

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
TEHNISKĀ FAKULTĀTE

STUDENTU UN MAĢISTRANTU
ZINĀTNISKĀS KONFERENCES
RAKSTI

INŽENIERZINĀTŅU SEKCIJA

JELGAVA 2013

TF studentu un maģistrantu zinātniskās konferences raksti
2013. gada 10. maijs
Jelgava

Konferences komiteja

priekšsēdētājs:

lekt. **Aldis Lojāns**
(Lauksaimniecības enerģētikas institūts)

locekļi:

prof. **Juris Priekulis**
(Lauksaimniecības tehnikas institūts)

doc. **Vilnis Pīrs**
(Spēkratu institūts)

lekt. **Laimonis Dominieks**
(Mehānikas institūts)

Sastādīja: **Andris Dukulis, Ilmārs Dukulis**

SATURS**Aleksejs Gedzurs**

ASINHROŅĀ ELEKTRODZINĒJA SILŠANAS PROCESU MODELĒŠANA

MODELLING OF INDUCTION MOTOR HEATING 4**Jānis Supe**

DEGVIELAS EKONOMIJAS IESPĒJAS TRAKTORDARBOS

FUEL ECONOMY FACILITIES IN TRACTOR TRACTION WORKS 9**Rolands Feldmanis**

KOROZIJAS AIZSARGMATERIĀLU MEHĀNISKĀS NOTURĪBAS PĒTĪJUMS

RESEARCH OF MECHANICAL STEADINESS OF CORROSION PROTECTIVE COATINGS 13**Rolands Putnieks**

BIOGĀZES KVALITĀTES UZLABOŠANA AR BIOMASAS PELNIEM

BIOGAS UPGRADE WITH BIOMASS BOTTOM ASHES 18

ASINHRONĀ ELEKTRODZINĒJA SILŠANAS PROCESU MODELĒŠANA MODELLING OF INDUCTION MOTOR HEATING

Aleksejs Gedzurs
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants
Andris Šnīders
Zinātniskais vadītājs, profesors, Dr.hab.sc.ing.

Abstract: The paper discusses the transient heating process and its modelling of a small-powered induction motor under overload. The induction motor heating process is described by the first order thermal model. Using the data gathered from heating of the induction motor, sensitivity factor at steady-state conditions and heating inertia factor at cold initial conditions are calculated. An adaptive model is created in MATLAB-SIMULINK. The sensitivity factor and heating inertia factor are represented as a function of the stator winding temperature. The heating of the induction motor is simulated using an adaptive model and compared with the data gathered. Analyses of the simulated and experimental data of heating process under overload conditions show that data dispersion does not go over $\pm 2.5\%$.

Atslēgas vārdi: asinhronais elektrodzinējs, silšanas procesu modelēšana, temperatūra, zudumi, tinumi.

Ievads

Asinhrono elektrodzinēju (AD) atteices var klasificēt sekojoši: 1) ar elektrisko bojājumu saistītas atteices ~35%; 2) ar mehānisko bojājumu saistītas atteices ~31%; 3) ar apkārtējas vides ietekmes un citu iemeslu saistītas atteices ~33% [1]. Atteices iemeslu analīze rāda, ka lielāko atteices procentu rada asinhrono elektrodzinēju aktīvo daļu ilgstoša termiska pārslodze. Tāpēc ir vajadzīga precīza AD silšanas kontrole un adekvāta aizsardzības sistēma. Moderno AD konstrukcija nodrošina augstu energoefektivitāti un kompakts izmērus, bet vienlaikus tie ir jutīgāki pret termiskām pārslodzēm. Savukārt, asinhrono elektrodzinēju silšanas pakāpes pārvērtēšana var novest pie to nepamatotas apstādināšanas un ražošanas procesa pārtraukšanas.

Visjutīgākais AD elements ir statora tinumi. Galvenais slodzi ierobežojošs faktors ir statora tinumu temperatūra. Pārsniedzot temperatūras pieļaujamo robežu, tinumu izolācijas materiāls paātrināti oksidējas, kas var būt par iemeslu asinhronā elektrodzinēja atteicei. AD silšanas procesu aprakstīšanai izmanto vairākus modeļus un metodes: pirmās kārtas silšanas modelis, otrās kārtas silšanas modelis, augstāku kārtu silšanas modeļu tīkls, tinumu temperatūras noteikšana pēc to aktīvās pretestības. Pirmās kārtas silšanas modelis var būt ar konstantiem parametriem [2] vai ar mainīgiem parametriem, kuri mainās tinumu silšanas procesā [1]. Pirmās kārtas modelis ir vienkāršs, taču tā precizitāte nav liela un modelēšanas dati var būtiski atšķirties no faktiskiem rezultātiem. Augstāku kārtu silšanas modelis ir ar augstu precizitāti, bet nepieciešamo parametru noteikšana ir sarežģīts un darbietilpīgs process un tāpēc tiek lietots galvenokārt projektēšanas nolūkiem.

Darba galvenais uzdevums ir sastādīt vienkāršotu un adaptīvu AD tinumu silšanas matemātisko modeli, simulēt AD silšanas procesu MATLAB-SIMULINK vidē un analizēt iegūtos rezultātus.

Materiāli un metodes

Pamatojoties uz AD kā homogēna ķermeņa silšanas vispārīgo modeli [3] un ņemot vērā siltumtehnisko parametru nestacionaritāti [4], tika sastādīts silšanas procesa diferenciālvienādojums:

$$T(\Delta\theta) \frac{d\Delta\theta}{dt} + \Delta\theta = k(\Delta\theta) \cdot P_z, \quad (1)$$

kur $T(\Delta\theta)$ – tinumu silšanas inerces faktors, min;
 $\Delta\theta = \theta - \theta_o$ – tinumu silšanas virstemperatūra, °C;
 θ – tinumu temperatūra, °C;
 θ_o – tinumu sākuma (vides) temperatūra, °C;
 $k(\Delta\theta)$ – tinumu silšanas jutības faktors, °CkW⁻¹;
 P_z – AD zudumu jauda, kW.

Pielietojot Laplasa transformāciju, iegūst AD tinumu silšanas operatorvienādojumu:

$$T(\Delta\theta) \cdot \Delta\theta(s) \cdot s + \Delta\theta(s) = k(\Delta\theta) \cdot P_z(s), \quad (2)$$

kur $\Delta\theta(s)$ – Laplasa transformācija no tinumu silšanas virstemperatūras, °C;
 $P_z(s)$ – Laplasa transformācija no zudumu jaudas, kW;
 s – Laplasa arguments, min⁻¹.

No operatorvienādojuma (2) iegūst AD tinumu silšanas modeli operatoru formā silšanas procesu simulācijai MATLAB-SIMULINK vidē:

$$W(s) = \frac{\Delta\theta(s)}{P_z(s)} = \frac{k(\Delta\theta)}{T(\Delta\theta) \cdot s + 1}, \quad (3)$$

kur $W(s)$ – AD tinumu siltuma pārvades funkcija, °C kW⁻¹.

Tinumu silšanas jutības un inerces faktoros var izteikt ar AD siltumtehnikajiem parametriem:

$$k(\Delta\theta) = \frac{1}{A(\Delta\theta)}, T(\Delta\theta) = \frac{C(\Delta\theta)}{60 \cdot A(\Delta\theta)} = \frac{C(\Delta\theta) \cdot k(\Delta\theta)}{60}, \quad (4)$$

kur $A(\Delta\theta)$ – mainīgā tinumu siltuma pārvade, kW °C⁻¹;
 $C(\Delta\theta)$ – mainīgā tinumu siltumietilpība, kJ °C⁻¹.

Eksperimentālie pētījumi [4] pierāda, ka paaugstinoties tinumu virstemperatūrai $\Delta\theta$, jutības faktors $k(\Delta\theta)$ samazinās, jo palielinās siltuma atdeve $A(\Delta\theta)$, bet silšanas procesa inerces faktors $T(\Delta\theta)$ palielinās, jo silšanas procesā būtiski palielinās siltuma pārvadē iesaistītās masas, līdz ar to palielinās siltumietilpība $C(\Delta\theta)$.

Mainīgo parametru empīriskās izteiksmes iegūst no eksperimentālo pētījumu statistiski vidējām raksturlielņiem. Minimālo jutības faktoru silšanas procesu beigās nosaka pēc formulas:

$$k_{\min} = \frac{\theta_{\max} - \theta_o}{P_z}, \quad (5)$$

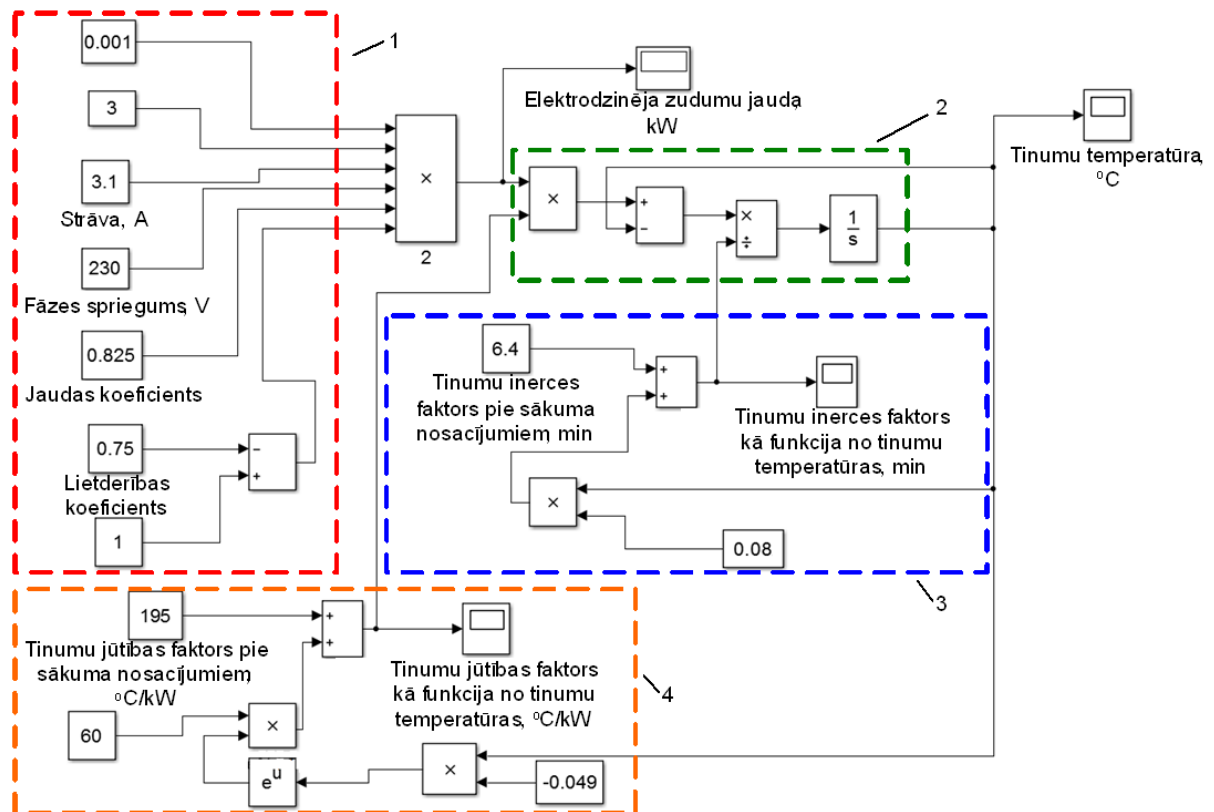
kur θ_{\max} – tinumu nostabilizējusies beigu temperatūra, °C.

AD zudumu jaudu var noteikt pēc formulas:

$$P_z = P_e - P_m = P_e \cdot (1 - \eta) = 3 \cdot I \cdot U_f \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \eta) = 3 \cdot I_{nom} \cdot U_f \cdot k_i \cdot k_u \cdot \cos \varphi \cdot (1 - \eta), \quad (6)$$

kur I – mainīgā strāva, A;
 I_{nom} – nominālā strāva, A;
 U_f – fāzes spriegums, V;
 $k_i = I_{nom}/I$ – slodzes koeficients pēc strāvas;
 $k_u = U_{nom}/U$ – slodzes koeficients pēc sprieguma;
 $\cos \varphi$ – jaudas koeficients;
 η – lietderības koeficients.

Izmantojot eksperimentālos datus tika noteikta jutības faktora $k(\Delta\theta)$ un inerces faktora $T(\Delta\theta)$ atkarība no virstemperatūras $\Delta\theta$. Nosakot P_z , k_{\min} un T_o vērtības darba režīmam ar elektriskās slodzes koeficientu pēc strāvas $k_i = 1.2$, tika veidots AD tinumu silšanas adaptīvais modelis MATLAB-SIMULINK vidē (skat. 1. att.). Izmantojot konstantu signālu ģeneratorus „Constant” un matemātisko operāciju blokus „Math Operations”, sastādītas zudumu jaudas P_z , inerces faktora $T(\Delta\theta)$ un jutības faktora $k(\Delta\theta)$ aprēķina blokshēmas (1, 3, 4). Izmantojot matemātisko operāciju blokus un integratoru ar negatīvu vieninieka atgriezenisko saiti, sastādīta tinumu nestacionārā silšanas procesa blokshēma (2), kas veido atvērto pārvades funkciju un atļauj tajā ievadīt mainīgus parametrus procesa simulācijas laikā. Tādā veidā tiek nodrošināta modeļa adaptācija simulācijas laikā.



1. att. AD tinumu silšanas procesu modelis MATLAB-SIMULINK vidē:

1 – AD zudumu jaudas aprēķinu bloks; 2 – AD tinumu silšanas diferenciālvienādojums; 3 – inerces faktora aprēķinu bloks; 4 – jūtības faktora aprēķinu bloks.

Rezultāti un diskusija

Lai iegūtu precizēto AD tinumu nestacionāras silšanas procesu simulācijas raksturlīknes, nepieciešams noteikt inerces T un jūtības faktoru k atkarību no tinumu virstemperatūras $\Delta\theta$, izmantojot silšanas eksperimentālo raksturlīkni. Vispirms aprēķina k_{\min} :

$$k_{\min} = \frac{\Delta\theta_{\max}}{P_z} = \frac{85}{0.435} = 193^{\circ}\text{C} \cdot \text{kW}^{-1} \quad (7)$$

Lai iegūtu jūtības faktora mainīgu daļu $\Delta k(\Delta\theta)$ izmantota sekojoša sakarība:

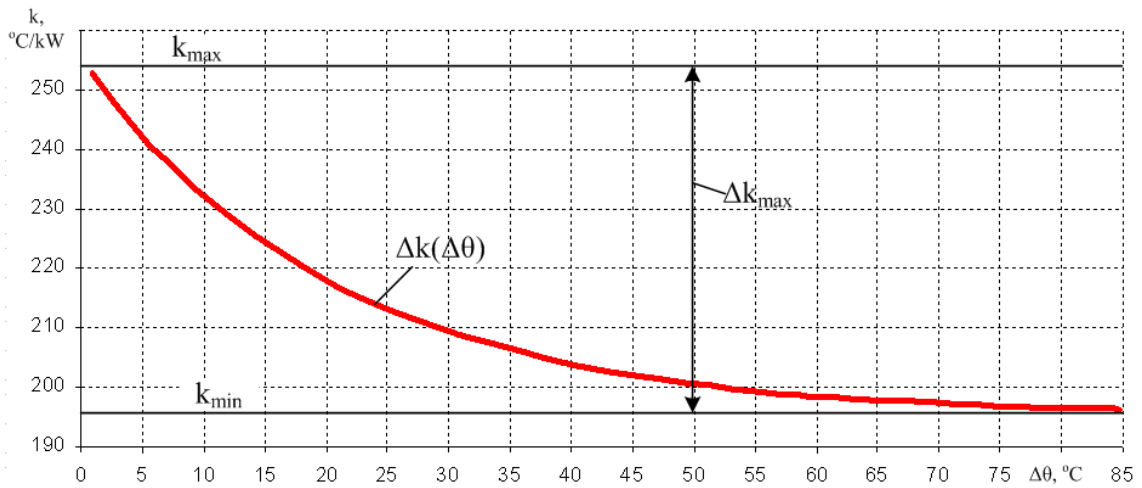
$$\Delta k = a \cdot e^{-b \cdot \Delta\theta} = 60 \cdot e^{-0.049 \cdot \Delta\theta}, \quad (8)$$

kur $a = 60^{\circ}\text{C} \cdot \text{kW}^{-1}$, $b = 0.049^{\circ}\text{C}^{-1}$ – empīriski koeficienti, kas iegūti no eksperimentālas raksturlīknes un precizētas simulācijas laikā.

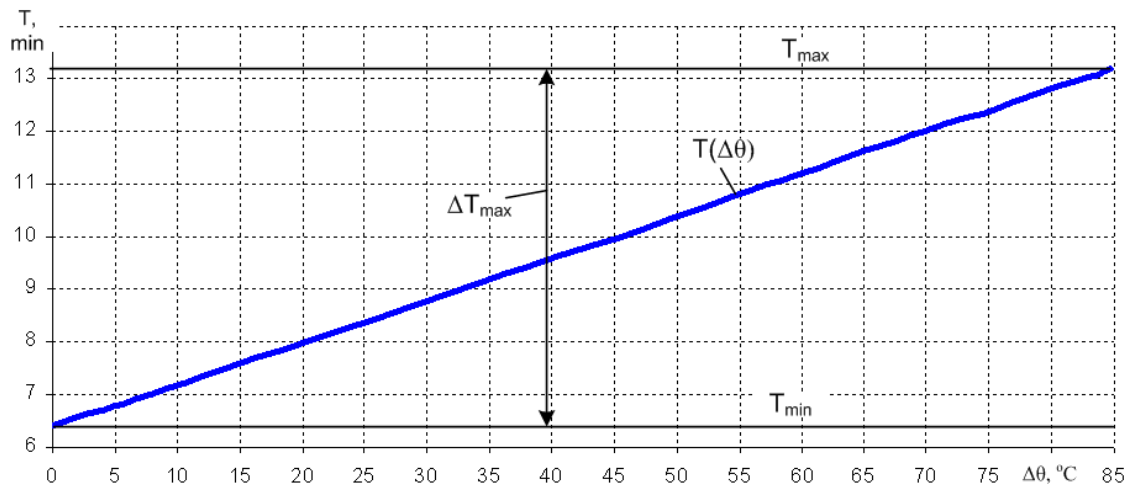
Inerces faktoru T_o nosāka grafiski, velkot sākumpunktā θ_o pieskari līdz krustpunktam ar ordināti θ_{\max} . Krustpunkta vērtība pēc laika ass ir vienāda ar T_o [4]. Lai iegūtu inerces faktora mainīgu daļu $\Delta T(\Delta\theta)$, izmantota sekojoša sakarība:

$$\Delta T = c \cdot \Delta\theta = 0.08 \cdot \Delta\theta, \quad (9)$$

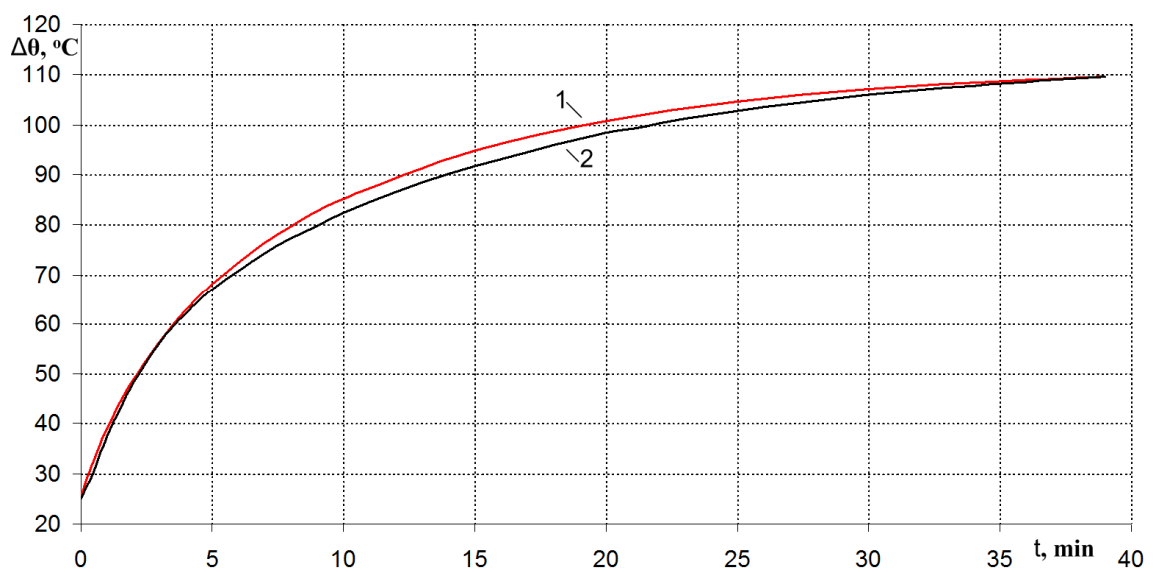
kur $c = 0.08^{\circ}\text{min}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$ – empīriski koeficients, kas iegūts no eksperimentālas raksturlīknes un precizētas simulācijas laikā.



2. att. AD tīnumu silšanas jutības inerces faktora k izmaiņas raksturlikne.



3. att. AD tīnumu silšanas inerces faktora T izmaiņas raksturlikne.



4. att. AD tīnumu silšanas līknes pie $k_i = 1.2$:
1 – nomodelētā līkne; 2 – eksperimentālā līkne.

Simulācijas un eksperimentālo rezultātu sakritība ir attēlotā 4. attēlā. Maksimālā novirze ir 3 °C vai 2.5% simulācijas laika vidū, bet simulācijas beigas rezultāti ir vienādi. Tā kā aizsardzības nolūkiem ir svarīga beigu (nostabilizējusies) temperatūra, modeļa simulācijas rezultāti ir ar augstu precizitāti (± 0.5 °C) pārslodzes režīmam un var tikt izmantots aizsardzības ierīcēs.

Secinājumi

1. Asinhrono elektrodzinēju silšanas process ir nestacionārs ar būtiski mainīgiem parametriem, jo silšanas laikā jutības faktors k samazinās no 253 °C·kW⁻¹ līdz 195 °C·kW⁻¹, bet inerces faktors T palielinās no 6.4 min līdz 13.1 min.
2. Silšanas modelis ir jāveido ar atvērto silšanas procesu pārvades funkciju, kas dot iespēju ievadīt mainīgus jutības k un inerces T koeficientus visa silšanas simulācijas laikā.
3. Sakritība starp eksperimentāliem un simulācijas rezultātiem parāda to, ka simulācijas rezultātu maksimālā novirze no eksperimentāliem rezultātiem silšanas vidus ir 2.5%, kas ir apmierinoši. Temperatūru gala rezultāts ir vienāds, kas ir svarīgākais, jo, izmantojot silšanas modeli aizsardzības iekārtā, jānosaka gala nostabilizējušu temperatūru.

Izmantotie informācijas avoti

1. Venkataraman B., Godsey B., Premerlani W., Shulman E. etc. Fundamentals of a Motor Thermal Model and its Applications in Motor Protection. In: Proceedings of 58th Annual Conference "Protective Relay Engineers", Black & Veatch Corporation, Kansas City, USA, 2005, p. 127-144.
2. Zocholl S.E., Benmouyal G. Using Thermal Limit Curves to Define Thermal Models of Induction Motors. Schweitzer Engineering Laboratories, Pennsylvania (USA), Quebec (Canada), Printed in USA, 2001. 14 p.
3. Šnīders A., Straume I. Automātiskā Elektriskā Piedziņa. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitātes Tehniskā fakultāte, 2008. 164 lpp.
4. A. Sniders, A. Gedzur. Non-Stationary Heating of Low-Powered Induction Motor under Continued Overload. In: Engineering for rural development: Proceedings of 8th International Scientific conference Latvia University of Agriculture, Faculty of Engineering. Jelgava: LLU, 2012, p. 536-542.

DEGVIELAS EKONOMIJAS IESPĒJAS TRAKTORDARBOS

FUEL ECONOMY FACILITIES IN TRACTOR TRACTION WORKS

Jānis Supe
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants
Gunārs Aizsils
Zinātniskais vadītājs, docents, Dr.sc.ing.

Abstract: Farmers have noticed that fuel consumption on newer tractors is greater than on earlier production tractors. Some of them blame fuel sellers for bad quality fuel. Farmers are dissatisfied with quality of tractors of last years of production. Fuel consumption has increased mostly in field operations, not in transport operations. Agricultural equipment dealers do not release information about specific fuel consumption at different work conditions.

Atslēgas vārdi: dīzeļdegviela, ekonomija, lauksaimniecība, aršana, traktors, arkls, buksēšana, papildus ierīces, kondicionieris, kompresors, ventilatori, augsne.

Ievads

Lauksaimniekiem nomainot veco traktortehniku pret jaunāku nākas saskarties ar jaunās traktortehnikas palielināto degvielas patēriņu, salīdzinot ar iepriekšējo tehniku. Pārsvārā degvielas patēriņa pieaugums saistās ar augsnes apstrādes darbiem un darbiem, kur motora noslodze ir līdz 50% apmēram – darbs ar frontālo iekrāvēju, stādīšanas un citas operācijas. Traktoros izmantojot transporta darbos, tie parasti neizceļas ar lielāku degvielas patēriņu, jo tiem ir palielināts braukšanas ātrums, ko cenšas sasniegt ar mazākiem motora kloķvārpstas apgriezieniem.

Materiāli un metodes

Lai noteiktu, cik daudzus saimniekus palielināts degvielas patēriņš ir skāris, tika veikta aptauja. To darīja, izdalot anketas tehnikas dīleru servisiem, kas izbrauc pie saimniekiem pa reģionu. Tomēr šis veids gaidītos rezultātus nedeva – tāpēc aptauju veicu personīgi, apmeklējot lauksaimniecības izstādes, lauku dienas, līdzīgus pasākumus un aptauju pēc tās pašas anketas izpildīju pats, uzdodot jautājumus un apkopojot viedokļus.

Pētot literatūru, izdevās saskarties ar dažādām metodēm, kas palīdz samazināt degvielas patēriņu – braukšanas ātruma samazināšanu un lauksaimniecības mašīnu darba platuma palielināšanu [1], motora kloķvārpstas darba apgriezīnu samazināšanas metodi [2] u.c., ko nolēmu pārbaudīt uz lauka.

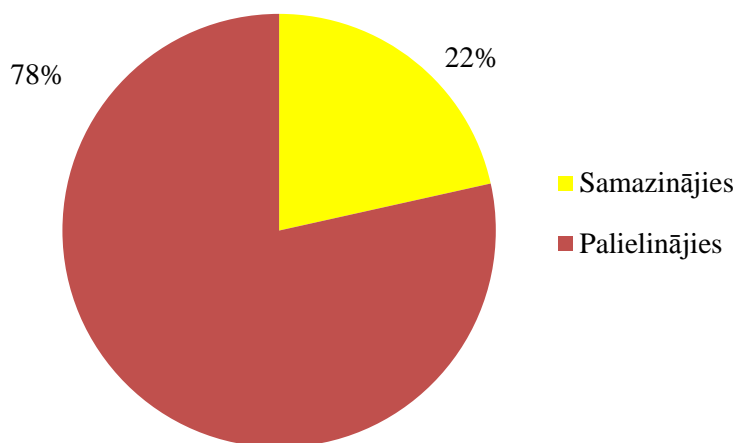
Traktoru papildus aprīkojums arī patērē degvielu. Lai noteiktu, cik daudz degvielas tiek patērēts gaisa kompresora darbināšanai, gaisa kondicioniera kompresora darbināšanai un kabīnes ventilācijas sistēmas darbināšanai, degvielas patēriņu noteicu traktoram ar šīm sistēmām darbojoties ieslēgtām, atslēgtām, atvienotām, lai izslēgtu atsevišķu šo sistēmu ietekmi uz degvielas patēriņu.

Rezultāti un diskusija

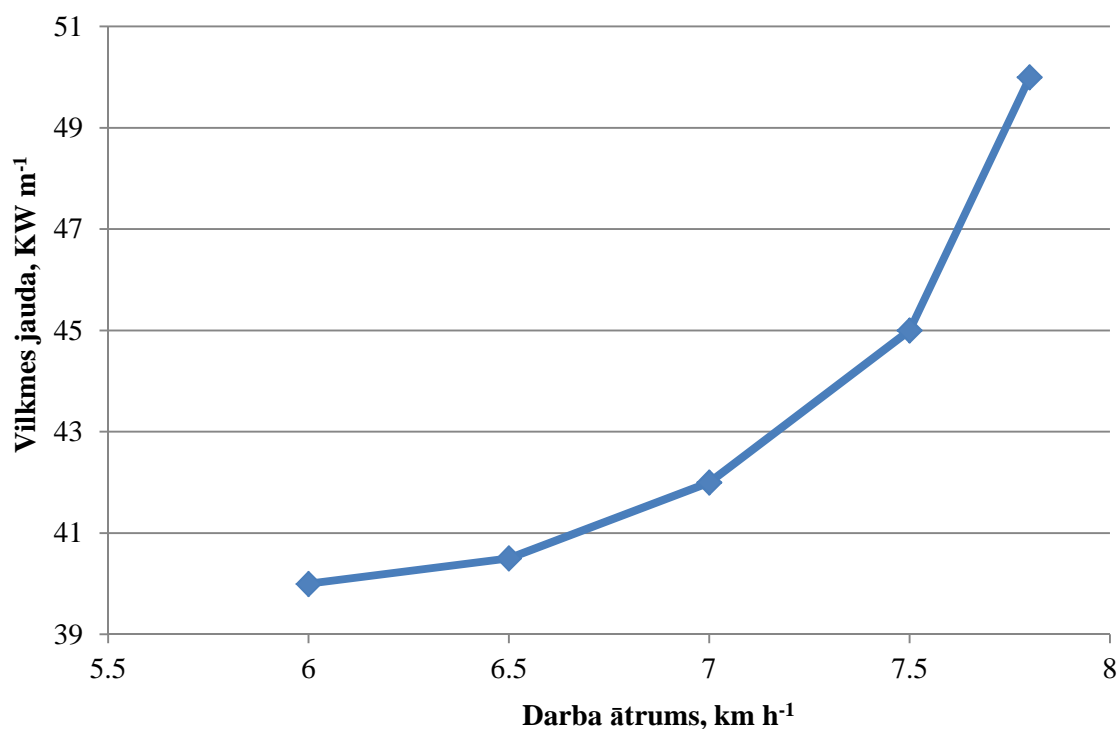
Aptaujājot zemniekus nonācu pie secinājuma – lielākā daļa aptaujāto atzina, ka degvielas patēriņš ir palielinājies – daudzi izteica savu neapmierinātību par degvielas tirgotāju godprātību un degvielas kvalitāti, par jauno traktoru kvalitāti. 78% aptaujāto atzina (1. att.), ka degvielas patēriņš ir palielinājies, procentuāli palielinājumu vērtējot no 5% līdz pat 50%. Mazjaudas traktoru īpašnieki izrādījās visneapmierinātākie ar degvielas patēriņu, minot, ka vecais T-25 tērēja uz pusi mazāk degvielas, salīdzinot ar jauno traktoru.

Augsnes pretestību lauksaimniecībā var salīdzināt ar gaisa pretestību autotransporta jomā – tās abas strauji pieaug, palielinot ātrumu. Pasaulē ir pētīts jautājums par augsnes pretestības atkarību no aršanas ātruma. Viennozīmīgi secināts, ka augsnes pretestība strauji pieaug palielinot darba ātrumu [2; 4]. Pieaug arī nepieciešamā jauda, lai varētu pārvarēt palielināto augsnes pretestību un darīt darbu (2. att.). Tāpēc lietderīgi ir samazināt darba ātrumu – nebūs nepieciešams tik jaudīgs traktors, lai darītu to pašu darbu, bet, ja vēlas izmantot to pašu traktoru, tad var palielināt darba platumu.

Šādu iespēju dot arkli ar maināmu darba platumu – modernākās versijas to ļauj darīt no operatora kabīnes hidrauliski. Rezultātā varam iegūt ekvivalentu darba ražīgumu pie samazināta degvielas patēriņa. Ir zemnieki, kas jau izmanto šādas kombinācijas priekšrocības.

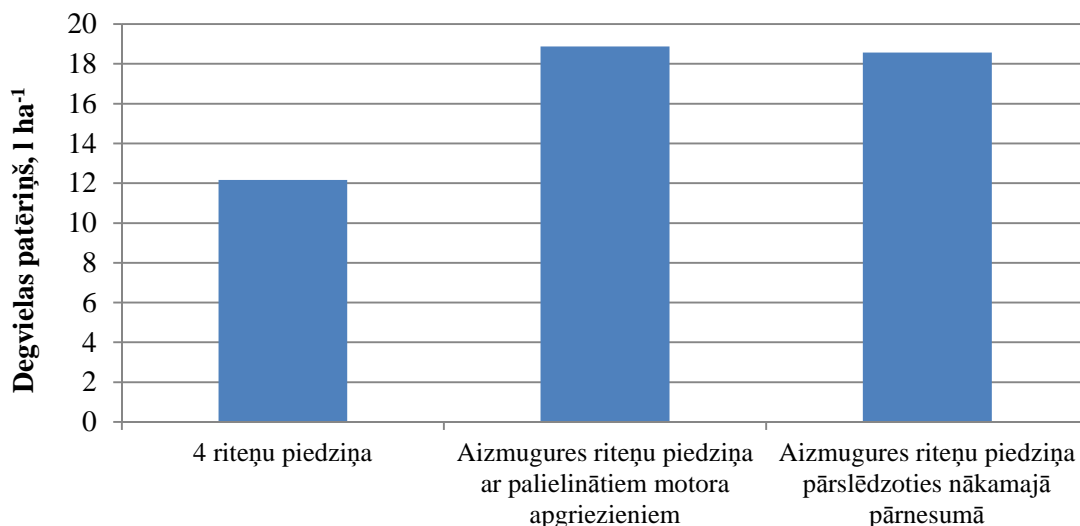


1. att. Degvielas patēriņa izmaiņas, lietojot jaunāku traktortehniku



2. att. Darba ātruma ietekme uz nepieciešamo jaudu aršanas darbos [3]

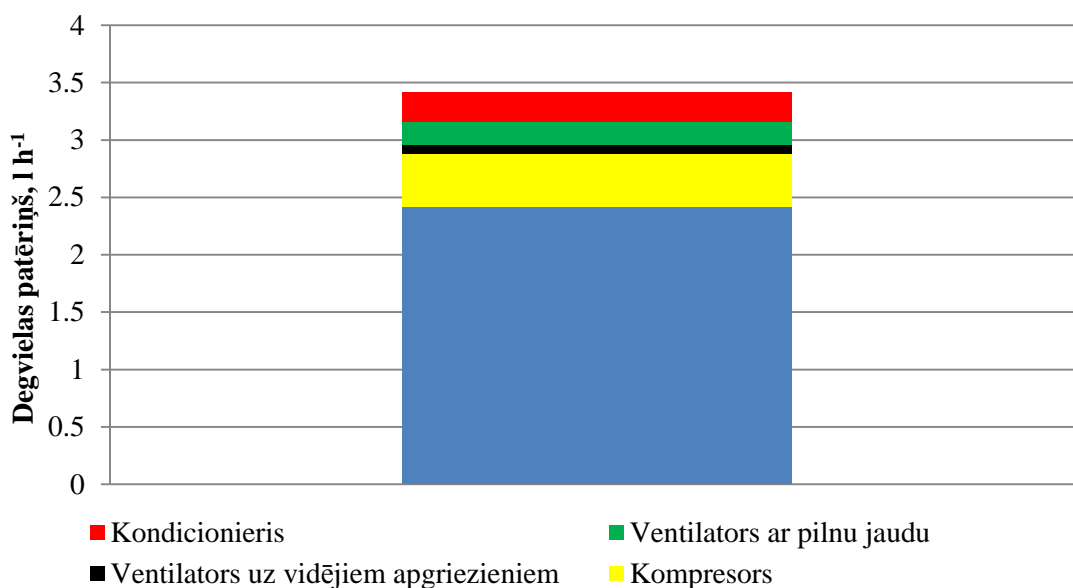
Palielinot darba ātrumu par 2 kilometri stundā no 6 kilometri stundā līdz 8 kilometri stundā, nepieciešamā traktora jauda pieaug vairāk kā par 30%. Liela daļa zemnieku dot priekšroku palielinātiem darba ātrumiem. Veiktajā pētījumā izrādījās, ka 45% zemnieku, arot zemi, izvēlas darba ātrumus virs 9 kilometriem stundā, 9% zemnieku lieto darba ātrumus aršanā virs 11 kilometriem stundā. Informācijas no tehnikas tirgotājiem par darba ātruma ietekmi uz degvielas patēriņu parasti zemniekiem nav zināma. Darba ātrumu izvēlē vadās pēc konkrētā traktora jaudas, arkla pārdevēju ieteikumiem un rekomendācijām.



3. att. **Traktora riteņu formulas ietekme uz degvielas patēriņu pie vienāda darba ātruma**

Iespēju robežas jāizmanto ir arī priekšējo riteņu piedziņa. Ja to neizmanto darbos, kas prasa lielu vilkmes jaudu, palielinās buksēšana, līdz ar to darba ātrums samazinās un palielinās degvielas patēriņš (3. att.). Turklāt, nav īpaši lielas nozīmes, kādā veidā tiek kompensēts darba ātruma samazinājums – palielinot motora kloķvārpstas apgriezienus, vai pārslēdzoties nākamajā pārnēsumā.

Pastāv sistēmas, kad traktors ir savienots ar datu līnijas starpniecību ar arklu. Gan traktoram ir vadības bloks, kas uzrauga traktora darba parametrus, gan arklam ir vadības bloks, kas uzrauga arkla parametrus – darba platumu, dziļumu, ātrumu, sagāzuma leņķi u.c. Traktora vadības bloks saņem visus šos parametrus un atkarībā no ievadītās programmas regulē gan traktora, gan arkla darbību. Traktoram tiek regulēti motora kloķvārpstas apgriezieni, darba ātrums, uzkares pozīcija. Arkla mainīgie parametri parasti ir darba platums, bet var izvēlēties arī mainīt ne tikai darba platumu, bet arī darba dziļumu. Šādu sistēmu izstrādā *John Deere* rūpnīca – pagaidām tā tiek testēta. Paredzēts, ka sistēma izmantos standarta ISOBUS savienojumu ar traktoru un vislielākās iespējas pilnvērtīgi izmantot šo sistēmu būs tieši, ja traktors būs aprīkots ar bezpakāpju pārnēsūmkārību un elektrohidraulisko iznesamo cilindru kontroli [5]. Ar līdzīgu sistēmu izstrādi nodarbojas arī citi tehnikas ražotāji.



4. att. **Degvielas patēriņa izmaiņa motoram strādājot tukšgaitā pie dažādu papildierīču izmantošanas**

Degvielas daudzums, ko motors izlieto, lai darbinātu dažādus palīgmehānismus arī ir nozīmīgs. Traktoram *New Holland T6070* darbojoties brīvīgaitā eksperimentu rezultāti liecina par to, ka degvielas patēriņš gaisa kompresora piedziņai (bez slodzes, ko rada kompresors darot darbu), kondicioniera kompresora piedziņai (gaisa kondicionieris uzturēja kabīnē konstantu temperatūru +18 °C), un ventilatora kabīnē, kas darbojās ar daļēju jaudu, ir turpat 1 litrs stundā. Nav noslēpums, ka šo pašu mehānismu piedziņai pie palielinātiem motora apgriezieniem nepieciešamā piedziņas jauda būs lielāka – gaisa ventilators kabīnē būtu izņēmums.

Secinājumi

1. Zemnieki 78% gadījumos ir saskārušies ar degvielas patēriņa palielināšanos tieši lietojot jaunākos traktoros.
2. Arot zemi, 45% lauksaimnieku lieto palielinātus darba ātrumus, pat virs 12 kilometriem stundā.
3. Gaisa kompresors, tukšgaitā darbojoties, sekmē degvielas patēriņa pieaugumu līdz pat 0.5 litri degvielas stundā.
4. Kabīnes apsildes un ventilācijas ventilatoru darbība sekmē degvielas patēriņa palielināšanos – pie vidējiem ventilatora apgriezieniem patēriņa pieaugums vērtējams kā gandrīz 0.1 litrs degvielas stundā.
5. Gaisa kondicioniera kompresora piedziņas nodrošināšanai motoram nepieciešams papildus 0.25 litri degvielas stundā, motoram darbojoties tukšgaitā.
6. Lietderīgi aršanā samazināt darba ātrumu un palielināt darba platumu, lai nezaudējot darba ražīgumu darbu veiktu ar līdz pat 30% mazāku degvielas patēriņu.
7. Traktoru papildus aprīkojums palielina degvielas patēriņu pat par 1 litru degvielas stundā traktoram, darbojoties tukšgaitā.

Izmantotie informācijas avoti

1. Vilde A., Ruciņš Ā., Cēsniņš S. Platāks arkla korpusa tvēriens – ražīgāks darbs un lētāks arums. [tiešsaiste] [skatīts 17.01.2013.] Pieejams: http://www.armuss.lv/resources/files/noderinfo/Arkla_korpusu_tvveriena_ietekme_uz_arsanas_vilces_pretestibu.pdf
2. A.R.K. Koelsch. Gear up and throttle down to save fuel. Cornell University., 1987
3. Darba ātruma ietekme uz degvielas patēriņu. [tiešsaiste] [skatīts 12.11.2012.] Pieejams: <http://www.etracker.de/lnkcnt.php?et=mjVFak&url=http://www.dlg-test.de/pbdocs/509.pdf&lnkname=509.pdf>
4. Arklu darba ātruma ietekme uz degvielas patēriņu, arklu testu rezultāti. [tiešsaiste] [skatīts 14.12.2012.] Pieejams: <http://www.dlg-test.de/pbdocs/5069.pdf&lnkname=5069.pdf>
5. Lauksaimniecības tehnikas jaunumi – traktora un arkla automatizācija. [tiešsaiste] [skatīts 26.02.2013.] Pieejams: http://www.pathways.deere.com/news/tractor_plugh_autAMSisobus.9387

KOROZIJAS AIZSARGMATERIĀLU MEHĀNISKĀS NOTURĪBAS PĒTĪJUMS

RESEARCH OF MECHANICAL STEADINESS OF CORROSION PROTECTIVE COATINGS

Rolands Feldmanis
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants
Žanis Jesko
Zinātniskais vadītājs, lektors, Mg.sc.ing.

Abstract: The most widely applied kinds of corrosion protection for vehicles and some corrosion covered samples have been studied. Coatings are studied in a mechanical stress test using sandblasting method. Uncovered areas of the surface and weight loss of the coating are determined after sandblasting process.

Atslēgas vārdi: korozija, aizsargpārklājums, mehāniskā noturība, smilšu strūkļa, vizuālā novērtēšana, masas zudumi pārklājumiem.

Ievads

Korozija – metālu un to sakausējumu sairšana, ko izraisa vielas, kas atrodas apkārtējā vidē [1]. Pēc korozijas norises mehānisma izšķir ķīmisko un elektroķīmisko koroziju [2].

Ķīmiskā korozija – apkārtējā vidē esošo vielu (O_2 , N_2 , H_2S , H_2 u.c.) oksidējoša iedarbība uz metāliem un to sakausējumiem [1].

Elektroķīmiskā korozija – metālu un to sakausējumu sairšana apkārtējā vidē esošo elektrolītu iedarbības rezultātā. Mitrums uz metāla virsmas veido elektrolīta šķīdumu. Ūdens slānītī izšķīst atmosfērā esošās gāzes (O_2 , CO_2 , SO_2 , H_2S u.c.) šķīdumam ir neitrāla, skāba vai bāziska vide [1].

Metāli saskaras ar elektrolītiem ne tikai iegremdējot tos šķīdumos, bet arī tiem atrodoties apkārtējā vidē. Atmosfērā vienmēr atrodas ūdens tvaiki, kuri uz metāla virsmas veido plānu ūdens slānīti (no vienas līdz vairāku simtu molekulu biezumā). Atmosfērā esošās gāzes – CO_2 , SO_2 , NO_x – izšķīst ūdens slānī, un tā rezultātā metāls ir kontaktā ar elektrolīta šķīdumu [3].

Korozija un tās kontrole ir viena no galvenajām problēmām spēkratu ilglaicīgai saglabāšanai. Korozija vājina konstrukciju daļas, kuras pēc izturības zaudēšanas ir jāmaina vai jāatjauno [2]. Spēkratos korozija visbiežāk veidojas dažādu ārējo faktoru ietekmē. Vasaras sezonā koroziju izraisa lietus ūdeņi, veidojot uz virsmas elektrolītu. Visstraujāk korozijas process notiek ziemas ekspluatācijas periodā, kad autoceļu uzturēšanai tiek izmantoti pretslīdes materiāli. Tieši spēkratu apakšējā daļa ir pakļauta vislielākajam korozijas riskam, jo tā tiek pastiprināti bojāta no ceļu seguma radītās ietekmes. Tas attiecas uz spēkratu ekspluatāciju pa grants seguma ceļiem, ceļiem, kur ceļu pretslīdes maisījums kopā ar sniegu, smiltīm un ūdeni tiek mests no riepu protektoriem uz spēkratu apakšējām daļām. Korozijas aizsargmateriālam tiek radīta pastiprināta abrazīvā slodze, kas izteikti novērojams spēkratu sliekšņu, arku un virsbūves grīdas segumu zonās. Remontējot vai veicot papildus pretkorozijas apstrādes procesus, ir jāizvēlas piemēroti aizsarglīdzekļi, lai tie spētu nodrošināt pilnīgu metāla aizsardzību pret koroziju arī skarbos ekspluatācijas apstākļos. Tāpat arī jāievēro precīzas to uzklāšanas tehnoloģijas, izvērtējot, kura pretkorozijas apstrādes metode ir visefektīvākā. Pretkorozijas aizsardzības līdzekļa efektivitāte var tikt novērtēta gan laboratorijas, gan ekspluatācijas apstākļos.

Materiāli un metodes

Darba mērķis ir izvērtēt korozijas aizsardzības paņēmieni efektivitāti mehāniskās noturības testā. Viens no aizsargmateriāla galvenajiem uzdevumiem ir nodrošināt aizsardzību pret koroziju. Korozijas aizsardzības spējas ir atkarīgas arī no aizsargmateriāla mehāniskajām īpašībām un tā sasaisti ar metālu (adhēzijas spēju). Tāpēc darbā tiek aplūkotas aizsargmateriāla mehāniskās noturības īpašības, jo, ekspluatējot spēkratus, rodas dažādi mehāniskās ietekmes radīti bojājumi, kā rezultātā aizsargmateriāls vairs nepilda savu funkciju – uz virsmas sākas korozijas process.

Mehāniskās noturības noteikšanai tika izveidota smilšu strūkļa sistēma (skat. 1. att.), kur ar aizsargpārklājumu pārklātiem paraugiem tika pūstas virsū smiltis (skat. 2. att.). Šim nolūkam tika sagatavoti un apstrādāti metāla paraugi, nosakot pārklājuma masas zudumus un atsegto virsmas

laukumu. Aizsargpārklājuma virsmas laukuma vērtēšanai tiek pielietota vizuālā novērtēšanas metode, t.i., nosakot atsegto jeb bojāto laukumu. Bojātais laukums tiek noteikts, liekot virsū paraudziņam trafaretu ar rūtojumu un nosakot korodēto vai bojāto laukumu kopsummā, pēc tam to izsakot procentuāli.

No karsti velmētas 1 mm biezas tērauda plāksnes tika izveidoti metāla paraugi ar izmēriem 100×100 mm. Paraugi tiek pārklāti ar izvēlētajiem korozijas aizsardzības līdzekļiem, stingri ievērojot uzklāšanas tehnoloģijas. Tiek pielietotas divas pretkorozijas pārklājumu novērtēšanas metodes: aizsargpārklājumu virsmas laukumu samazinājums procentos un aizsargpārklājuma masas zudumi paraugos.

Eksperimentā tika pielietotas 6 tehnoloģijas paraugu pārklāšanā ar aizsarglīdzekļiem (skat. turpmāk). Lai nodrošinātu pietiekami lielu ticamību, eksperimenta izveidei pārklātie paraugi tika veidoti 2 gab. no viena veida ($p = 0.90$, $t = \pm 3\sigma$). Paraugu kopējais skaits sastāda 36 gab.

Izvēlētās metodes aizsardzībai pret koroziju:

- pārklāšana ar nemetāliskām vielām (poliuretāna, ķīmiskā inhibitora, virsbūves aizsargvaska un bituma pārklājums);
- pārklāšana ar krāsu materiāliem (šķīdinātājbāzes krāsas pārklājums);
- pārklāšana ar citu metālu (aukstās cinkošanas pārklājums).



1. att. Smilšu strūklas sistēma pārklājumu noturības testam:

1 – smilšu tvertne; 2 – paraugu stiprināšanas vieta; 3 – kondensāta atdalīšanas filtrs;
4 – smilšu strūklas pistole.

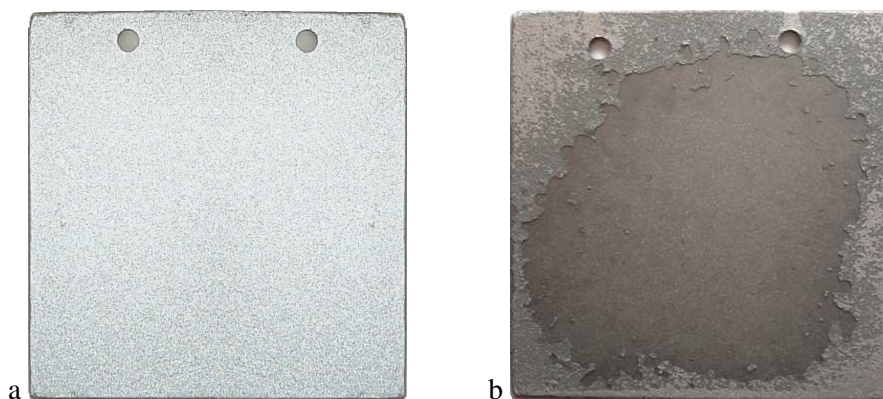
1. att. redzama smilšu strūklas sistēma pārklājumu noturības testam. Sistēma sastāv no smilšu tvertnes, kur tiek uzglabāta smiltis un smilšu strūklas pistoles, kas ar saspiesta gaisa palīdzību pūš smiltis. Smiltis no tvertnes tiek pašplūsmā (ežekcijas princips) padotas pistolē. Nepieciešamais smilšu daudzums tiek nodrošināts, mainot smilšu strūklas intensitāti ar izveidotajiem ventiļiem zem smilšu tvertnes. Pistole ir nostiprināta uz statīva, kuram pretī novietota paraugu stiprināšanas vieta ar regulējuma iespējām. Regulējuma iespējas nepieciešamas, lai nostiprinātais paraugs būtu nepieciešamajā pozīcijā (attālums, orientācija) pret smilšu nesto plūsmu. Smilšu izsmidzināšanai tiek izmantots saspiests gaiss un gaisa uzkrāšanas resīveros no kompresora berzes radītā siltuma veidojas gaisa kondensāta veidots ūdens, kas smilšu strūklas procesu ietekmē negatīvi. Lai atbrīvotos no

kondensāta, tiek izmantots kondensāta atdalīšanas filtrs. Pie filtra korpusa ir manometrs un gaisa dozēšanas ventilis nepieciešamā gaisa spiediena iestatīšanai. Smilšu smidzināšanas procesu uz parauga skat. 2 att.

3. att. redzams aukstās cinkošanas – krāsas paraudziņš pirms un pēc smilšu strūkļas apstrādes. Bojātais laukums tiek noteikts, liekot virsū paraudziņam trafaretu ar rūtojumu un nosakot zudušo vai bojāto laukumu kopsummu, pēc tam to izsakot procentuāli. Rūtojums tiek veidots ar šūnu izmēriem 2×2 mm, kurš iekļauts parauga formas izmērā (100×100 mm). Rūtojums tiek drukāts uz caurspīdīgas polimēra A4 izmēra lapas, liekot to uz parauga virsmas, skaitot atsegtos laukumus.



2. att. Parauga apsmidzināšana ar smilšu strūkļu



3. att. Aukstās cinkošanas – krāsas pārklājuma paraugs:
a – pirms smilšu strūkļošanas; b – pēc smilšu strūkļošanas

Rezultāti un diskusija

Eksperimenta gaitā katram pārklājumu veida paraugam tika izsmidzināts noteikts daudzums smilšu. Pirmo veidu paraugiem izsmidzina 150 g, otro veidu 300 g un trešo veidu paraugiem 500 g frakcionētu, līdz 1 mm lielu smilšu graudu konsistenci. 1. tabulā apkopoti paraugu pārklājumu virsmas atsegtie laukumi, izteikti procentos. Šāds sadalījums parāda aizsargmateriālu aizsardzības spējas trīs pakāpēs.

Kā redzams no 1. tabulas, virsbūves aizsargvaska pārklājums jau pēc 150 g smilšu izsmidzināšanas zaudējis 28% no sava laukuma, turpretī, poliuretāna pārklājums pat pēc 500 g smilšu izsmidzināšanas ir zaudējis niecīgu daļu no sava laukuma, t.i., ~ 2%. Jāpiebilst, ka ķīmiskā inhibitora pārklājumu bija grūti pamanīt uz metāla virsmas, jo aizsargmateriāls ir caurspīdīgs ar blāvi zaļu tonējumu, bet, pēc vizuālas novērtēšanas, tas krasi neatšķīrās pēc 150 g, 300 g un 500 g smilšu izsmidzināšanas.

1. tabula. Aizsargpārklājumu virsmas bojājums, %

Nr.p.k.	Aizsargpārklājumu veids	pēc 150 g	pēc 300 g	pēc 500 g
1.	Poliuretāna pārklājums	0	1	2
2.	Aukstā cinkošana – krāsas pārklājums	0	15	62
3.	Bituma pārklājums	1	9	98
4.	Ķīmiskā inhibitora pārklājums	24	28	28
5.	Aukstās cinkošanas pārklājums	0	69	97
6.	Virsbūves aizsargvaska pārklājums	28	65	94

2. tabulā redzami aizsargpārklājumu masas zudumi, izteikti gramos. Paraugi ar aizsargpārklājumiem tika svērti gan pirms smilšu strūklas apstrādes, gan pēc tās.

2. tabula. Aizsargpārklājumu masas zudumi, g

Nr.p.k.	Aizsargpārklājumu veids	pēc 150 g	pēc 300 g	pēc 500 g
1.	Poliuretāna pārklājums	0.61	0.92	1.72
2.	Aukstā cinkošana – krāsas pārklājums	0.12	0.46	2.73
3.	Bituma pārklājums	0.35	1.09	2.21
4.	Ķīmiskā inhibitora pārklājums	0.21	0.24	0.32
5.	Aukstās cinkošanas pārklājums	0.05	2.42	2.95
6.	Virsbūves aizsargvaska pārklājums	0.04	0.13	0.30

Secinājumi

- Vērtējot aizsargpārklājumus pēc vizuālās metodes, nosakot pārklājuma virsmas zudumu, vislabākos rezultātus uzrāda:
 - pēc 150 g smilšu strūklas procesa – poliuretāna un aukstās cinkošanas – krāsas pārklājums;
 - pēc 300 g smilšu strūklas procesa – poliuretāna un bituma pārklājums;
 - pēc 500 g smilšu strūklas procesa – poliuretāna un ķīmiskā inhibitora pārklājums.
- Vērtējot aizsargpārklājumu masas zudumus, vislabākos rezultātus uzrāda:
 - pēc 150 g smilšu strūklas procesa – virsbūves aizsargvaska un aukstās cinkošanas pārklājums;
 - pēc 300 g smilšu strūklas procesa – virsbūves aizsargvaska un ķīmiskā inhibitora pārklājums;
 - pēc 500 g smilšu strūklas procesa – virsbūves aizsargvaska un ķīmiskā inhibitora pārklājums.
- Ar vizuālās metodes palīdzību ķīmiskā inhibitora redzamību noteikt uz metāla ir ļoti gūti, jo tas ir bezkrāsains, viegli tonēts lubrikants. Pastāv liela iespējamība neprecīzi noteikt tā atrašanos uz virsmas.
- Nosakot masas zudumus aizsargmateriāliem, aizsargvaska pārklājums ir piesaistījis uz savas virsmas putekļus, jo tā virsma ir mīksta un grūti atdalāma no svešķermeņiem. Tas varētu veicināt masas pieaugumu aizsargmateriālā.

Pateicība

Pētījums veikts, saņemot finansiālu atbalstu no Eiropas Sociālā fonda, projekta „Atbalsts LLU maģistra studiju īstenošanai” ietvaros. Vienošanās Nr. 2011/0020/1DP/1.1.2.1.1/11/IPIA/VIAA/011.

Izmantotie informācijas avoti

1. Korozija (2013). [tiešsaiste] [skatīts 19.03.2013.] Pieejams: http://www.dzm.lu.lv/kim/IT/K_11/default.aspx@tabid=21&id=530.html
2. Feldmanis R., Jesko Ž. (2012) Spēkratu pretkorozijas apstrādes tehnoloģijas. **No:** *TF Studentu un maģistrantu zinātniskās konferences raksti, Inženierzinātņu sekcija: zinātniskie raksti*. 10 maijs. Jelgava: LLU TF. 26. – 31. lpp.
3. Brunere V., Kamzole L., Blūms A., Kacens J. (1986) *Ķīmija augstskolu inženiertehniskajām specialitātēm*. Rīga: Zvaigzne. 396 lpp.

BIOGĀZES KVALITĀTES UZLABOŠANA AR BIOMASAS PELNIEM

BIOGAS UPGRADE WITH BIOMASS BOTTOM ASHES

Rolands Putnieks
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants
Imants Plūme
Zinātniskais vadītājs, lektors, Mg.sc.ing.

Abstract: The paper describes biogas upgrading experiments of biomass bottom ashes. There are results and Mathematic compare about raw and upgraded biogas, heating value and Wobbe index. Also there are calculations for biomass ashes CO₂ and H₂S uptake quantity.

Atslēgas vārdi: biogāzes attīrīšana, biogāzes uzlabošana ar pelniem, biogāze transportlīdzekļiem.

Ievads

Mūsdienās, kad degvielas cenas Latvijā ir ļoti dārgas un transporta nozīme ir svarīgāka nekā agrāk, ir jāmeklē alternatīvi risinājumi degvielas ražošanai. Tagad pasaule tiecas pēc atjaunojamiem resursiem, lai saudzētu vidi un uzturētu to ekoloģisku. Biogāzes ražošana ir lielisks risinājums, kam ir ļoti plašas iespējas enerģētikas jomā, sākot ar elektroenerģijas ieguvu līdz pat transportlīdzekļu degvielas ieguvu.

Biogāze ir gāze, kuras galvenās sastāvdaļas ir metāns (CH₄) 50-75% un oglekļa dioksīds (CO₂) 25-45%, kā arī citas sastāvdaļas kā ūdens tvaiki (H₂O) 2-7%, skābeklis (O₂) 0-2%, slāpeklis (N₂) 0-2%, amonjaks (NH₃) 0-1% un sērūdeņradis (H₂S) 0-1%. Neattīrītas biogāzes siltumspēja ir 18-27 MJ·Nm⁻³ [1].

Kad biogāze tiek izmantota ievadīšanai dabasgāzes tīklā vai kā transportlīdzekļu degviela, visi sārņi, arī oglekļa dioksīds, ir jāaizvāc, un jāpaaugstina metāna saturs. Šo procesu sauc par biogāzes uzlabošanu līdz biometāna kvalitātei. Biogāzes metāna koncentrācija, kas parasti ir 50-75%, tiek palielināta virs 95% [1].

Pēc Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumiem gāzes kvalitātei jāatbilst šādiem nosacījumiem: zemākā siltumspēja: 31.8 MJ·m⁻³, Vobbes indekss: 41.2-54.5 MJ·m⁻³, sērūdeņraža koncentrācija: līdz 0.02 g·m⁻³, skābekļa daudzums: līdz 1% [2].

Pasaulē ir pieejamas vairākas tehnoloģijas biogāzes attīrīšanai no sārņiem un tās uzlabošanai līdz transportlīdzekļu degvielas un dabasgāzes kvalitātei. Populārākās no tām ir augstspiediena ūdens skrubera tehnoloģija, spiediena izmaiņu absorbcija, kriogēnā separācija, membrānu tehnoloģija un ķīmiskā absorbcija.

Izskanējuši ir dažādi viedokļi un versijas par to, ka biogāzes uzlabošanai un attīrīšanai iespējams izmantot arī biomasas pelnus. Pelni piesaista oglekļa dioksīdu un sēru, kas arī ir galvenās nevēlamās vielas, lai biogāzi lietotu transportlīdzekļu degvielā. Sērs veicina koroziju un līdz ar to ātrāku dzinēju nolietošanos, turpretim oglekļa dioksīds veido lieko masu tvertnēs.

Latvijas apstākļos biogāzes uzlabošana ar pelniem būtu ļoti efektīvs risinājums, jo pašreizējā situācijā biomasas koģenerācijas stacijām pelni ir lieki un nevajadzīgs galaprodukts. Turklāt Jelgavā top jauna, lielākā Latvijas biomasas koģenerācijas stacija.

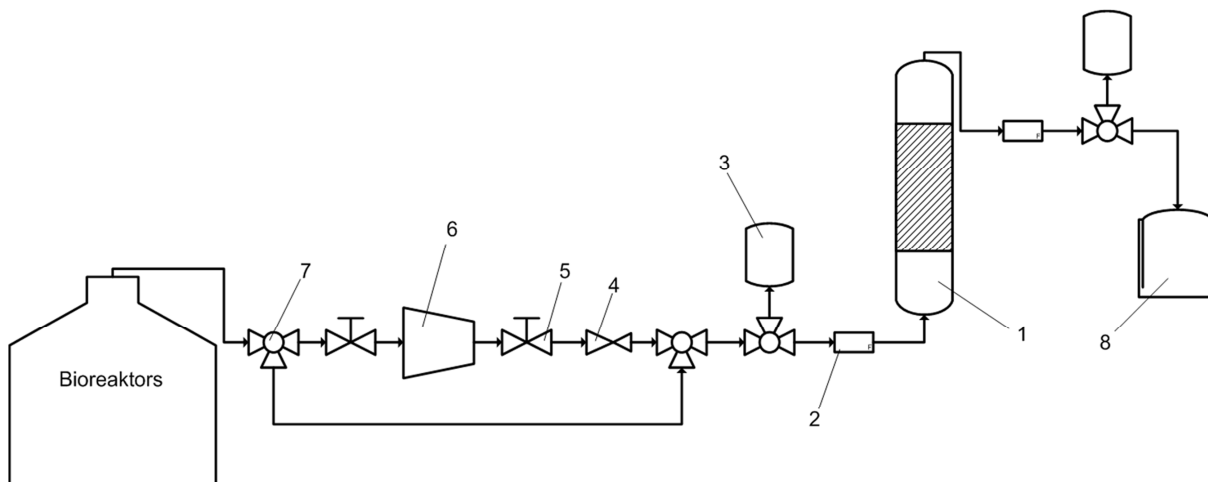
Materiāli un metodes

Pētījuma mērķis ir izpētīt pelnu izmantošanas iespējām biogāzes attīrīšanā un uzlabošanā, veikt eksperimentus un noskaidrot, pēc cik liela ievadītās gāzes daudzuma attīrīšanas iekārtā, attiecīgais pelnu daudzums būs piesātinājies un neveiks attīrīšanu, cik lielu daudzumu biomasas pelni var absorbēt CO₂ un H₂S gāzes.

Lai sekmīgi noritētu eksperiments, tad nepieciešams veikt gāzes sastāva mērījumus pirms un pēc attīrīšanas, kā arī nolasīt skaitītāja rādītājus ievadītajai un attīrītajam gāzes daudzumam.

Pētījuma veikšanai tika izveidota iekārta (1. att.). Biogāzes reaktorā tiek saražota biogāze. Tālāk plūsma tiek regulēta caur trīsceļu vārstu 7 uz kompresoru 6, kur gāze tiek saspiesta un tālāk caur

redukcijas vārstu padota uz absorbcijas kolonu 1 ar lielāku plūsmu, vai arī pa apeju, kur tā caur absorbcijas kolonu plūst pašplūsmā. Tālāk pirms skaitītāja tiek novadīts neliels gāzes daudzums (ap 2 l) uz paraugu tvertni 3 priekš gāzes sastāva analīzes. Iekārtas konstrukcijā ir divi gāzes skaitītāji 2, kuri parāda ieejošo gāzes daudzumu un izejošo gāzes daudzumu. Pēc absorbcijas kolonas un otrā gāzes skaitītāja atkal tiek ņemts gāzes sastāva paraugs. Visbeidzot attīrītā gāze nonāk uzkrāšanas tvertnē 8.



1. att. **Biogāzes attīrīšanas iekārtas principiālā shēma:**

- 1 – absorbcijas kolona; 2 – gāzes skaitītājs; 3 – gāzes parauga tvertne; 4 – redukcijas vārsts;
5 – manuālais noslēgvārsts; 6 – kompresors; 7 – trīscelņu vārsts;
8 – attīrītās biogāzes uzkrāšanas tvertne

Kopumā tika veikti 8 eksperimenti ar dažādām gāzu plūsmām. Trīs no tiem tika veikti ar kompresoru pie lielākām plūsmām, pārējie caur apeju ar mazu plūsmu pa tiešo no bioreaktora. 1. eksperimentam pelnu daudzums kolonā sasniedza 23.30 l, bet visiem pārējiem 5 l. 1. tabulā apskatāmas eksperimentu plūsmas, caurplūstošās gāzes daudzums katram eksperimentam u.c. mainīgie lielumi eksperimentiem.

1. tabula. **Biogāzes attīrīšanas eksperimentu mainīgo lielumu dati**

Nr.p.k.	Plūsmas ātrums, l·h ⁻¹	Pelnu nostādināšanas ilgums, dienas	Pelnu paraugs mitrumam		Kopējais caurplūstošais gāzes daudzums, l	Efektīvais caurplūstošais gāzes daudzums, l	Ievietotais pelnu svars kolonā, kg
			m _{pW} , g	m _{pD} , g			
1	6.0	23	23.950	19.000	1400	1304	23.92
2	7.8	12	23.862	18.240	596	519	5.69
3	171.0	8	27.775	23.582	139	102	5.64
4	61.8	9	27.236	20.385	290	244	5.75
5	37.2	11	23.532	17.214	340	321	5.26
6	2.4	23	16.700	13.625	596	541	5.36
7	5.4	7	25.254	21.226	520	412	4.86
8	6.0	15	21.210	17.810	590	329	5.86

Biogāzes attīrīšanas metodei ar smagajiem pelniem viens no svarīgākajiem parametriem ir pelnu iespējamais oglekļa dioksīda CO₂ un sērūdeņraža H₂S absorbcijas daudzums. Tos nosaka attīrītās gāzes daudzumam litros uz vienu kubikcentimetru pelnu.

Aprēķina kopējo pelnu absorbēto CO₂ daudzumu pēc 1. sakarības:

$$CO_{2abs} = \left(\frac{\sum_{n=i}^i CO_{2ie} - \sum_{n=i}^i CO_{2iz}}{n} \right) / 100 \cdot V_{ie}, \quad (1)$$

kur CO_{2abs} – absorbētās CO₂ gāzes daudzums, l;

CO_{2ie} – procentuālais CO_2 gāzes sastāva daudzums pirms attīrīšanas, %;
 CO_{2iz} – procentuālais CO_2 gāzes sastāva daudzums pēc attīrīšanas, %;
 n – mērījumu skaits eksperimentam, gab.;
 V_{ie} – kopējais ievadītās biogāzes daudzums attīrīšanas kolonā, l.

Pēc tālāk sekojošās 2. formulas, var aprēķināt, cik litri CO_2 tiek absorbēti uz 1 cm^3 pelnu:

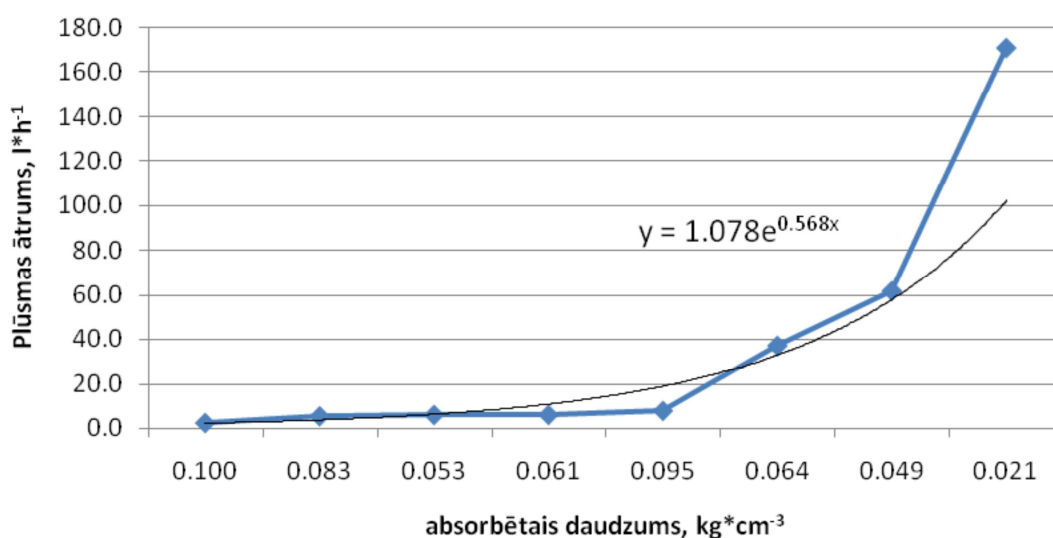
$$V_{l,CO_2} = \frac{CO_{2abs}}{V_{pelni,cm^3}}, \quad (2)$$

kur: V_{l,CO_2} – absorbētais CO_2 daudzums un kubikcentimetru, $l\text{ cm}^{-3}$;
 CO_{2abs} – kopējais absorbētās CO_2 gāzes daudzums, l;
 V_{pelni,cm^3} – reaktorā esošais pelnu daudzums, cm^3 .

2. tabula. Pelnu absorbētais CO_2 un H_2S daudzums

Eksperiments	1	2	3*	4*	5*	6	7	8
CO_2 absorbētais daudzums, l	1223.79	476.24	102.54	243.32	320.27	502.02	415.84	304.92
H_2S absorbētais daudzums, l	0.98	0.57	0.12	0.28	0.37	0.55	0.46	0.36
CO_2 absorbētais daudzums uz 1 cm^3	0.053	0.095	0.021	0.049	0.064	0.1	0.083	0.061
H_2S absorbētais daudzums uz 1 cm^3	0.000042	0.000114	0.000024	0.000056	0.000074	0.00011	0.000092	0.000072

*- eksperimenti noritējuši, gāzi laižot plūsmā caur kompresoru.



2. att. CO_2 absorbētais daudzums uz vienu cm^3

Kopumā 1 kg oglekļa dioksīda CO_2 atbilst 509.34 litriem CO_2 . To cik vienā kilogramā ietilpst viens litrs CO_2 gāzes, nosaka pēc ideālā gāzu vienādojuma likuma.

Lai pārliecinātos par biogāzes iznākuma kvalitāti un tās atbilstību, jānosaka tās siltumspēja.

Aprēķins notiek pēc sekojošas formulas (3):

$$HV_{BN} = HV_{MN} \cdot p_{CH_4}, \quad (3)$$

kur HV_{BN} – biogāzes 1 m³ siltumspēja normālos apstākļos, MJ·Nm⁻³;
 HV_{MN} – metāna 1 Nm³ siltumspēja, MJ·Nm⁻³, $HV_{MN} = 35.80$ MJ·Nm⁻³;
 p_{CH_4} – metāna procentuālais sastāvs biogāzē pēc tilpuma, %.

Aprēķins jāveic arī nosakot Vobbes indeksu [4], kas ir svarīgs rādītājs deggāzēm. Vobbes indeksu aprēķina pēc formulas (4):

$$I_w = \frac{HV_{BN}}{\sqrt{G_s}}, \quad (4)$$

kur I_w – Vobbes indekss, MJ·m⁻³;
 HV_{BN} – biogāzes 1 m³ siltumspēja normālos apstākļos, MJ·Nm⁻³;
 G_s – gravitācijas konstante metānā, $G_s = 0.5537$ [3].

Rezultāti un diskusija

Eksperimentu mērījumu un aprēķinu rezultāti apkopoti 3. tabulā, kurā redzams kā mainījies metāna saturs, salīdzinot gāzes sastāvus pirms attīrīšanas un pēc attīrīšanas. Efektīvo mērījumu skaits eksperimentiem ir dažāds, jo tas ir atkarīgs no plūsmas ātruma. Efektīvie mērījumi ir tie, kuri ir lietderīgi izmantojami, neieskaitot pārejas procesus, kad sistēmā vēl ir skābeklis un arī piesātinoties ar CO₂. Vidējā siltumspēja līdzīgi kā Wobbes indekss vidēji pēc biogāzes attīrīšanas pieaug par vienu trešdaļu, kā arī ir atbilstoši, lai gāzi varētu efektīvi lietot ievadei dabasgāzes tīklā vai transportlīdzekļu degvielā.

3. tabula. Mērījumu un aprēķinu rezultāti

Eksperiments	1	2	3*	4*	5*	6	7	8
Vid. CH ₄ saturs ieejā, %	56.94	57.04	57.94	55.09	56.19	56.14	57.05	58.26
Vid. CH ₄ saturs izejā, %	99.06	94.48	90.60	92.17	92.08	95.36	97.69	98.67
Efektīvo mērījumu skaits	27	24	16	21	20	25	12	11
Vid. siltumspēja pirms attīrīšanas, MJ·Nm ⁻³	20.38	20.42	20.74	19.72	20.12	20.10	20.42	20.86
Vid. Wobbes indekss pirms attīrīš., MJ·Nm ⁻³	27.39	27.44	27.88	26.50	27.03	27.01	27.45	28.03
Vid. siltumspēja pēc attīrīšanas, MJ·Nm ⁻³	35.46	33.82	32.43	33.00	32.96	34.14	34.97	35.32
Vid. Wobbes indekss pēc attīrīšanas, MJ·Nm ⁻³	47.66	45.46	43.59	44.34	44.30	45.88	47.00	47.47

Secinājumi

- Attīrot biogāzi ar biomasas pelniem, pieaug biogāzes kvalitāte un tā atbilst standartam, lai ievadītu biogāzi gāzes tīklā un lietotu kā transportlīdzekļu degvielu.
- Biogāzes kvalitāti ir iespējams uzlabot izmantojot biomasas pelnus, kam varētu būt labs potenciāls nākotnē tieši Latvijas apstākļos.
- To, cik lielu daudzumu biogāzes var attīrīt ar pelniem, ir atkarīgs no nepieciešamā iegūstamā gāzes daudzuma un caurplūdes ātruma, ko apraksta grafiks 2. attēlā.
- Biogāzes siltumspēja un Wobbes indekss pēc attīrīšanas vidēji pieaug par 30%.

Izmantotie informācijas avoti

- Blumberga D., Dzene I., Al Sedi T. Biogāze rokasgrāmata. – Ekodoma, 155 lpp.
- Kalniņš A. Biogāzes iespējas un tās kā transportlīdzekļu degvielas izmantošana. – Rīga, 2007, 99 lpp.
- Gases – Specific gravities. [online]
Available: http://www.engineeringtoolbox.com/specificgravities-gases-d_334.html
- Wobbe index. [online] Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Wobbe_index
- Mostbauer P., Olivieri T., Lombardi L., Paradisi A., Pilot-scale upgrading of landfill gas and sequestration of CO₂ by MSWI bottom ash. Stockholm, Sweden, January 25 – 27, 2012. 10 p.