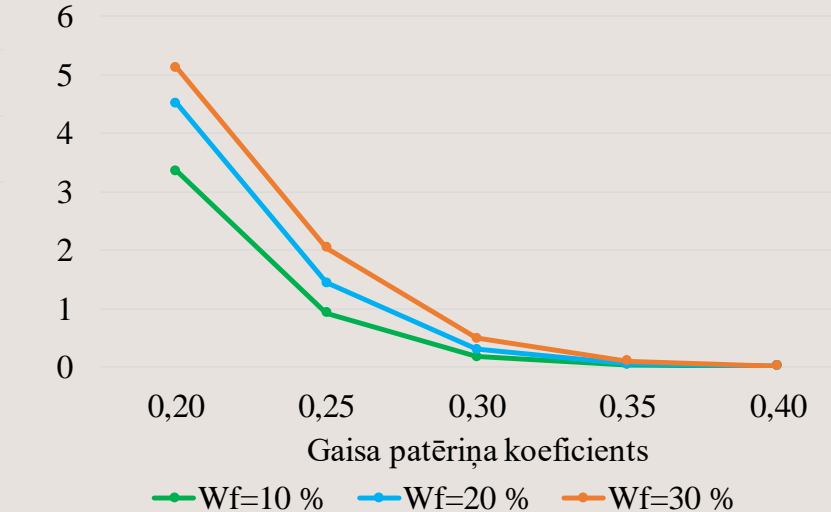
CO, tilp% (sausais)



H<sub>2</sub>, tilp% (sausais)

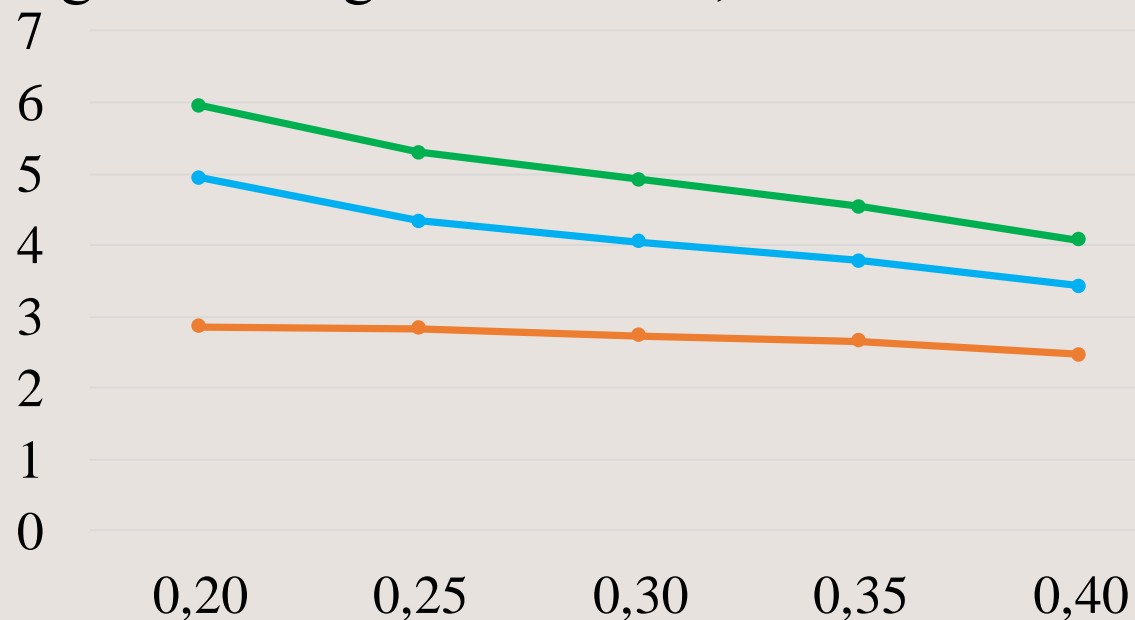


CH<sub>4</sub>, tilp% (sausais)



# Gaisa patēriņa un kurināmā mitruma ietekme (III)

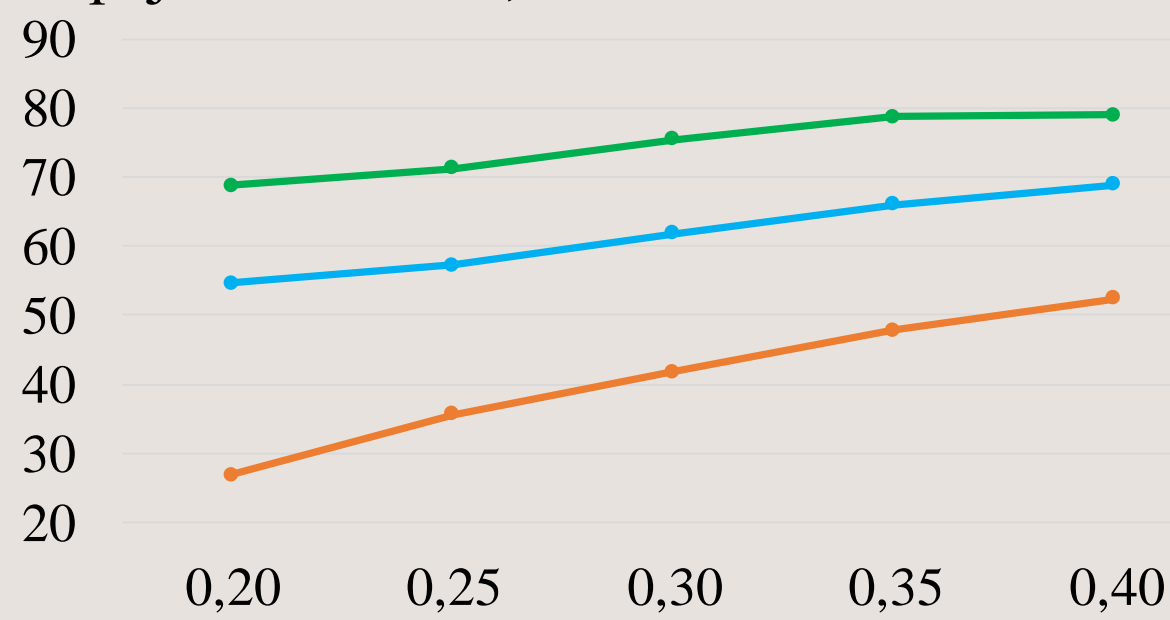
Singāzes sadegšanas siltums, MJ/Nm<sup>3</sup>



Gaisa patēriņa koeficients

—●— Wf=10 % —●— Wf=20 % —●— Wf=30 %

Kopējā efektivitāte, %

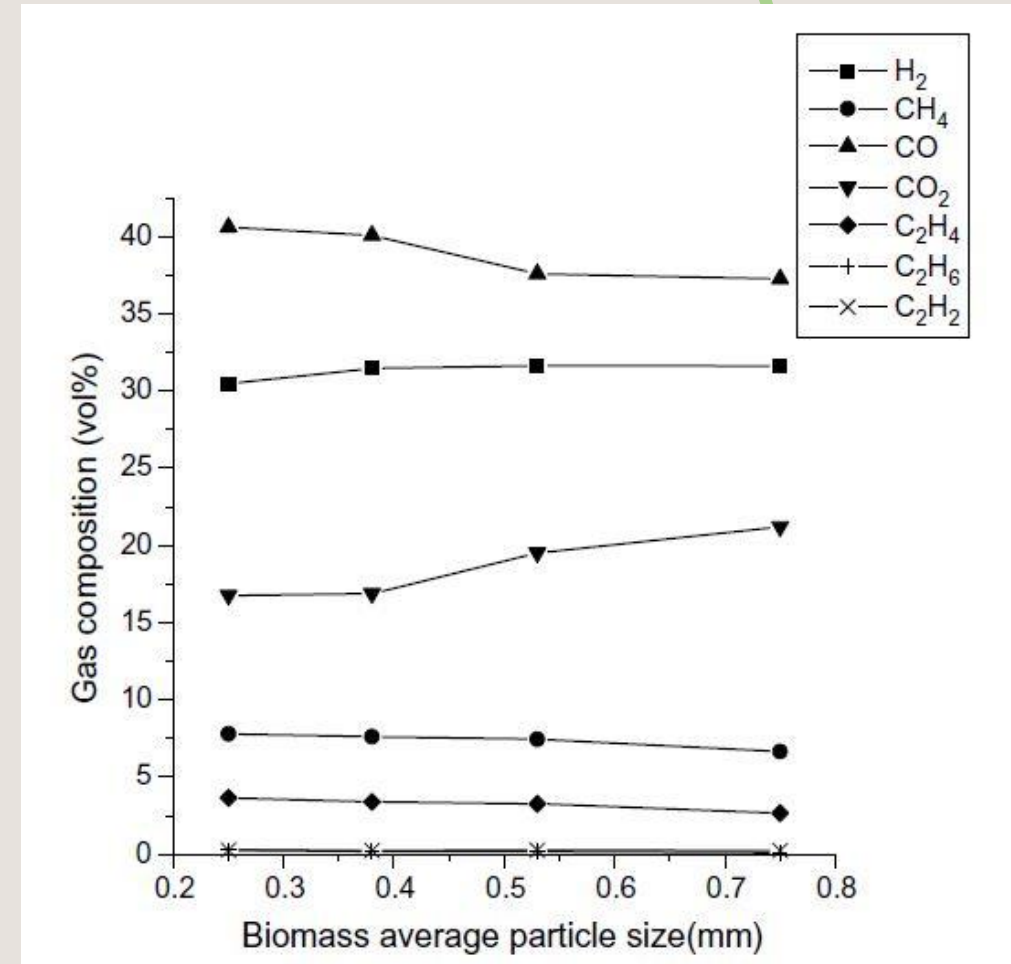


Gaisa patēriņa koeficients

—●— Wf=10 % —●— Wf=20 % —●— Wf=30 %

# Kurināmā izmērs

- Palielinās kurināmā daļiņu uzkarsēšanas un žāvēšanas laiks;
- Temperatūras nevienlīdzība starp kurināmā virsmu un daļiņas vidusdaļu.
- Samazinās CO daudzums, singāzes sadegšanas siltums un kopēja procesa efektivitāte.

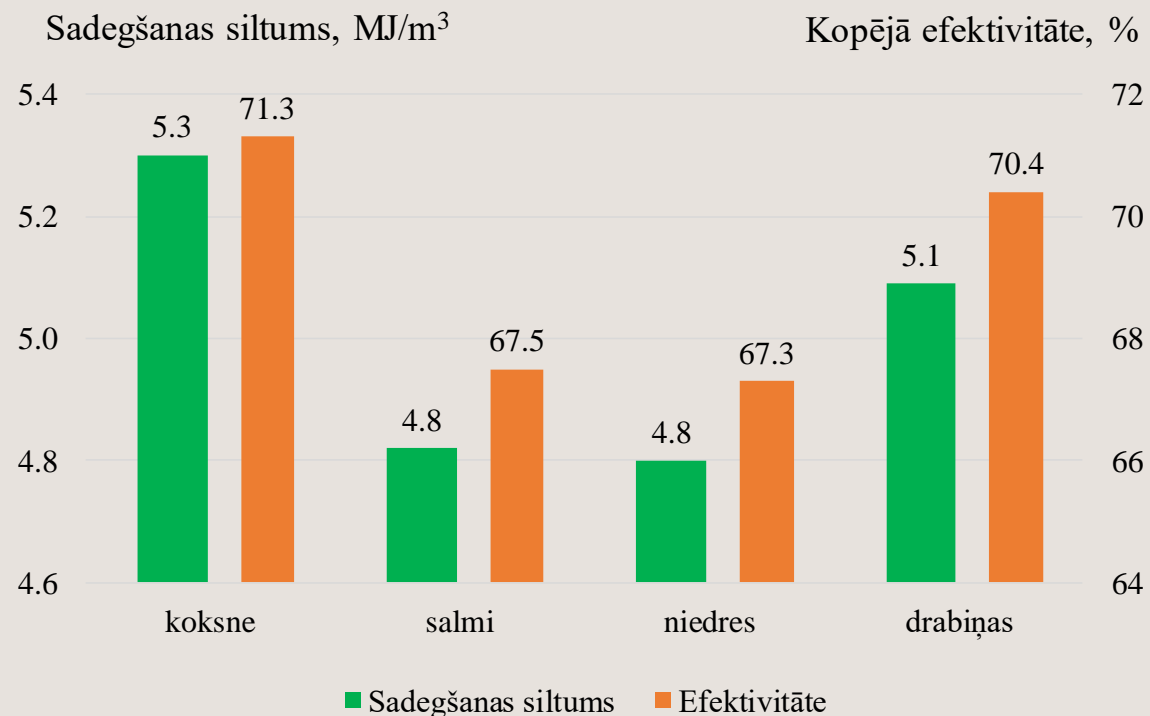
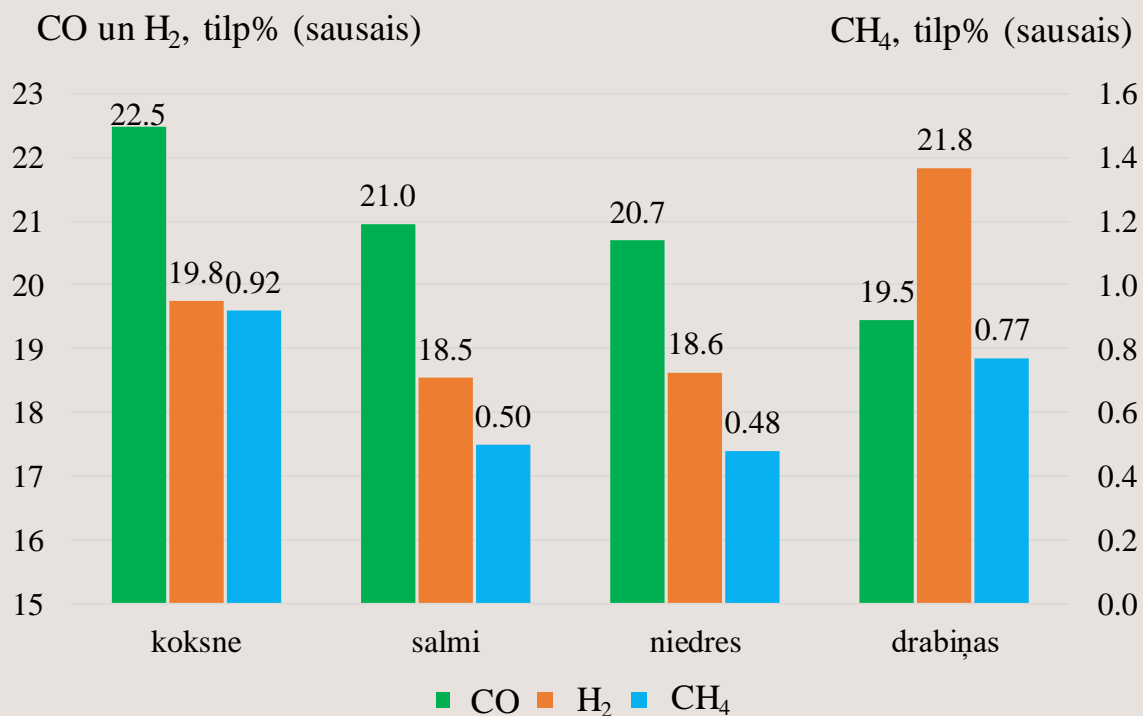


Avots: Lv, P. u.c., 2004. An experimental study on biomass air-steam gasification in a fluidized bed. *Bioresource Technology* 95, pp. 95-101.

# Kurināma ķīmiska sastāva ietekme

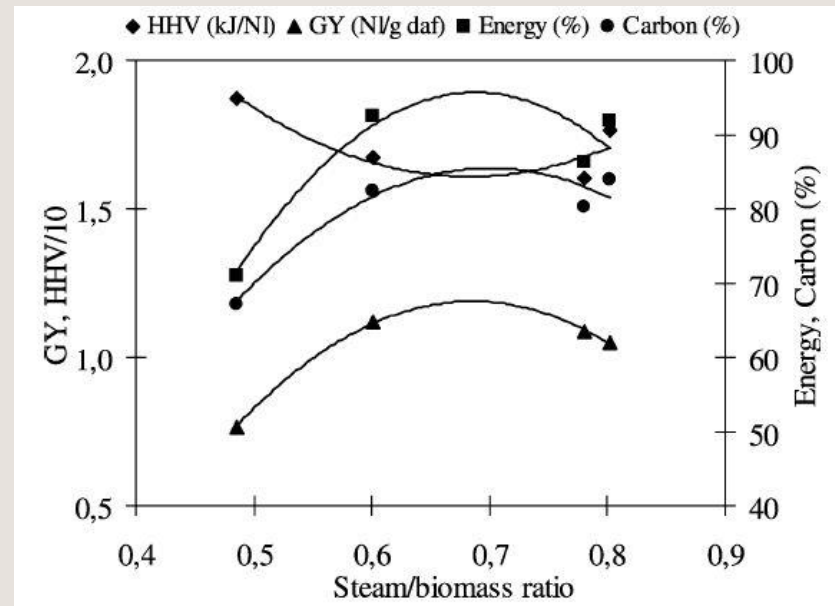
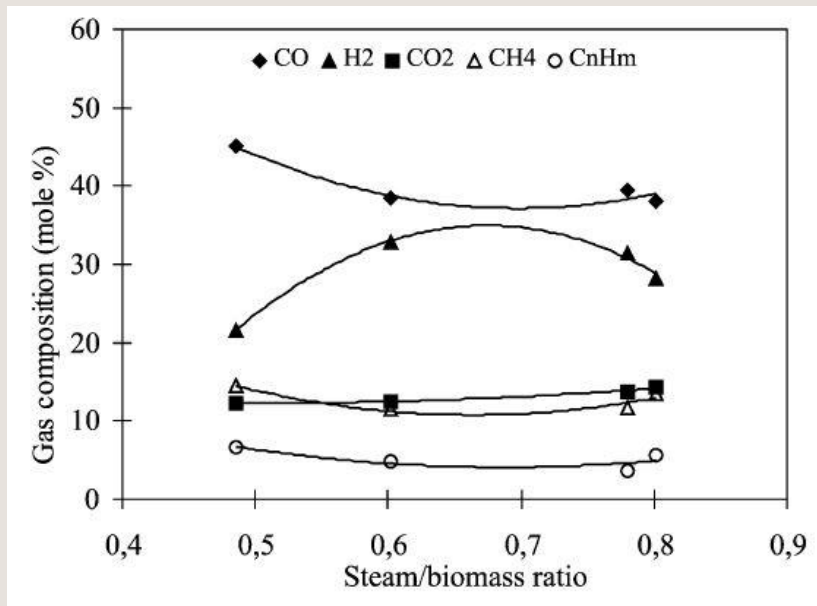
Kurināmā veids	Kurināmā īpašības	Gazifikācijas procesa raksturojums
<b>Koksnes skaidas</b>	C <sub>43.8%</sub> , H <sub>6.8%</sub> , O <sub>39.1%</sub> , N <sub>1.2%</sub> , A <sub>0.8%</sub> , W <sub>9.3%</sub>	CO=20.5%, H <sub>2</sub> =9%, CO <sub>2</sub> =13%, CH <sub>4</sub> =5.0%
<b>Kukurūzas stiebri</b>	C <sub>47.5%</sub> , H <sub>6.0%</sub> , O <sub>43.9%</sub> , N <sub>0.8%</sub> , A <sub>5.8%</sub> , W <sub>12.5%</sub>	CO=18.0%, H <sub>2</sub> =11.5%, CO <sub>2</sub> =16.0%, CH <sub>4</sub> =2.0%
<b>Niedres</b>	C <sub>49.2%</sub> , H <sub>6.0%</sub> , O <sub>44.2%</sub> , N <sub>0.4%</sub> , A <sub>2.7%</sub> , W <sub>11.4%</sub>	CO=17.5%, H <sub>2</sub> =14%, CO <sub>2</sub> =11.5%, H <sub>2</sub> O=13.0%
<b>Kokosrieksta čaumala</b>	C <sub>50.2%</sub> , H <sub>5.7%</sub> , O <sub>43.4%</sub> , N <sub>0.0%</sub> , W <sub>5.2%</sub>	CO=20.0%, H <sub>2</sub> =15.0%, CO <sub>2</sub> =10.5%, CH <sub>4</sub> =2.0
<b>Kaučuka koks</b>	C <sub>46.0%</sub> , H <sub>6.8%</sub> , O <sub>38.4%</sub> , N <sub>8.0%</sub> , A <sub>15.5%</sub>	CO=11.9%, H <sub>2</sub> =17.7%, CO <sub>2</sub> =18.2%, CH <sub>4</sub> =0.6%

# Nekoksnes materiālu gazifikācijas iespējas



# Tvaika un kurināma attiecība

- Izmantotais tvaika daudzums tiek attiecināts pret gazifikatorā ievadīto kurināma daudzumu.
- Ir noteikta tvaika/kurināma attiecība pie kuras ir iespējams sasniegt maksimālus rezultātus.



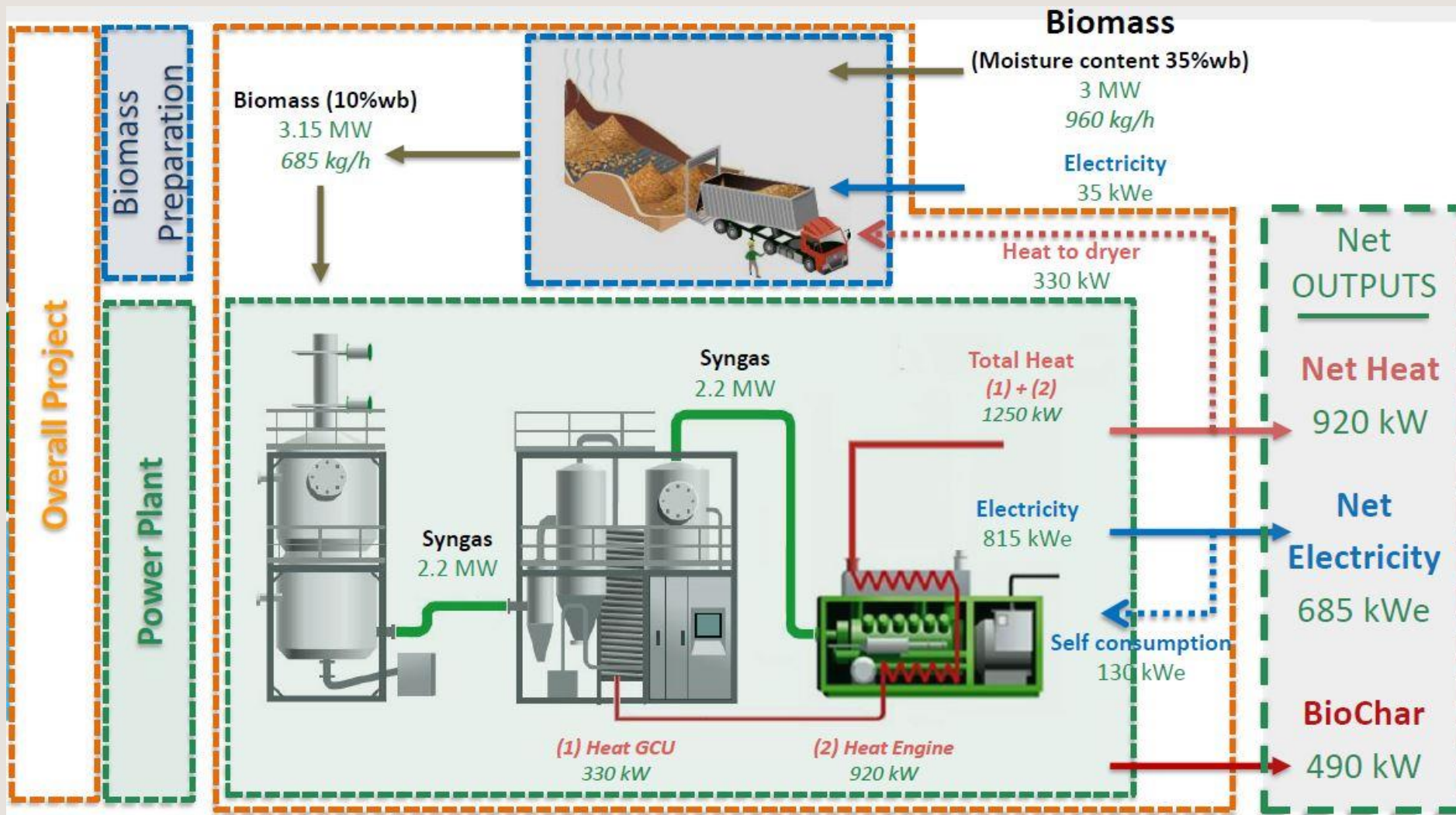
Avots: Franco, C., Pinto, F., Gulyurtlu, I. & Carbita, I., 2003. The study of reactions influencing the biomass steam gasification process. Fuel 82, pp. 835-842.

# Singāzes attīrīšana

- Gazifikācijas procesā iegūtā singāze satur piesārņotājus:
  - Darva;
  - Cietās daļiņas;
  - Slāpekļa savienojumi.
- Gāzes attīrīšana iespējama divos veidos:
  - Karstā gāzes attīrīšana (sadalīšana reaktorā ar katalizatoru palīdzību);
  - Aukstā gāzes attīrīšana (slapjie elektrostatiskie filtri, auduma filtri, skruberi).

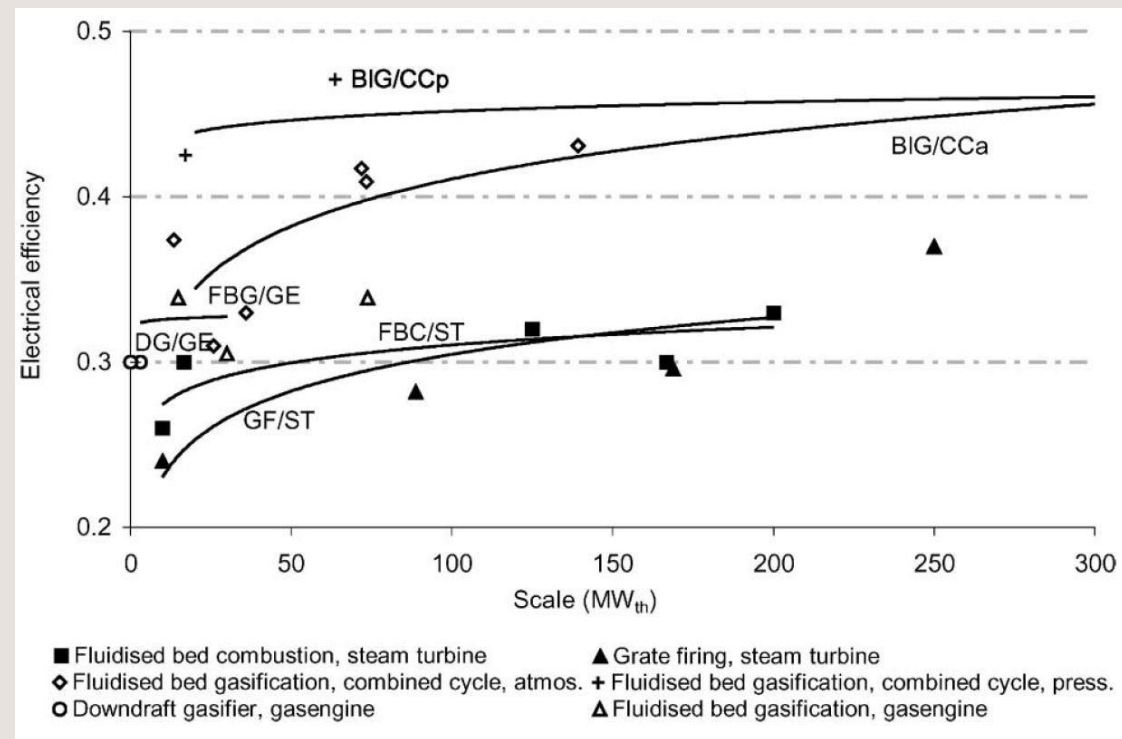
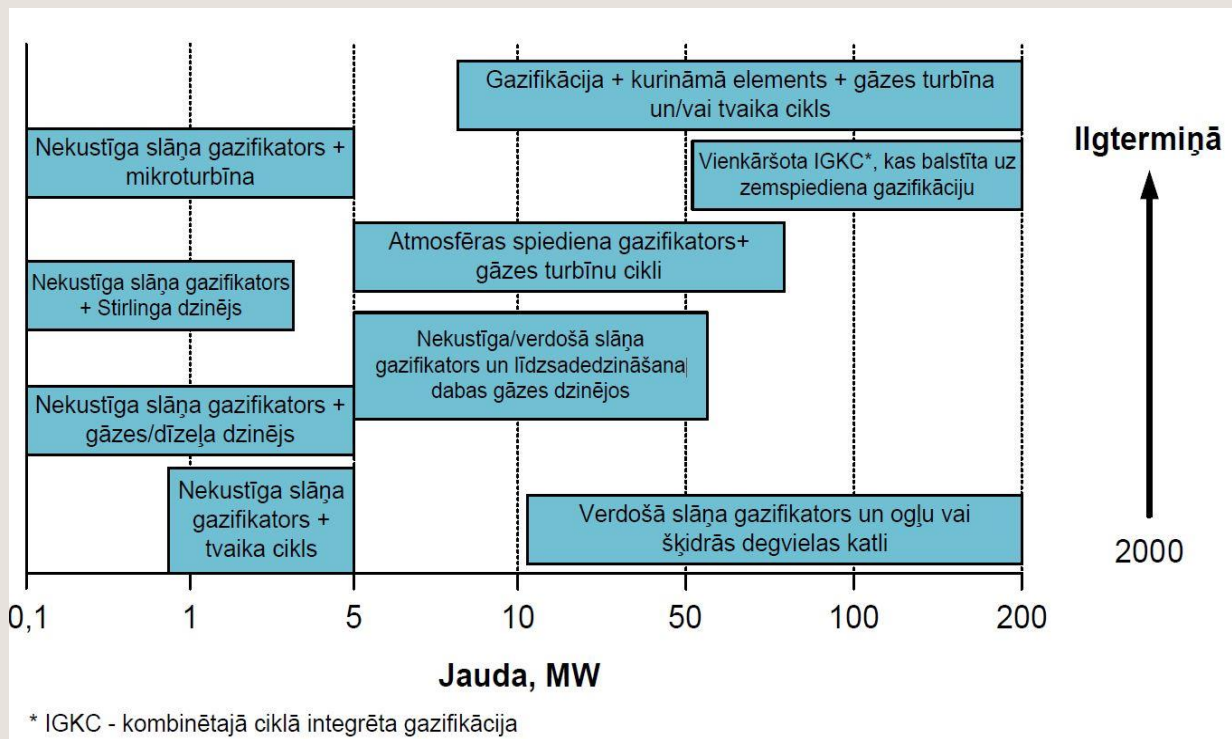


# XYLOWATT gazifikācijas stacija Beļģijā



# Elektroenerģijas ražošana

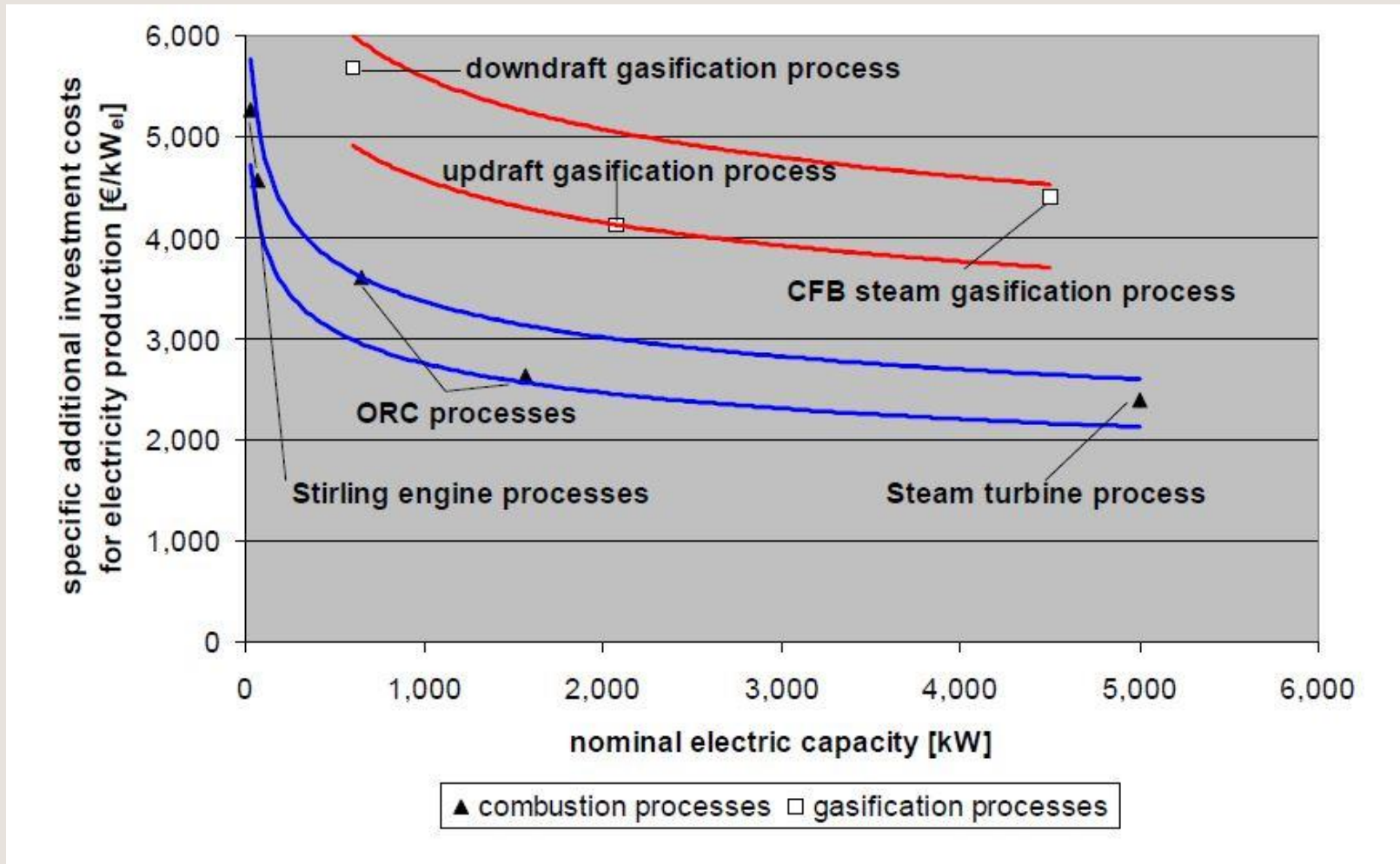
- var izmantot daudz plašāku tehnoloģiju klāstu.



Source: D. Blumberga. Bioenerģijas tehnoloģijas

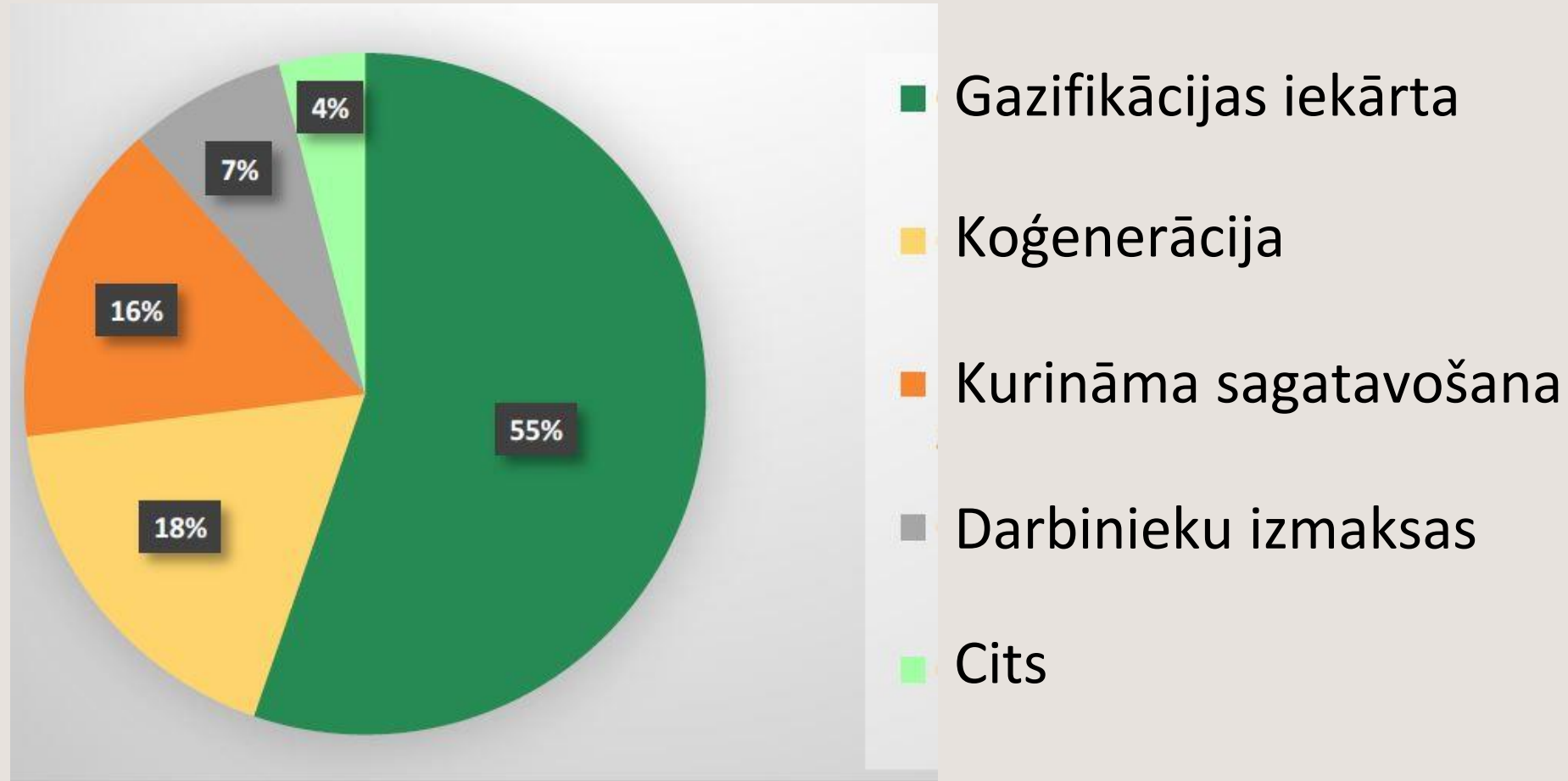
Source: V. Dornburg., A.P.C. Faaij / Biomass and Bioenergy 21 (2001) 91- 108.

# Būvēšanas izmaksas



Obernberger I., et al. Economic evaluation of decentralized CHP applications based on biomass combustion and biomass gasification. 2008

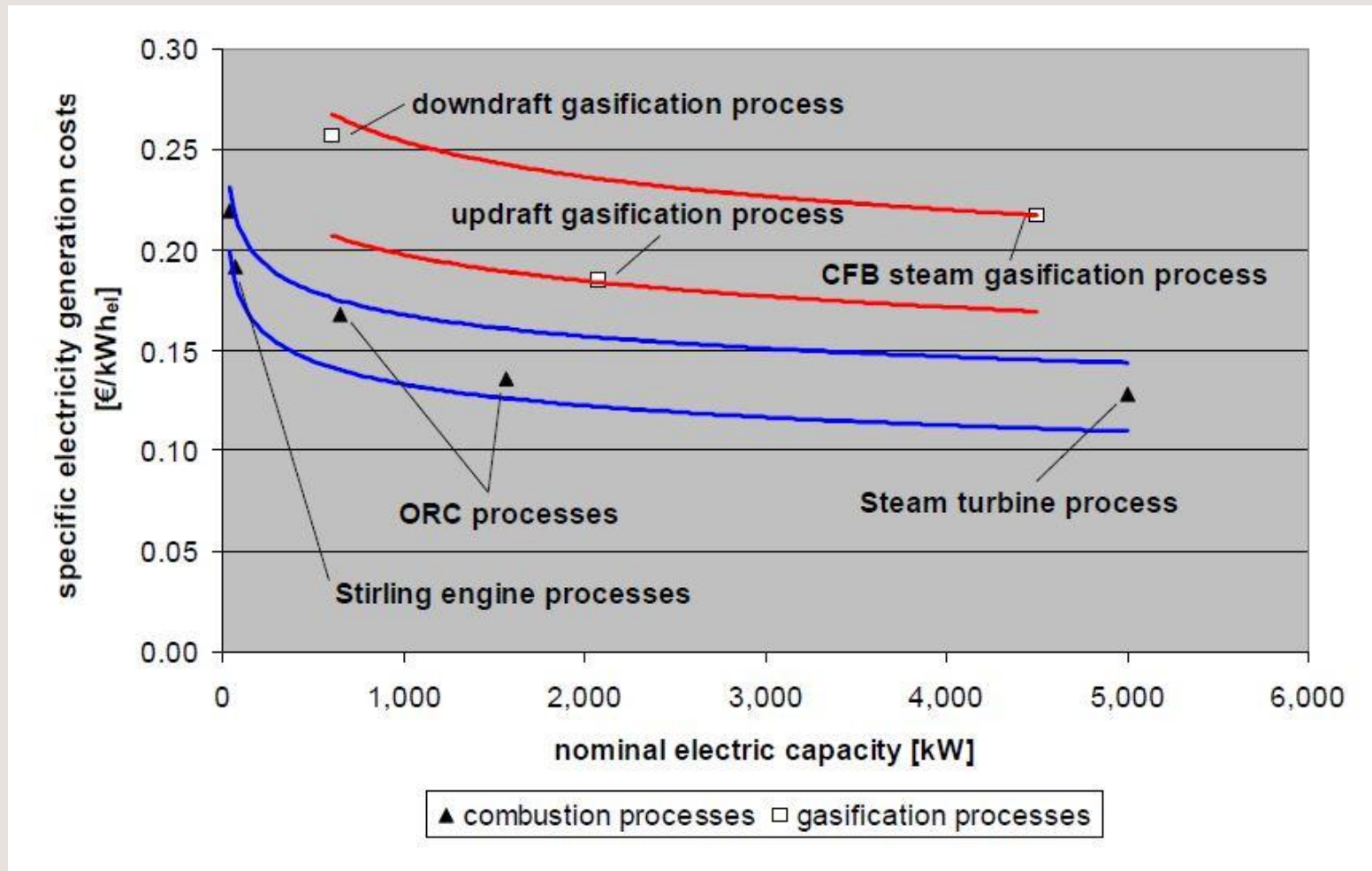
# Būvēšanas izmaksas



Biomass to Energy. The NOTAR Gasification Solution

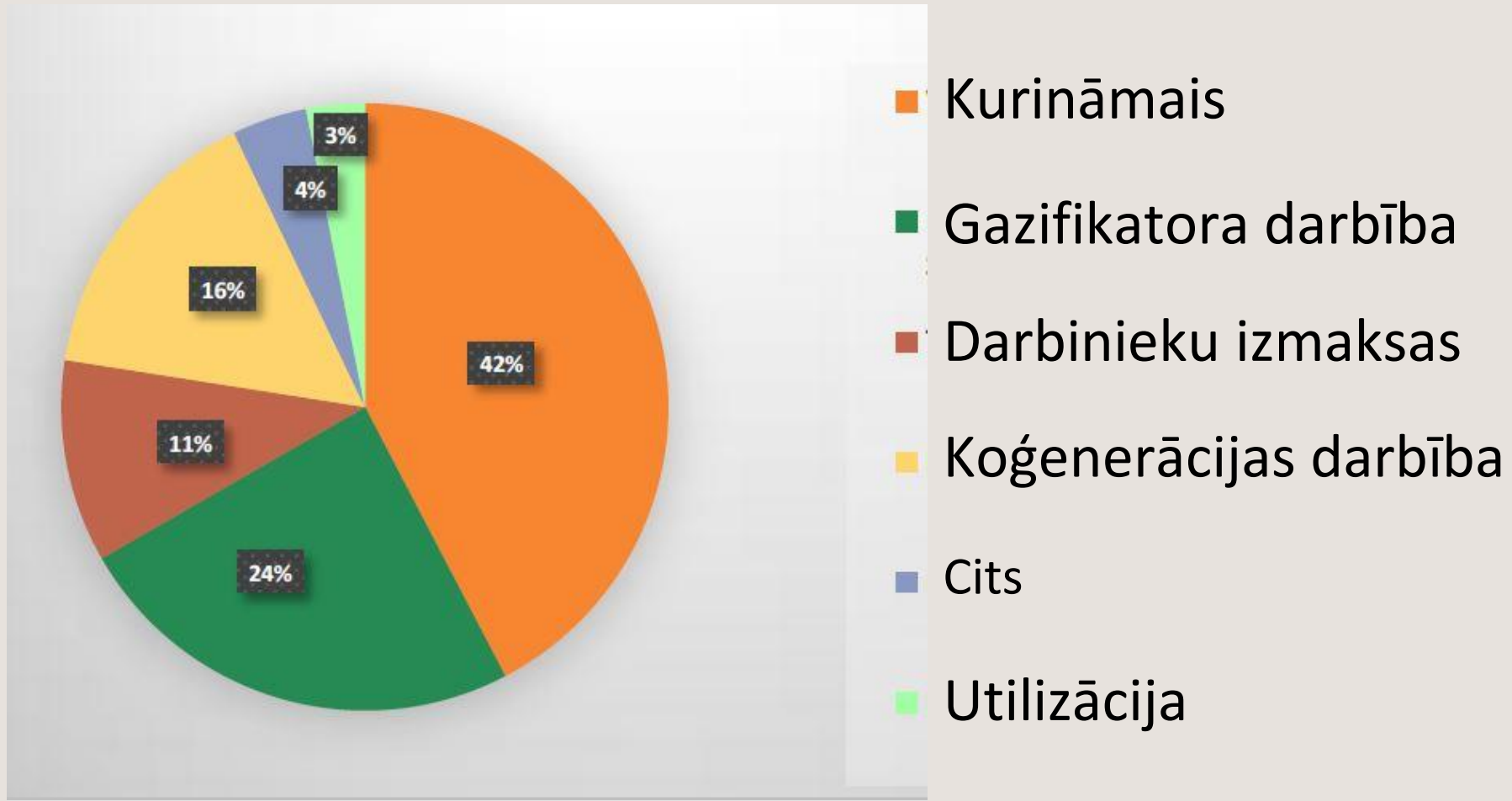


# Operēšanas izmaksas

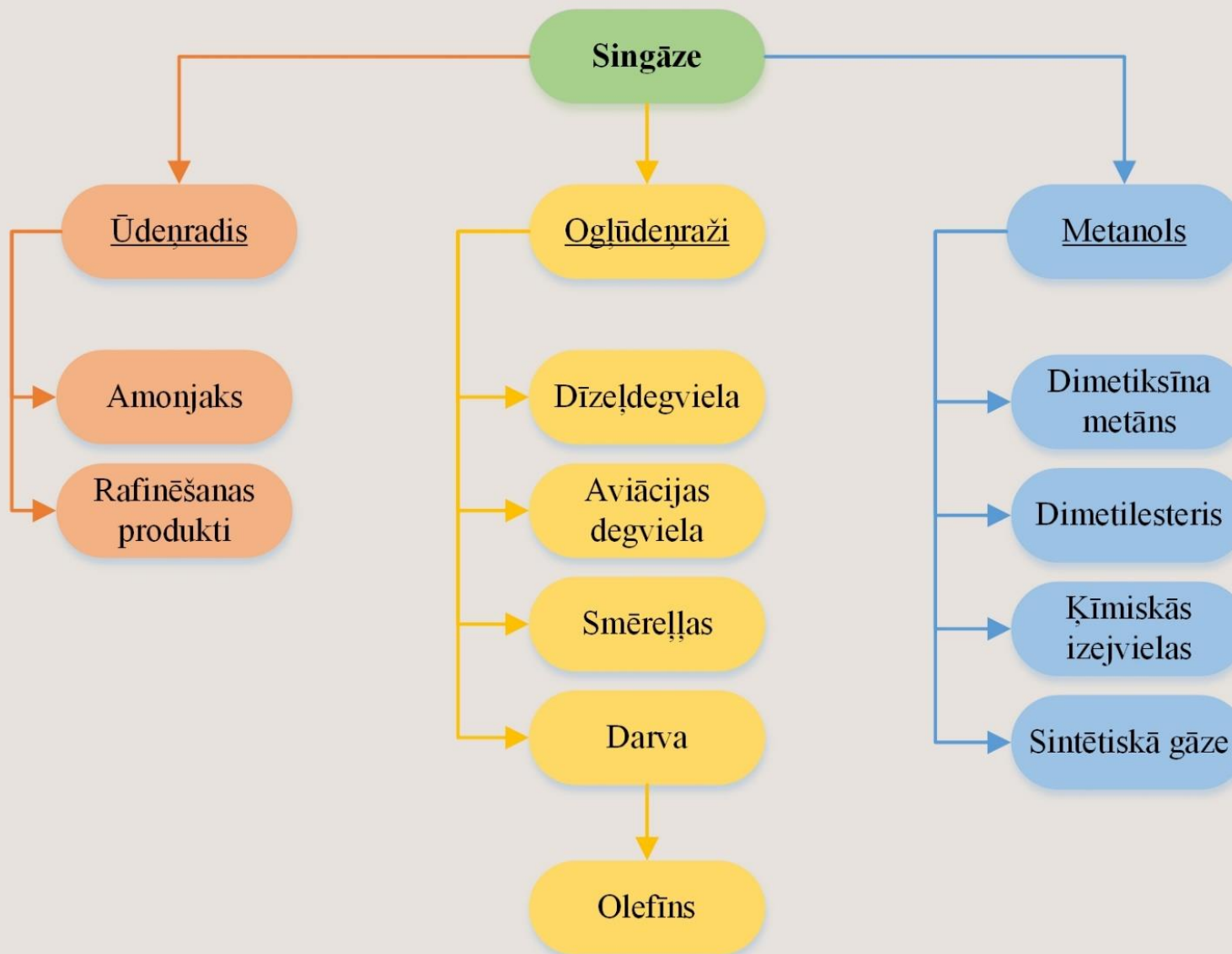


Obernberger I., et al. Economic evaluation of decentralized CHP applications based on biomass combustion and biomass gasification. 2008

# Operēšanas izmaksas



# Singāzes izmantošanas iespējas



# Gazifikācijas priekšrocības un trūkumi

- Priekšrocības:
  - Mazākas emisijas;
  - Lielāka elektroenerģijas pārveidošanas efektivitāte;
  - Produkts ar augsto pievienoto vērtību.
- Trūkumi:
  - Tehnoloģija atrodas attīstības stadijā;
  - Nepieciešama kurināma sagatavošana;
  - Nevēlamais blakusprodukts – darva.



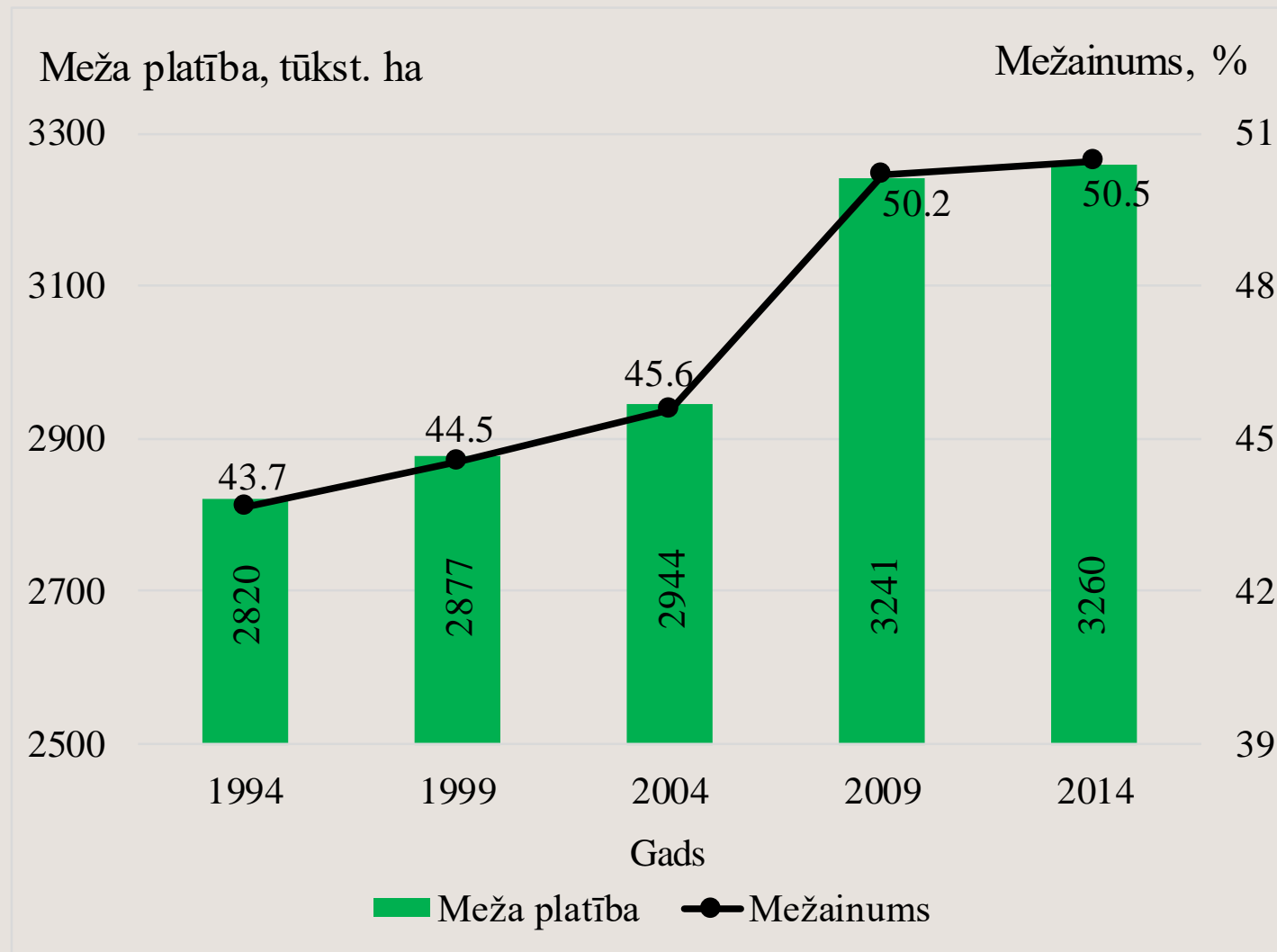
## Projekts

„Inovatīvas biomasas gazifikācijas tehnoloģijas izstrāde singāzes ieguvei”.

## Mērķis

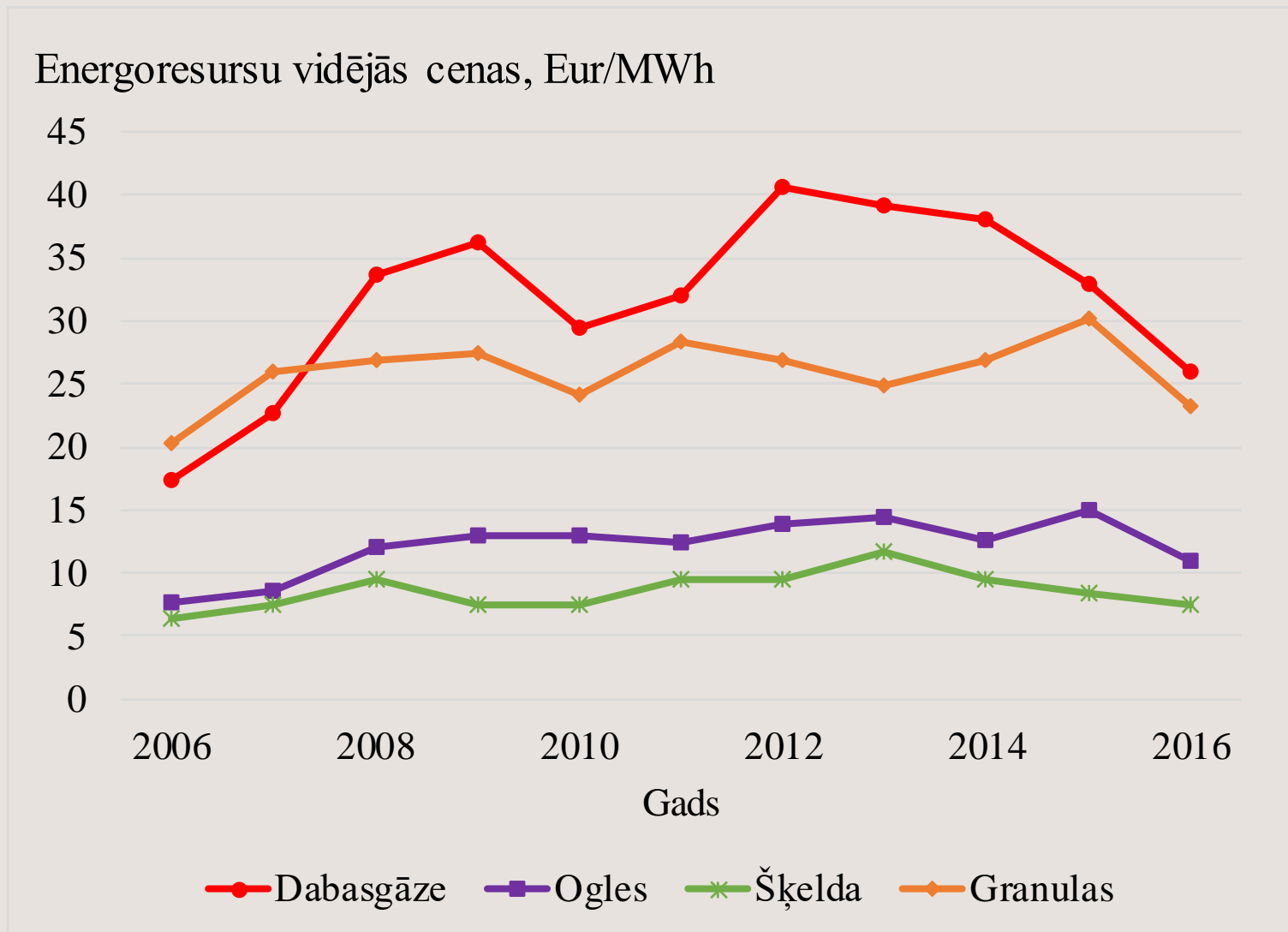
Izpētīt singāzes iegūšanas iespējas gazifikācijas procesa rezultātā, par kurināmo izmantojot vietējo atjaunojamo energoresursu – koksnes šķeldu.

# Koksnes resursu pieejamība



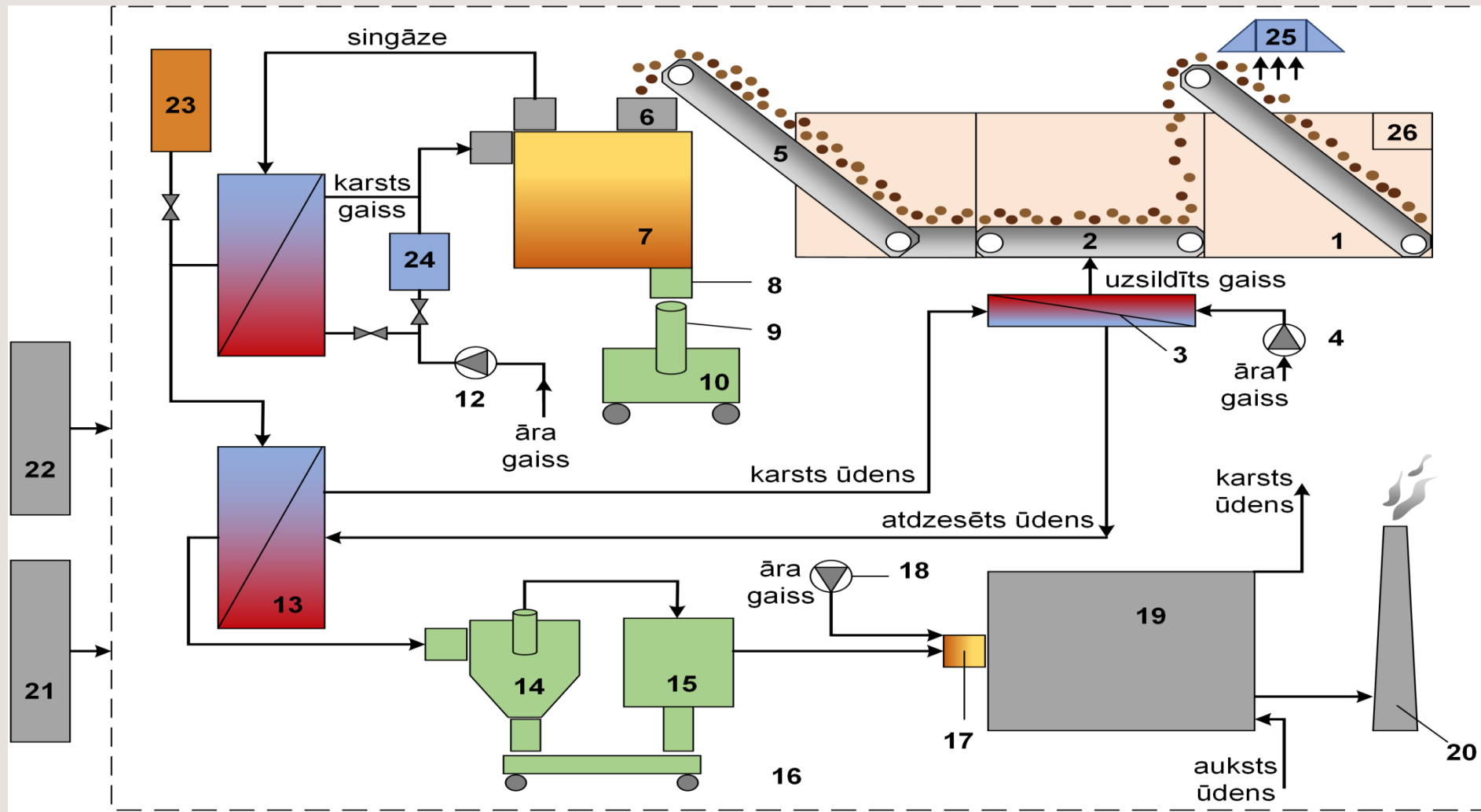
Meža platības un mežainuma izmaiņas (Centrālā statistikas pārvalde, 2014)

# Energoresursu cena

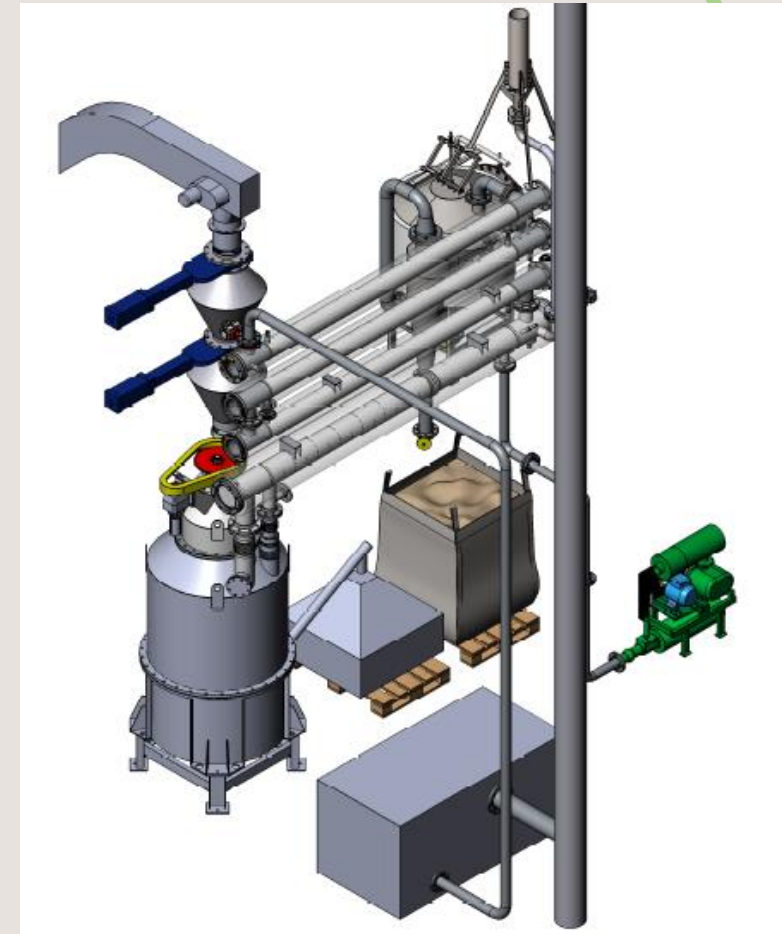
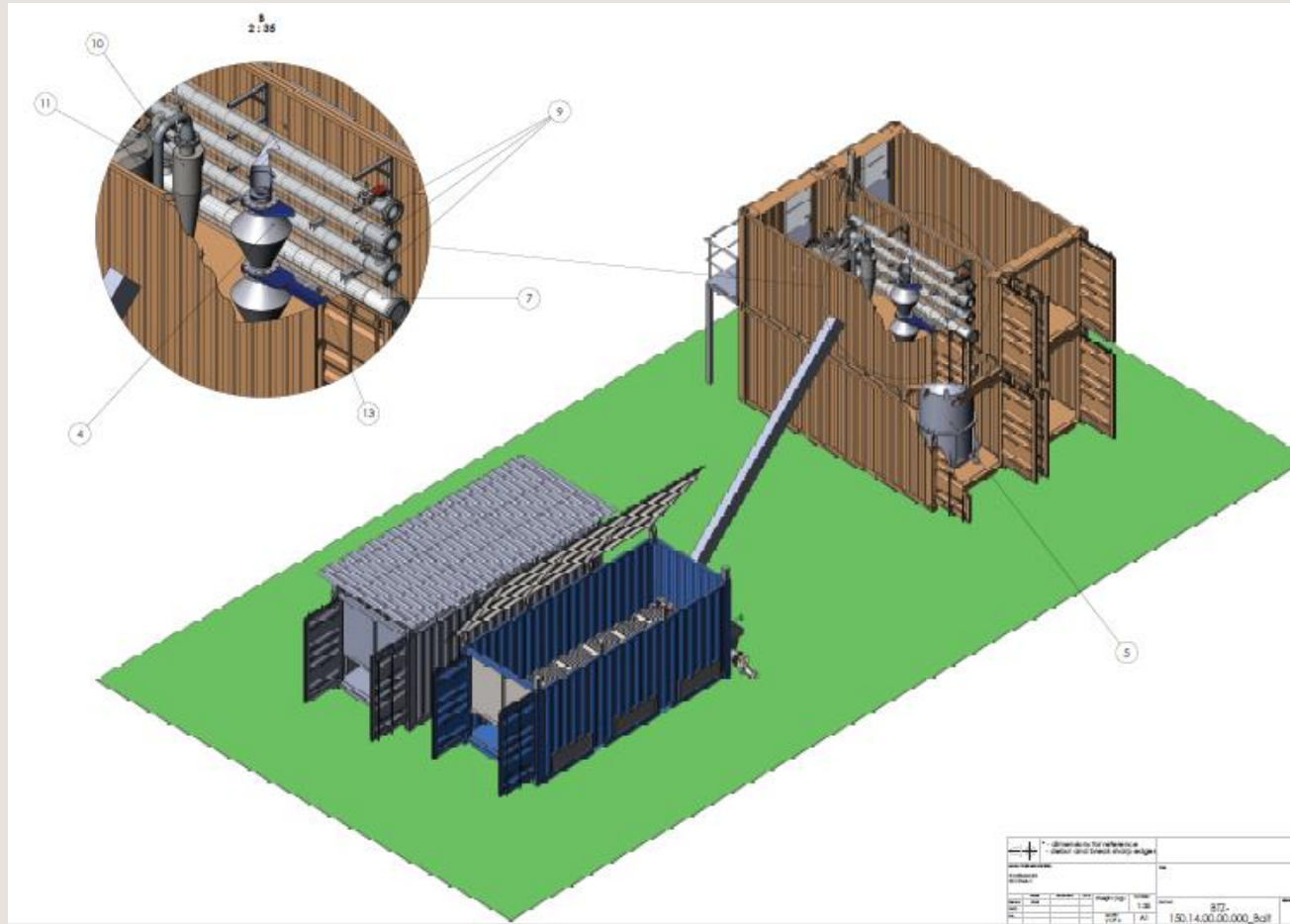


Energoresursu vidējo cenu izmaiņas (Centrālā statistikas pārvalde, 2016)

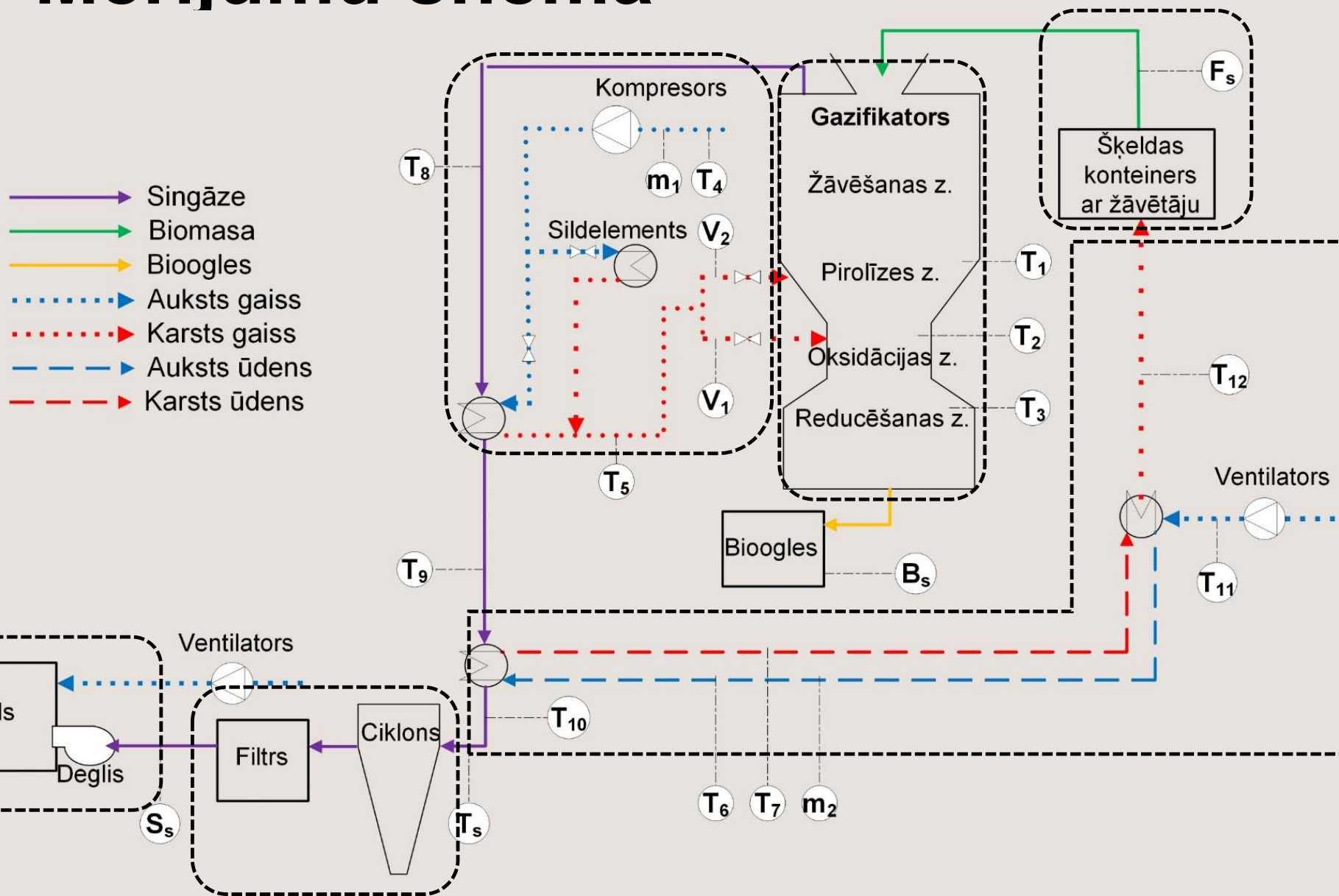
# Sistēmas izveide



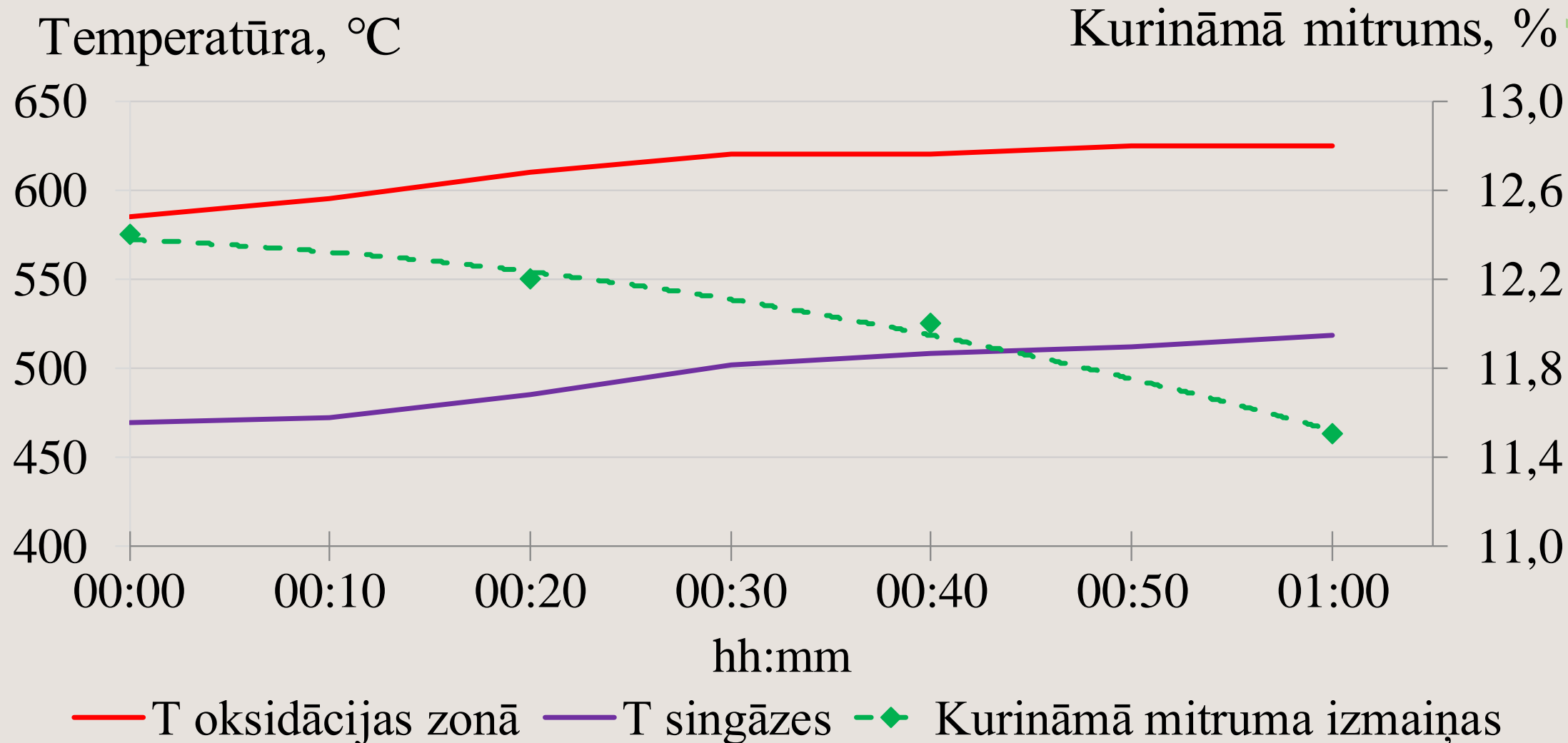
# 3-D skices



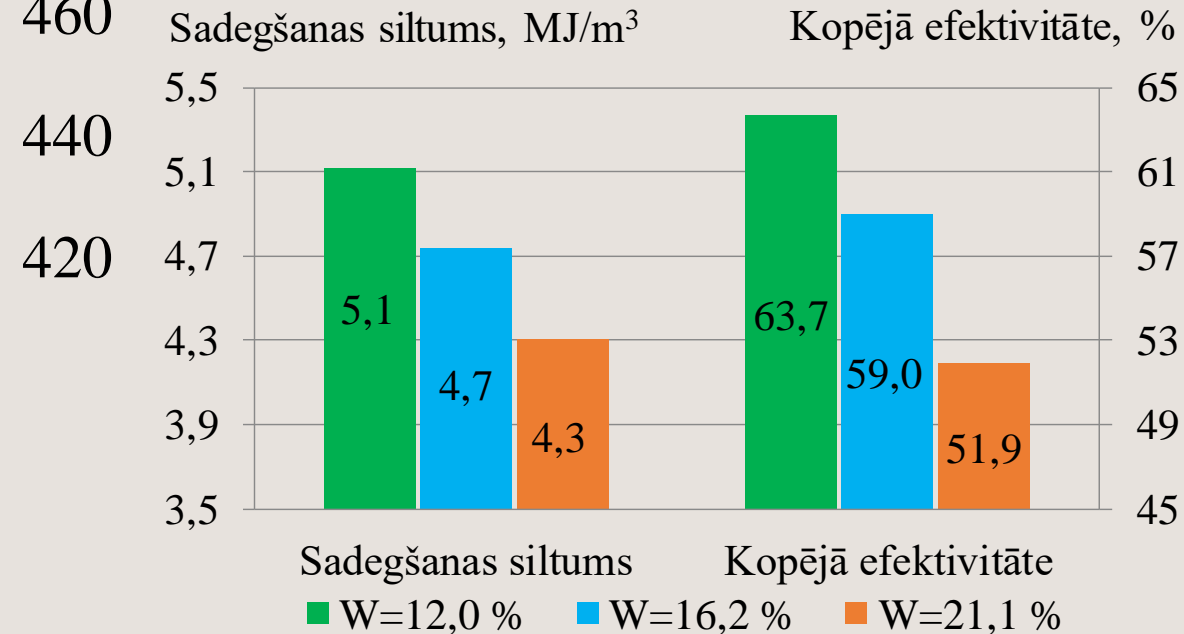
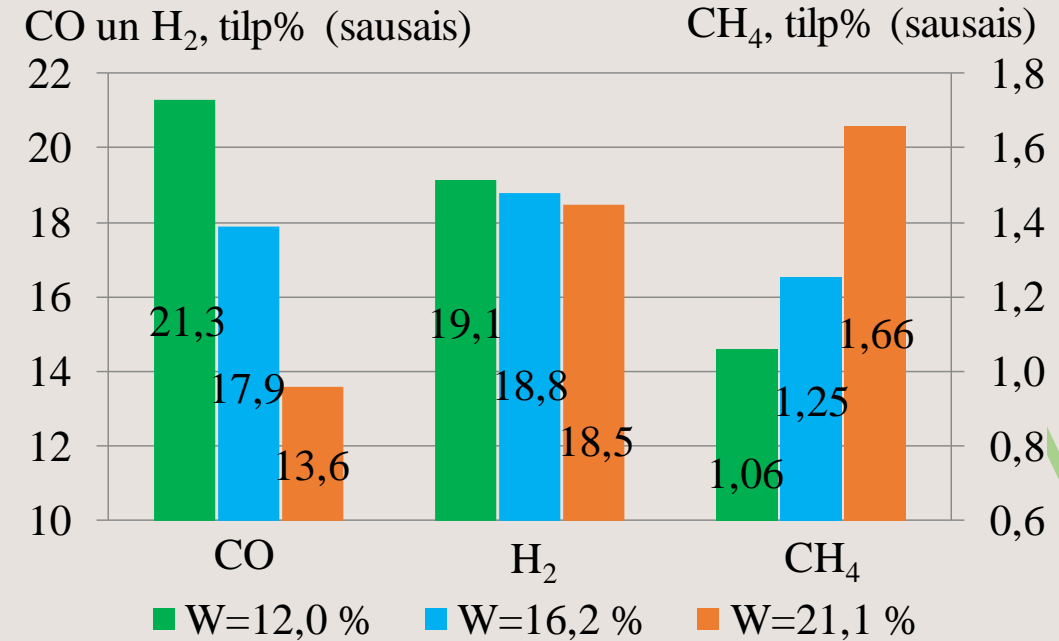
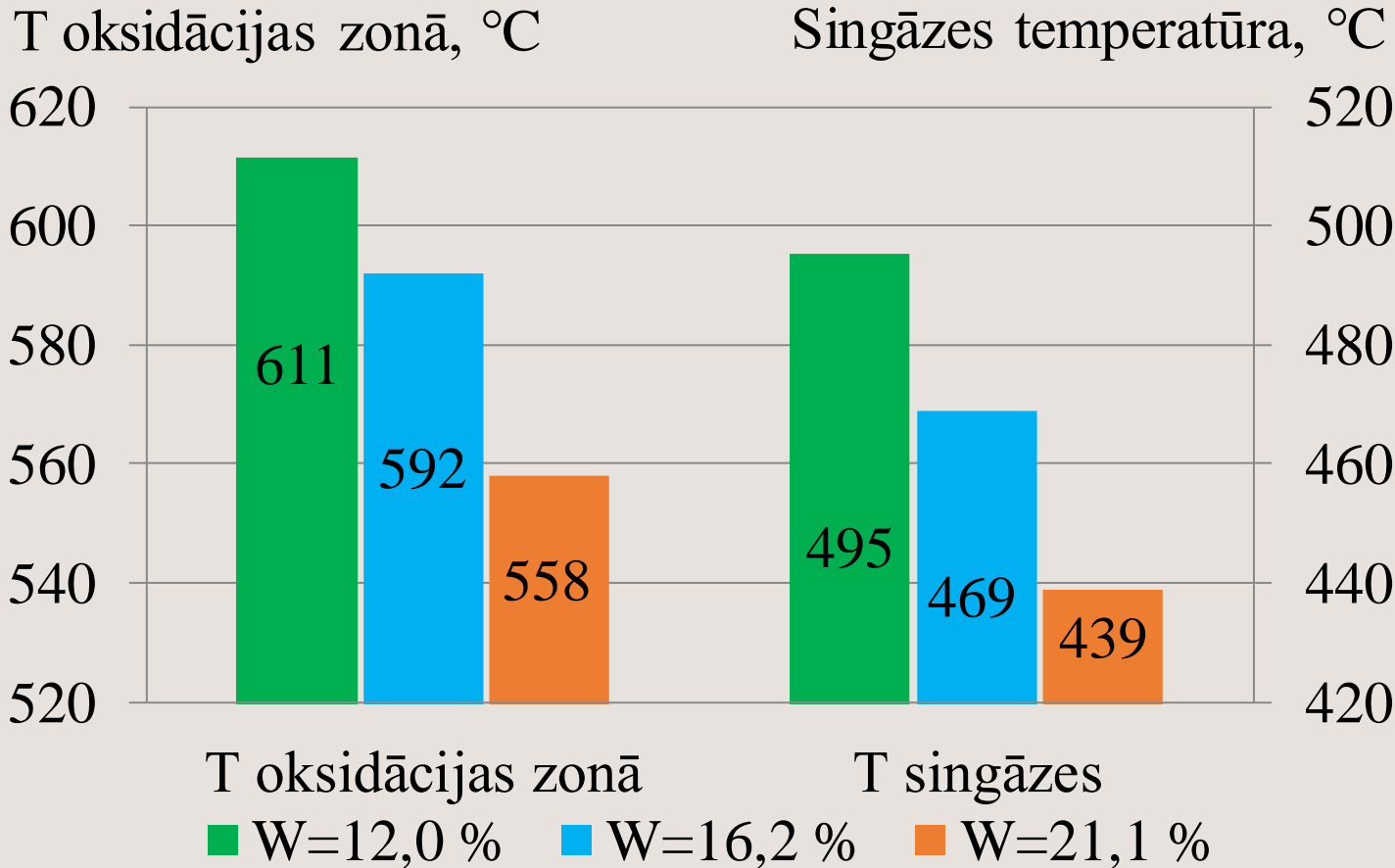
# Mērījumu shēma



# Kurināmā mitruma izmaiņas mērījumu laikā



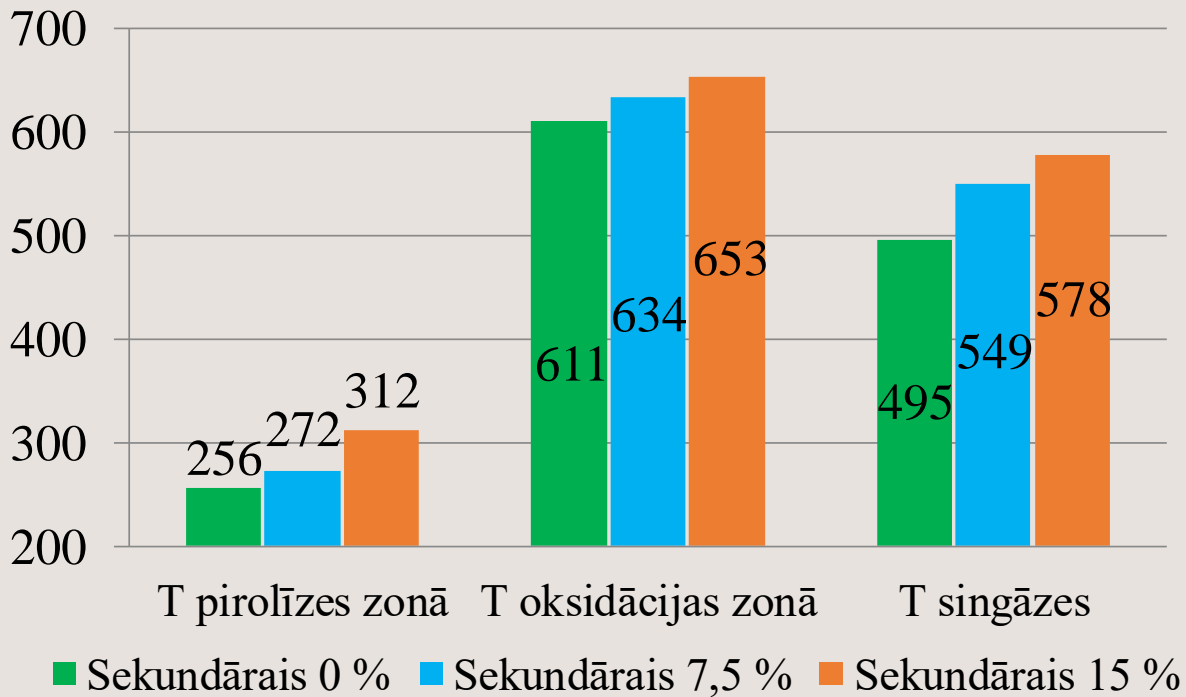
# Kurināmā mitruma ietekme



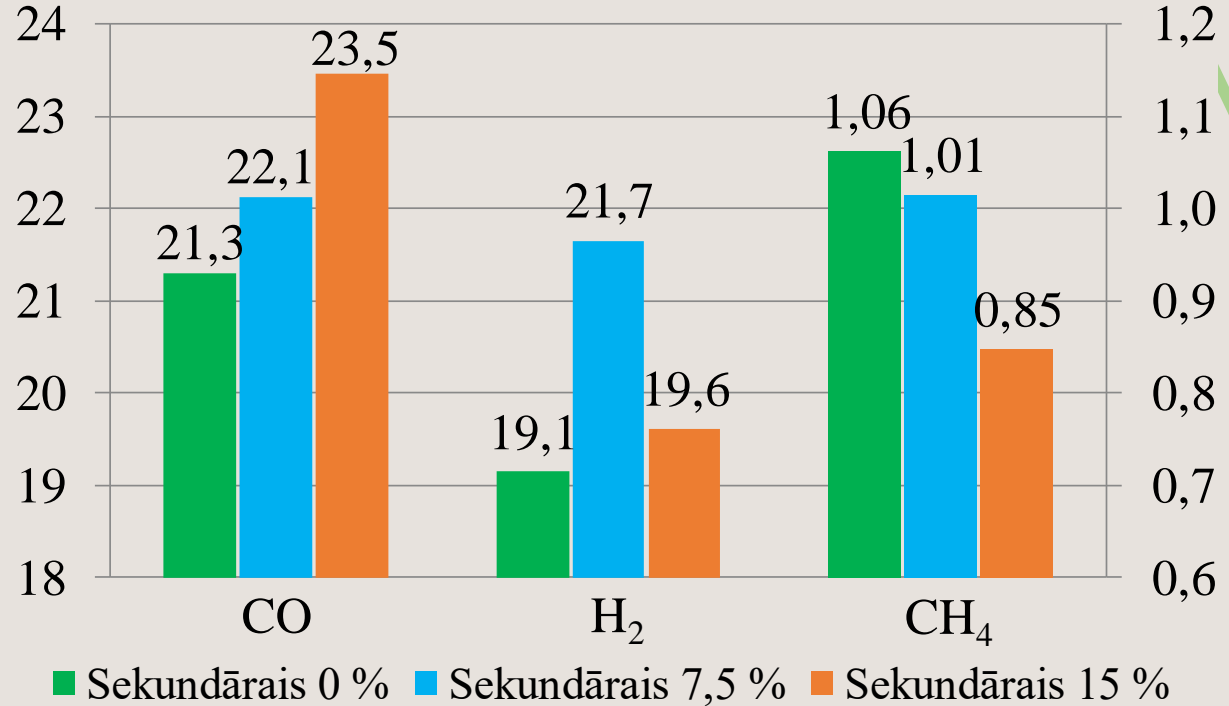


# Sekundārā gaisa ietekme

Temperatūra, °C

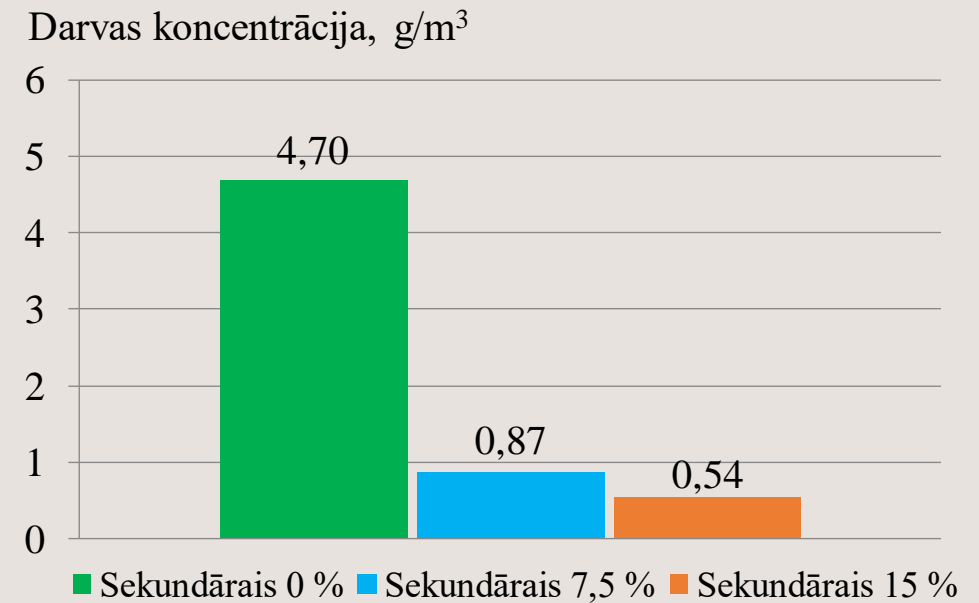
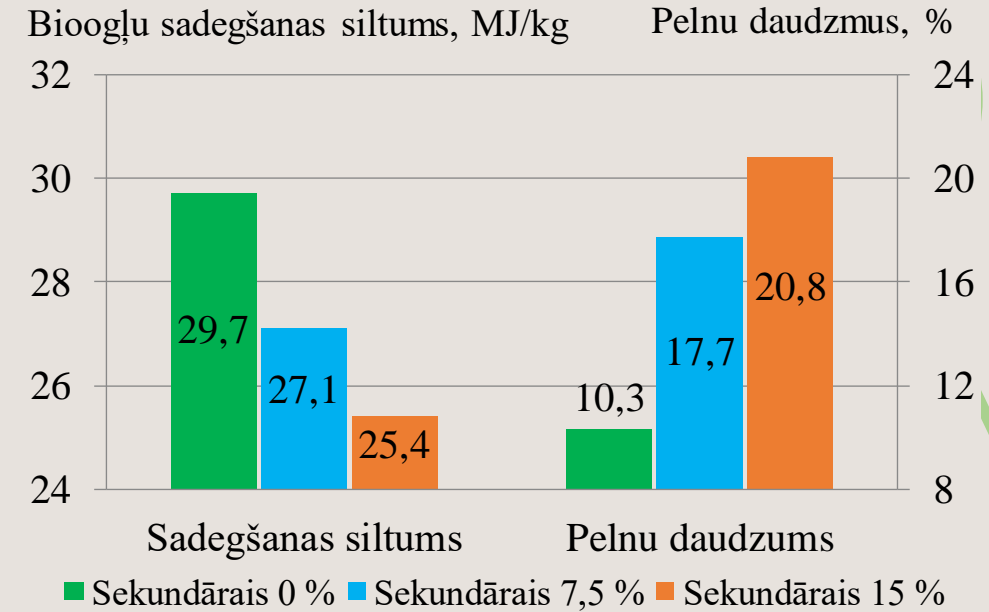
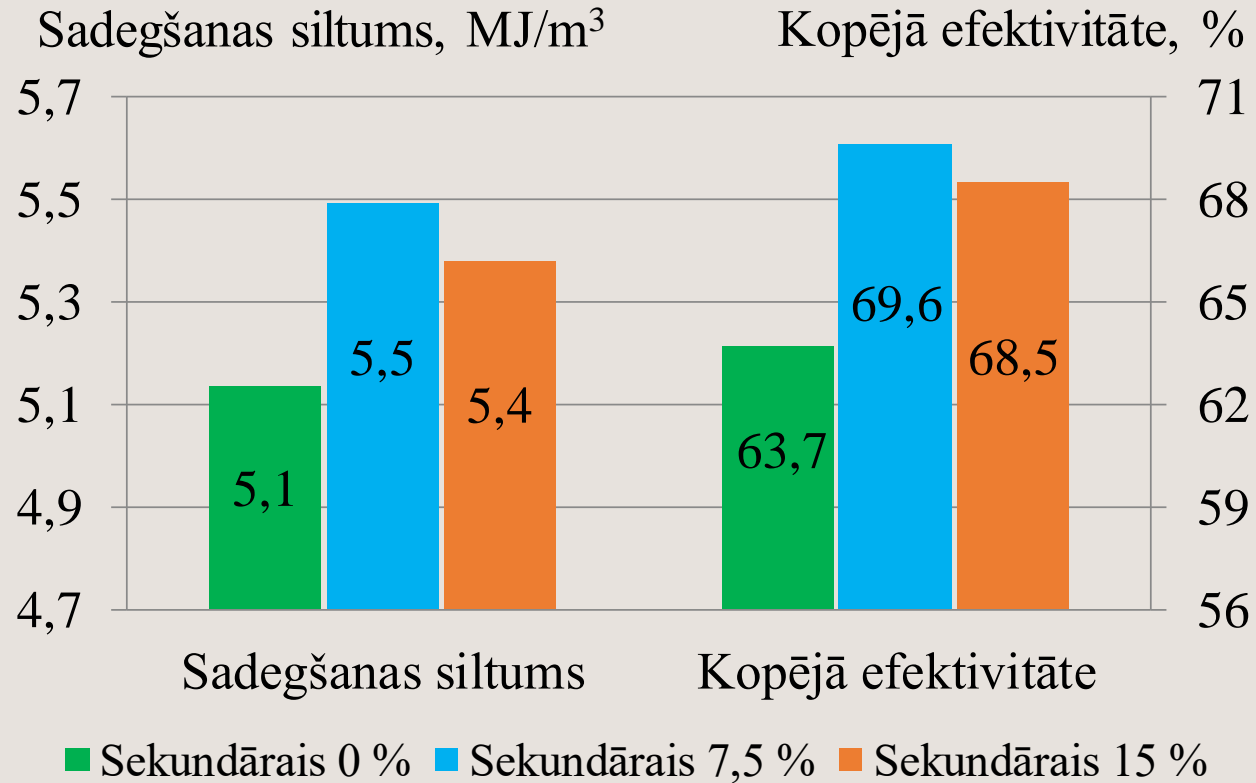


CO un H<sub>2</sub>, tilp% (sausais)

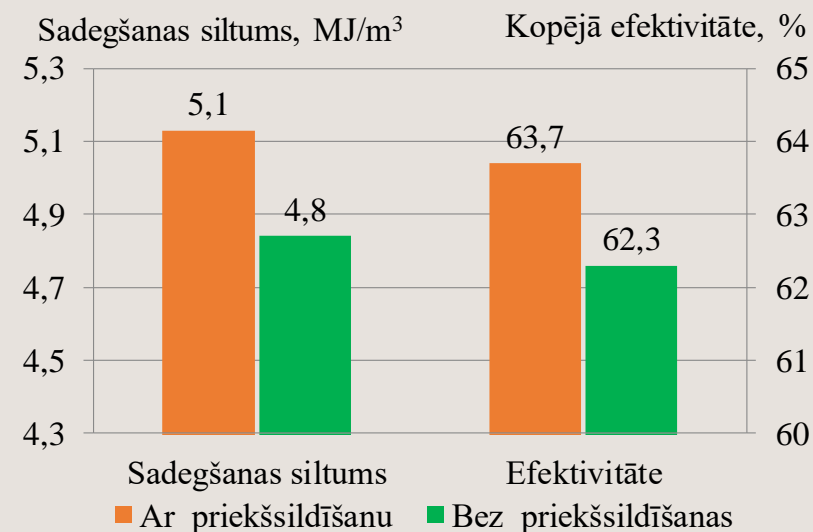
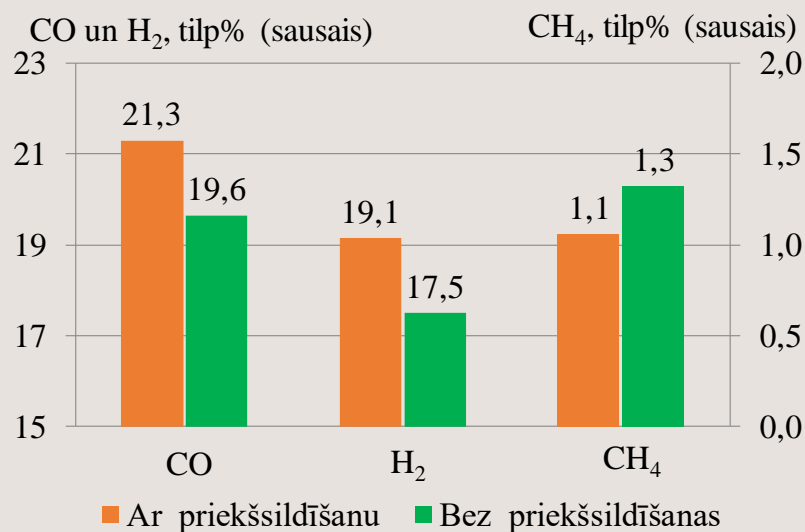
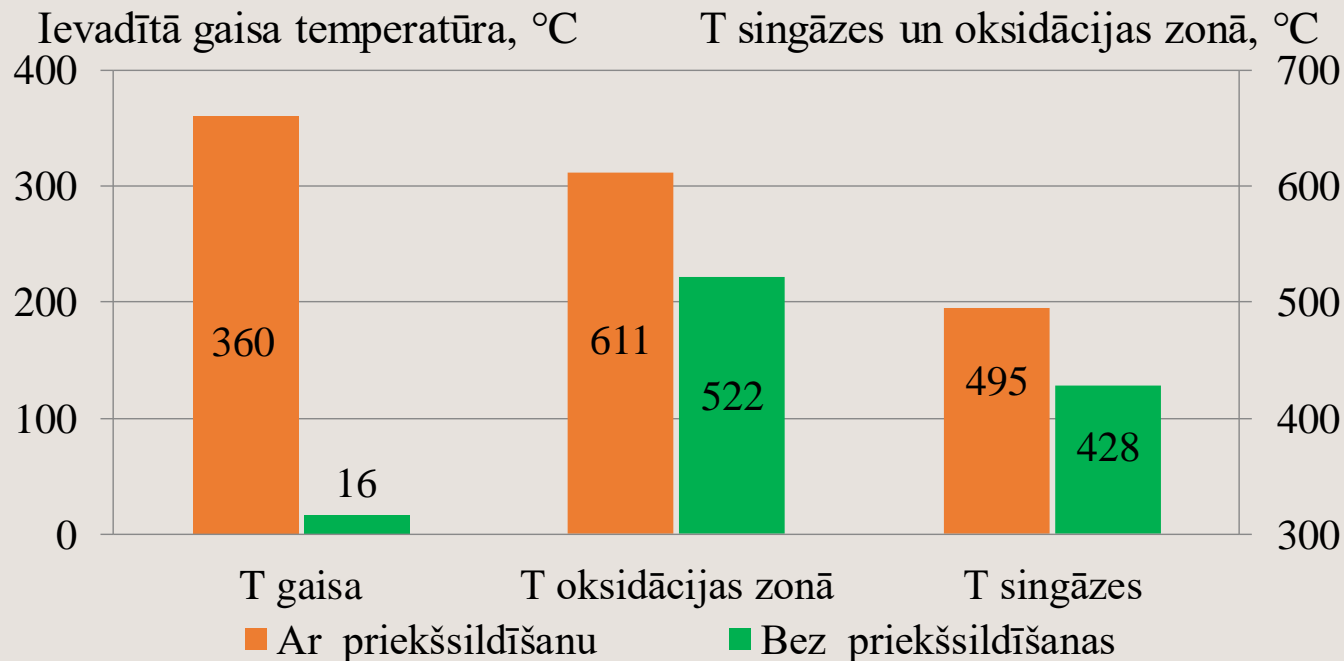


CH<sub>4</sub>, tilp% (sausais)

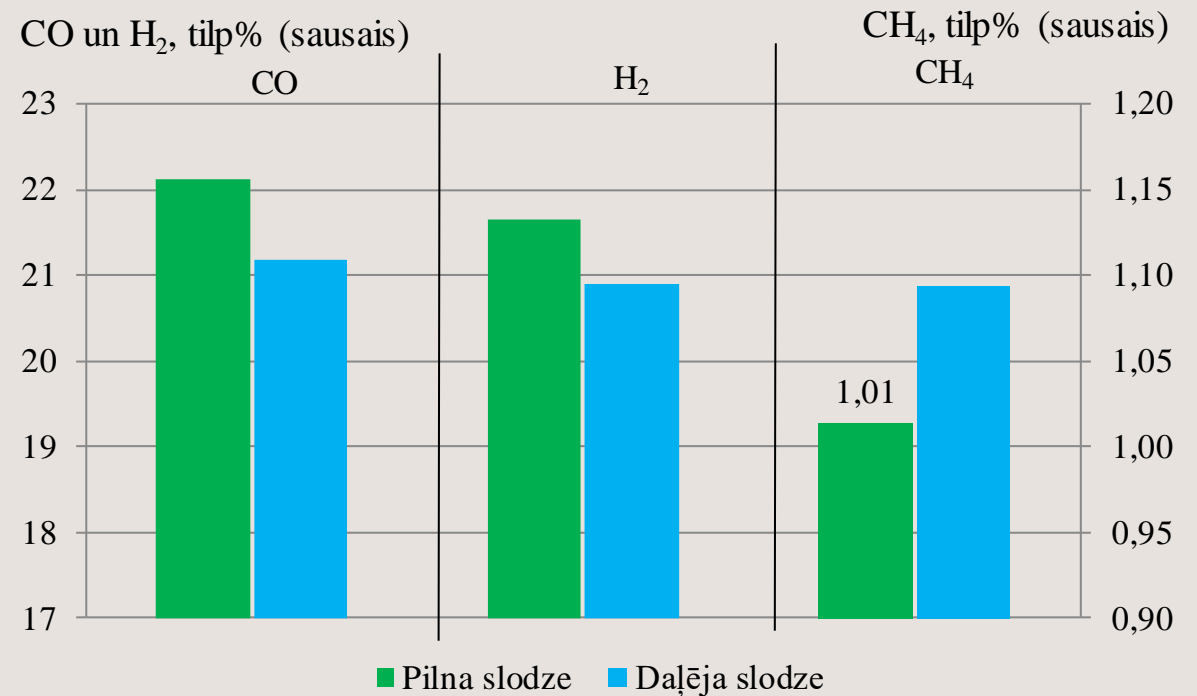
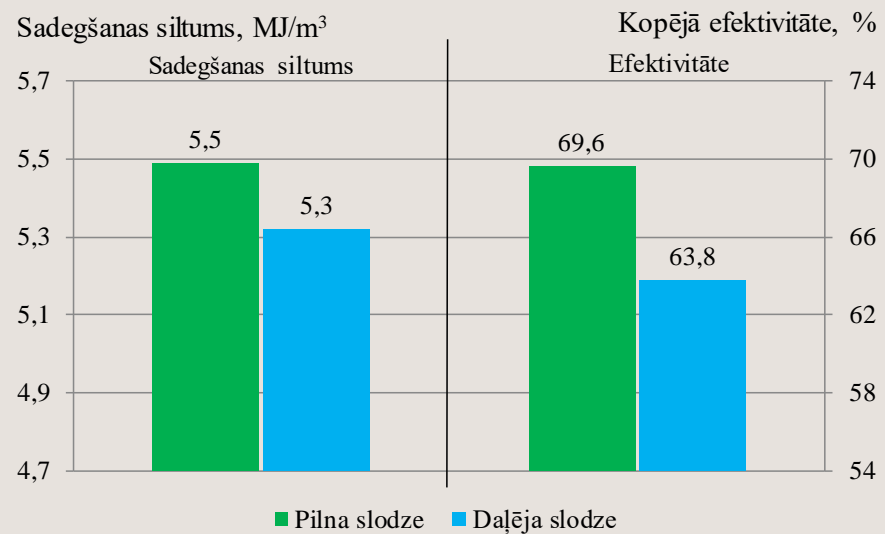
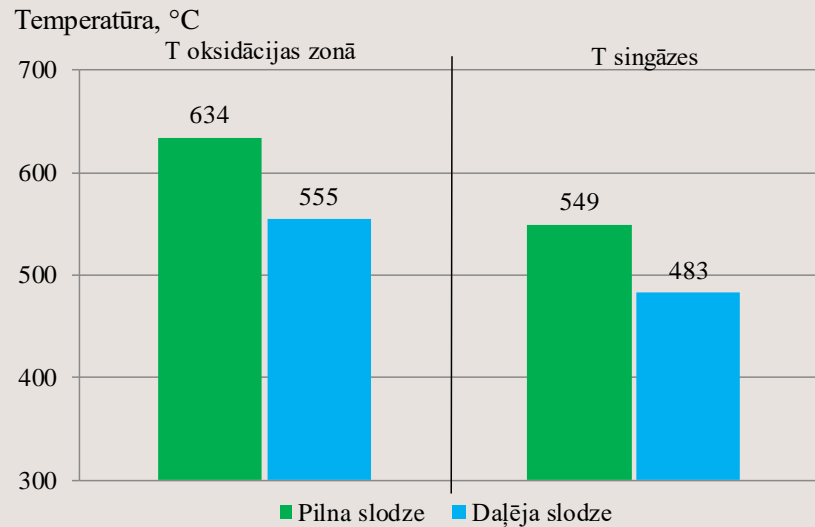
# Sekundārā gaisa ietekme (II)



# Gazifikatorā ievadītā gaisa priekšsildīšana



# Gazifikatora termiskā slodze





**Paldies par uzmanību!**