

## LAUKSAIMNIECĪBAS BIOMASAS TORIFIKĀCIJAS PROCESA IZPĒTE UN TEHNOLOĢIJAS PAMATOJUMS

Autors: **Ginta Birskā**, (+371) 26103833, e-pasts: birskaginta@inbox.lv  
Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, Inženieru fakultāte

**Abstract:** *Master's thesis is designed to demonstrate that torrefaction process involves raw agricultural biomass characteristics changes, improves its energetic parameters-calorific value, density, carbon content. Master's thesis developed an experimental facility torrefaction process research investigated biomass processing temperature on the final characteristics of the product, evaluated results of experiments with various types of biomass and mixtures thereof would result in recommendations for treatment process optimization and technological schemes offered torrefaction material from biomass.*

**Keywords:** *torrefaction, agriculture biomass*

### Ievads

Vēl aizvien palielinās pieprasījums pēc fosilās enerģijas resursiem, tāpēc sabiedrībai būtu svarīgi apzināties nepieciešamību rūpēties par apkārtējo vidi un kā vienu no galvenajiem nākotnes attīstības nosacījumiem izvēlēties ilgtspējīgas attīstības principu ievērošanu.

Būtiskākie enerģētikas nozares rādītāji ir enerģijas patēriņš, atkarība no fosilās enerģijas un atkarība no importa cenām. CO<sub>2</sub> emisiju daudzums, enerģijas cenas gan Eiropas Savienībā, gan arī visā pasaulē turpina attīstīties nelabvēlīgi [1].

Esošā situācija noved pie tā, ka ir jāveicina jaunu tehnoloģiju attīstība, enerģijas avotu efektivitātes paaugstināšana un pieejamība cenu ziņā.

Lauksaimniecības procesā radusies biomasa – nozīmīgs atjaunojamās enerģijas ieguvums. Kā pozitīvu faktoru var minēt to, ka lauksaimniecības biomasa salīdzinot ar citiem alternatīvajiem enerģijas veidiem, piemēram, sauli un vēju, ir pieejama visu laiku, kā arī šī biomasa nav tik ļoti atkarīga no politiskās situācijas un laika maiņām.

Ir vairāki biomasas izmantošanas veidi, ka, piemēram, siltuma ražošana, elektroenerģijas ražošana, biogāzes ražošana u.c. Kā efektīvāko biomasas izmantošanas veidu var minēt siltuma ražošana, jo šajā procesā ir iespējams iegūt visaugstāko lietderības koeficientu [2].

Kā vienu no vīdi draudzīgiem kurināmā veidiem var piedāvāt forefikācijas produktu. Tas samazina biomasas apjomu un atvieglo transportēšanas iespējas.

Ļoti efektīva var būt sākotnējās biomasas pārstrāde toreficētā produktā, kā rezultātā palielinās biomasas enerģētiskā vērtība tas samazina biomasas apjomu un atvieglo transportēšanas iespējas [6].

### Pētījuma objekti

Torifikācijas pētījumā tika noteikts lauksaimniecības biomasas blīvums, siltumspēja, oglekļa saturs. Tika salīdzinātas lauksaimniecības biomasas pārpalikumu īpašības pirms un pēc termiskās apstrādes.

Blīvums lauksaimniecības tika aprēķināts pēc 1.formulas: [4]

$$\rho_o = M_{\text{minerālu}} / V_{\text{minerālu}} \quad (1)$$

Attiecīgi:

$$\begin{aligned} M_{\text{minerālu}} &= M_{\text{iez.}} - M_{\text{pikn}} \\ V_{\text{pikn}} &= (M_{\text{p.ū.}} - M_{\text{pikn}}) / \rho_{\text{ūdens}} \\ V_{\text{ūdens}} &= (M_{\text{iez.ū.}} - M_{\text{iez.}}) / \rho_{\text{ūdens}} \\ V_{\text{minerālu}} &= V_{\text{pikn}} - V_{\text{ūdens}} \end{aligned}$$

kur:  $\rho_o$  – blīvums, g/cm<sup>3</sup>

$M_{\text{min}}$  – izejmateriāla masa, g

$V_{\text{min}}$  – izejmateriāla tilpums, cm<sup>3</sup>

$M_{\text{pikn}}$  - masa piknometram, g  
 $\rho_{\text{ū.d.}}$  – ūdens blīvums,  $\text{g/cm}^3$  [4].

Sagatavotie paraugi blīvuma noteikšanai skat. 1.att.



1.att. Paraugi pēc torefikācija procesa-samalti

#### Pētījuma materiāli un metodes

- 1) Teorētiskā analīzes metode, kas ietver sevī literatūras pētīšanu un analizēšanu;
- 2) Empīriskā metode – veiktie mērījumi laboratorijā siltumspējas, oglekļa satura, blīvuma noteikšanai.

Biomases torifikācijā tika izmantotas piecas lauksaimniecības kultūras. Kopējā izmantoto paraugu masa - 12 kg.

Lai veiktu biomasas torifikāciju bija jāizgatavo slēgti metāla cilindri, kuri būtu noturīgi pret augstām temperatūrām un ļautu izdalīties dūmgāzēm. Metāla cilindrus skatīt 2.att.



2.att. Metāla cilindri

Lauksaimniecības biomasas tika iegūtas autores dzīvesvietā z/s „Rimšas”. Kopumā tika toreficēti septiņi paraugi no katras biomasas kultūras. Katrs salmu paraugs svēra vidēji 5 g, siena paraugs svēra 5 g, zāles paraugs 9 g, kukurūza 12 g un griķu salmi 8 g. Sākotnējā temperatūra bija 100 °C, maksimālā 400 °C.

Eksperimenta norise sākās ar visu paraugu termisku apstrādi. Temperatūrai palielinoties

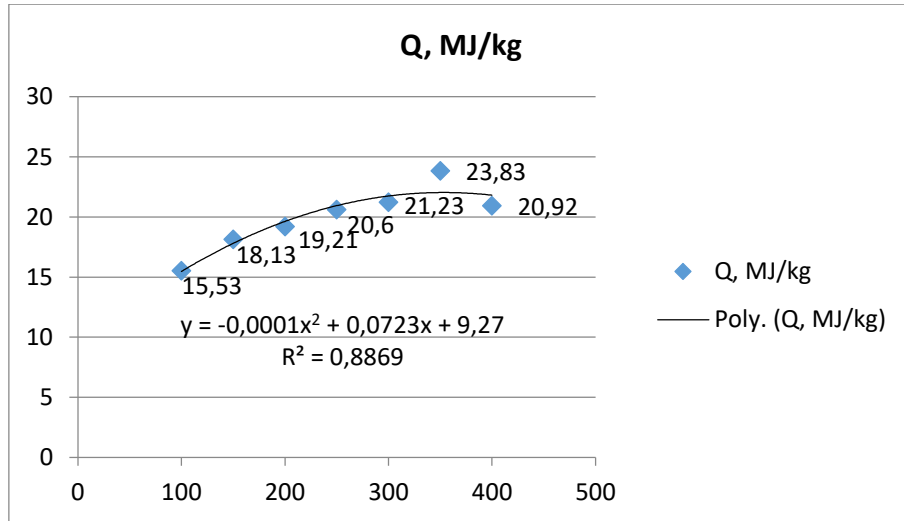
izmainījās lauksaimniecības biomasu īpašības.

**Oglekļa noteikšana** - oglekļa analizators ELTRA CS2000. Eltra CS-2000 analizators ir paredzēts precīzai oglekļa un sēra noteikšanai ar 100% precizitāti[3].

**Siltumspējas noteikšana** - kalorimetrs Parr 6772, kalorimetrs ir augstas precizitātes temperatūras mērīšanas sistēma, kas piedāvā temperatūras izšķirtspēju 0,0001 ° C diapazonā no 0-70 ° C[45].

### Pētījumu rezultāti

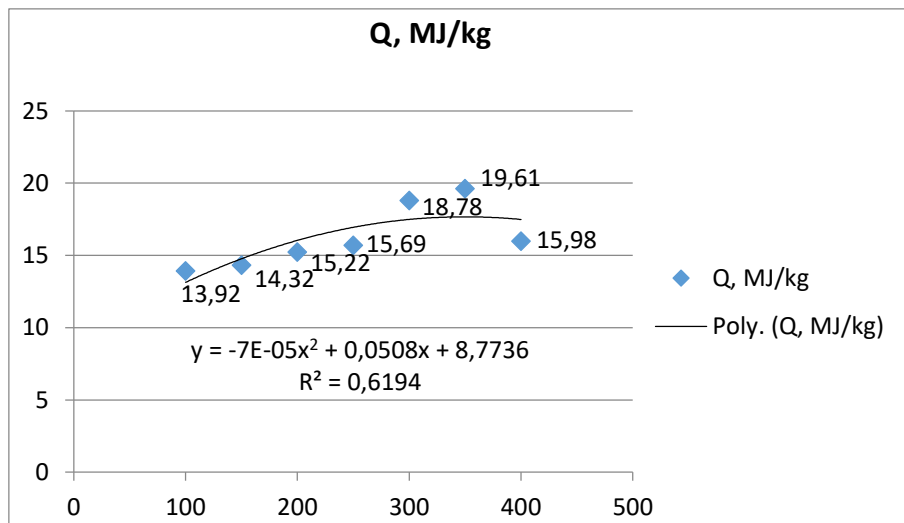
Iegūtās siltumspējas satura izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no salmiem atkarībā no toreficēšanas temperatūras skatīt 3. attēlu.



3.att. Siltumspējas satura izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no salmiem

Analizējot iegūtos datus var secināt, ka temperatūrai palielinoties pieaug arī siltumspēja toreficētajiem salmiem. Maksimālā siltumspēja sasniedza 23,83 MJ/kg pie 350 °C, kas ir ievērojams uzlabojums salīdzinājumā ar neapstrādāto salmu biomasu.

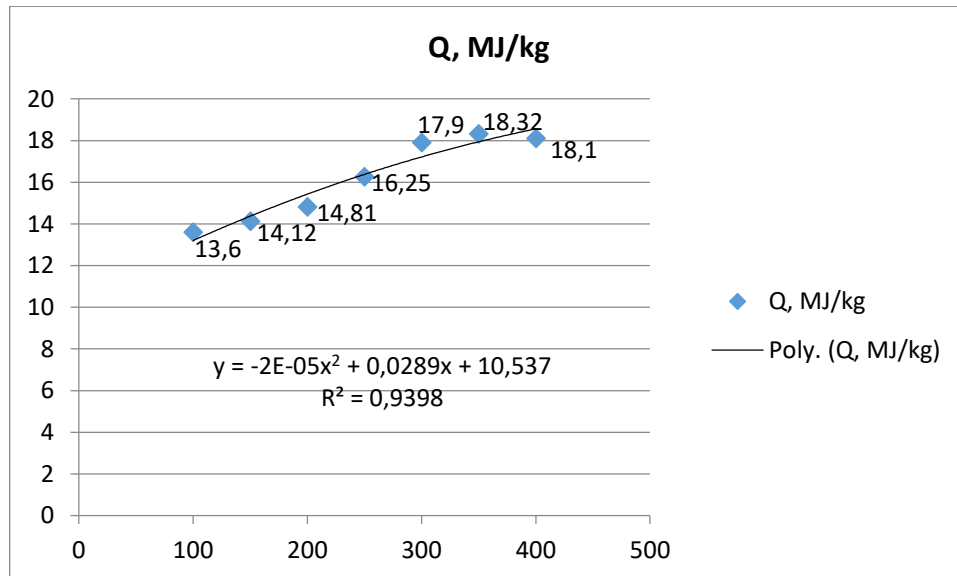
Iegūtās siltumspējas satura izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no siena atkarībā no toreficēšanas temperatūras parādītas 4.att.



4. att. Siltumspējas satura izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no siena

Visefektīvākais rezultāts tika sasniegts pie 350°C, siltumspēju sasniedzot 19,61 MJ/kg. Salīdzinājumā ar salmiem, siltumspēja ir nedaudz mazāka.

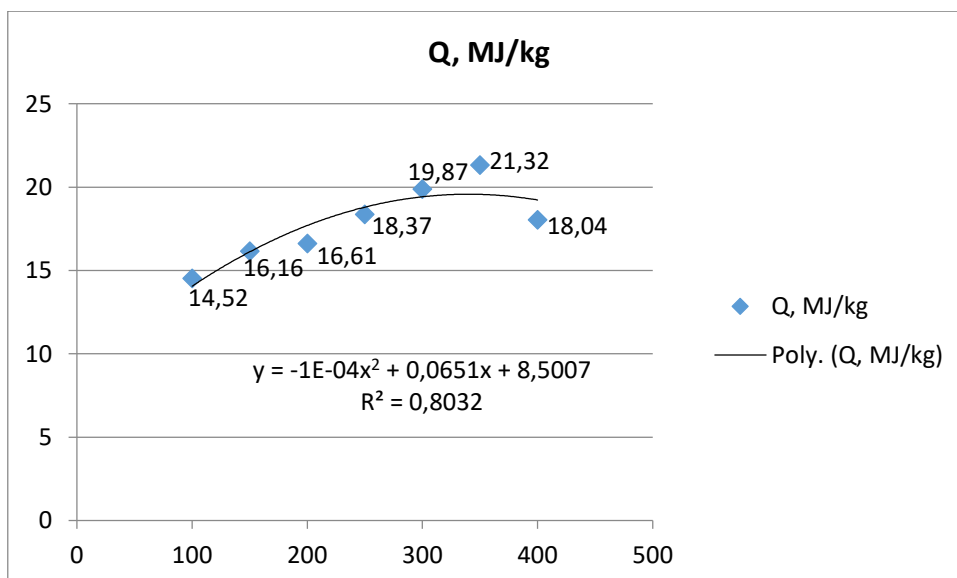
Iegūtās siltumspējas saturs izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no zāles atkarībā no toreficēšanas temperatūras skatīt 5.attēlā.



5. att. Siltumspējas saturs izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no zāles

Veicot mērījumus zāles paraugiem, tika novērots, ka tiem ir viszemākā siltumspēja torefikācijas procesa sākumā. Maksimālā siltumspēja 18,32 MJ/kg tika uzrādīta pie 350 °C.

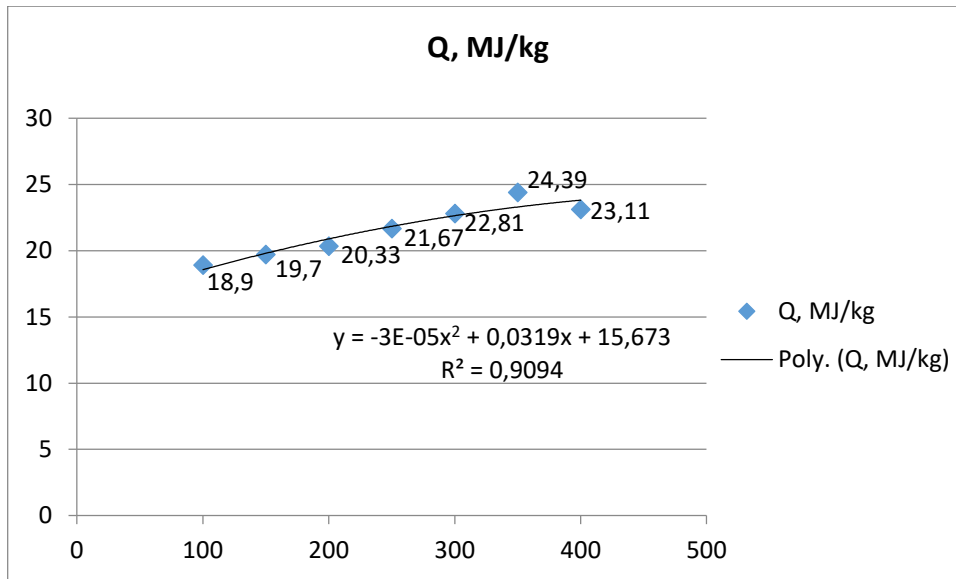
Iegūtās siltumspējas saturs izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no kukurūzas stiebiem atkarībā no toreficēšanas temperatūras parādītas 6.attēlā.



6. att. Siltumspējas izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no kukurūzas stiebiem

Arī kukurūzas paraugu rezultāti, kas atspoguļo siltumspēju, paaugstinātas temperatūras ietekmē uzlabo siltuma īpašības. Sasniegtais uzlabojums ir 1,46 reizes.

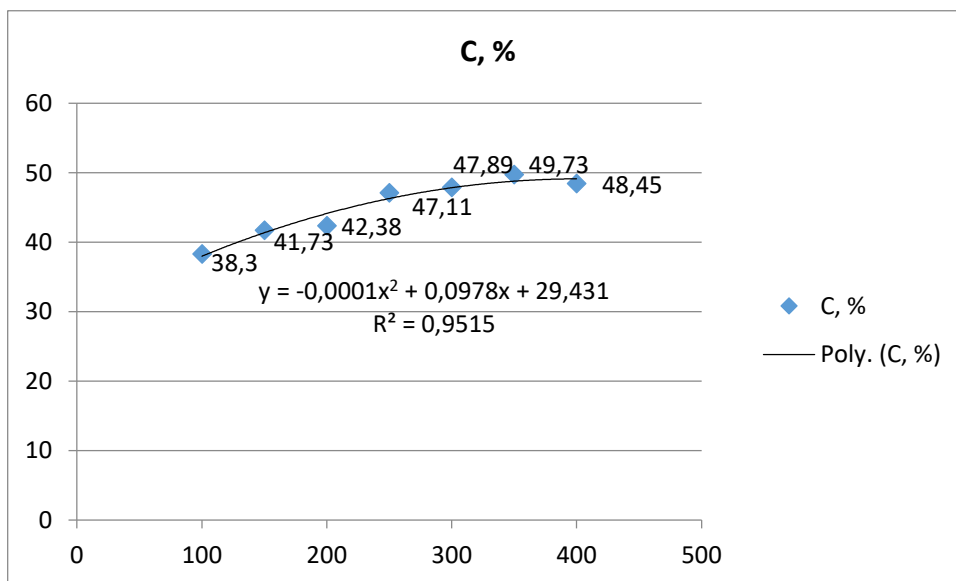
Iegūtās siltumspējas saturs izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no griķu salmiem atkarībā no toreficēšanas temperatūras skatīt 7.attēlā.



7. att. Siltumspējas izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no griķu salmiem

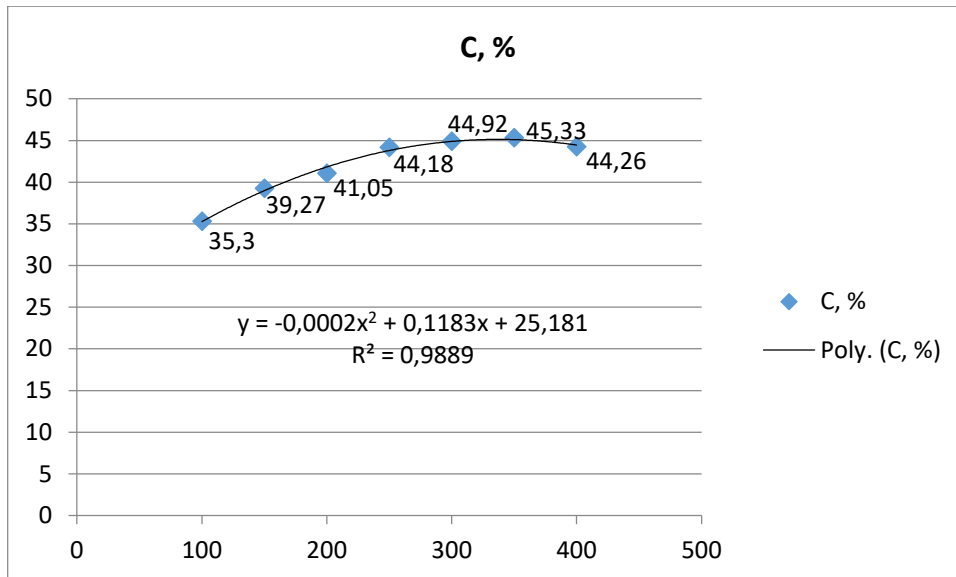
Tendence palielināties siltumspējai paaugstinot temperatūru tika novērota arī griķu salmu paraugiem. Maksimālā siltumspēja pie 350 °C grādiem uzrādīja 24,39 MJ/kg, salīdzinājumā ar iepriekš minētajām lauksaimniecības pārpalikumu kultūrām, siltumspējai ir tendence pieaugt. Siltumspējas uzlabošanās rezultāts pirms torefikācijas procesa un pēc tā ir 1,29 reizes.

Iegūtās oglekļa satura izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no salmiem atkarībā no toreficēšanas temperatūras parādītas 8.att.



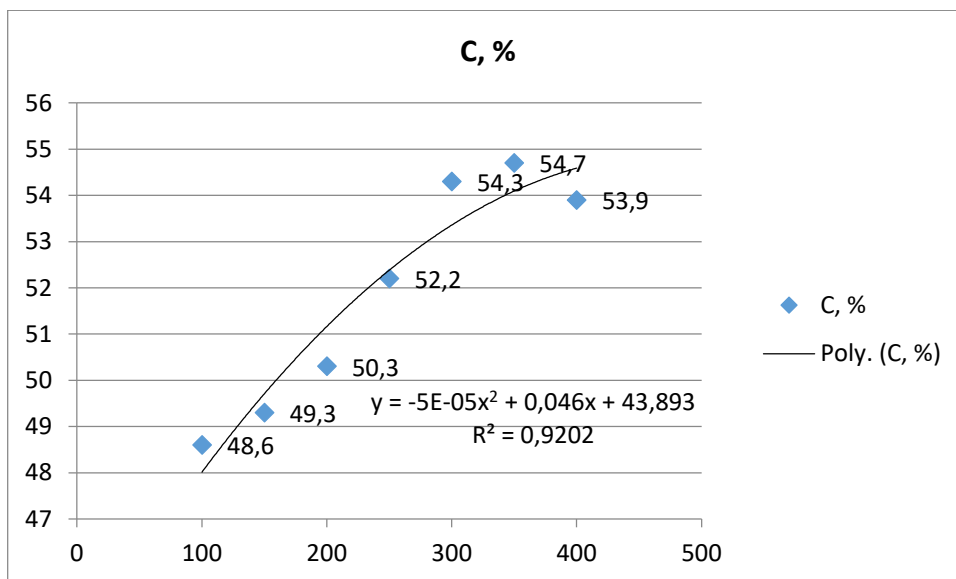
8.att. Oglekļa satura izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no salmiem

No iegūtajiem rezultātiem varam secināt, ka pieaugot temperatūrai pakāpeniski palielinās arī oglekļa saturs visos paraugos. Vislielākais oglekļa saturs tika sasniegts toreficētajam paraugam pie 350 °C un tas uzrādīja 49,73 %. Iegūtie rezultāti siena paraugiem parādīti 9. attēlā.



9.att. Oglekļa satura izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no siena

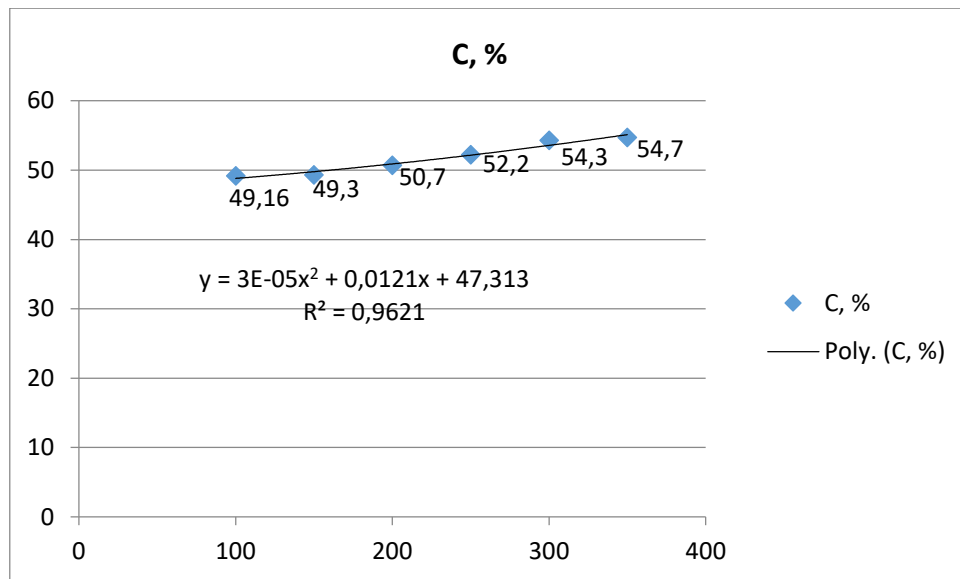
Vislielākais oglekļa saturs tika sasniegts toreficētajam paraugam pie 350 °C un tas uzrādīja 45,33 %. Salīdzinājumā ar salmu paraugos esošo oglekļa saturu, sienā tas ir zemāks. Oglekļa saturs zāles paraugos tika attēlots 10.att.



10.att. Oglekļa satura izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no zāles

Zāles paraugos oglekļa saturs pieauga no sākotnēji esošā 48,6 % līdz 54,7 %. Maksimālais rezultāts tika iegūts 350 °C.

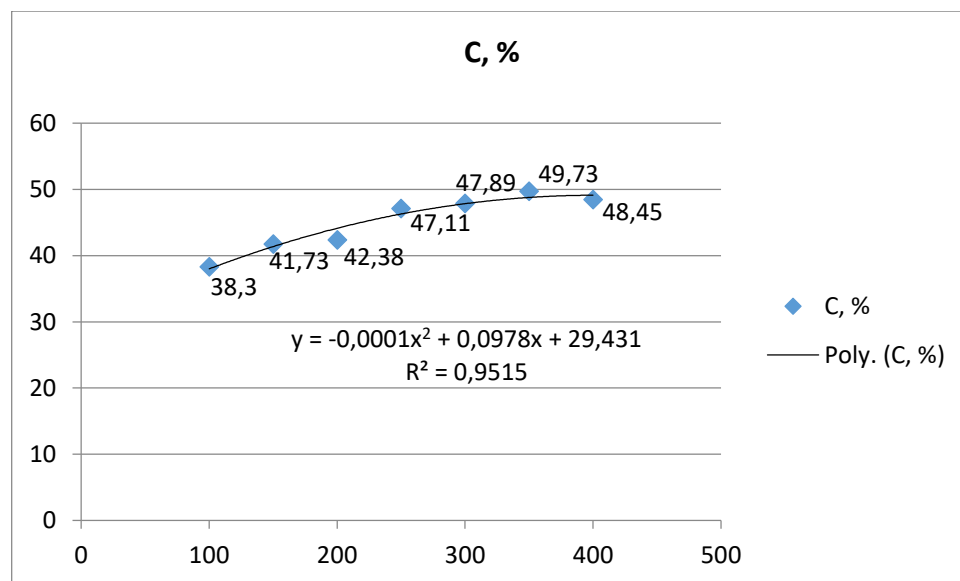
Oglekļa saturs kukurūzas stiebru paraugos attēlots 11.att.



11.att. Oglekļa satura izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no kukurūzas stiebiem

No iegūtajiem rezultātiem varam secināt, ka pieaugot temperatūrai pakāpeniski palielinās arī oglekļa saturs visos paraugos. Vislielākais oglekļa saturs tika sasniegts toreficētajam paraugam pie 350 °C un tas uzrādīja 54,7 %.

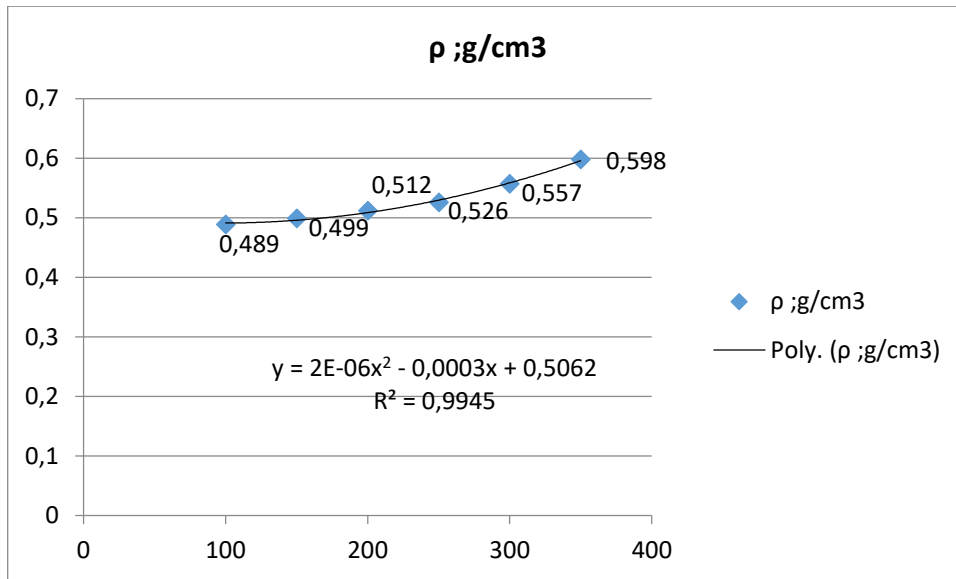
Iegūtie rezultāti griķu salmu paraugiem parādīti 12. attēlā.



12.att. Oglekļa satura izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no griķu salmiem

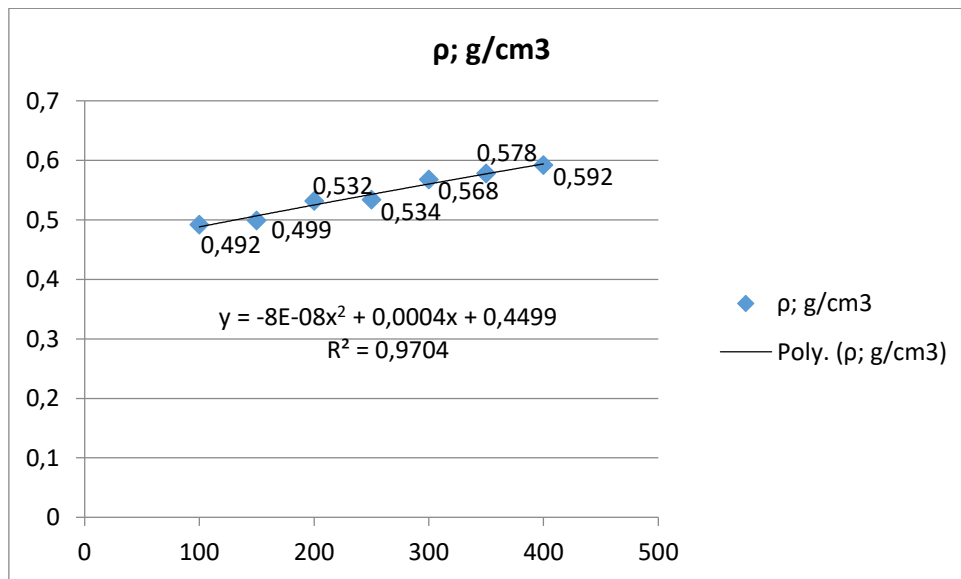
Analizējot iegūtos rezultātus griķu salmu paraugiem tika novērots, ka oglekļa saturs attiecībā pret masu ir vēl izteiktāks. Maksimālā oglekļa saturs toreficētajam paraugam pie 350 °C uzrāda 49,73 %.

**Blīvuma noteikšana.** Iegūtos blīvuma rezultātus salmu paraugiem skatīt 13. attēlu.



13.att. Blīvuma izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no salmiem

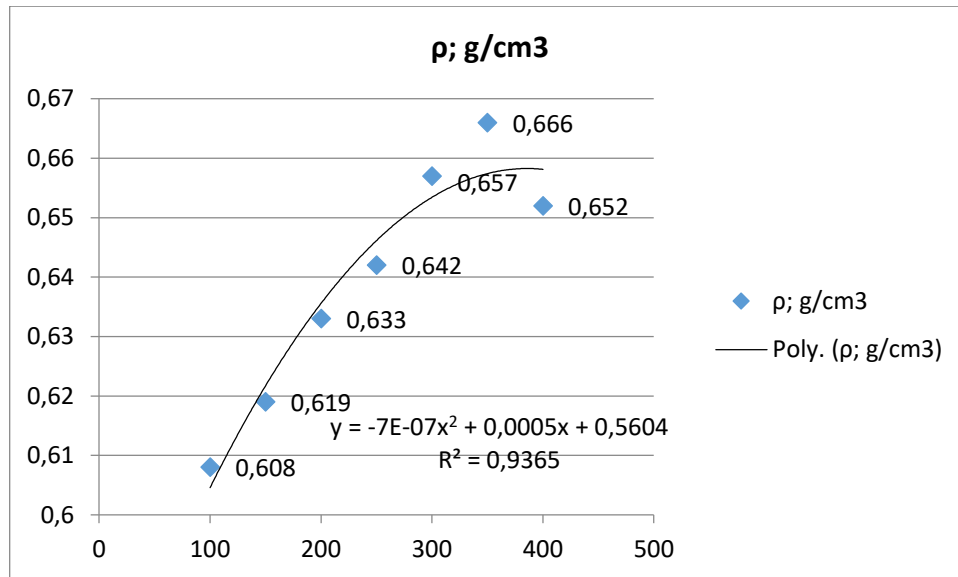
Izvērtējot blīvuma iegūtos rezultātus var secināt, ka paaugstinātas temperatūras ietekmē blīvums pieaug, tas ir svarīgs rādītājs, kā rezultātā būtu atviegloti uzglabāšanas un transportēšanas pasākumi. Blīvuma paraugu noteikšana siena paraugiem parādīta 14. attēlā.



14. att. Blīvuma izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no siena

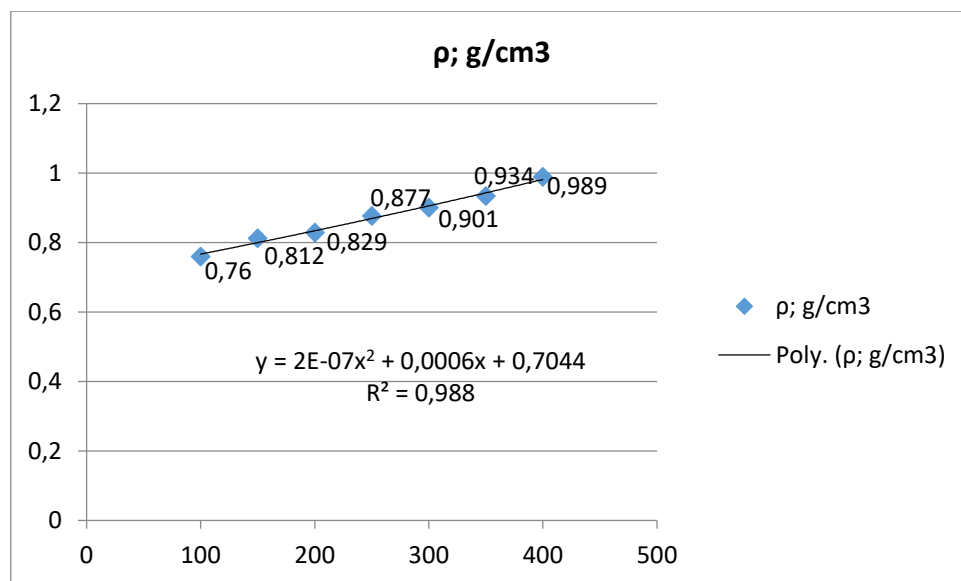
Analizējot iegūtos rezultātus varam novērot, ka vislielāko blīvuma saturu iegūst paraugi, kuri tika karsēti augstākajās temperatūrās. Blīvuma izmaiņas zāles paraugos skatīt. 15. att.





15.att. Blīvuma izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no zāles

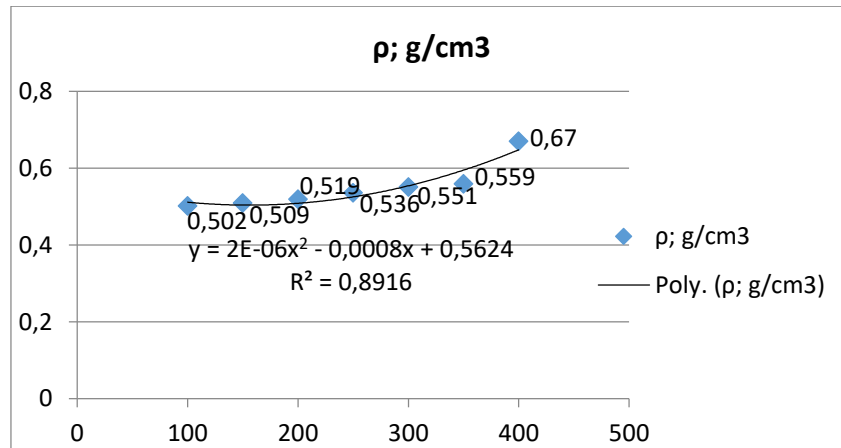
Blīvums zāles paraugos visstraujāk pieaug maksimālo temperatūru ietekmes rezultātā. Vislielāko blīvumu uzrādīja paraugs, kurš tika karsēts 450°C sasniedzot 0,666 g/cm<sup>3</sup>. Blīvuma izmaiņas kukurūzas stiebru paraugos skat. 16.att.



16.att. Blīvuma izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no kukurūzas stiebiem

Arī kukurūzas stiebru paraugiem veiktie blīvuma rādītāji pieaug. Vislielākais blīvums tika sasniegts karsējot paraugu 450°C, blīvuma iegūtais rezultāts 0,989 g/cm<sup>3</sup>. Salīdzinot ar zāles paraugos esošo blīvumu pēc torefikācijas procesa, kukurūzas stiebrs tas ir ievērojami lielāks.

Blīvuma izmaiņas griķu salmu paraugos pēc torefikācijas procesa attēlotas 17.att.



17.att. Blīvuma izmaiņas toreficētā produktā, izgatavotā no griķu salmiem

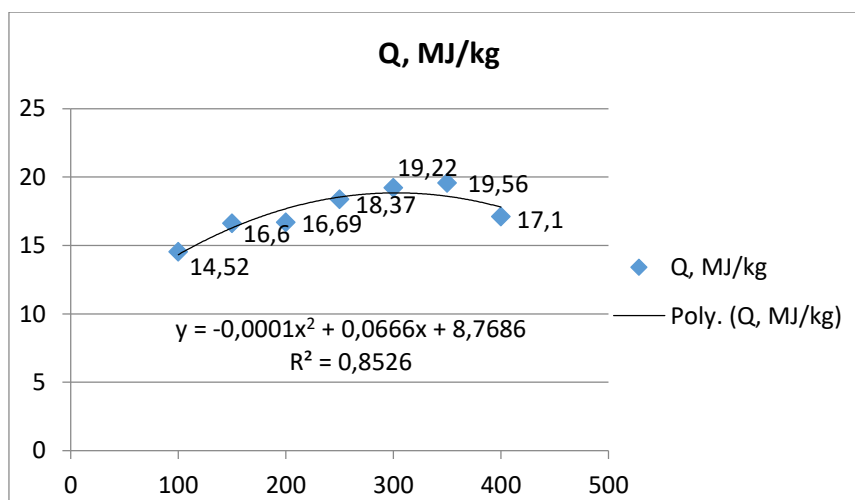
Veicot blīvuma noteikšanu griķu salmu paraugiem var secināt, ka iegūtie rezultātu tendence līdzinās visu iepriekš minēto lauksaimniecības kultūru paraugiem. Paaugstinoties temperatūrai pieaug blīvums. Torefikācijas procesa ietekmē notiek blīvuma izmaiņas.

Analizējot eksperimentālos rezultātus tika novērotas izmaiņas visiem paraugiem torefikācijas procesā. Temperatūrai palielinoties uzlabojās siltumspējas īpašības, kas ir viens no galvenajiem parametriem, lai no lauksaimniecības biomasas pārpalikumiem ražotu enerģiju ar paaugstinātu vērtību.

Arī oglekļa saturs karsēšanas rezultātā palielinājās visiem paraugiem. Šis rādītājs ir nozīmīgs pie efektīva kurināmā materiāla sagatavošanas. Jo lielāks ir oglekļa saturs, jo augstāku siltuma pakāpi iespējams iegūt no konkrētā biomasas enerģijas avota.

Nozīmīgs parametrs ir blīvuma saturs biomasā. Jo lielāka blīvuma attiecība pret masu, jo ērtāki un atvieglotāki transportēšanas attālumi un izdevumi.

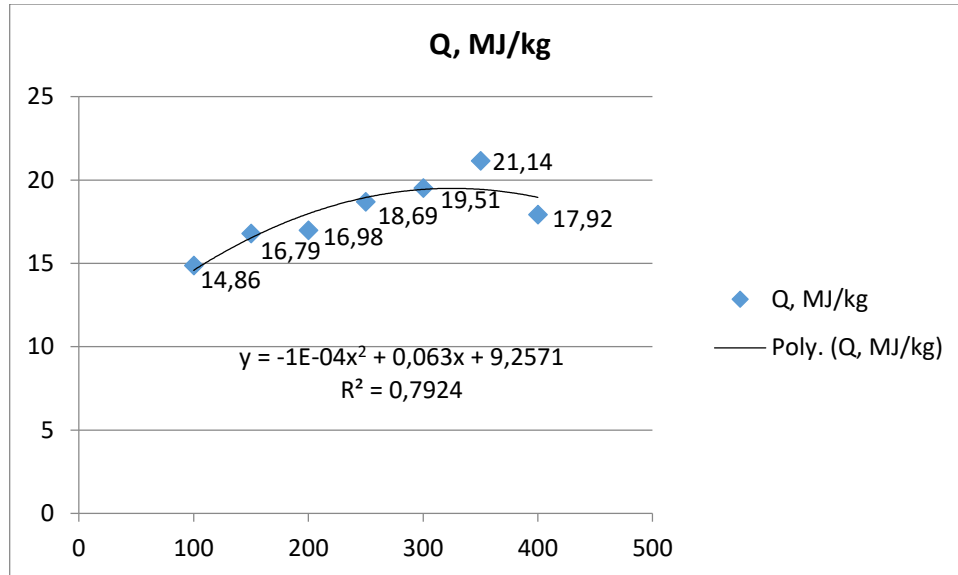
Ņemot vērā, ka nozīmīgākais parametrs torefikācijas procesā ir siltumspēja un iegūtie rezultāti no lauksaimniecības pārpalikumiem bija atšķirīgi, tika veikta kompozītkurināmā materiāla izveide. Eksperimentu laikā tika novērots, ka zāles paraugiem ir viszemākā siltumspēja (18,32 MJ/kg), turpretī kukurūzai tā sasniedza 21,32 MJ/kg. Tika ņemti kukurūzas stiebi savienojumā ar zāli vienādu masas attiecību ziņā un atkārtoti noteikta siltumspēja pēc torefikācijas procesa paraugiem, savienojuma rezultātā uzlabojums sasniedz 1,34 reizes. 18. att. skat. Kompozītkurināmā materiāla no kukurūzas stiebriem un zāles rezultātus.



18.att. Kompozītkurināmā materiāla siltumspēju īpašības pēc torefikācijas procesa

Secinājums, siltumspēja ievērojami uzlabojas.

Kompozītkurināmā materiāla ieguve izvērtējot iepriekš iegūtos rezultātus tika veikta arī salmu un siens paraugiem, lai uzlabotu īpašības paraugam ar mazāko siltumspēju. Maksimālā salmu siltumspēja bija 23,83 MJ/kg. Siena paraugiem tā bija zemāka 19,61 MJ/kg. 19.att.skat.izmaiņas pēc atkārtoti veikta torefikācijas procesa kompozītkurināmā izveidei no salmiem un siena.



19.att. Kompozītkurināmā materiāla īpašību izmaiņas pēc torefikācijas procesa

Analizējot iegūtos rezultātus varam secināt, ka siltumspējas īpašības uzlabojas 1,42 reizes. Kombinējot paraugus ar zemāko un augstāko siltumspēju uzlabojas rezultāts mazāk siltumspēju saturošajam lauksaimniecības pārpalikumu paraugam.

### Rezultātu analīze

Latvijā kopējais salmu pārpalikums gadā ir aptuveni 350 000 tonnu, savukārt, no 1 ha zāles plantācijas iegūst aptuveni 57-70 t zaļmasas gadā.

Lauksaimniecības kultūru ražošanas pārpalikumu biomasā torefikācijas procesā radās lielākas izmaiņas nekā zāles un siena biomasā -masas zuduma un atomuzbūves ziņā. Enerģijas ražīgums bija ievērojami uzlabojies griķu salmu un kukurūzas stiebiem.

Torefikācijas pētījumam izvēlētas piecas enerģētiskās kultūras – salmi, siens, zāle, kukurūzas stiebi un griķu salmi. Pamatojums salmu, griķu salmu un kukurūzas stiebru biomasas izvēlei - ražošanas laikā iegūto lauksaimniecības pārpalikumu lietderīga izmantošana potenciāla kurināmā sagatavošanai ar uzlabotām enerģētiskām vērtībām. Pamatojums siena un zāles biomasai - neizmantotu lauksaimniecības zemju sakopšana un torefikācijas procesā iegūtu uzlabotu īpašību (siltumspējas, viendabīgas masas) rezultāts.

Sākotnējā neapstrādātu griķu salmu siltumspēja bija 18,9 MJ/kg, pēc torefikācijas procesa karsējot 350 °C siltumspēja uzrādīja 24,39 MJ/kg. Visaugstākā siltumspēja iegūstama toreficējot biomasu 350 °C.

Lielākais oglekļa saturs tika noteikts salmu un griķu salmu paraugiem, kur oglekļa saturs pēc torefikācijas procesa sasniedza 49,73%.

Lielākās blīvuma izmaiņas tika novērotas kukurūzas stiebru paraugos pēc torefikācijas procesa.

Kompozītkurināmā materiāla izveidei tikai izvēlēts lauksaimniecības biomasas paraugs ar vislietāko siltumspējas uzrādīto rezultātu pēc torefikācijas procesa un paraugs ar viszemāk uzrādītajām izmaiņām siltumspējas pieauguma ziņā pēc torefikācijas procesa.

Lai nodrošinātu lauksaimniecības torefikācijas norisi pieejamā veidā saimniecībām, būtu

iespēja piedāvāt pārvietojamu mobilo torefikācijas iekārtu, kura izmantojot lauksaimniecības biomasu sevi nodrošinātu ar enerģiju un veiktu torefikācijas procesu.

Lai piedāvātu tālāku produkta sagatavi optimālā kurināmā realizēšanai, presēšanas iekārtu nepieciešams nodrošināt ar iespēju presēt pie zemākām temperatūrām, lai produkts turētos kopā.

### **Pateicības**

Autore izsaka lielu pateicību darba vadītājam G. Novikam par konsultācijām, atsaucību un vērtīgiem padomiem darba norises tapšanā. Kā arī ķīmijas laboratorijas vadītājai Inesei Bernānei par apmācību strādāt ar iekārtām laboratorijā.

### **Literatūra**

1. Adamovičs A., Blumberga D., Lazdiņa D., Lazdiņš, A., Plūme I., Rošā M., *Biomass study course for students* izd. JELARE, Rēzekne, Lv 2011, 175 lpp.; 12 lpp.
2. *Atjaunojamie energoresursi un to izmantošana Latvijā*, Rīga 2011.92.lpp *1.Biomass Torrefaction Workshop*, April 13-14, 2011, Pensacola, FL, US.
3. Eltra CS 2000 Skat. Internetā (16.05.2013), <http://www.eltra.org/eltra/products/chs-analyzers/cs-2000>
4. Noviks G. *Laboratorijas darbu praktikums vides inženierzinātņu studiju kuros* Rēzekne 2013
5. Parr 6772 Calorimetric Thermometer. Skat. Internetā (29.05.2013), <http://www.directindustry.com/prod/parr-instrument-company/calorimetric-thermometers-28323-517144.html>
6. Technologies of torrefaction. Skat. Internetā (28.04.2013) <http://www.btgworld.com/en/rtd/technologies/torrefaction>