

KOKGĀZES IEGUVE UN RACIONĀLA IZMANTOŠANA KOMBINĒTAI ELEKTRĪBAS UN SILTUMA RAŽOŠANAI LAUKU UZŅĒMUMOS

Generation of Woodgas and its Rational Use for Combined Power and Heat Production at Rural Enterprises

V. Gulbis

Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Spēkratu institūts

J.Čakstes bulv. 5, Jelgava, LV-3001, Latvija

tāl. 3080703, e-mail: biodegv@cs.llu.lv, fax: 3027238

Abstract

During the last few years combined production of electricity and heat based on biomass gasification technology and on gas utilization in gas-fired engines has been widely reconsidered. This method is more sustainable and environmentally friendly provision of energy in the future. Latvia is rich in forests and the wood processing industry is developing very fast, giving about 4.5 mill. m³ of woods residue per year. The use of wood residue does not follow the increase of wood production. In Latvia we have abundant biomass resources such as wood harvesting and wood processing residues, waste wood and sawdust. As a first attempt to introduce biomass gasification technology in Latvia some researchers at the faculty of engineering of LUA are developing an integral small scale combined heat and power (CHP) system based on a used Russian-made diesel-alternator set with electrical output 100 kWe. The diesel is converted to dual fuel gas engine, using producer gas as the main fuel and gas oil as pilot fuel. To get sufficiently clean (tar content ≤ 250 mg/m³) woodgas for using in IC engine a downdraft type of gasifier was chosen designed and constructed on the "IMBERT" gasifier principles. The test runs of the first experimental model showed that the engine does not develop expected power because of high resistance of gasifier and gas cleaning system does not work sufficiently enough. There was rather high level of tar content in woodgas because the temperature in the reduction zone was too low. Calculations were carried out and a new technological scheme of gasification system was worked out, introducing innovative ideas aimed on improving the working parameters. The experiments and calculations showed that such a type of CHP plant could be a technologically and economically interesting option for small sawmills and farms in rural areas.

Key words: biomass gasification, woodgas, gas producer, cogeneration

Ievads

Latvijā pēdējos gados strauji attīstās mežizstrāde un kokrūpniecība. Izcērt 8 – 10 milj.m³ koku gadā. No šī daudzuma apmēram puse ir enerģētiskā koksne – zāģskaidas, nomaļi u.c. atgriezumi, kuri lielos daudzumos paliek neizmantoti. Kaut arī šķeldas un zāģskaidu izmantošana kurtuvēs, kā arī brikešu un granulu ražošanai gadu no gada pieaug, tomēr koksnes atlikumi kokapstrādes uzņēmumos vēl arvien pilnībā netiek izmantoti. Turklāt, mežizstrādes procesā daudz nekvalitatīvu koku, galotņu un zaru paliek mežā sapūšanai.

Pārgāzējot koksnes atlikumus, īpaši izveidotā stacionārā gāzģeneratorā, iegūstam kokgāzi, kuru izmanto iekšdedzes motora darbināšanai mazas jaudas (0.1 – 1.0 MW) koģenerācijas stacijā, vienlaicīgi ražojot kā elektrību, tā arī siltumu. Kokapstrādes uzņēmumam ir iespējams pilnībā izmantot koksnes atlikumus un iegūt papildus peļņu, samazinot savus izdevumus elektrības un siltuma iegādei, kā arī pārdodot daļu enerģijas tīklam. Šim risinājumam ir arī ekoloģiska nozīme, jo samazināsies dabas piesārņošana ar pūstošiem koksnes atlikumiem un CO₂ izplūde atmosfērā.

Šī darba mērķis ir zinātniski pamatot tehnoloģisko procesu koksnes atlikumu pārgāzēšanai gāzģeneratorā un iegūtās kokgāzes izmantošanai koģenerācijas motorstacijā. Galvenais uzdevums mērķa sasniegšanai ir tādas koksnes pārgāzēšanas sistēmas izveide, kas spētu nodrošināt pietiekami kvalitatīvu gāzi motora efektīvai darbināšanai. Gāzei jābūt pietiekoši atdzesētai ≤ 60 °C, ar iespējami augstāku siltumspēju ≥ 4.5 MJ/kg, attīrītai no darvas ≤ 250 mg/m³ un putekļiem ≤ 100 mg/m³.

Lai tehniski risinātu šādas sistēmas izveidi, LLU Spēkratu institūtā ir uzbūvēta un izmēģināta eksperimentāla koģenerācijas motorstacija ar elektrisko jaudu 100 kW un siltuma jaudu 150 kW. Izvēlēts fiksēta slāņa atmosfēras spiediena, lejupdedzes tipa gāzģenerators, kura konstrukcija izveidota pēc klasiskā "IMBERT" gāzģeneratora principa, ieviešot vairākus jauninājumus, kas praktiski nodrošina pilnīgu darvas u.c. pirolītisko vielu krekingu. Gāzes atdzesēšanas un attīrīšanas sistēmā ietilpst ciklons, gāzes dzesētājs, skrubers, gāzes susinātāji, filtrs un gāzjaucis.

Koģenerācijas motorstacija izveidota uz lietotas, Krievijā ražotas, pārvietojamas 100kW dīzeļelektrostacijas bāzes. Standarta dīzeļmotors JAMZ-238IM pārveidots par gāzdīzeli, maisījuma aizdedzināšanai izmantojot dīzeļdegvielas padeves daudzumu 15% no nominālā. Gāzdīzēlis aprīkots ar siltummaiņiem siltuma noņemšanai no motora atgāzēm, dzesēs sistēmas un eļļošanas sistēmas. Koģenerators raksturojas ar augstu lietderības koeficientu 0.85 - 0.9, elektroenerģijā pārvērš 29 - 32% no siltuma daudzuma, ko pieveda ar kokgāzi, bet 55 - 58% - siltuma enerģijā, pārējie 10 - 13% ir zudumi.

Motorstacijas konstrukcija

Spēkratu institūtā 1999.g. uzbūvētās pirmās eksperimentālās koģenerācijas motorstacijas konstrukcijā tika izmantots sūcēģāzes princips t.i. sistēmas darbību nodrošināja motora ieplūdes retinājums [1]. Gāzģenerators un gāzes pievadsistēmas palielinātas pretestības dēļ, cilindru pildījums bija samazināts un stabilā darba režīmā motors spēja attīstīt efektīvo jaudu tikai 70 kW, resp. jauda samazinājās par 30% salīdzinājumā ar dīzeļdegvielu. Bija arī citi būtiski trūkumi: samazināta gazificēšanas intensitāte (217 kg/m²h), pazemināta gāzes temperatūra redukcijas zonā ($\leq 920^{\circ}\text{C}$), palielināts pilotdegvielas patēriņš (par 10 - 15%), nepietiekoša gāzes attīrīšana no darvas u.c. piemaisījumiem [1, 2].

Lai lejupdedzes gāzģeneratorā notiktu pilnīgs gāzes krekinga process, resp. darvas un pirolītisko vielu sadalīšana elementārās gāzēs, degšanas un redukcijas zonās temperatūrai jābūt ne zemākai kā 950°C [3], [4] un gāzei jāatrodas šajā temperatūrā ne mazāk kā 2 s [5]. Lai to panāktu degšanas un redukcijas zonas augstumam jābūt 1 - 1.2 no pirolīzes telpas diametra [8].

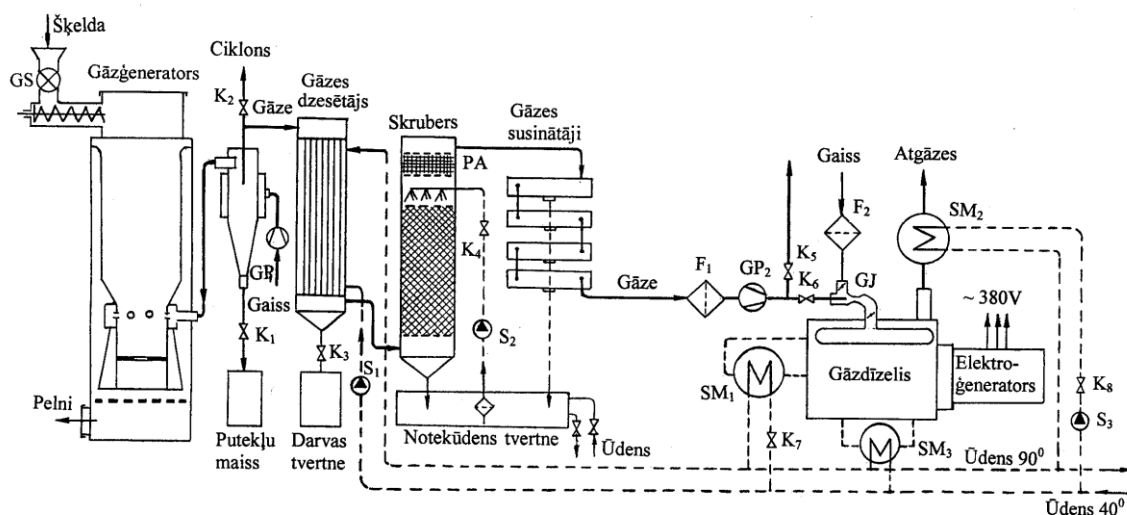
Dažādu autoru pētījumu analīze rāda, ka, lai nodrošinātu ilgtspējīgu iekšdedzes motora darbu, gāzes kvalitātei jāatbilst sekojošām prasībām:

- gāzes temperatūra ieplūstot cilindros $40^{\circ} - 60^{\circ}\text{C}$
- pieļaujama darvas saturs gāzē $\leq 250\text{ mg/m}^3$
- pieļaujama ūdens saturs gāzē $\leq 400\text{ g/m}^3$
- cieto daļiņu (ogļu un pelnu putekļu) daudzums $\leq 100\text{ mg/m}^3$

Praktiski liela daļa no minētajām prasībām pirmajā modelī konstrukcijas nepilnību dēļ nebija izpildīta un plānotie darba parametri netika iegūti. Tomēr eksperimentu rezultāti parādīja, ka principā gāzģenerators koģenerācijas motorstacija ir darba spējīga, deva iespējas analizēt trūkumus, pētīt un meklēt ceļus šo trūkumu novēršanai un konstrukcijas pilnveidošanai.

Rezultātā uz pirmā modeļa bāzes ir izveidots jauns eksperimentālais modelis, kurā iepriekšējās kļūdas ir mēģināts novērst. Salīdzinot jaunā modeļa principiālo shēmu (1.att.) ar pirmā modeļa shēmu [1], varam atzīmēt sekojošo. Gāzģenerators augšgalā pierīkots gliemeža tipa šķeldas padevējs, kas apgādāts ar gaisa-gāzes slūžām GS (1.att.) un nodrošina nepārtrauktu gāzģenerators darbu. Lai nodrošinātu gāzes krekingu, temperatūra degkamerā un redukcijas zonā paaugstināta līdz 1200 - 1300 °C. Tas panākts ierīkojot gaisa papildus uzsildīšanu ārpus gāzģenerators, iebūvējot garāku, cilindriskas formas redukcijas kameru un piemetinot tās ārpusē metāla plāksņu ribas, kas uzlabo siltuma akumulēšanu. Stacionārā konusa vietā ierīkoti maināmi gredzeni. Gaisa padevi gāzģeneratorā ar nelielu virsspiedienu nodrošina gaisa pūtējs GP₁. Piecas gaisa ievadsprauslas (furmas), kuras pirmajā modelī

degkamerā bija iemontētas radiāli, tagad iemontētas tangenciāli. Tas dod divkārtu efektu. Pirmkārt, gaisa plūsma pilnīgi noklāj visu degkammeras šķērsriezuma laukumu, radot vienmērīgu degšanas temperatūru visā šķērsgriezumā un sekmējot pilnīgāku gāzes krekingu un, otrkārt, rada virpuļveda gāzes kustību, kā rezultātā pelni tiek atsviesti uz reaktora cilindriskās telpas iekšējām sienām un pārklāj sienas ar kūstošu šlagas slānīti, kas pasargā metāla korpusu no izdegšanas un ļauj reaktorā uzturēt augstāku darba temperatūru.



1. att. Eksperimentālās gāzģenerators koģenerācijas motorstacijas principiālā shēma:

$K_1 \dots K_8$ – krāni; $S_1 \dots S_3$ – sūkņi; SM_1, SM_2, SM_3 – siltummaiņi; F_1, F_2 – filtri;
 GS – gaisa – gāzes slūžas; GP – gāzes pūtējs; GJ – gāzjaucis;
 PA – pilienu atdalītājs

Gāzes atdzesēšanas un attīrīšanas sistēmā veiktas sekojošas izmaiņas. Papildus iebūvēts ciklons karstās gāzes attīrīšanai no cietām daļiņām (pelnu putekļiem). Putekļus, periodiski atgriežot krānu K_1 , savāc hermētiskā maisā. Skrubera augšgalā pierīkots pilienu atdalītājs PA, kas papildus samazina gāzes mitrumu. Gāzes padeves sistēmā iebūvēts gāzes pūtējs GP₂, kas nodrošina gāzes virsspiediena ieplūdi motora cilindros. Līdz ar to izmainīta gāzjauča konstrukcija, izmantojot Venturi principu, lai nodrošinātu gaisa piejaukšanu gāzei noteiktā proporcijā (skat. shēmu 1.att.).

Metodes un materiāli

Lai nodrošinātu izvirzītā mērķa izpildi, veikts projektējamā gāzģenerators tehnoloģiskā procesa aprēķins. Aprēķins pamatojas uz pirmā eksperimentālā modeļa [1] testēšanas rezultātu un novēroto trūkumu analīzi par doto tēmu. Izejas parametri skaitlisko piemēru risināšanai ņemti no iepriekšējo eksperimentu rezultātiem, tehniskās literatūras datiem un dotā gāzdīzeļa tehniskā raksturojuma. Izveidotā gāzģenerators un koģenerācijas motorstacijas konstruktīvi tehnoloģiskā shēma satur jaunus risinājumus, kuri vēl jāpārbauda eksperimentāli.

Rezultāti

Nepieciešamo gāzes daudzumu dīzeļmotora darbināšanai aprēķinam izejot no dotā motora raksturojuma: nominālā jauda 117 kW, griešanās frekvence $n=1500 \text{ min}^{-1}$, cilindru diametrs $D=13 \text{ cm}$, virzuļu gājiens $S=14 \text{ cm}$, degvielas īpatņatēriņš $g_e=226 \text{ g/kWh}$, cilindru skaits $i=8$.

Darba maisījuma (gāze + gaiss) daudzumu $V_m, \text{ m}^3/\text{h}$, kādu motors patērē stundas laikā, aprēķinam pēc formulas:

$$V_m = \frac{60n\pi D^2 Si \eta_v}{4 \cdot 10^6}$$

kur: η_v - pildījuma koeficients, dīzeļmotoram ar virsspiediena ieplūdi $\eta_v = 0.95$. Ievietojot formulā dotos motora datus, iegūstam $V_m = 635 \text{ m}^3/\text{h}$.

Patērētais pilotdegvielas daudzums G_{d_0} , kg/h, (15% no nominālā dīzeļdegvielas patēriņa): $G_{d_0} = 0.15 G_{d_{nom}} = 0.15 \times 0.001 g_e N_e$; $G_{d_0} = 0.15 \times 0.001 \times 226 \times 117 = 3.96 \text{ kg/h}$.

Dīzeļdegvielas zemākā siltumspēja $Q_z = 42.3 \text{ MJ/kg}$ un $1 \text{ MJ} = 0.278 \text{ kWh}$, gāzdīzeļa lietderības koeficients $\eta_e = 0.325$. Tad jauda, ko motors attīsta darbojoties tikai ar pilotdegvielu $N_{e0} = 0.278 \eta_e Q_z G_{d_0}$; $N_{e0} = 0.278 \times 0.325 \times 42.3 \times 3.96 = 15 \text{ kW}$.

Pilotdegvielas G_{d_0} sadedzināšanai motora cilindros jāievada gaisa daudzums

$V_{G_0} = G_{d_0} L_0 \rho$, m^3/h , kur $L_0 = 14.5 \text{ kg gaisa/kg dīzeļdegvielas}$; $\rho = 1.293 \text{ kg/m}^3$ - gaisa blīvums. Iegūstam: $V_{G_0} = 74 \text{ m}^3/\text{h}$.

Pilotdīzeļdegvielas sadedzināšanai cilindros ievadamais gaisa daudzums $V_{G_0} = 74 \text{ m}^3/\text{h}$ samazina kopējo darba maisījuma iespējamo gaisa daudzumu, tādēļ faktiskais cilindros ievadītais kokgāzes - gaisa maisījuma daudzums būs mazāks. Samazinājumu ievērtē ar gāzes - gaisa maisījuma daļas koeficientu k_d un aprēķina pēc sakarības:

$$K_d = \frac{V_m - V_{G_0}}{V_m}, \quad K_d = \frac{635 - 74}{635} = 0.883$$

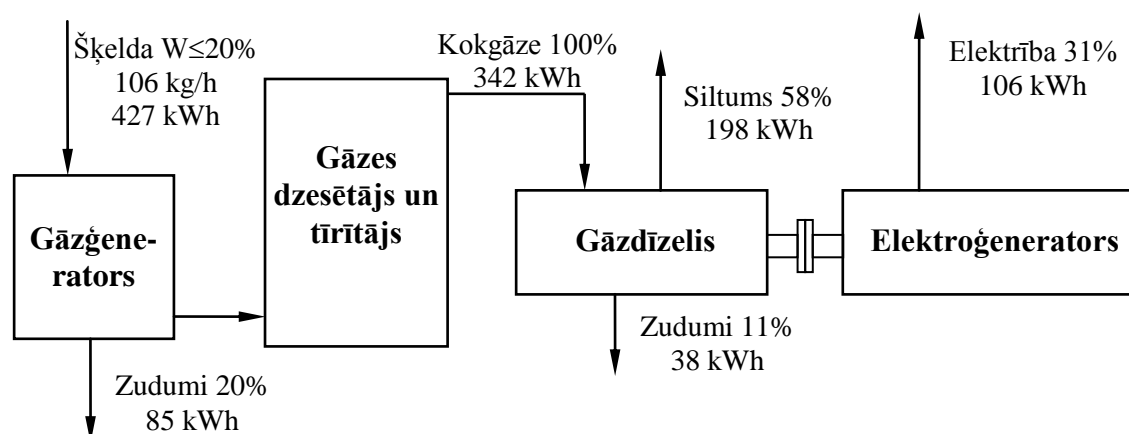
Stehiometriskā gaisa/kokgāzes attiecība $\gamma = 1.17$ (1 m^3 gāzes sadedzināšanai motora cilindros jāievada 1.17 m^3 gaisa), bet gaisa pārums koeficients gāzdīzeļa motoram darbā ar kokgāzi $\alpha = 1.1$ [7]. Pie šiem nosacījumiem motora darbam nepieciešamais kokgāzes daudzums, V_{KG} , m^3/h :

$$V_{KG} = \frac{V_m k_d}{1 + \alpha \gamma}; \quad V_{KG} = \frac{635 \cdot 0.883}{1 + 1.11 \cdot 1.17} = 245 \text{ m}^3/\text{h}$$

un kokgāzes sadedzināšanai nepieciešamais gaisa daudzums V_G , m^3/h ir $V_G = V_{KG} \gamma$; $V_G = 245 \times 1.17 = 287 \text{ m}^3/\text{h}$.

Kopējais cilindros ievadāmais gaisa un gāzes maisījuma daudzums, V_K , m^3/h , ir $V_K = V_{KG} + V_G + V_{G_0}$; $V_K = 245 + 287 + 74 = 606 \text{ m}^3/\text{h}$. Kā redzams $V_K < V_m$, tātad paliek rezerve $635 - 606 = 29 \text{ m}^3/\text{h}$, ko var izmantot motora jaudas koriģēšanai.

Iepriekšējie eksperimenti parādīja, ka no 1 kg gaissausas (mitrums 20%) koksnes iegūst 2.3 m^3 gāzes. Tad $245 \text{ m}^3/\text{h}$ gāzes iegūšanai jāpārgāzē $245 : 2.3 = 106 \text{ kg}$ koksnes stundā. Zinot, ka sausas šķeldas siltumspēja ir 14.5 MJ/kg [6], pārgāzējot šķeldas daudzumu 106 kg/h iegūstam siltumu $106 \text{ kg/h} \times 14.5 \text{ MJ/kg} \times 0.278 \text{ kWh/MJ} = 427 \text{ kWh}$. Ņemot vērā ka gāzģeneratorā un gāzes pievadsistēmā apmēram 20% no šī siltuma daudzuma zūd, gāzdīzelim ar saražoto kokgāzi pievada $427 \times 0.8 = 342 \text{ kWh}$. Pieņemot šo gāzdīzelim pievadīto siltuma enerģiju par 100%, varam aprēķināt visas gāzģeneratora koģenerācijas motorstacijas vienas darba stundas bilanci (2.att.).



2.att. Gāzģenerators koģenerācijas motorstacijas vienas darba stundas enerģijas bilance

1.tabula

Gāzģenerators koģenerācijas motorstacijas eksperimentālie un aprēķinu dati

Parametra nosaukums	Mērvienība	1. modeļa eksperimentālie dati	2. modeļa aprēķinātie dati
Šķeldas masas patēriņš	kg/h	85	106
Šķeldas relatīvais mitrums	%	20	20
Šķeldas zemākā siltumspēja	MJ/kg	14.5	14.5
Gāzģenerators termiskā jauda	kW	332	427
Saražotās kokgāzes termiskā jauda	kW	274	342
Gāzģenerators lietderības koeficients	-	0.825	0.801
Kokgāzes zemākā siltumspēja	MJ/m ³	5.25	5.02
Motoram pievadītais gāzes daudzums	m ³ /h	172	245
Gaisa daudzums gāzes sadedzināšanai	m ³ /h	239	287
Gaisa daudzums dīzeļdegv. sadedzināšanai	m ³ /h	109	74
Kopējais degmaisījums (gais + gāze)	m ³ /h	520	606
Pilotdegvielas patēriņš	kg/h	7.35	3.96
Pilotdegviela % no nominālā DD	%	29	15
Jauda, ko iegūst ar pilotdegvielu	kW	28	15
Pārgāzēšanas intensitāte	kg/m ³ h	217	540
Koģenerators elektriskā jauda	kW	70	106
Koģenerators termiskā jauda	kW	126	197
Jaudu attiecība	-	1.8	1.87
Šķeldas patēriņš uz kilovatstundu	kg/kWh	1.2	1.0

Kā redzams, teorētiski koģenerators dod augstu siltuma un elektriskās enerģijas attiecību ($198:106=1.86$). Lai to nodrošinātu, protams, jābūt pareizi aprēķinātiem un precīzi konstruētiem siltummaiņiem. Ja gāzģeneratoram tiek saglabāts iepriekšējā modeļa šķērsgriezuma laukums 0.196 m^2 , tad pārgāzēšanas intensitāte būs $106 \text{ kg/h}:0.196 \text{ m}^2=540 \text{ kg/m}^2\text{h}$.

Aprēķins rāda, ka kokgāzes daudzums $245 \text{ m}^3/\text{h}$ atbilst enerģijai 342 kWh jeb $342:0.278=1230 \text{ MJh}$. Tātad iegūtās kokgāzes siltumspēja ir $1230:245=5.02 \text{ MJ/m}^3$, kas praktiski atbilst citu autoru pētījumiem [5, 6, 8].

Ņemot vērā, ka motora efektīvais lietderības koeficients $\eta_e=0.325$, motora efektīvā jauda no ievadītā siltuma ir $342 \times 0.325=111$ kW, kas ir nedaudz (5%) mazāka nekā motora tehniskajā raksturojumā uzrādītā nominālā jauda (117 kW), bet kā jau iepriekš tika norādīts ir vēl neliela jaudas rezerve. Dotais aprēķins rāda, ka gāzģenerators jaunajā variantā spēj nodrošināt koģenerācijas motorstacijas efektīvu darbību. Par to jāpārlicinās tālāk veicot eksperimentālus pētījumus.

Aprēķinu rezultātu kopsavilkums, salīdzinājumā ar pirmā modeļa eksperimentālās pārbaudes datiem, dots 1. tabulā.

Secinājumi

Aprēķini un iepriekš veiktie eksperimenti rāda, ka aplūkotā tipa gāzģenerators koģenerācijas motorstacija var būt efektīvi pielietojama nelielos kokapstrādes uzņēmumos un fermās lauku rajonos.

Ja uzņēmuma rīcībā ir agrāka izlaiduma dīzeļelektrostacija ar elektrisko jaudu 50-300 kW, to var samērā vienkārši pārbūvēt darbam ar kokgāzi, izmantojot doto metodiku un tehnoloģiskā procesa shēmu.

Konkrētajā piemērā, pārgāzējot 106 kg/h gaissausu šķeldu (relatīvais mitrums $\leq 20\%$) iegūstam 245 m³/h kokgāzes un koģenerācijas motorstacijā vienlaicīgi saražojam 106 kWh elektroenerģijas un 197 kWh siltumenerģijas. Vienas kilovatstundas elektrības ieguvei nepieciešams 1-1.2 kg šķeldas.

Literatūra

1. Gulbis, J. Plucis, M. Beņķis. Ar kokgāzi darbināma koģenerācijas motorstacija. Simpozija "Alternatīvā enerģija Latvijā" referātu krājums, LLU, Jelgava, 1999, 38.-43. lpp.
- 1.V. Gulbis. Usage of wood processing residue from sawmills for combined energy production. Abstracts of the Scientific Conference, Lithuanian University of Agriculture, Faculty of Engineering, Kaunas – Akademija, 2002, 23-24 pp.
- 2.J. Āboliņš. Automobiļu un traktoru gāzģeneratori. Latvijas valsts izdevniecība, Rīgā, 1950, 168 lpp.
- 3.J. Godiņš. Spēka mašīnas. Autora izdevums, Rīga, 1934, 472 lpp.
- 4.Landen R. Gasification - providing markets for biomass crops. Agricultural Engineer, 1992, Winter, 105-109 pp.
- 5.Energy from biomass thermochemical conversion. Commission of the European Communities, Brussels, 1992, 270 pp.
- 6.Tehniskā rokasgrāmata. V. Ivanovska red., Latvijas valsts izdevniecība, Rīga, 1957, 924 lpp.
- 7.M. Kaltschnilt and A.V. Brigwater. Biomass Gasification and Pyrolysis. CPL Press, United Kingdom, 1997, 550 pp.