

**LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE**  
**TEHNISKĀ FAKULTĀTE**

**STUDENTU UN MAĢISTRANTU**  
**ZINĀTNISKĀS KONFERENCES**  
**RAKSTI**

*INŽENIERZINĀTŅU SEKCIJA*

**JELGAVA 2012**

TF studentu un maģistrantu zinātniskās konferences raksti  
2012. gada 10. maijs  
Jelgava

***Konferences komiteja***

priekšsēdētājs:

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

locekļi:

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

doc. **Jānis Tupiņš**  
(Spēkratu institūts)

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

Sastādīja: **Andris Dukulis, Ilmārs Dukulis**

**SATURS**

<b>Māris Gailis</b> PAR BREMŽU UZLIKU NODILUMA KONTROLES PERIODISKUMU <i>ON PERIODICITY OF BRAKE PAD WEAROUT CONTROL</i> .....	4
<b>Matīss Pinka</b> MAZGABARĪTA AUGKOPĪBAS PRODUKCIJAS KALTĒŠANAS IEKĀRTA <i>MINIATURE CROP PRODUCTION DRYING EQUIPMENT</i> .....	9
<b>Jānis Supe</b> DEGVIELAS EKONOMIJA TRAKTORVILKMES DARBOS <i>FUEL ECONOMY IN TRACTOR TRACTION WORKS</i> .....	13
<b>Edgars Palabinskis</b> DBD PLAZMAS REAKTORS UZBŪVE DEGŠANAS PĒTĪŠANAI <i>DBD PLASMA REACTOR DESIGN FOR COMBUSTION STUDY</i> .....	17
<b>Kristaps Sondors</b> BIODEGVIELAS RAŽOŠANAI IZMANTOJAMO MIKROAĻĢU IEGUVE <i>FOR BIOFUEL PRODUCTION SUITABLE MICROALGAE CULTIVATION</i> .....	21
<b>Rolands Feldmanis</b> SPĒKRATU PRETKOROZIJAS APSTRĀDES TEHNOLOĢIJAS <i>VEHICLE ANTI-CORROSION PROCESSING TECHNOLOGIES</i> .....	26
<b>Valdis Kleinbergs</b> SALMU GRANULU PELNU KRISTALIZĀCIJAS VEIDOŠANĀS DEGŠANAS PROCESĀ <i>STRAWS GRANULE ASHES CRYSTALIZATION FORMATION IN BURNING PROCESS</i> .....	32
<b>Rolands Putnieks</b> BIOGĀZES KVALITĀTES UZLABOŠANA AR BIOMASAS PELNIEM <i>BIOGAS UPGRADING WITH BIOMASS BOTTOM ASHES</i> .....	37
<b>Aleksejs Gedzurs</b> ASINHRONĀ ELEKTRODZINĒJA SILŠANA UN ELEKTRISKIE ZUDUMI ILGSTOŠAS NOMINĀLSLODZES REŽĪMĀ <i>HEATING AND ELECTRICAL LOSSES OF INDUCTION MOTOR UNDER CONTINUED RATED LOAD</i> .....	40

## PAR BREMŽU UZLIKU NODILUMA KONTROLES PERIODISKUMU ON PERIODICITY OF BRAKE PAD WEAROUT CONTROL

Māris Gailis  
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants  
Dainis Berjoza  
Zinātniskais vadītājs, asoc. prof., Dr.sc.ing.

**Abstract:** Automobile braking system components, which are subject to wear – linings, pads and discs normally are controlled with the periodicity of regular maintenance. Paper discusses importance of reliability based determination of brake pad wear control periodicity. Authors present methodology of brake pad wear evaluation and determination of control periodicity. Practical application of method is demonstrated using data of brake pad wear for two popular light commercial vehicle models – Renault Trafic II and Renault Master III.

**Atslēgas vārdi:** automobilis, bremzes, periodiskums.

### Ievads

Mūsdienu automobiļu bremžu sistēmas mēdz būt aprīkotas ar sarežģītām elektroniskām vadības sistēmām, kas sadala bremzēšanas spēku starp asīm un riteņiem, nodrošinot stabilu un drošu braukšanu un bremzēšanu dažādos apstākļos. Tomēr pats bremzēšanas efekts tiek radīts berzei pakļautiem elementiem – bremžu lokiem, uzlikām, diskkiem un trumuļiem. Šie elementi ir pakļauti dilšanai un automobiļa normāla darba mūža laikā ir vairākkārtīgi jānomaina. Automobiļa ražotājs parasti nosaka robežizmērus, kurus sasniedzot, attiecīgais elements ir jānomaina. Parasti bremžu sistēmas elementu pārbaude notiek ar to pašu periodiskumu, kas paredzēts vispārīgām tehniskajām apkopēm. Autoražotājs nosaka maksimālo tehnisko apkopju periodiskumu, iesakot to pielāgot vietējiem lietošanas apstākļiem [1]. Bremžu sistēmas elementu nodiluma dinamika ir viens no faktoriem, kas jāņem vērā, nosakot tehnisko apkopju periodiskumu. Pētījuma mērķis ir noteikt vidējo kalpošanas resursu dilšanai visvairāk pakļautajiem bremžu sistēmas elementiem un noteikt piemērotu periodiskumu bremžu uzliku nodiluma kontrolei diviem Latvijas tautsaimniecībā nozīmīgiem vieglā komerctransporta modeļiem – Renault Trafic II un Renault Master III [2].

### Materiāli un metodes

Bremžu uzliku dilšana ir sarežģīts process, kuru analizējuši daudzi pētnieki. Ievērojams izaicinājums bremžu uzliku ražotājiem bija 20. gadsimta 80. gados pieņemtie noteikumi, kas liedza izmantot azbestu frikcijas materiālu ražošanā [3]. Moderno, bez azbesta bremžu uzliku sastāvs ir sarežģīts un nehomogēns. Dilšanas procesā notiek komplikēti plaisu un līdzenu apgabalu veidošanās procesi, kurā iesaistīti arī dilšanas laikā radušies putekļi un ceļa segumā esošie silīcija smilšu graudi [3]. Bremžu uzliku nodiluma prognozēšana, izmantojot noteiktā laika posmā iegūtus nodiluma datus un lineārās regresijas analīzi ir aprakstīta dzelzceļa ritošā sastāva bremžu nolietojuma pētījumos [4]. Tomēr dzelzceļa vides apstākļi, iespējams, ir viendabīgāki un prognozējamāki, jo ceļa seguma un maršrutu variācija ir zemākā līmenī, salīdzinot ar autoceļiem.

Bremžu sistēmām ir raksturīgs zināms nodiluma disbalanss, vērtējot nodilumu starp asīm un riteņa iekšējo un ārējo bremžu uzliku. Balansa nozīmi un novērtēšanu padziļināti ir pētījuši Belgradas Universitātes pētnieki [5]. Mūsdienu vieglā komercautomobiļa bremžu sistēmā var būt vairāki uzliku komplekti, bet nesabalansēta nodiluma rezultātā kāda uzlika var nodilt ātrāk nekā citas (1. att.). Automobiļu bremžu uzlikas ražotāji mēdz aprīkot ar nodiluma indikatoriem, kas lietotāju brīdina par pieļaujamā nodiluma līmeņa sasniegšanu. Tā kā bremžu diluma balanss ir atkarīgs no lietošanas apstākļiem, dažkārt nodiluma indikatoru ir izvietoti uzlikās ar lēnāko dilšanas ātrumu [6].

Pētījumā izmantoti sekojošu automobiļu bremžu uzliku nodiluma dati:

- Renault Trafic II;
- Renault Master III priekšpiedziņas (FWD);
- Renault Master III pakālpiedziņas (RWD).

Pētījumā izmantoti dati par automobiļiem, kuri pārdoti Latvijā, tiek regulāri apkopti un remontēti pie ražotāja autorizēta pārstāvja.

Automobiļu bremžu sistēmas apkalpošanā izmantotas tikai ražotāja oriģinālās rezerves daļas. Visi trīs pētījumā izmantotie automobiļu modeļi aprīkoti ar disku bremzēm uz abām asīm, un ABS iekārtu. Renault Master III bremžu uzliku ražotājs ir Continental AG. Renault Trafic II oriģinālās bremžu uzlikas uz pētījumu brīdi ražoja Feder Mogul, zīmols Ferodo.



1. att. **Nolietots bremžu uzliku komplekts, Renault Master III:**

1 – uzlika ar nodiluma sensoru; 2 – pilnībā nodilusi uzlika

Bremžu uzliku nodiluma mērījumi tika veikti ražotāja autorizēta pārstāvja autoservisā. Katras tehniskās apkopes laikā, veicot bremžu sistēmas kontroli, papildus tika veikti uzliku biezuma mērījumi. Katra uzlika tika mērīta 4 punktos ar bīdmēru. Atbilstoši ražotāja metodikai, tika mērīts viss uzlikas biezums, ieskaitot metāla plātni. Vidējā vērtība tika pierēģistrēta kā bremžu uzlikas biezums. Bremžu sistēmas elementu izmēru robežvērtības tika atrastas, izmantojot autoražotāja Renault publicēto remonta dokumentāciju [7]. Papildus uzliku biezumam tika reģistrēts automobiļa kopējais nobraukums un nobraukums kopš iepriekšējās uzliku maiņas. Bremžu sistēmas bojājumu gadījumā, piemēram, bojātas bremžu balsta vadīklas, mērījumu rezultāti tika brāķēti un netika izmantoti tālākos aprēķinos. Datu apstrāde tika veikta izmantojot elektronisko tabulu *Microsoft Excel* un datu analīzes programmatūru *IBM SPSS 20*.

Lai veiktu pieļaujamā nobraukuma starp uzliku biezuma pārbaudēm aprēķinu pēc drošuma teorijas metodikas, ir jānoskaidro nodiluma datu sadalījuma likums. Tehniskā stāvokļa izmaiņu sadalījuma likums raksturo iespējamās stāvokļa izmaiņu vai atteikuma iemeslus.

Eksponenciālais sadalījums raksturo pēkšņas kļūmes, piemēram, ražošanas vai materiāla brāķi vai cilvēka pieļautas kļūdas. Logaritmiski normālais sadalījums raksturo kļūmes, kas rodas termiskā noguruma, noguruma vai plastisko deformāciju rezultātā. Veibula sadalījums ir raksturīgs, kad kļūmes rodas vairāku vienlaicīgu atšķirīgu iedarbju un iemeslu rezultātā. Normālais sadalījums raksturo kļūmes, kas rodas nodiluma, erozijas un piesārņojuma uzkrāšanās rezultātā [8].

Tehniskā stāvokļa izmaiņu sadalījuma likumu nosaka, veicot izlases datu statistisko apstrādi. Ja izlases apjoms ir pietiekami liels, sadalījuma likumu var novērtēt, grafiski analizējot sadalījuma histogrammu. Šajā pētījumā izlases apjoms nav pietiekams, lai izveidotu jēgpilnu histogrammu. Sadalījuma likumu var noteikt ar datorprogrammas *IBM SPSS* funkciju *Analyze > Nonparametric Tests > One Sample*. Izlases dati tiek analizēti ar Kolmogorova – Smirnova testu. Šajā testā tiek izvirzīta nulles hipotēze, ka izlases sadalījums atbilst normālajam, un ar nulles hipotēze noraidīta vai nenoraidīta ar noteiktu nozīmīgumu. Hipotēze tiek pārbaudīta ar Kolmogorova teorēmas palīdzību [9]. Testa asimptotiskā p vērtība tiek aprēķināta ar Smirnova formulu. Ja p vērtība ir mazāka par izvēlēto testa nozīmīgumu  $\alpha$ , nulles hipotēze tiek noraidīta [10].

Ja ir noskaidrota izlases datu varbūtības sadalījuma atbilstība kādam sadalījuma likumam, ir iespējams analītiski noteikt vajadzīgos parametrus. Šajā gadījumā ir jānosaka bremžu uzliku nodiluma varbūtība. Normāla sadalījuma gadījumā var tikt izmantota standartizēta normālā sadalījuma integrālā funkcija  $F(z)$ . Tajā gadījuma lielums tiek aizvietots ar standartizētu lielumu  $z$ , ko nosaka sekojoši:

$$z = \frac{(x - \bar{x})}{\sigma}, \quad (1)$$

kur  $x$  – gadījuma lielums;  
 $\bar{x}$  – vidējais aritmētiskais;  
 $\sigma$  – ģenerālkopas standartnovirze.

Gadījumā, ja izlases apjoms ir neliels, līdz 30 paraugiem, normālā sadalījuma vietā ir jālieto Stjudenta sadalījums. Stjudenta sadalījuma standartizētās vērtības apzīmē ar  $t$  un aprēķinot nezināmās ģenerālkopas standartnovirzes  $\sigma$  vērtības vietā lieto izlases standartnovirzi  $S$ . Standartizētās normālā sadalījuma funkcijas vietā lieto Stjudenta sadalījuma integrālo funkciju, kuras vērtības var atrast tabulās [9]. Šajā pētījumā jānosaka vienpusējās varbūtības vērtības. Precīzāk un ērtāk šīs vērtības var aprēķināt ar statistikas datu apstrādes datorprogrammām. Šim mērķim var izmantot programmu *Microsoft Excel*.

Bremžu uzliku stāvokļa pārbaudes periodiskumu var noteikt, izmantot gamma-procentuālo resursu. Gamma-procentuālais resurss ir bezatteikuma darbības resursa  $x_\gamma$  integrālā vērtība. Sakarību starp drošumu un gamma-procentuālo resursu var izteikt sekojoši.

$$R_g = P(x_i > x_\gamma) \geq \gamma, \quad (2)$$

kur  $R_g$  – drošums;  
 $x_i$  – izstrāde līdz atteikumam;  
 $x_\gamma$  – bezatteikuma darbības resurss;  
 $P(x_i > x_\gamma)$  – bezatteikuma darbības varbūtība;  
 $\gamma$  – gamma-procentuālais resurss.

Atteikumu risku apzīmē ar  $F$  un tas pretējs parametrs drošumam  $R_g$ . Drošumu, atteikumu un gamma-procentuālo resursu parasti izsaka procentos. Automobiļu tehniskajā apkalpošanā mehānismiem un agregātiem, kuri ir saistīti ar kustības drošību, tātad arī bremžu sistēmai,  $R_g = 0.90\%$  līdz  $0.98\%$ , citiem mezgliem un agregātiem  $R_g = 0.85\%$  līdz  $0.90\%$  [8].

## Rezultāti un diskusija

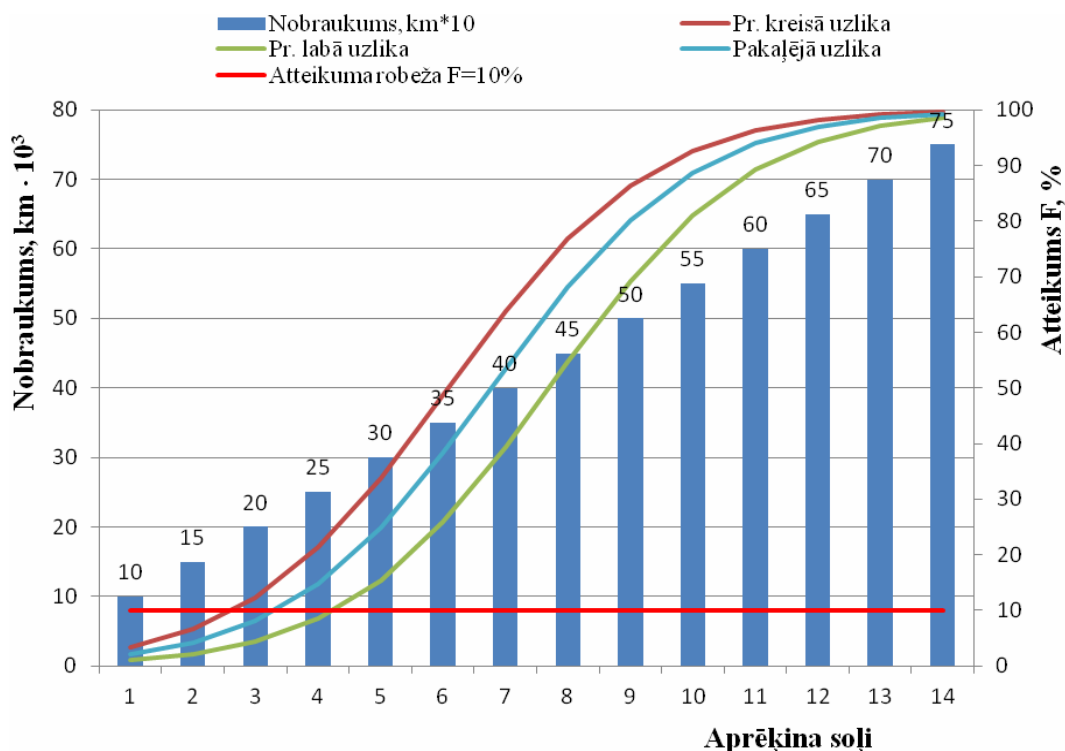
Bremžu uzliku biezuma mērījumu datu apstrādes rezultātā tika sastādītas tabulas ar nobraukuma vērtībām, pie kurām tika konstatēts minimālo izmēru sasniegušas uzlikas. Uzskaitē tika veikta atsevišķi katram automobiļu modelim un uzlikas novietojumam automobiļa bremžu sistēmā. Bremžu uzilku dilšanas dinamikas un uzliku savstarpējā nodiluma balansa novērtēšana tika veikta ar lineārās regresijas analīzi [11]. Tālāka datu apstrāde tika veikta visstraujāk dilstošo uzliku datu izlasei.

Ar statistikas datu apstrādes programmu IBM SPSS tika analizēts iegūto nobraukuma datu varbūtības sadalījuma likums. Ar nozīmīguma līmeni  $\alpha = 0.05$  un varbūtību  $95\%$  tika konstatēts, ka sadalījums atbilst normāla sadalījuma likumam. Tas nozīmē, ka paraugi izlase pārsvarā satur datus par normāla nodiluma rezultātā nolietotām bremžu uzlikām. Tā kā paraugu skaits nepārsniedza 30, tika pieņemts Stjudenta sadalījuma likums.

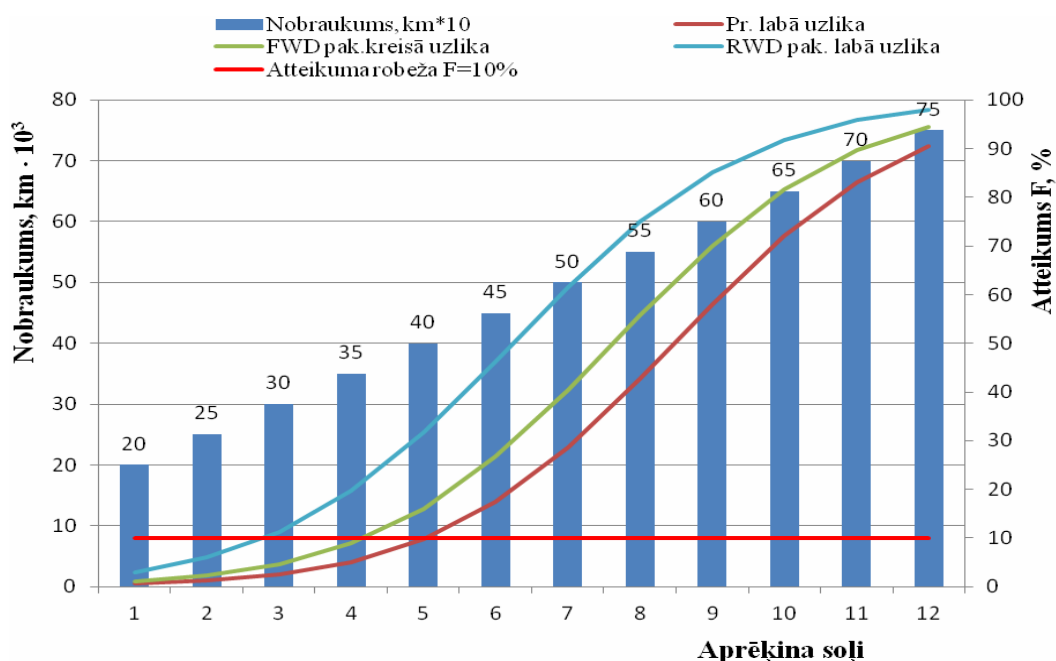
Izmantojot programmu *IBM SPSS*, tika aprēķinātas izlašu standartnovirzes  $S$  un vidējā aritmētiskā  $\bar{x}$  vērtības. Pēc formulas (1), pielāgotas Stjudenta sadalījuma gadījumam, ar *Microsoft Excel* tika aprēķinātas standartizētās  $t$ -vērtības un Stjudenta sadalījuma integrālās funkcijas vērtības dažādām nobraukuma vērtībām ar soli 10000 km. Izsakot integrālās funkcijas vērtību procentos, var noteikt bremžu uzliku atteikuma risku  $F$  un drošumu  $R_g$ .

Automobiļa bremžu sistēmas drošumam  $R_g$  jābūt vismaz  $90\%$  robežās [2]. Tātad atteikuma  $F$  pieļaujamā varbūtība ir  $10\%$ . 2. attēlā parādīts, ka  $10\%$  procentiem automobiļu Renault Trafic II priekšējo bremžu kreisā iekšējā uzlika var atteikt, tas ir sasniegt minimālo pieļaujamo biežumu pie apmēram 18000 km nobraukuma.

3. attēlā parādīts, ka  $10\%$  procentiem automobiļu Renault Master III RWD (pakaļpiedziņas) pakaļējo bremžu labā ārējā uzlika var atteikt, tas ir sasniegt minimālo pieļaujamo biežumu pie apmēram 30000 km nobraukuma. Priekšpiedziņas versijas gadījumā pakaļējo bremžu kreisā iekšējā uzlika var atteikt pie apmēram 35000 km nobraukuma. Priekšējo bremžu uzlikas ar to pašu drošumu var kalpot līdz 40000 km nobraukumam. Bremžu uzliku kontroles periodiskuma intervāls ir mazāks nekā ražotāja rekomendētais maksimālais tehnisko apkopju periodiskums [1].



2. att. Renault Trafic II bremžu uzliku atteikuma varbūtība



3. att. Renault Master III bremžu uzliku atteikuma varbūtība

### Secinājumi

1. Bremžu uzliku nodiluma datu sadalījums atbilst normālā varbūtību sadalījuma likumam.
2. Datu atbilstība normāla sadalījuma likumam liecina par izvēlētās automobiļu izlases bremžu sistēmas normālu darbību, ko maz ietekmējuši neparedzēti tehniski bojājumi un autovadītāja pieļautas kļūdas.

3. Bremžu uzliku kontroles periodiskumu var vienkārši un uzskatāmi aprēķināt ar drošuma teorijas pamatmetodēm.
4. Automaģiņa Renault Trafic II bremžu sistēmā visātrāk dilst priekšējās ass iekšējās uzlikas.
5. Automaģiņa Renault Trafic II bremžu uzliku vidējais kalpošanas resurss ir 40000 km, kontrole jāveic pie nobraukuma 20000 km.
6. Automaģiņa Renault Master III FWD bremžu sistēmā visātrāk dilst pakaļējās ass iekšējās uzlikas.
7. Automaģiņa Renault Master III RWD bremžu sistēmā visātrāk dilst pakaļējās ass ārējās uzlikas.
8. Automaģiņa Renault Master III FWD bremžu uzliku vidējais kalpošanas resurss ir 65000 km, kontrole jāveic pie noraukuma 35000 km.
9. Automaģiņa Renault Master III RWD bremžu uzliku vidējais kalpošanas resurss ir 50000 km, kontrole jāveic pie nobraukuma 30000 km.

### **Pateicība**

Pētījums veikts, saņemot finansiālu atbalstu no Eiropas Sociālā fonda, projekta „Atbalsts LLU maģistra studiju īstenošanai” ietvaros. Vienošanās Nr. 2009/0165/1DP/1.1.2.1.1/09/IPIA/VIAA/008.

### **Izmantotie informācijas avoti**

1. Maintenance of Renault vehicles. Technical Note 6018A ref 771135482 [tiešsaiste] [skatīts 16.04.2012.] Pieejams: <http://www.infotech.renault.com>
2. Latvijā pārdoto automaģiņu statistikas dati, 2011. [tiešsaiste] [skatīts 16.04.2012.] Pieejams: <http://www.lpaa.lv/lv/statistika/latvija>
3. G. P. Ostermeyer, M. Mueller. New insights into the tribology of brake systems. IMechE Vol. 222, 2008, 8 p.
4. G.A. Bohoris, A. Desai, D.J. Edge. Modeling Rail Vehicle Brake Pad Wearout and Replacement. Quality and Reliability Engineering International, vol. 11. John Wiley & Sons, Ltd., 1995, 129 – 137 p.
5. Duboka C., Todorovic J., Arsenic Z. Wear Balance Based Maintenance of Frictional Mechanisms. Tribologija u industry, god. XV, br. 4, 1993, 135 – 142 p.
6. Mūsa Motors Rīga, DMS datubāzes atskaite. Npublicēts materiāls.
7. Specifications of Braking System [tiešsaiste] [skatīts 16.04.2012.] Pieejams: <http://www.infotech.renault.com>
8. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей. Москва: Транспорт, 1991, 416 с.
9. Arhipova I, Bāliņa S., Statistika ekonomikā un biznesā. Rīga, Datorzinību centrs, 2006., 364 lpp.
10. Tutorial and Help. IBM SPSS, built – in resource.
11. M. Gailis, D. Berjoza. On Prediction of Motor Vehicle Brake Pad Wearout. Engineering for Rural Development. LLU, Jelgava, 2012, 10 p.



## MAZGABARĪTA AUGKOPĪBAS PRODUKCIJAS KALTĒŠANAS IEKĀRTA

### MINIATURE CROP PRODUCTION DRYING EQUIPMENT

Matīss Pinka

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

Jānis Palabinskis

Zinātniskais vadītājs, asoc. profesors, Dr.sc.ing.

Aivars Āboltiņš

Zinātniskais vadītājs, vad. pētnieks, Dr.sc.ing.

**Abstract:** The miniature drying equipment was built and experiments also were taken, and results of drying process were obtained, by drying two kinds of agricultural products (carrot, apples slices).

**Atslēgas vārdi:** kaltēšanas process, kaltēšanas iekārta, āboli, bumbieri, kalte, kaltēšanas iekārta, mobila, kaltēšana, kaltējamais materiāls.

#### Ievads

Kaltēti augkopības produkti ir dabīgs produkts, kurā nav krāsvielu, stabilizatoru, emulgatoru, nitrātu un mākslīgo piedevu. Faktiski tie ir tie paši augkopības produkti tikai bez ūdens. Tajā pat laikā, vērtīgie mikroelementi, tādi kā kalcijs, dzelzs, nātrijs, magnijs, kā arī šķiedrvielas un pektīns, saglabājas pilnā apjomā. Tāpēc žāvēti augļi ir īsts vērtīgo vielu dabiskais koncentrāts un tos ir iespējams žāvēt mājās apstākļos.

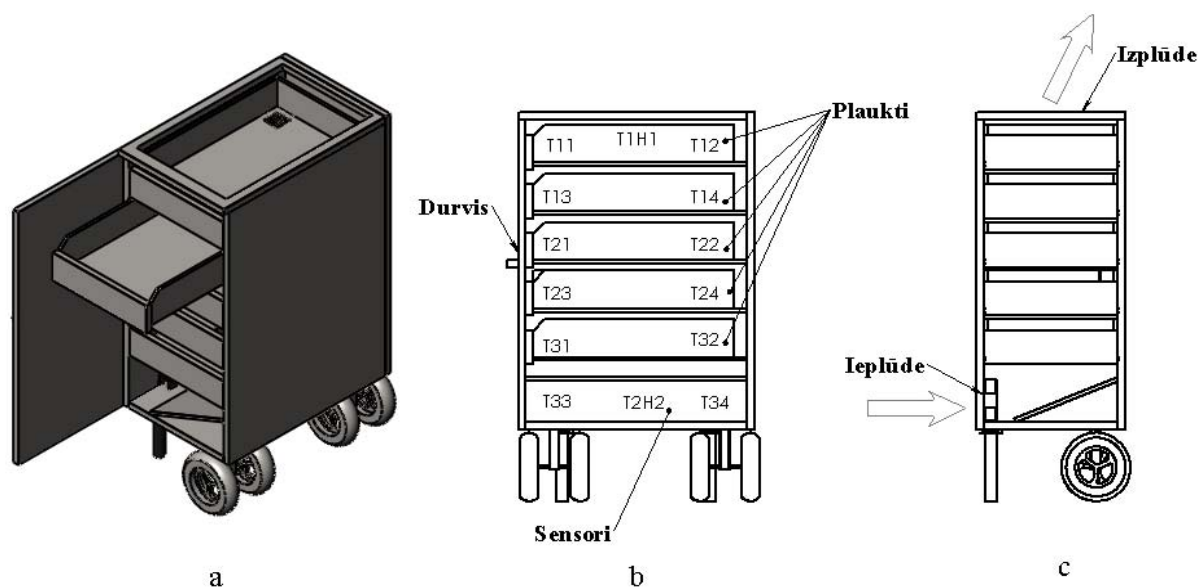
Pārtikas dehidrācija ir drošs uzglabāšanas paņēmiens, jo ūdens tiek atdalīts no pārtikas. Dehidrētos produktos mikroorganismi un baktērijas nevar vairoties un pārtika nebojājas.

Dehidrāciju jeb žāvēšanu veicot pie maksimāli zemākas temperatūras, tas palīdz saglabāt vairāk derīgo vielu gala produktā. (diapazonā no 40 līdz 60 grādiem °C) [2].

Tika izgatavota mazgabarīta augkopības kaltēšanas iekārta un veikti burkānu un ābolu šķēlišu kaltēšanas eksperimenti ar mazuzsildītu gaisu.

#### Materiāli un metodes

Eksperimentālo pētījumu mērķis bija pārbaudīt uzbūvētās mazgabarīta augkopības produkcijas kaltēšanas pilotiekārtu kaltējot burkānus un ābolus (1. att.). Kaltēšanas iekārta ar sekojošiem gabarītiem 880×650×410 mm aprīkota ar pieciem plauktiem, diviem līdzstrāvas 12V ventilatoriem ar kopējo maksimālo ražīgumu 360 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, kas novietoti iekārtas apakšdaļā sāna sienā, kur arī atrodas gaisa ieplūdes atveres.



1. att. Mazgabarīta augkopības produkcijas kaltēšanas pilotiekārta

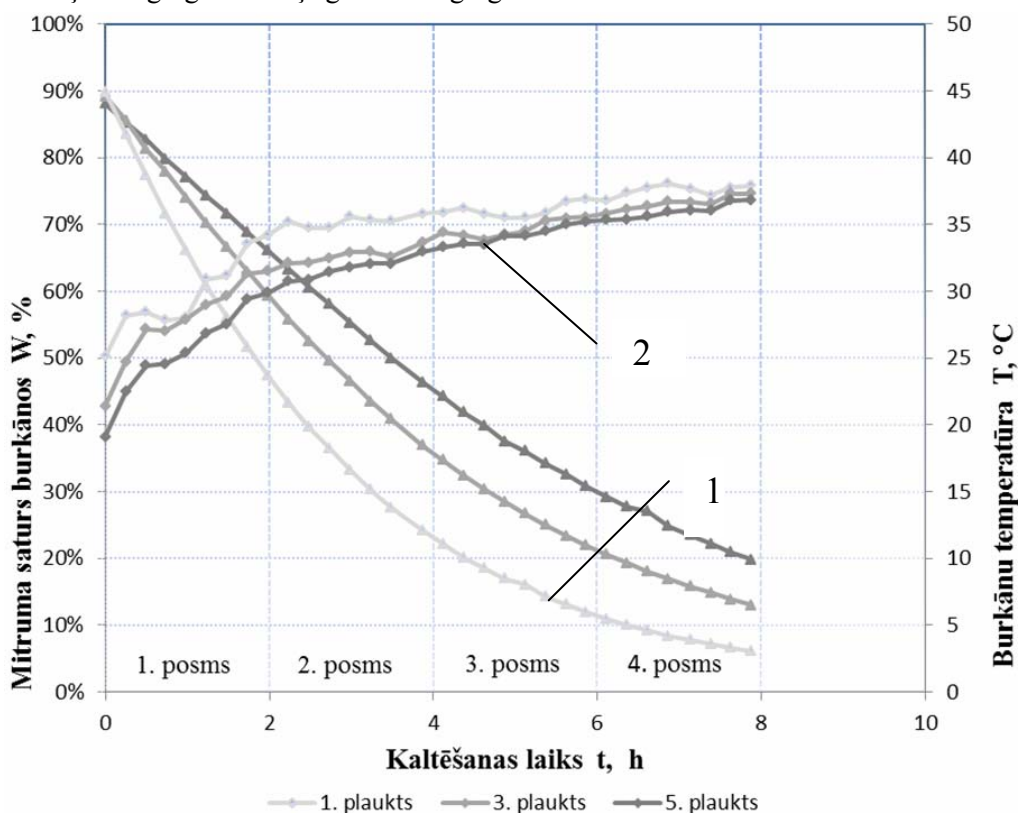
Gaisa plūsmas ātrums tika praktiski noteikts ar rokas anemometru un tas bija  $0.9 \text{ m s}^{-1}$ . Kaltēšanas laikā ieplūstošā gaisa temperatūra bija  $39 \text{ }^{\circ}\text{C}$  un mitrums 21% kaltējot ābolus, bet burkānu kaltēšanai izmantotā gaisa temperatūra  $38 \text{ }^{\circ}\text{C}$  un mitrums 25 %.

Eksperimentiem izmantoti burkāni un āboli. Pirms eksperimentiem burkāni tika sagriezti no 5mm līdz 10mm biezās ripiņās, bet āboli tika sagriezti 8 līdz 10 šķēlēs. Sagrieztie produkti tika izklāti vienā slānī pa visu plaukta laukumu. Mērījumiem izmantoja plauktos novietotus perforētus kontroltraukus, kuri bija paredzēti kaltējamās masas nosvēršanai ik pēc 15 līdz 20 minūtēm kaltēšanas sākumā un ik pēc 20 līdz 30 minūtēm līdz kaltēšanas beigām. Iegūtie dati tika izmantoti mitruma satura aprēķināšanai kaltējamajā materiālā.

Pētījumu reģistrēšanai un datu uzskaitēi tika izmantota REG-01, 16 temperatūru, radiācijas un apgaismojuma mērīšanas un reģistrēšanas iekārta. REG-01 termo sensori tika pa pāriem izvietoti kaltēšanas iekārtas plauktos, siltā gaisa ieplūdē, kā arī tika mērīta temperatūra apkārtējās vides gaisam. Izmantota tika arī iekārta GK-01, gaisa mitruma reģistrēšanai ieplūstošajam un no kaltēšanas iekārtas izplūstošajam gaisam.

## Rezultāti un diskusija

Burkānu un ābolu kaltēšanas pētījumu rezultāti atspoguļoti 2. un 3. attēlā, 1., 2., 3., 4. tabulā. No 2. attēla redzams, ka burkānu mitruma saturs kaltēšanas laikā ir atkarīgs no temperatūras, t.i., jo augstāka temperatūra, jo lielāka mitruma iznese. Pētījumos konstatēts, ka samazinoties kaltējamā materiāla mitruma saturam, arī kaltējamā materiāla temperatūras uzsilšanas dinamika laikā pa plauktiem samazinās. Siltais gaiss tika izmantots mitruma iznešanai no kaltējamā materiāla, mitrumu pārvēršot no šķīdta agregātstāvokļa gāzveida agregātstāvoklī.



2. att. **Burkānu kaltēšanas dinamika:**

1 – mitruma izmaiņas laikā pa plauktiem, 2 – temperatūras izmaiņas laikā pa plauktiem

Eksperimentu sākot kaltēšanas materiāla temperatūra visā kaltēšanas iekārtā bija robežās no  $19 \text{ }^{\circ}\text{C}$  līdz  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$  Uzsākot kaltēšanu, iekārta GK-01 fiksēja gaisa mitrumu no 30% ieplūdē un līdz 69% izplūdē. Kaltēšanas gaitas analīzei 2. un 3. attēlā attēlotie grafiki tika sadalīti 4 vienādos kaltēšanas laika posmos ar katra posma ilgumu 2 stundas. Rezultāti apkopoti 1., 2., 3., 4. tabulā.

Visintensīvākā mitruma iznese no kaltējamā materiāla notiek pirmajās divās kaltēšanas stundās un tā vidēji bija 32% burkāniem un 18% āboliem. Turpinoties kaltēšanas procesam mitruma iznese samazinās, un tā bija vidēji: otrajā posmā 24% burkāniem un 13% āboliem, trešajā posmā 13% burkāniem un 11% āboliem, ceturtajā posmā 13% burkāniem un 8% āboliem. Apskatot kaltēšanas procesa gaitu pa kaltējamā materiāla kaltēšanas līmeņiem no gaisa iepļūdes puses, konstatēts sekojošais, ka apakšējā plauktā materiāla nožuvums attiecībā pret piektā plaukta materiāla nožuvumu kaltēšanas astotajā stundā bija par 13% lielāks burkāniem un par 12% lielāks āboliem.

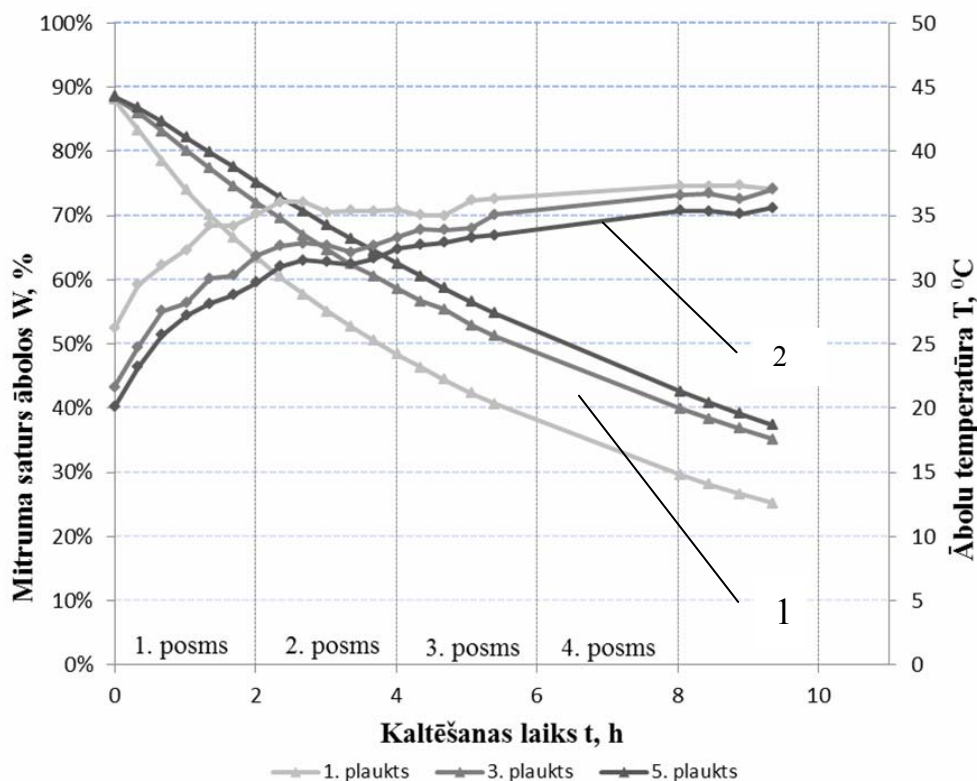
1. tabula. **Temperatūras izmaiņa pa posmiem un kopā kaltējot burkānus, °C**

	1. posms, 0 - 2. stunda	2. posms, 2. - 4. stunda	3. posms, 4. - 6. stunda	4. posms, 6. - 8. stunda	Kopā 8 stundās
1. plaukts	9,1	1,7	1,5	0,9	13,2
2. plaukts	10,1	2,9	1,9	1,4	16,3
3. plaukts	10,8	3,4	2,1	2,1	18,4
Vid. plauktos	10,0	2,7	1,5	1,8	16,0

2. tabula. **Iznestais mitrums no burkāniem pa posmiem un kopā, %**

	1. posms, 0 - 2. stunda	2. posms, 2. - 4. stunda	3. posms, 4. - 6. stunda	4. posms, 6. - 8. stunda	Kopā 8 stundās
1. plaukts	43	25	11	8	87
3. plaukts	30	24	14	13	81
5. plaukts	22	22	15	17	76
Vidēji plauktos	32	24	13	13	81

Ābolu kaltēšanas rezultāti parādīti 3. attēlā un 3. un 4. tabulā. Mitruma iznesi pa plauktiem jeb slāņiem no āboliem raksturo 3. attēla 1 līknes. Mitruma izneses dinamika 8 stundu laikā no āboliem ir mazāk intensīva salīdzinot ar mitruma iznesi no burkāniem, jo ābolu šķēlītes bija biežākas.



3. att. **Ābolu kaltēšanas dinamika:**

1 – mitruma izmaiņas laikā pa plauktiem, 2 – temperatūras izmaiņas laikā pa plauktiem

Visstraujākais temperatūras kāpums notiek pirmajā posmā un tas bija vidēji 10 °C gan āboliem, gan burkāniem. Turpinoties kaltēšanas procesam temperatūras pieauguma dinamika samazinājās un tā bija vidēji: otrajā posmā 3 °C burkāniem un 1 °C āboliem, trešajā posmā 1 °C burkāniem un āboliem, ceturtajā posmā 2 °C burkāniem un 1 °C āboliem. Kaltēšanas procesa beigās, kaltēšanas materiāla temperatūra izlīdzinās un ir robežās 37 °C līdz 38 °C burkāniem un 35 °C līdz 37 °C āboliem.

3. tabula. **Temperatūras izmaiņa pa posmiem un kopā kaltējot ābolus, °C**

	1. posms, 0 - 2. stunda	2. posms, 2. - 4. stunda	3. posms, 4. - 6. stunda	4. posms, 6. - 8. stunda	Kopā 8 stundās
1. plaukts	8,9	0,9	0,9	0,3	11,1
2. plaukts	10,3	1,8	1,5	1,4	15,0
3. plaukts	9,7	2,6	1,9	1,1	15,3
Vid. plauktos	9,6	1,4	1,3	1,5	13,8

4. tabula. **Iznestais mitrums no āboliem pa posmiem un kopā, %**

	1. posms, 0 - 2. stunda	2. posms, 2. - 4. stunda	3. posms, 4. - 6. stunda	4. posms, 6. - 8. stunda	Kopā 8 stundās
1. plaukts	25	15	11	7	58
2. plaukts	16	13	11	8	48
3. plaukts	14	12	11	9	46
Vid. plauktos	18	13	11	8	51

### Secinājumi

1. Mazgabarīta augkopības produkcijas kaltēšanas iekārta ir veiksmīgi izmantojama maza apjoma augkopības produkcijas individuālai kaltēšanai ar zemas temperatūras kaltēšanas aģentu saglabājot kaltējamā produkta vērtīgās vielas.
2. Burkāni 8 stundu laikā tika izkaltēti no 89% mitruma satura līdz 14% mitruma saturam un āboli no 88% mitruma satura līdz 30% mitruma saturam.
3. Burkānu šķēlīšu mitruma iznese notiek gandrīz 2 reizes straujāk nekā mitruma iznese ābolu šķēlītēm pie tādiem pat kaltēšanā izmantojamā uzsildītā gaisa parametriem.
4. Kaltēšanas izmaksu samazināšanai iekārtu iespējams aprīkot ar gaisa uzsildes saules kolektoru.

### Izmantotie informācijas avoti

1. Palabinskis Janis (LV), Aboltins Aivars (LV), Pinka Matīss (LV). Autonoma, mazgabarīta augkopības produkcijas kaltēšanas iekārta = Autonomous, compact crop production drying facility: [izgudrojuma patenta publikācija: patenta numurs 14486 B: starptautiskas klasifikācijas indekss F26B3/28, F26B9/06: pieteikuma numurs P-11-154: iesniegšanas datums 11.11.2011: publicēšanas datums 20.02.2012] /Latvijas Lauksaimniecības universitāte // Patenti un Preču Zīmes. – Nr. 2(2012), 175. lpp.
2. Kas ir kaltēšana jeb produktu žāvēšana un kur to lieto? [tiešsaiste] [skatīts 20.03.2012] Pieejams: <http://www.mellene.lv/tehnolo291ija.html>

## DEGVIELAS EKONOMIJA TRAKTORVILKMES DARBOS

### FUEL ECONOMY IN TRACTOR TRACTION WORKS

Jānis Supe

Tehniskās fakultātes 1. kursa maģistrants

Gunārs Aizsils

Zinātniskais vadītājs, docents, Dr.sc.ing.

**Abstract:** Soil cultivation is one of the most expensive and most power intensity operations in field for agriculture enterprise. The most power intensity operation is ploughing – 20 – 50% of total fuel consumption [1]. On some farms the fuel consumption in ploughing has increased since the recent 15 – 20 years for more than 100% if compared to tractors manufactured in 1995 fuel consumption and the tractors manufactured in 2010 fuel consumption in similar conditions. A newer tractor must be more economical then an older one. And it is reason to search how farmers can economise fuel in tractor traction works.

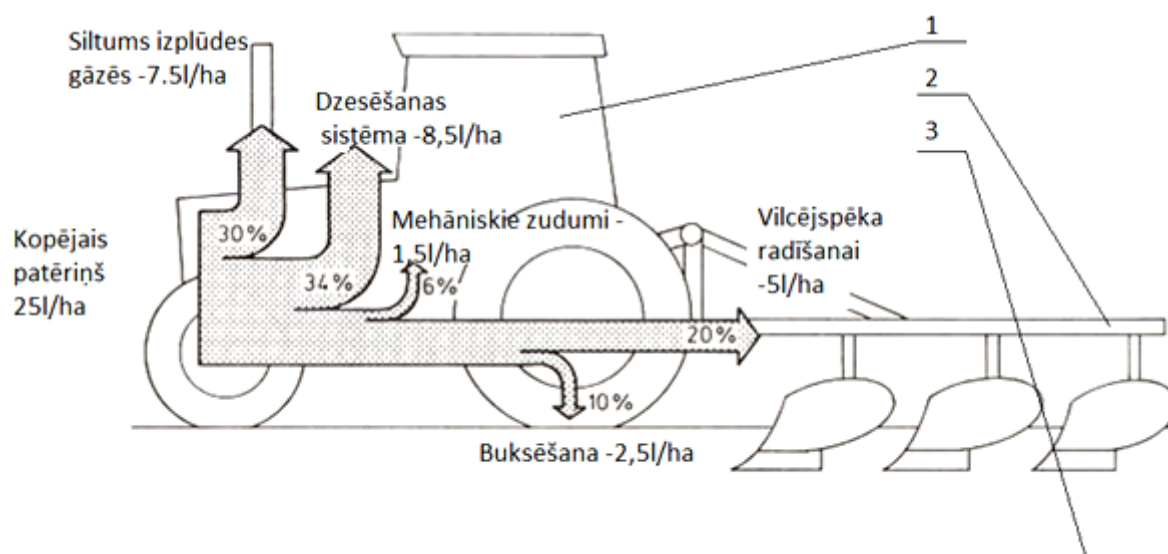
**Atslēgas vārdi:** dīzeļmotors, darba režīms, vilkmes pretestība, degvielas patēriņš, aršana, degvielas īpatpatēriņš, tehniskais stāvoklis, regulējums.

#### Ievads

Zemnieku saimniecībās, pārejot no Padomju Savienībā ražotās traktortehnikas uz jaunāku rietumvalstīs ražotu, nonāk pie secinājuma – palielinās degvielas patēriņš. Ja agrāk strādājot ar traktoru saimniecībās, kuru lauku augsne ir smilšaina, degvielas patēriņš arot bija apmēram 10 litri uz hektāra. Saimnieki izmantojot jaunāku tehniku, tos pašus laukus apstrādā ar degvielas patēriņu, kas ir ne mazāks par 15 – 16 litriem uz hektāra un pie nosacījuma, ka tiek izmantots tas pats arkls un arts tādā pašā dziļumā. Smagākās augsnēs degvielas patēriņš bija ap 20 litriem uz vienu hektāru, tad tagad virs 35 litriem uz hektāru. Piekabināmās traktortehnikas izplatītāji, traktoru tirgotāji un ražotāji apgalvo, ka jaunie traktori un agregāti ir ekonomiskāki (traktoru izplatītāji un tirgotāji pēdējā laikā šo saukli gan vairs nelieto), tomēr zemniekam jārēķinās ar arvien pieaugošu traktortehnikas degvielas patēriņu.

#### Materiāli un metodes

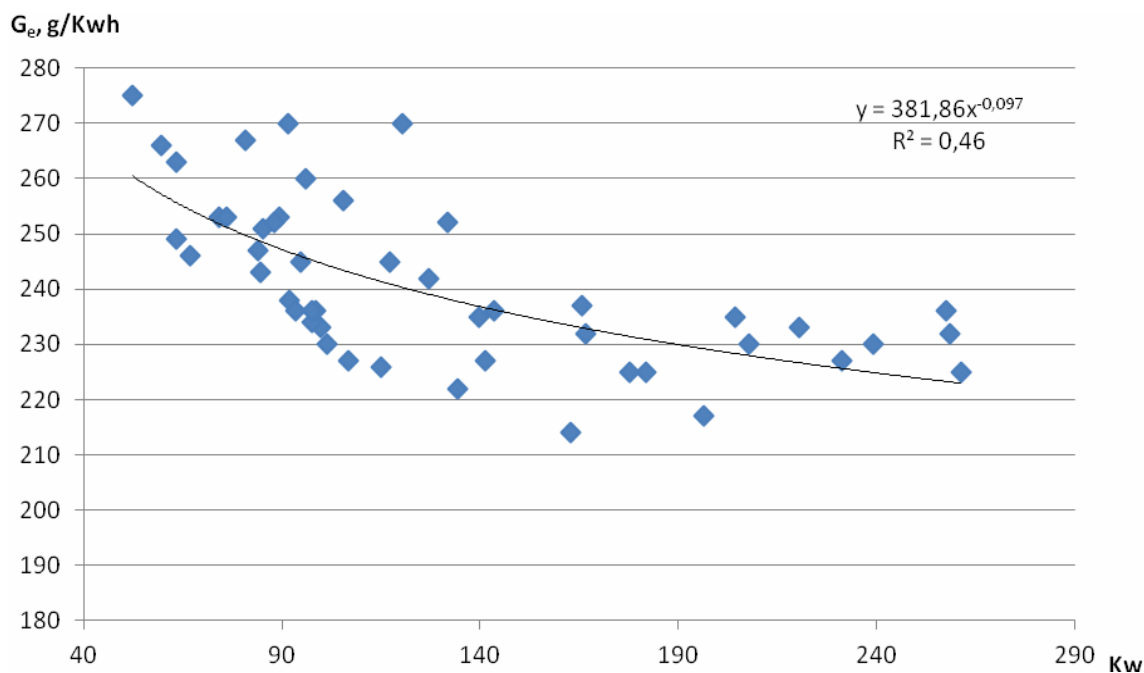
Traktoram pārvietojoties pa lauku tiek padarīts lietderīgais darbs un pārvarētas dažādas pretestības. Traktors, lai radītu nepieciešamo vilcējspēku sadedzina degvielu un tikai daļa no siltuma daudzuma tiek pārvērsta lietderīgā darbā (1. att.).



1. att. Degvielas izlietojums traktoram veicot darbu [7]: 1 – traktors, 2 – arkls, 3 – augsne

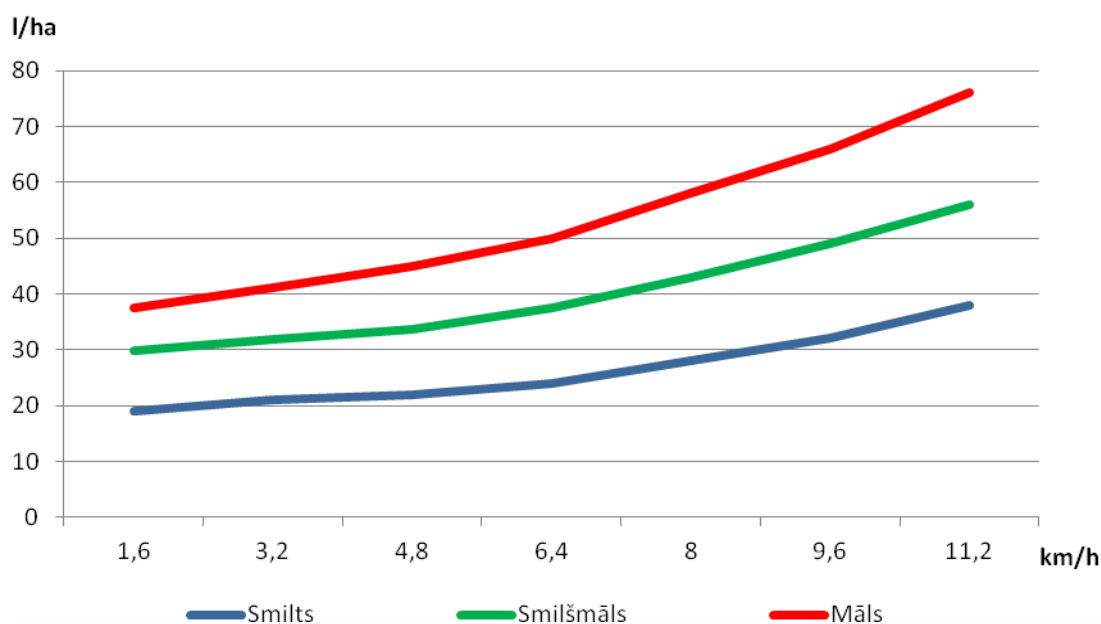
Lielākā daļa no motorā sadedzinātās degvielas siltumu izvada atmosfērā ar izplūdes gāzēm un ar radiatoru, dzesējot motoru. Motoriem ar lielāku lietderības koeficientu ir mazāks degvielas

Īpatpatēriņš un samazinās izvadītais siltuma daudzums. Attiecīgi jaudīgākiem motoriem degvielas īpatpatēriņš ir mazāks (2. att.).



2. att. Degvielas īpatpatēriņš atkarībā no motora jaudas [5]

Degvielas patēriņš atkarīgs arī no darba ātruma – jo lielāks darba ātrums, jo lielāka augsnes pretestība, kas palielina savukārt vilkmes pretestību un rezultātā degvielas patēriņu (3. att.).

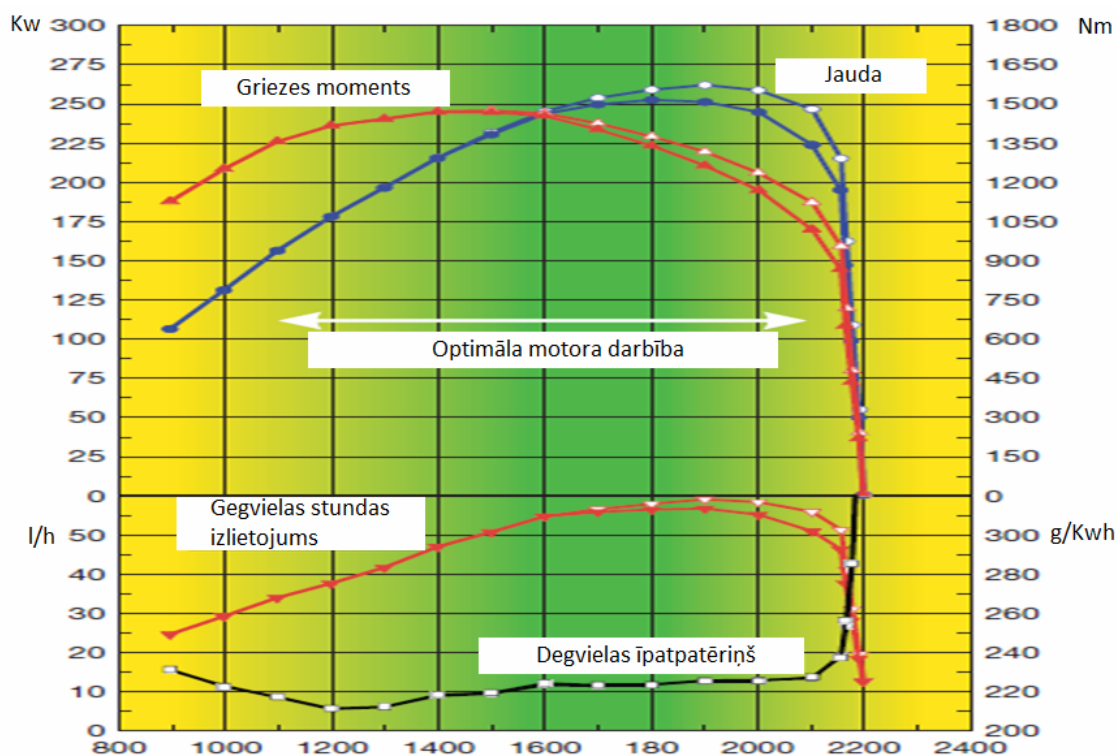


3. att. Degvielas patēriņš atkarībā no darba ātruma aršanā [5; 6]

Var secināt, ka, samazinot darba ātrumu un palielinot darba platumu, iespējams ietaupīt degvielu. Paņēmiens gan nav derīgs atsevišķu kombinēto darba mašīnu gadījumā, jo tām ir svarīgs darba ātrums – samazinot darba ātrumu zūd darba kvalitāte un netiek izpildītas agrotehniskās prasības. Toties arkliem ar maināmu darba platumu paņēmiens ir pielietojams un ērti izmantojams. Dažiem modeļiem var pat pievienot papildus korpusus.



Ārzemēs ir pētīta metode, kad motora nepilnīgas noslodzes gadījumā samazina kloķvārpstas apgriezienus un pārslēdzas uz augstāku pārnesumu, rezultātā darba ātrums paliek nemainīgs, bet samazinās motora kloķvārpstas apgriezieni un attiecīgi arī degvielas stundas izlietojums (4. att.).



4. att. **Motora jaudas, griezes momenta degvielas īpatpatēriņa un degvielas stundas izlietojuma raksturliķnes [5]**

Šādā veidā iespējams ietaupīt līdz pat 35 – 45% degvielas [5], kas gan ir atkarīgs no vajadzīgās jaudas sloģojuma un motora konstrukcijas. Jāatceras, ka ne visi traktoru ražotāji atbalsta šādas metodes pielietošanu, jo tā ļoti var pārslogot traktora motoru (samazināti kloķvārpstas apgriezieni).

### Rezultāti un diskusija

Pētījuma rezultātā paredzēts apkopot ieteikumus lauksaimniekiem un traktortehnikas vadītājiem, kurus viņi ievērojot un apgūstot, varētu samazināt degvielas patēriņu traktoru darbos un izmaksas degvielas iegādei. Daži no ieteikumiem ir iegūti no literatūras apskata un tos ir plānots pārbaudīt praktiskos lauka izmēģinājumos šā gada rudens mēnešos. Kā dažus no ieteikumiem var minēt:

1. Motora kloķvārpstas apgriezienu samazināšana un augstāka pārnesuma izvēle nodrošina degvielas ietaupījumu, nesamazinot darba ražīgumu [5].
2. Agregāta darba platuma palielināšana un darba ātruma samazināšana ietaupa degvielu bez darba ražīguma samazinājuma [1].
3. Ieteicama ir jaudīgākas tehnikas lietošana, ja tas ir ekonomiski pamatots (liels slejas garums un samazināts pārbraucienu skaits) [6].
4. Nedrīkst aizmirst agrāka izlaiduma tehniku, ja tā ir labā tehniskā stāvoklī – var būt ekonomiski salīdzināma jauno tehniku [6].
5. Jāseko līdzi traktora un agregātu tehniskajam stāvoklim – tas ir pamatnosacījums degvielas patēriņa ekonomijai [3].
6. Pareizi jānoregulē traktora sakabe un darba mašīna darbīgās sastāvdaļas [4].
7. Pareizi jāveic traktortehnikas balastēšana un riepu gaisa spiediena kontrole – ievērojams degvielas patēriņa ietaupījums [4].

**Secinājumi**

1. Traktora racionāla motora noslogošana – palīdz ietaupīt līdz pat 45% degvielas.
2. Ieteicams samazināt traktora darba ātrumu, ja iespējams palielināt agregāta darba platumu.
3. Arklam ar maināmu korpusu darba platumu ieteicams izmantot maksimālo darba tvērienu.

**Izmantotie informācijas avoti**

1. A. Vilde, Ā. Ruciņš, S. Cēsniņš. Lauksaimniecības tehnikas zinātniskais institūts. LLU. Platāks arkla korpusa tvēriens – ražīgāks darbs un lētāks arums. [tiešsaiste] [01.17.2012.] Pieejams: [http://www.armuss.lv/resources/files/noderinfo/Arkla\\_korpusu\\_tveriena\\_ietekme\\_uz\\_arsanas\\_vilces\\_pretestibu.pdf](http://www.armuss.lv/resources/files/noderinfo/Arkla_korpusu_tveriena_ietekme_uz_arsanas_vilces_pretestibu.pdf).
2. V. Bubnovs. Kā pareizi izmantot tehniku. Rīga, 1984. 214 lpp.
3. V. Fortuna. Mašīnu parka ekspluatācija. Rīga: Zvaigzne, 1983. 375 lpp.
4. Экономия топлива при эксплуатации машинно – тракторного парка. Москва, 1989. 33 с.
5. A.R.K. Koelsch. Gear up and throttle down to save fuel. Cornell University, 1987.
6. DLG DATA SHEET TRACTORS. [tiešsaiste] [skatīts 21.09.2011 – 15.12.2011] Pieejams: <http://www.dlg.de>
7. SUMMARY OF OECD TEST 2450–NEBRASKA SUMMARY 691, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska–Lincoln. [tiešsaiste] [skatīts 21.09.2011 – 15.12.2011] Pieejams: <http://nebraskaoesc.ca>



## DBD PLAZMAS REAKTORS UZBŪVE DEGŠANAS PĒTĪŠANAI

### DBD PLASMA REACTOR DESIGN FOR COMBUSTION STUDY

Edgars Palabinskis  
Tehniskās fakultātes 1. kursa maģistrants  
Aigars Laizāns  
Zinātniskais vadītājs, docents, Dr.sc.ing.

**Abstract:** The paper discusses non-thermal plasmas, their generations and characteristics, dielectric barrier discharge (DBD) reactor design. There is found a mathematical connection between electric field created by a single DBD plasma filament and reactor width in-between electrodes.

**Atslēgas vārdi:** aukstā plazma, dielektriskās barjeras izlāde, reaktors gāzes apstrādei.

#### Ievads

Pēdējos gados, plazmas tehnoloģijām ir pieaugoša loma gan vides aizsardzībā, gan enerģētikā. Šīm tehnoloģijām ir vēl neatklāts potenciāls enerģētikā, it īpaši pielietojums iekārtās, kas patērē fosilo kurināmo. Zemas temperatūras plazma ģenerē dažādus radikāļus un aktīvās daļiņas. Šīs daļiņas ir atbildīgas par garo ogļūdeņražu molekulu sadalīšanu mazākās, efektīvāk izmantojamās molekulās [1].

Plazma tiek ģenerēta nodrošinot neitrālu gāzi ar enerģiju, formējot lādiņnesējus. Elektroni un joni tiek ražoti gāzveida fāzē, kad elektroni vai fotoni ar nepieciešamo enerģiju sadurās ar neitrāliem atomiem un molekulām padotajā gāzē vai šķīdumā (elektronu izraisīta jonizācija, vai fotojonizācija). Ir vairāki veidi kā nodrošināt nepieciešamo enerģiju neitrālajai gāzei. Viens no izplatītākajiem veidiem ir pielietot elektrisko lauku gāzes plūsmā. Jebkurš tilpums gāzes vienmēr satur dažus elektronus vai jonus, kas ir brīvie lādiņnesēji. Šos lādiņnesējus paātrina elektriskajā laukā, un, tiem saduroties ar gāzes molekulām, tiek radīti jauni lādiņnesēji. Tas noved pie lavīnveida lādiņnesēju rašanās, kas līdzsvarojas ar lādiņnesēju zudumiem apkārtējā telpā [1].

Aukstās plazmas iekārta ģenerē aktīvus elektronus, bet nerada augstas temperatūras. Saucamā kļusā izlāde ļauj brīvajiem radikāļiem darboties pieaugošajā sadegšanas reakcijā, kā starpnieki ogļūdeņražu dalīšanā. Izmantojot aukstās plazmas iekārtas, var izveidot degvielas aktivizācijas/pārveidošanas sistēmas, kas spēj samazināt piesārņojošās vielas, palielinot degvielas efektivitāti, veicinot pilnīgāku sadegšanu [2].

Aukstajā plazmā elektroniem ir liela enerģija, kaut gan joni un gāzes ir tuvu vides temperatūrai, kā rezultātā neliela daļa liekās entalpijas tiek nodota apstrādājamajai gāzei. Parasti elektronu temperatūra un enerģija šādā plazmā ir 1 – 20 eV (1 eV = 11600 K), kas ir pietiekami, lai noārdītu degvielas molekulas un radītu brīvos radikāļus. Tajā pašā laikā joni un neitrālās daļiņas saglabā apkārtējās vides temperatūru (0,025 eV = 293 K) [3].

DBD ir potenciāli veiksmīgākais plazmas veids degšanas veicināšanas pētīšanai. Pētījumos [5; 6] tika pierādīts, ka liesmas parametrus iespējams izmainīt, iedarbojoties uz degmaisījumu ar DBD izlādi. Tika novērota liesmas ātruma izmaiņa metāna-gaisa maisījumā. Pielietojot DBD liesmā, var regulēt liesmas garumu, kā arī panākt kvēpu veidošanās samazinājums [7].

Aukstā plazma var tikt izmantota nepārtrauktai šķidrās vai gāzveida degvielas pārveidošanai aktīvā stāvoklī, tā lai degšana nebalstītos tikai uz aktīvo daļiņu pašģenerāciju. ir divi iespējamie mehānismi degvielas aktivizācijai. Viens ir balstīts uz elektronu iedarbību tādos procesos, kā disociācija, atdalīšanas jonizācija [4], vibrējoša ierosināšana [7] un degvielas molekulu elektriska ierosināšana [8].

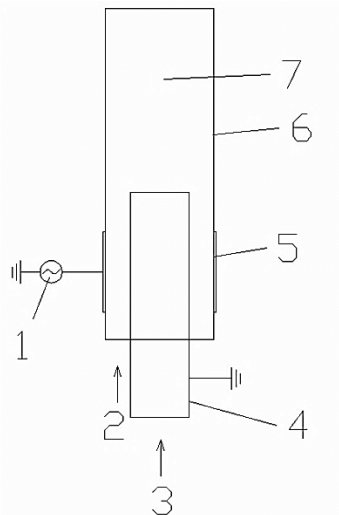
Pieliktais elektriskais lauks paātrina elektronus, tādējādi tie var sadurties ar gāzes molekulām, radot aktīvas molekulas, kas rada aktīvas daļiņas tādas kā O, O<sub>3</sub>, N, OH, utt.

Reakcijas un citi procesi notiek ļoti ātri. Pamat procesi – jonizācija, aktivizēšana, dalīšanās notiek 10 – 15 s daļā. Tādēļ redzams, ka gāzes atrašanās laikam plazmā nav liela nozīme.

Lai iegūtu DBD, ir nepieciešams vismaz 1 dielektrisks slānis starp elektrodēm. Izlādes tiek ģenerētas ar AC spriegumu dažiem kilovoltiem un frekvenci starp 50 Hz un 1 MHz. Pie atmosfēras spiediena gāzē, DBD sastāv no tā sauktajām mikroizlādēm.

## Materiāli un metodes

Šī pētījuma mērķis ir izveidot pēc iespējas labāko reaktora dizainu eksperimentam, kurā tiks pētīta plazmas ietekme uz degšanas procesu un liesmu. Reaktors tiks izmantots, lai novērotu liesmas formu, tās ātrumu un nodzišanas robežu. Šajā reaktorā (sk. 1. att.) ārējais augstsprieguma elektrods ir vara vada cilpas 5, kas aptītas ap caurspīdīgas kvarca caurules ārējo sienu 7, lai varētu novērot liesmas uzvedību pie dažādas jaudas plazmas. Iekšējais elektrods 4 ir saņemta nerūsējošā tērauda caurule. Propāns plūst starp iekšējo elektrodu un kvarca cauruli, kas tiek izmantots kā dielektriķis., kamēr gaiss plūst pa iekšējā elektroda centru. Elektrodu un kvarca cauruļu gali ir atdalīti ar 6 cm sajaukšanās reģionu. Izmantojot garu sajaukšanās gabalu, var novērst jebkādu elektriskā lauka ietekmi uz liesmu.



1. att. Reaktora principiālā shēma liesmas pētīšanai:

1 – augstsprieguma ģenerators; 2 – propāna plūsma; 3 – gaisa plūsma; 4 – iekšējais elektrods;  
5 – ārējais elektrods, 6 – kvarca caurule; 7 – degmaisījuma sajaukšanās josla

Reaktoru darbinās impulsus veidojošs nemainīga 20 kV sprieguma barošanas avots. Nākošais solis reaktora dizaina izveidē bija aprēķināt elektriskā lauka intensitāti reaktorā ar šo barošanas avotu. Jo lielāka ir elektriskā lauka intensitāte, jo vairāk tiek formētas aktīvās daļiņas, kuras tieši ietekmē degmaisījumu.

Lai atrastu elektrisko lauku jāizmanto Gausa likums (1) – elektriskā lauka intensitātes plūsma caur noslēgtu virsmu ir proporcionāla pilnajam elektriskajam lādiņam virsmas ierobežotajā tilpumā:

$$\varphi = \frac{q}{E_o}, \quad (1)$$

kur  $\varphi$  – elektriskā lauka intensitātes plūsma,  $\frac{C \cdot m}{F}$  ;  
 $q$  – lādiņš, kas rada elektrisko lauku, C;  
 $E_o$  – elektriskā konstante,  $E_o = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$ .

Izmantojot šo sakarību un aizvietojot zināmos parametrus (virsmas laukums, plazmas jonu blīvums, brīvās telpas kapacitāte), var atrast elektrisko lauku, izteiktu kā funkciju no attāluma līdz plazmas šķiedrai.

Modelējot plazmas plūsmu kā vienveidīgu cilindrisku lādiņu, Gausa likumu var pārrakstīt (2) kā:

$$\varphi = \frac{\lambda \cdot L}{E_o} = E \cdot 2\pi \cdot r \cdot L, \quad (2)$$

kur  $\lambda$  – lādiņš uz garuma vienību,  $\frac{C}{m}$  ;

$E$  – elektriskā lauka intensitāte,  $\frac{C \cdot F}{m}$ ;

$L$  – cilindra garums, m;

$r$  – cilindra rādiuss, m.

Savukārt lādiņu uz garuma vienību var izteikt (3) kā:

$$\lambda = \pi \cdot b^2 \cdot \rho_+, \quad (3)$$

kur  $b$  – plazmas šķiedras diametrs,  $b = 5 \cdot 10^{-4}$ , m [9];

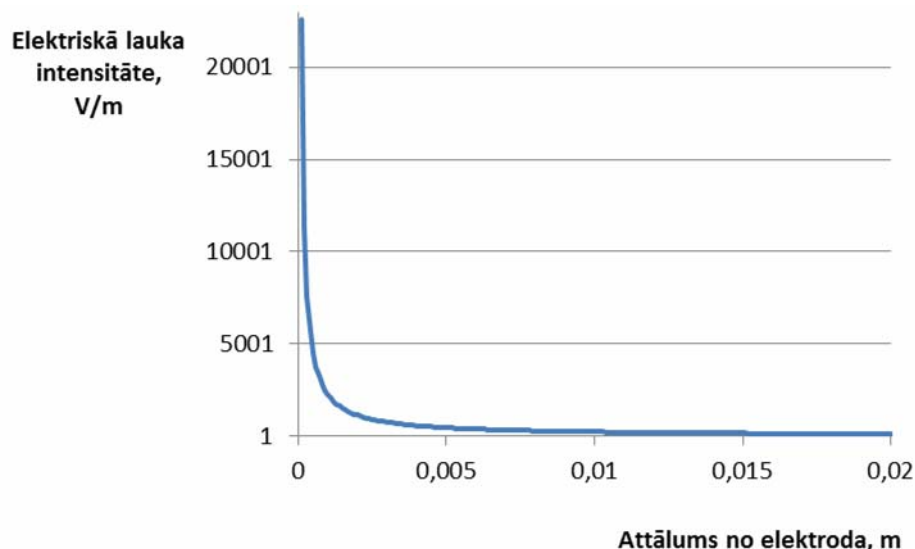
$\rho_+$  – plazmas jonu blīvums,  $\rho_+ = 1,6 \cdot 10^{-4}$ ,  $\frac{C}{m^3}$  [9].

Pārveidojot (2) izteiksmi, ievietojot tajā (3) var izteikt elektrisko lauku (4), kuru rada DBD plazmas šķiedra ar attiecīgo barošanas avotu:

$$E = \frac{b^2 \cdot \rho_+}{2 \cdot r \cdot E_0} = \frac{5 \cdot 10^{-4} \cdot 1,6 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot r \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = \frac{2,26}{r}, \frac{V}{m} \quad (4)$$

### Rezultāti un diskusija

Rezultātā tiek iegūta izteiksme (4), kas raksturo elektriskā lauka stipruma atkarību no attāluma līdz plazmas epicentram. Attēlojot izteiksmi (4) grafiski, iegūst līkni 2. attēlā, kas parāda elektriskā lauka intensitātes atkarību no attāluma līdz elektrodam. Var secināt, jo platāka eja ir propānam atvēlēta, jo lēnāka jonizācija notiks tuvāk anodam, kas saistīts ar plazmas radītā elektriskā lauka plūsmas samazināšanos.



#### 2. att. Elektriskā lauka intensitātes atkarība no attāluma līdz elektrodam

Šī elektriskā lauka atkarība no attāluma līdz anodam ir svarīga, jo tieši ietekmē brīvo radikāļu veidošanos, kas var veicināt degšanu.

#### Secinājumi

1. Elektriskā lauka intensitāte reaktorā ir atkarīga no attāluma līdz elektrodam, ko saista sakarība

$$E = \frac{2,26}{r}.$$

2. Reaktora garumu nosaka degšanas zonas atrašanās vieta.

3. Reaktora aktīvās daļas garums neietekmē gāzes apstrādes kvalitāti.

**Izmantotie informācijas avoti**

1. Konelschatz U., Eliasson B., Egli W. Dielectric-Barrier Discharges . Principle and Applications Colloque C4, Supplement au Journal de Physique I11 d'octobre 1997. 23 p.
2. Tendero C., Tixier C., Tristant P. et. al. Atmospheric pressure plasmas: A review // Spectrochimica Acta Part B 61, 2006.
3. Yu.N. Shebeko, „Effect of an AC electric field on normal combustion rate of organic compounds in air” Combustion, Explosion, and Shock Waves 18, 1982. pp. 427 – 429.
4. Ombrello T., Qin X., Ju Y., Gangoli S., Gutsol A. and Fridman A., „Non-Equilibrium Plasma Discharge: Characterization and Effect on Ignition” AIAA Paper 2006 – 1214, Jan. 2006.
5. P. Wang and C.R. Vidal, „Dissociation of multiply ionized alkanes from methane to nbutane due to electron impact” J. Chem. Phys. 116, 4023 (2002).
6. S. Stange, Y. Kim, V. Ferreri, L.A. Rosocha and D.M. Coates. „Flame Images Indicating Combustion Enhancement by Dielectric Barrier Discharges” IEEE Trans. Plasma Sci. 2005. 25 p.
7. M.S. Cha, S.M. Lee, K.T. Kim, S.H. Chung. „Interaction between a Non-thermal Plasma and a Flame” 30th Int. Conf. Plasma Sci., Cheju, Korea, June 2 – 5 (2003).
8. T. Inomata, S. Okazaki, T. Moriwaki and M. Suzuki. „The application of silent electric discharges to propagating flames” Combustion and Flame 50, 1983. pp. 361 – 363.
9. Fridman A. Plasma Chemistry. New York: Cambridge, 2008. 1134 p.

## BIODEGVIELAS RAŽOŠANAI IZMANTOJAMO MIKROAĻĢU IEGUVE FOR BIOFUEL PRODUCTION SUITABLE MICROALGAE CULTIVATION

Kristaps Sondors  
Tehniskās fakultātes 1. kursa maģistrants  
Ilmārs Dukulis  
Zinātniskais vadītājs, Mg.sc.ing., Mg.paed.

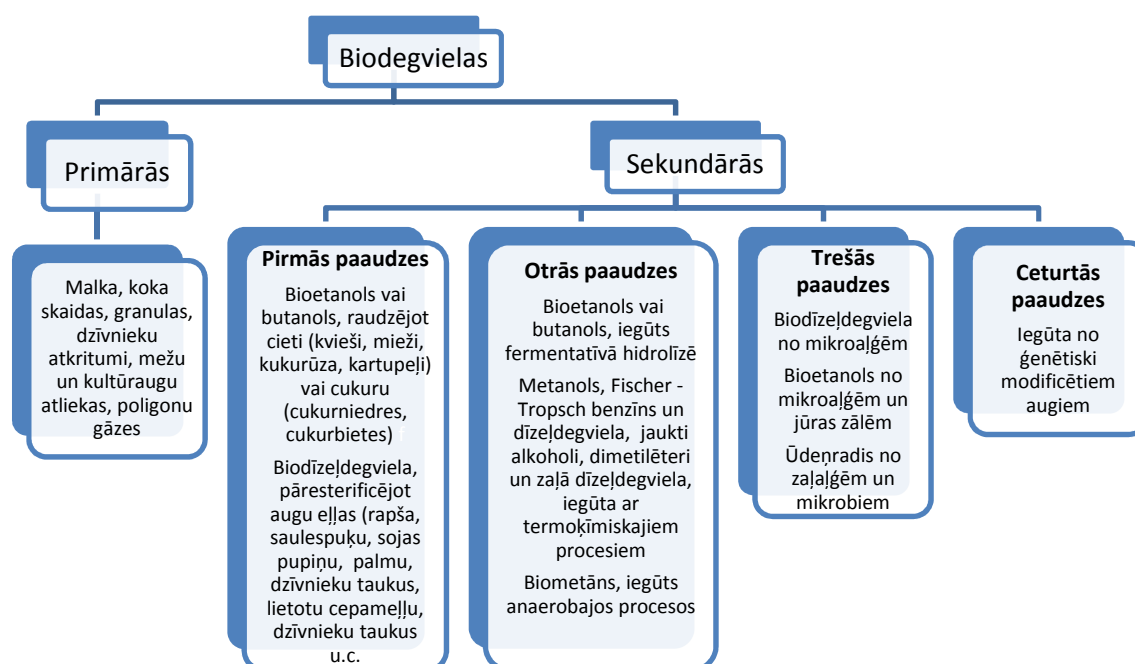
**Abstract:** At the moment microalgae are considered as the most appropriate source of biomass for biofuels production, which does not compete with food crops because there is no need for agricultural land, but if it is used then more productive. This study was conducted to determine microalgae cultivation possibilities for biofuel production and most suitable species for Latvian climatic conditions. Paper deals with variety of production methods, as well list of positive and negative characteristics is included. Suitable cultivation conditions have been cleared and the nutrients needed for rapid microalgae growth have been selected. Most suitable species for microalgae oil production in Latvian climate conditions are *Scenedesmus quadricauda*.

**Atslēgas vārdi:** mikroaļģes, biodegvielas, trešās paaudzes biodegvielas, fotobioreaktori.

### Ievads

Uztraukums par jēlnaftas ieguves apjomu samazinājumu un tam līdzīgi sekojošais cenu kāpums ir novedis pie vispasaules pastiprinātas intereses par atjaunojamajiem alternatīvās enerģijas avotiem, piemēram, biodegvielām. Arvien vairāk attīstīto un jaunattīstības valstu savā nākotnes skatījumā biodegvielu redz kā neatkarības atslēgu no importētajiem naftas produktiem un iespēju samazināt siltumnīcas efektu veidojošo gāzu daudzumu, galvenokārt oglekļa dioksīdu ( $\text{CO}_2$ ) un metānu ( $\text{CH}_4$ ) [1].

Ar vārdu biodegvielas tiek apzīmēti cietie, šķidrie un gāzveida enerģijas avoti, iegūti no organiska materiāla. Tās iedala primārajās un sekundārajās biodegvielās. Primārās biodegvielas tiek izmantotas nepārstrādātā veidā lielākoties siltuma ieguvei, ēdiena gatavošanai un elektroenerģijas ražošanai, piemēram, kurināmā koksne, koka skaidas, granulas u.c. Sekundārās biodegvielas tiek iegūtas biomasas pārstrādes rezultātā, piemēram, etanols, biodīzeļdegviela, dimetilesteris u.c., kas var tikt izmantoti transportlīdzekļos un dažādos rūpnieciskajos procesos. Sekundāro biodegvielu iedala pirmās, otrās, trešās un ceturtais paaudzes biodegvielās, balstoties uz izejmateriālu un ražošanas tehnoloģisko procesu (skat. 1. att.) [2].



1. att. Biodegvielu klasifikācija

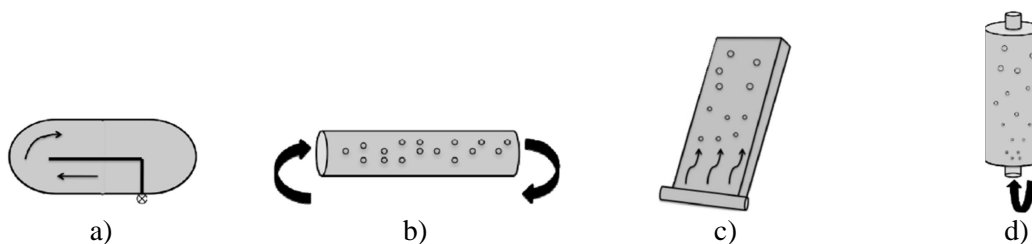
Ņemot vērā pieaugošo pieprasījumu pēc pārtikas, kā arī fosilās degvielas cenu pieaugumu, jāsāk domāt par biodegvielas ieguves veidiem, kuri nekonkurētu ar lauksaimniecības augiem – tiem nebūtu nepieciešama lauksaimniecības zeme, vai, ja tā tiktu izmantota, tas notiktu daudz intensīvāk. Šādu risinājumu piedāvā vieni no pasaules senākajiem organismiem – mikroaļģes.

Mikroaļģes piesaistījušas interesi ar to, ka intensīvas kultivācijas rezultātā iespējams iegūt 24 līdz 136 t ha<sup>-1</sup> aļģu eļļas [3], kā arī fotosintēzes rezultātā spēj pārveidot lielu daudzumu CO<sub>2</sub> par O<sub>2</sub>. Atklāta tipa baseins viena ha platībā ar mikroaļģēm gada laikā patērē ne mazāk kā 40 tonnas CO<sub>2</sub> [4].

Intensīvas mikroaļģu kultivācijas realizācijai pašlaik tiek piedāvāti vairāki modeļi. Vienkāršākais no tiem ir atklāta tipa baseins, sarežģītāki un dārgāki pēc uzbūves ir fotobioreaktori (FBR), toties tiem ir savi plusi. Fotobioreaktora un atklāta tipa baseina priekšrocības un trūkumi uzskaitīti 1. tabulā [5], bet uzskatāmi tie aplūkojami 2. attēlā [6].

1. tabula. Atklāta un slēgta tipa audzēšanas sistēmu salīdzinājums

Parametrs	Atklāta tipa baseins	Fotobioreaktors
Ūdens zudumi	Ļoti lieli (iztvaikošana)	Gandrīz nekādi
Skābekļa koncentrācija	Pietiekami maza	Slēgtās sistēmās jāaizvada skābeklis, lai netiktu aizkavēta fotosintēze
Temperatūra	Ļoti mainīga, iespējams nedaudz kontrolēt ar baseina dziļumu	Bieži vien nepieciešama dzesēšana
Mikroaļģēm nodarītais stress	Mazs (maiga maisīšana)	Liels (ātra un turbolenta plūsma nepieciešama maisīšanai un gāzu apmaiņas nodrošināšanai)
Tīrīšana	Nav nepieciešama	Nepieciešama regulāra, jo cauruļu sienīņu netīrība samazina gaismas intensitāti
Piesārņošanas risks	Liels (ierobežo audzējamo sugu skaitu)	Mazs
Biomاسas kvalitāte	Mainīga	Atkārtojama
Biomاسas koncentrācija	Maza, starp 0.1 – 0.5 g l <sup>-1</sup>	Liela, starp 2 – 8 g l <sup>-1</sup>
Ražošanas variācijas	Tikai dažas sugas iespējamās, grūti pārslēgties	Lielas, pārslēgšanās iespējama samērā viegli
Procesu kontrole un atkārtojamība	Ierobežota (plūsmas ātrums, maisīšanas intensitāte, temperatūra tikai ar baseina dziļumu)	Iespējama ar noteiktām pielaidēm
Laikapstākļu ietekme	Nozīmīga (gaismas intensitāte, temperatūra, nokrišņi)	Vidēja (gaismas intensitāte, nepieciešama dzesēšana)
Kapitālizmaksas	Augstas ~ 53000 Ls ha <sup>-1</sup>	Ļoti lielas ~ 530000 Ls ha <sup>-1</sup>
Uzturēšanas izmaksas	Nelielas (ūdens maisīšanas rata un CO <sub>2</sub> bagātināšanas)	Ļoti augstas (CO <sub>2</sub> bagātināšana, pH kontrole, skābekļa aizvadišana, dzesēšana, tīrīšana, remonts)
Ražas novākšanas izmaksas	Lielas, atkarīgs no sugas	Mazākas, pateicoties augstajai biomasas koncentrācijai



2. att. Mikroaļģu kultivācijas varianti:

a) atklāta tipa baseins; b) cauruļveida FBR; c) plakans FBR; d) kolonas veida FBR

Pēc mikroaļģu veiksmīgas kultivācijas seko biomasas žāvēšana un eļļas ieguve. Tā kā mikroaļģu eļļai ir liela viskozitāte, pirms lietošanas iekšdedzes dzinējos no tās nepieciešams iegūt biodīzeļdegvielu. Pāresterificēšanas procesā iegūtās mikroaļģu biodīzeļdegvielas, fosilās dīzeļdegvielas un biodīzeļdegvielas no rapšu eļļas īpašības dotas 2. tabulā [5].

2. tabula. Mikroaļģu eļļas biodīzeļdegvielas parametru salīdzinājums ar fosilo dīzeļdegvielu un biodīzeļdegvielu no rapšu eļļas

Parametri	Biodīzeļdegviela no mikroaļģu eļļas	Dīzeļdegviela	Biodīzeļdegviela no rapšu eļļas
Viskozitāte, mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> pie 40°C	5.2	2.0 – 4.5	3.5 – 5.0
Uzliesmošanas punkts, °C	115	58 – 93	150 – 170
Sastingšanas temperatūra, °C	-12	Min - 5 līdz atkarīgs no klases	Atkarīga no klases
Galējā filtrējamības temperatūra, °C	-11	Atkarīga no klases	Atkarīga no klases
Siltumspēja, MJ kg <sup>-1</sup>	41	40 – 45	36 – 38
Blīvums, kg l <sup>-1</sup>	0.864	0.820 – 0.845	0.860 – 0.90

Pirms eļļas ekstraktēšanas un pāresterificēšanas biodīzeļdegvielā nepieciešams izaudzēt kvalitatīvu biomasu no mikroaļģēm ar pietiekamu eļļas saturu, kas arī ir šī pētījuma mērķis. Mērķa sasniegšanai izvirzīti sekojoši uzdevumi:

- identificēt mikroaļģu sugas, kuras piemērotas biodeģvielas ieguvei Latvijā;
- noskaidrot optimālos audzēšanas apstākļus un barības vielas;
- izveidot eksperimentālu fotobioreaktoru mikroaļģu iegūšanai.

### Materiāli un metodes

Pētījuma veikšanai apzināta informācija par mikroaļģu sugām, kuras ir piemērotas biodeģvielas ieguvei [7]. No tām atlasītas sugas, kuras arī plaši sastopamas Latvijas teritorijas ūdens tilpnēs (skat. 3. tabulu). Konkrēti šī pētījuma biomasas ieguvei izvēlēta mikroaļģe *Scenedesmus quadricauda*.

3. tabula. Populārākas mikroaļģes Latvijas teritorijas ūdeņos

Mikroaļģu suga	Dzīvošanas vide	Eļļas saturs, % no sausās biomasas	Biomasas pieaugums dienā, g l <sup>-1</sup>	Eļļas ražīgums dienā, mg l <sup>-1</sup>
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Saldūdens	18.4	0.19	35.1
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	Saldūdens	45.2	–	–
<i>Chlorella vulgaris</i>	Saldūdens	18.4	0.20	36.9
<i>Skeletonema costatus</i>	Sālsūdens	21.1	0.08	17.4

Eksperimentālajai mikroaļģu audzēšanai iegūta *Scenedesmus quadricauda* tīrkultūra no Latvijas Universitātes Bioloģijas fakultātes.

Optimālu audzēšanas apstākļu nodrošināšanai iegādāts zaļāļģu audzēšanas standarts „LVS EN ISO 8692”. Kultūras audzēšanai nepieciešamo barotni izveido uz destilēta ūdens bāzes ar 4. tabulā dotajām vielām. Mikroaļģu barotnes pH līmenis, ja nepieciešams, tiek noregulēts uz 8 ar nātrija hidroksīdu (NaOH). Vienam litram aļģu vides audzēšanas procesā tiek pievadīts gaiss ar plūsmas ātrumu 0.5 l min<sup>-1</sup>, kultūra tiek turēta 22±2 °C robežās, kas ir optimāla *Scenedesmus quadricauda* mikroaļģei. Mākslīgais apgaismojums tiek nodrošināts 16 h diennaktī, kas atbilst dabiskā apgaismojuma ciklam. Eksperimentālās mikroaļģu porcijas audzēšana norisinās aptuveni 75 dienas. Uz doto mirkli ir 55 litri aļģu šķīdums, kas pavairoti no sākuma iegūtās 500 ml tīrkultūras.

4. tabula. Barotnes izveides pamācība

Sastāvdaļas	Elementu svars 100 ml šķīduma pagatavošanai, g	Šķīduma tilpums 5 l barotnes izveidošanai, ml
<b>Makroelementi</b>		
NaNO <sub>3</sub>	–	7.5 g
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·3H <sub>2</sub> O	4	5
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	7.5	5
CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	5.36	5
Citronskābe	0.6	5
Dzelzs amonija citrāts	1.1	5
EDTA ( <i>dinatrium salt</i> )	0.1	5
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2	5
<b>Mikroelementi</b>		
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2.86	5 ml no kopā sajauktajiem mikroelementu šķīdumiem
MnCl <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	1.81	
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.222	
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.39	
CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.079	
Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.0494	

### Rezultāti un diskusija

Analizējot visus nozīmīgākos faktoros, kas būtiski veiksmai mikroaļģu kultivācijai ar mērķi iegūt kvalitatīvu biomasu, no kuras ekstraktēt eļļu biodīzeļdegvielas ieguvei, noskaidrots, ka Latvijas klimatiskajos apstākļos piemērotākā mikroaļģu suga ir *Scenedesmus quadricauda* ar eļļas saturu sausajā biomasā ~18.4%, biomasas pieaugumu dienā 0.19 g l<sup>-1</sup>, eļļas ražīgumu dienā 35.1 mg l<sup>-1</sup>.

Svarīgākie faktori mikroaļģu audzēšanai ir apgaismojums, temperatūra, CO<sub>2</sub> un barības vielas. Barības vielas var iedalīt makroelementos un mikroelementos. Svarīgākais no makroelementiem ir slāpeklis, kas veicina biomasas pieauguma veidošanos. Mikroelementi dzīvajos organismos galvenokārt veic katalītiska rakstura funkciju.



3. att. *Scenedesmus quadricauda* tīrkultūras pavairošana

Turpmāku eksperimentu veikšanai turpināsies mikroaļģu pavairošana, kas uzskatāmi redzama 3. attēlā. No iegūtās biomasas plānots ekstraktēt eļļu, no kuras pāresterificēšanas procesā tiks iegūta biodīzeļdegviela. Iegūto biodīzeļdegvielu plānots testēt Alternatīvo degvielu zinātniskajā laboratorijā, kur tiks veikti degvielas patēriņa, jaudas, griezes momenta un atgāzu sastāva mērījumi, lai tos salīdzinātu ar fosilās dīzeļdegvielas un pirmās paaudzes degvielu (RME vai REE un rapšu eļļas) mērījumu rezultātiem.



### Secinājumi

1. No mikroaļģēm iegūtajai biodīzeļdegvielai ir liels potenciāls kļūt par drošu un patstāvīgu CO<sub>2</sub> neitrālu alternatīvo enerģijas avotu.
2. Nepieciešamas izstrādāt tehnoloģijas, kas samazinātu mikroaļģu audzēšanas izdevumus, jo pie patreizējām izmaksām iegūtā biodegviela nav ekonomiski izdevīga.
3. Piemērotāka mikroaļģu suga biodīzeļdegvielas ieguvei atklāta tipa baseinos Latvijas klimatiskajos apstākļos ir *Scenedesmus quadricauda*.
4. Turpmāk nepieciešams veikt pētījumus par *Ankistrodesmus falcatus* biomasas pieauguma rādītājiem un iegūstamo eļļas ražību dienā.

### 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. Koh L.P., Ghazoul J. Biofuels, biodiversity, and people: understanding the conflicts and finding opportunities. *Biological Conservation*, 2008, No. 141, p. 2450 – 2460.
2. Nigam P.S., Singh A. Production of liquid biofuels from renewable resources. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2011, Vol. 37, Issue 1, p. 52 – 68.
3. Singh A., Singh Nigam P., Murphy J.D. Renewable fuels from algae: An answer to debatable land based fuels. *Bioresource Technology*, 2011, No. 102, p. 10 – 16.
4. Bilanovic D., Holland M., Armon R. Microalgal CO<sub>2</sub> sequestering – Modeling microalgae production costs. *Energy Conversion Management*, 2012, No. 58, p. 104 – 109.
5. Alcaine A.A. Biodiesel from Microalgae: Final Degree Project, 2010, Stockholm, 92 p.
6. Dragone G., Fernandes B.D., Vicente A.A., Teixeira J.A. Third generation biofuels from microalgae. In: *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, Formatex, 2010, p. 1355 – 1366.
7. Rodolfi L., Zittelli G.C., Bassi N., Padovani G., Biondi N., Bonini G. Microalgae for oil: strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. *Biotechnology and Bioengineering*, 2009, Vol. 102, No. 1, p. 100 – 112.

## SPĒKRATU PRETKOROZIJAS APSTRĀDES TEHNOLOĢIJAS VEHICLE ANTI-CORROSION PROCESSING TECHNOLOGIES

Rolands Feldmanis  
Tehniskās fakultātes 1. 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. The samples have been placed in NaCl and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> substances and the research has been done on their actual properties. For the authentic of the experiment weighting of the samples, measuring Fe<sup>+3</sup> ion concentration in substances and the applied protection layer density before placing into the substance and the last experiment day have been carried out.

**Atslēgas vārdi:** korozija, korozijas apstrādes tehnoloģija, aizsargpārklājums, NaCl šķīdums, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> šķīdums, Fe<sup>3+</sup> jonu koncentrācija, masas zudumi.

### Ievads

Korozija (no latīņu val. *corrosio* – saešana) ir metālu sairšana apkārtējās vides ietekmē [2, 523. lpp.]. Korozija noris metālam saskaroties ar skābekli un ūdeņraža joniem (oksidētājiem), kas vienmēr atrodas ūdenī vai mitruma plēvē, kas veidojas uz priekšmetiem apkārtējās vides mitruma ietekmē. Metālu koroziju sevišķi paātrina elektroķīmiskie procesi, kas notiek saskaroties diviem metāliem ar dažādu aktivitāti [4, 129. lpp.].

Korozija un tās kontrole ir viena no galvenajām problēmām spēkratu ilglaicīgai saglabāšanai. Korozija vājina konstrukciju daļas, kuras pēc izturības zaudēšanas ir jāmaina vai jāatjauno.

Korozijas procesu ietekmē klimatiskie apstākļi – vide, kurā atrodas metāls. Spēkratus ik dienu ietekmē vielas, kuras atrodas atmosfērā. Visbiežāk mūsu klimatiskajos apstākļos spēkratu stāvokli ietekmē nokrišņi, vasarā tie ir lieti (īpaši skābie lieti), ziemā spēkratu virsbūves tiek bojātas ar sāļiem, kuri tiek kaisīti sniega un ledus kausēšanai. Minētie apstākļi veicina koroziju, kas saīsina spēkratu ilgtspējīgu funkcionēšanu.

Pēc korozijas norises mehānisma izšķir ķīmisko un elektroķīmisko koroziju.

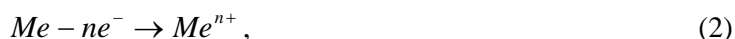
**Ķīmiskā korozija** – apkārtējā vidē esošo vielu (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, u.c.) oksidējoša iedarbība uz metāliem un to sakausējumiem. Tā ir metāla un koroziju izraisošās vides savstarpējā iedarbība, kuras rezultātā noris metāla oksidēšanās un korozijas vidē ietilpstošā oksidētāja reducēšanās [3, 382. lpp.]. Tā notiek vidēs, kuras nevada elektrisko strāvu, piemēram, neelektrolītos – benzīnā, naftā u.c., kā arī sausā atmosfērā dažādu agresīvu vielu (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> u.c.) klātbūtnē [1, 227. lpp.].

Metālam ķīmiski reaģējot ar apkārtējā vidē esošām vielām, izmainās metāla virsmas stāvoklis – uz metāla virsmas izveidojas korozijas produkti. Radušies oksīdi, sulfīdi, hidroksikarbonāti un citi savienojumi bieži blīvā slānī pārklāj metāla virsmu, tā aizsargādami metālu no tālākas sairšanas. Visbiežāk ķīmiskā korozija novērojama, ja uz metālu iedarbojas sausas gāzes. It sevišķi intensīvi process noris augstā temperatūrā [3, 383. lpp.]. Ievērojamos apmēros ķīmiskā korozija notiek arī metalurģiskajā rūpniecībā melno metālu karstās pārstrādāšanas procesā [1, 228. lpp.]. Šādos apstākļos notiek metāla oksidēšana



un uz metāla virsmas izveidojas oksīdu plēve, kura var aizkavēt tālāku oksidēšanās procesu [1, 228. lpp.].

**Elektroķīmiskā korozija** – metālu un to sakausējumu sairšana apkārtējā vidē esošo elektrolītu iedarbības rezultātā. Mitrums uz metāla virsmas veido elektrolīta šķīdumu. Ūdens slānī izšķīst atmosfērā esošās gāzes – O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, u.c. Šķīdumam ir neitrāla, skāba vai bāziska vide



līdz ar to elektroķīmiskā korozija atšķirībā no ķīmiskās korozijas noris vidēs, kuras vada elektrisko strāvu, piemēram, sāļu, skābju un sārmu ūdens šķīdumos. Metāli saskaras ar elektrolītiem, ne tikai

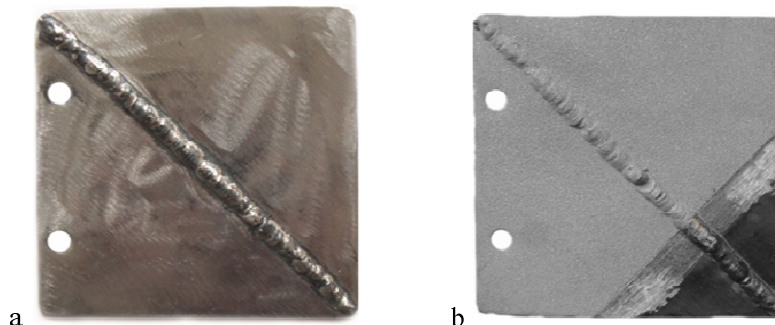
iegremdējot tos šķīdumos, bet arī tiem atrodoties apkārtējā vidē. Atmosfērā vienmēr atrodas ūdens tvaiki, kuri uz metāla virsmas veido plānu ūdens slānīti (no vienas līdz vairāku simtu molekulu biezumā). Atmosfērā esošās gāzes ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ) izšķīst ūdens slānī, un tā rezultātā metāls ir kontaktā ar elektrolīta šķīdumu [1, 229. lpp].

### Materiāli un metodes

Darba mērķis ir izvērtēt korozijas aizsardzības paņēmieni efektivitāti. Šim nolūkam tika sagatavoti un apstrādāti paraugi un izstrādāta vide, kura veicina korozijas norisi. Izmantotas trīs pretkorozijas pārklājumu novērtēšanas metodes. Aizsargpārklājumu slāņu procentuālais samazinājums, masas zudumi paraugos (paraugu svēršanas metode korozijas ātruma aprēķinam netika izmantota, jo dažiem paraugiem tika novērots masas pieaugums) un dzelzs jonu ( $\text{Fe}^{3+}$ ) koncentrācijas noteikšana šķīdumā, kurā paraugi tika izturēti. Eksperimentam tika sagatavoti paraugi, kuriem pēc dažādiem kritērijiem izvēlētas korozijas apstrādes tehnoloģijas:

- pārklāšana ar nemetāliskām vielām (poliuretāna, inhibitora T-40, virsbūves aizsargvaska un bituma pārklājums);
- pārklāšana ar krāsu materiāliem (cinka grunts – šķīdinātājbāzes krāsa, skābā grunts – šķīdinātājbāzes krāsa, skābā grunts – ūdens bāzes krāsa un pulverkrāsa);
- pārklāšana ar citu metālu (aukstā, karstā un uzsmidzinātā cinkošana);

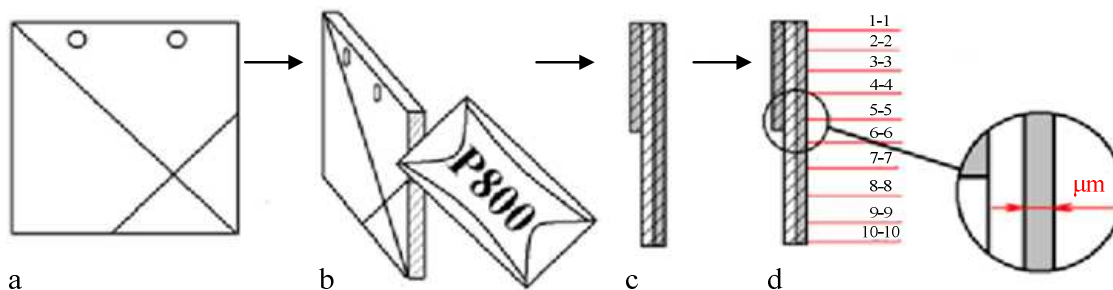
Paraugi izveidoti kvadrāta formas ar malu garumiem  $100 \times 100$  mm (skat. 1. att.). Tie tika grupēti trīs daļās, kur katra pārklājuma funkcionalitāte tika pārbaudīta divās dažādās vidēs – sāls šķīdumā ( $\text{NaCl}$ ) un mazas koncentrācijas sērskābē ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Jāpiebilst, ka  $\text{NaCl}$  šķīdumā tika pētītas arī bojāta parauga aizsardzības spējas (skat. 1. att. b). Parauga bojājumam tika veikta pārklājuma noņemšana.



1. att. Eksperimentam izveidotie paraugi:  
a – neapstrādāts metāla paraugs; b – bojāts cinka pārklājuma paraugs

### Aizsargpārklājumu slāņu procentuālais samazinājums

Pirms paraugu ievietošanas šķīdumā tika nomērīts uzklātā aizsargmateriāla biezums ar digitālo mikroskopu *Keyence-VHX 100K*. Parauga sagatavošanu mērīšanai ar digitālo mikroskopu (sk. 2. att.).



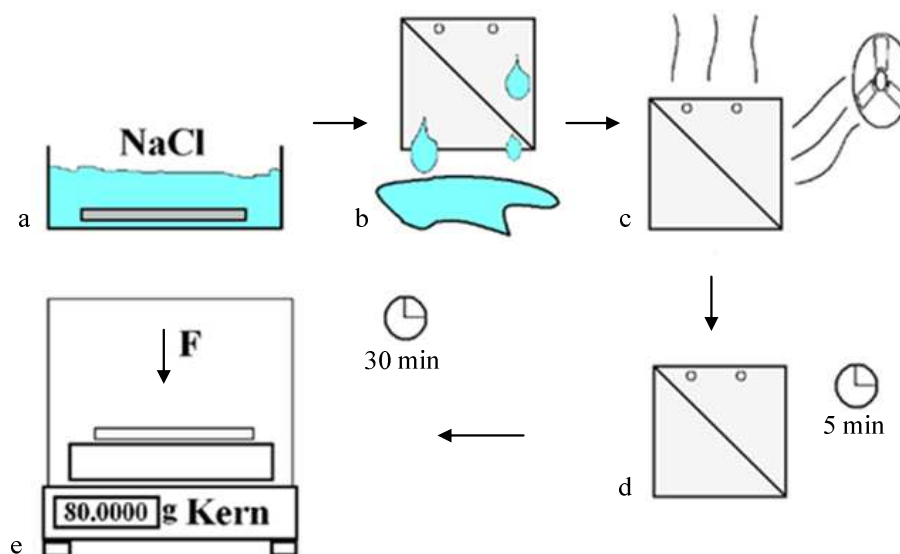
2. att. Parauga sagatavošana aizsargslāņa biezuma mērīšanai ar digitālo mikroskopu:  
a – bojātais paraugs ar noņemto trijstūra formas aizsargslāni; b – sāna aizsargslāņa noņemšana ar smilšpapīru; c – paraugs šķērsgriezumā;  
d – vietas, kurās tiek mērīts paraugam uzklātā aizsargslāņa biezums;  
P800 – smilšpapīra graudainības pakāpe

### Masas zudumi

Paraugi, pirms ievietošanas eksperimentam izveidotajos šķīdumos, tika nosvērti, izmantojot analītiskajos svaros *Kern* (minimālais nolasījums 0.1 mg). Ik pēc 4 dienām paraugi tika svērti atkārtoti, lai grafiski konstruētu masas zudumus. Paraugi tika izņemti no šķīduma, nožāvēti, notīrīta rūsas kārtā un svērti (skat. 3. att.). Masas zudumu svēršana izmantota, lai aprēķinātu korozijas ātrumu, ko izsaka ar materiāla masas zudumiem ( $m$ ) no laukuma vienības laikā ( $t$ ):

$$v = \frac{m}{S \cdot t}, \quad (3)$$

kur  $v$  – korozijas ātrums,  $\text{g cm}^{-2}$  dienas $^{-1}$ ;  
 $m$  – masas zudumi, g;  
 $S$  – parauga laukums,  $\text{cm}^2$ ;  
 $t$  – laiks, dienās.



3. att. Parauga sagatavošana svēršanai:

- a – trauks ar šķīdumu, kur iemērķts paraugs; b – paraugam notecina lieko šķīdumu;
- c – parauga žāvēšana ar silta gaisa plūsmu; d – parauga temperatūras normalizēšana;
- e – svēršanas iekārtas sagatavošana

### Dzelzs jonu koncentrācijas noteikšana šķīdumos

Fotometriski tika noteikta  $\text{Fe}^{3+}$  jonu koncentrācija katrā šķīdumā, izmantojot redzamā spektra spektrofotometru *Jenway 6300*. Kalibrēšanas grafika iegūšanai tika pagatavoti  $\text{Fe}^{3+}$  standartšķīdumi, kuros  $\text{Fe}^{3+}$  koncentrācija 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9 un 1.0  $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  (skat. 4. att.).



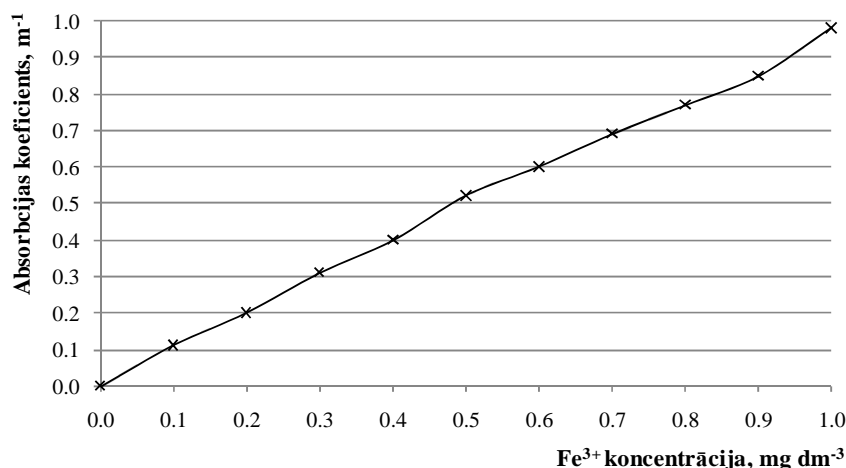
4. att.  $\text{Fe}^{3+}$  standartšķīdumi ( $\text{Fe}^{3+}$  koncentrācija 0.1 – 1.0  $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$  (no kreisās uz labo pusi))

Absorbcijas koeficienta noteikšanai tiek ņemti 10 ml šķīduma, kam pievieno 2 pilienus 5 %  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 2 pilienus koncentrētas  $\text{HNO}_3$  un 1 ml  $\text{KSCN}$  (kālija rodanīds<sup>1</sup>). Veidojas sarkanas krāsas šķīdumi, kuriem mēra absorbcijas koeficientu pie viļņu garuma 540 nm. Pēc iegūtajiem rezultātiem tiek konstruēts kalibrēšanas grafiks (skat. 5. att.):

$$A = f(c), \quad (4)$$

kur  $c$  – molārā koncentrācija,  $\text{mol l}^{-1}$ ;

$A$  – gaismas absorbcijas koeficients analizējamam šķīdumam,  $\text{m}^{-1}$ .

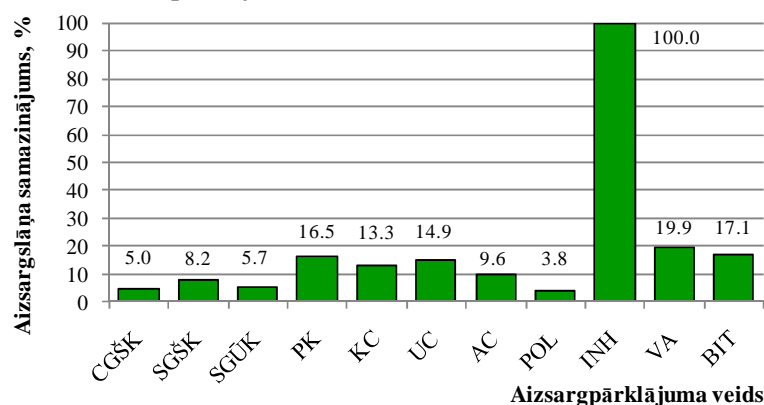


5. att.  $\text{Fe}^{3+}$  jonu koncentrācijas kalibrēšanas grafiks

## Rezultāti un diskusija

Eksperimenta gaitā paraugiem tiek novērota korozija, tās norises intensitāte tiek analizēta vairākos veidos, lai pēc iespējas precīzāk noteiktu efektīvāko korozijas aizsardzības veidu.

6. att. izveidots grafiks aizsargslāņa biezuma procentuālajam samazinājumam. Mērīšanas rezultātā tika konstatēts, ka smērviela T-40 uz metāla virsmas nav redzama. Tāpēc tā tika pielīdzināta 100 % aizsargslāņa samazinājumam. Nākošo, ko var minēt, ir aizsargvaska pārklājuma samazinājums, kas sastāda 19.9 % no slāņa zudumiem. Vismazāk pārklājuma slānis sarucis poliuretāna pārklājumam (3.8 %) un cinka grunts – krāsas pārklājumam (5.0 %).

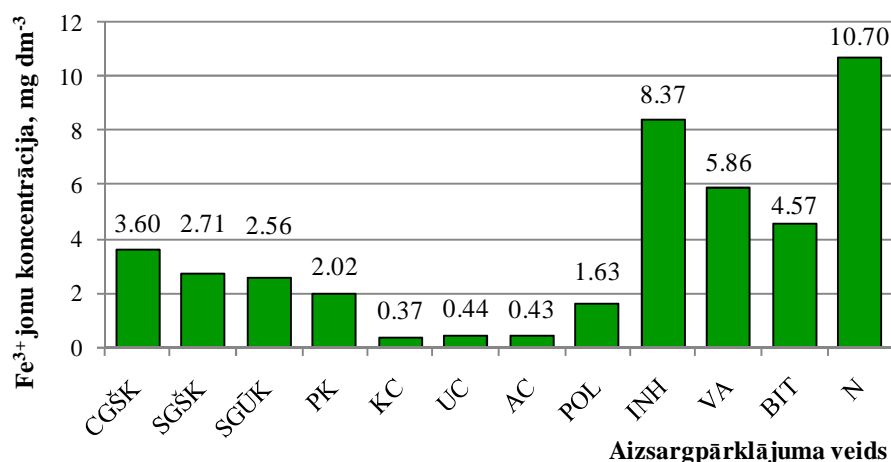


6. att. Aizsargpārklājumu slāņu procentuālais samazinājums:

CGŠK – cinka grunts, šķaidītājbazēs krāsa; SGŠK – skābā grunts, šķaidītājbazēs krāsa; SGŪK – skābā grunts, ūdensbazēs krāsa; PK – pulverkrāsa; KC – karstā cinkošana; UC – uzpūstā cinkošana; AC – aukstā cinkošana; POL – poliuretāna pārklājums; INH – inhibitors t40; VA – virsbūves aizsargvasks; BIT – bituma pārklājums

<sup>1</sup> Rodanīdi jeb tiocianāti ( $\text{SCN}^-$ ) ir savienojumi, kas satur  $[\text{SCN}]^-$  anjonu. Tie uzskatāmi par rodānskābes sāļiem. Pazīstamākie šāda veida savienojumi ir kālija un amonija rodanīdi. Tie reaģē ar dzelzs trīsvērtīgajiem sāļiem, veidojot sarkanu kompleksu. Šo reakciju lieto analītiskajā ķīmijā [5].

7. att. grafiski attēlota  $\text{Fe}^{3+}$  jonu koncentrācija katrā no nebojātu paraugu NaCl šķīdumiem. Šķīdumā uzrādīta kopējā  $\text{Fe}^{3+}$  jonu koncentrācija pēdējā eksperimenta dienā.



7. att.  $\text{Fe}^{3+}$  jonu koncentrācija NaCl šķīduma bojātiem paraugiem:

CGŠK – cinka grunts-šķīdinātājbāzes krāsa; SGŠK – skābā grunts, šķīdinātājbāzes krāsa; SGŪK – skābā grunts, ūdensbāzes krāsa; PK – pulverkrāsa; KC – karstā cinkošana; UC – uzpūstā cinkošana; AC – aukstā cinkošana; POL – poliuretāna pārklājums; INH – inhibitors t40; VA – virsbūves aizsargvasks; BIT – bituma pārklājums; N – neapstrādāts paraugs

1. tabulā ir redzams kopējais aizsargpārklājumu novērtējums pēc vairākiem rādītājiem (7). No tabulas redzams, ka pirmajās trīs vietās pārliecinoši ierindojas poliuretāna pārklājums, karstā cinkošana un uzpūstā cinkošana. Labus rezultātus uzrāda arī aukstā cinkošana, bituma pārklājums, cinka grunts – šķīdinātājbāzes krāsa, skābā grunts – šķīdinātājbāzes krāsa un virsbūves aizsargvasks.

1. tabula. Pretkorozijas aizsargpārklājumu vērtējums

Aizsargpārklājuma novērtējuma raksturotājs	Trīs labākie aizsargpārklājumi		
	1.	2.	3.
Mazākais aizsargslāņa samazinājums	Poliuretāna pārklājums	Cinka grunts – šķīdinātājbāzes krāsa	Skābā grunts – šķīdinātājbāzes krāsa
Mazākais masas samazinājums NaCl iemērkti paraugiem (bojātiem)	Poliuretāna pārklājums	Uzpūstā cinkošana	Aukstā cinkošana
Mazākais masas samazinājums NaCl iemērkti paraugiem	Poliuretāna pārklājums	Uzpūstā cinkošana	Karstā cinkošana
Mazākais masas samazinājums $\text{H}_2\text{SO}_4$ iemērkti paraugiem	Poliuretāna pārklājums	Bituma pārklājums	Virsbūves aizsargvasks
Mazākā $\text{Fe}^{3+}$ jonu koncentrācija NaCl šķīduma paraugiem (bojātiem)	Karstā cinkošana	Aukstā cinkošana	Uzpūstā cinkošana
Mazākā $\text{Fe}^{3+}$ jonu koncentrācija NaCl šķīduma paraugiem	Poliuretāna pārklājums	Karstā cinkošana	Uzpūstā cinkošana
Mazākā $\text{Fe}^{3+}$ jonu koncentrācija $\text{H}_2\text{SO}_4$ šķīduma paraugiem	Poliuretāna pārklājums	Karstā cinkošana	Uzpūstā cinkošana

## Secinājumi

1. Vislabāko pretkorozijas aizsardzības rezultātu starp bojātajiem paraugiem uzrādīja cinkotie pārklājumi. Analizējot  $\text{Fe}^{3+}$  jonu koncentrāciju šķīdumā, karstajai cinkošanai jonu koncentrācija ir  $0.37 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , aukstai cinkošanai  $0.43 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , uzpūstai cinkošanai  $0.44 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , turpretī krāsu pārklājumiem, piemēram, skābā grunts – ūdensbāzes krāsai  $2.56 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , skābā grunts – šķīdinātājbāzes krāsai  $2.71 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , cinka grunts – šķīdinātājbāzes krāsai  $3.56 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ .
2. Starp krāsu pārklājumu veidiem pulverkrāsa uzrāda labākās aizsardzības spējas. Krāsu materiāli uzrāda apmierinošus rezultātus, ja tie netiek bojāti.
3. Vērtējot vismazāko  $\text{Fe}^{3+}$  jonu koncentrāciju paraugu šķīdumos secināts:
  - ja pārklājums bojāts, vismazākā  $\text{Fe}^{3+}$  jonu koncentrācija NaCl šķīdumā ir karstās cinkošanas pārklājumam ( $0.35 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), bet vislielākā inhibitoram T-40 ( $8.73 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ );
  - ja pārklājums nav bojāts, vismazākā  $\text{Fe}^{3+}$  jonu koncentrācija NaCl šķīdumā ir poliuretāna pārklājumam ( $0.35 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), bet vislielākā inhibitoram T-40 ( $7.63 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ );
  - ja nebojāts paraugs iegremdēts  $\text{H}_2\text{SO}_4$  šķīdumā, vismazākā  $\text{Fe}^{3+}$  jonu koncentrācija ir poliuretāna pārklājumam ( $0.5 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), bet vislielākā inhibitoram T-40 ( $17.65 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ).
4. Poliuretāna pārklājums pēc vizuālas apskates nav mainījies, tomēr materiāls nav blīvs, tas ir porains, kas var veicināt korozijas attīstību uz metāla virsmas zem aizsargslāņa. Ilgstošai aizsardzībai zem poliuretāna pārklājuma ieteicams izmantot blīvu krāsas pārklājumu.
5. Vērtējot aizsargpārklājuma slāņa samazinājumu, vismazākais samazinājums ir poliuretāna pārklājumam (3.8 %), bet vislielākais inhibitoram T-40 (100 %). Inhibitors nespēj ilglaicīgi nodrošināt aizsardzību, tas regulāri jāatjauno. Pārklājuma priekšrocības ir ērtā uzklāšana, eļļošanas spējas un dielektriskums.

## Izmantotie informācijas avoti

1. Brunere V., Kamzole L., Blūms A., Kacens J. *Ķīmija augstskolu inženiertehniskajām specialitātēm*. Rīga: Zvaigzne, 1986. 396 lpp.
2. Gļinka N. *Vispārīgā ķīmija*. Rīga: Zvaigzne, 1981. 686 lpp.
3. Kļaviņš Z., Brencis V. *Fizikālā un koloidālā ķīmija*. Rīga: Zvaigzne, 1982. 490 lpp.
4. Rudzītis G. *Ķīmija*. Rīga: Zvaigzne, 1968. 300 lpp.
5. Rodanīdi (2012). [tiešsaiste] [skatīts 18.04.2012.] Pieejams: <http://lv.wikipedia.org/wiki/Rodanīdi>



## SALMU GRANULU PELNU KRISTALIZĀCIJAS VEIDOŠANĀS DEGŠANAS PROCESĀ STRAWS GRANULE ASHES CRYSTALIZATION FORMATION IN BURNING PROCESS

Valdis Kleinbergs  
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants  
Aigars Laizāns  
Zinātniskais vadītājs, docents, Dr.sc.ing.

**Abstract:** To char wheat straws granule in burning process structure ashes crystallization, what influences negative granule burner function. Research is done to clarify how much decrease ashes crystallization, when enclosing accelerator with different gross infusion. As the accelerator was used calcium carbonate. Enclosing accelerator was observed, that substantially decreased amount of melting ashes and improved computerized granule burner process.

**Atslēgas vārdi:** biokurināmais, granulas, salmu granulas, katalizators.

### Ievads

Eiropas Savienības jaunā direktīva 2009/28/EK paredz palielināt atjaunojamo energoresursu izmantošanu kopējā enerģētikas jomā, mazinot atkarību no fosilajiem energoresursiem [3]. Atjaunojamus energoresursus var iedalīt: vējš, ūdens, saules starojums, zemes siltums, viļņi, plūdmaiņa, biomasas (koksne, salmi, biogāze, biodegviela).

Biomasas ir organiskas izcelsmes resurss, kura enerģija ķīmiskās pārveides rezultātā tiek pārvērsta siltuma, mehāniskajā un elektriskajā enerģijā. Biomasu var izmantot kā cieto kurināmo. Viens no cietās biomasas veidiem ir salmi un to blakusprodukti. Graudaugu salmu pārpalikums Latvijā ir 42%, no kuriem tehniski iespējams izmantot enerģētikā 14% jeb 174 tūkst. tonnu. Salmu biokurināmā izmantošana siltuma enerģijas ražošanai gan ķīpu, gan granulā veidā ir perspektīva [2].

Galvenās problēmas, iegūstot siltumenerģiju no salmu granulām, ir palielināts pelnu daudzums un zema pelnu kušanas temperatūra, kas veido pelnu kristalizāciju. Salmu granulām sadegot rodas emitēto hloru saturošu gāzu, kas ir kaitīgas apkārtējai videi. Lai tās neitralizētu, jāizmanto specializēti granulā degļi un jānodrošina pienācīga dūmgāzu attīrīšanas sistēma un izkliede. Pelnu kristalizāciju nosaka pelnu kušanas temperatūra. Analizējot Stendes graudaugu selekcijas institūta 2007. gada – 2008. gada atskaiti „Dažādu graudaugu sugu piemērotība siltumenerģijas ražošanai un radušos atkritumu produktu – pelnu agronomiskās vērtības noteikšana”, tika konstatēts, ka pelnu kušanas temperatūra visiem graudaugu salmiem ir robežās no 885°C (kviešu salmiem) līdz 1035°C (auzu salmiem) [1].

Pētījumi [4] rāda, ka varbūtējie cēloņi, kas veicina pelnu kušanu, ir:

- viegli kūstošu kālija fosfātu veidošanās degšanas procesā;
- viegli kūstošu kālija silikātu veidošanās degšanas procesā [4].

Šo savienojumu veidošanās iespējama, ja kurināmā sastāvā ir palielināts kālija, fosfora un silīcija saturs un pazemināts kalcija saturs [1]. Līdz ar to dedzinot salmu granulas veidojas pelnu kristalizācija, kas nelabvēlīgi ietekmē granulā degļu darbību. Tāpēc tiek izmantots katalizators ar kalcija karbonāta sastāvu, lai neveicinātu kviešu salmu granulā pelnu kristalizācijas veidošanos.

Pētījuma mērķis ir noskaidrot, par cik samazinās pelnu kristalizācija, pievienojot katalizatoru ar atšķirīgu masas piejaukumu.

### Materiāli un metodes

Lai veiktu pētījumu, tika uzprojektēts un izgatavots kamīna tipa deglis ar kamīna tipa granulā padeves sistēmu, kuras malā ir izveidots urbums, lai novietotu temperatūras sensora mērītāju. Temperatūras sensors tiek novietots pelnu kušanas zonā un tā stāvoklis netiek mainīts visu eksperimenta laiku.

Eksperimenta veikšanai tika izmantota LLU Spēkratu institūta un Enerģētikas institūta laboratorijas.



Eksperimentos izmantotās mēriekārtas:

- datu uzkrājējs Pico logeri TO-08;
- temperatūras sensors 80PK-22;
- digitālie svāri Sartorius GM312;
- ventilators.

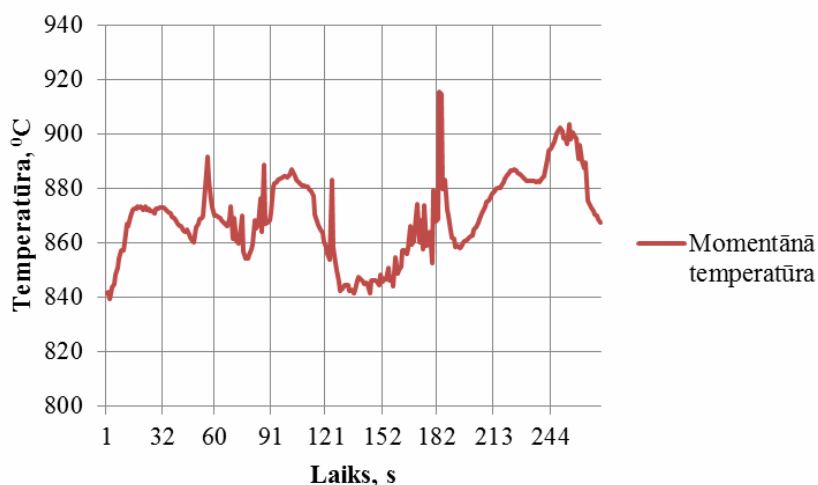
Salmu granulu masa un katalizatora masa tika svērtā uz digitālajiem svāriem, lai veiktu tālākos eksperimentus. Katra eksperimenta posmā tika dedzināts 1 kg kviešu salmu granulas ar attiecīgo katalizatora procentuālo piejaukumu. Eksperimentu dati tiek ierakstīti, izmantojot datu uzkrājēju Pico logeri TO-08, kas nolasa temperatūras sensora 80PK-22 iegūtos datus. Pelnu procentuālais daudzums tika noteikts sverot.

## Rezultāti un diskusija

Kviešu salmu granulu pelnu kristalizācijas daudzuma noteikšanai tika veikti vairāki eksperimenti ar noteiktu atkārtojamību, lai iegūtu eksperimentu ticamību 95%:

- kviešu salmu granulas bez katalizatora;
- kviešu salmu granulas ar 10% katalizatora masas piejaukumu;
- kviešu salmu granulas ar 5% katalizatora masas piejaukumu;
- kviešu salmu granulas ar 3% katalizatora masas piejaukumu;
- kviešu salmu granulas ar 2% katalizatora masas piejaukumu;
- kviešu salmu granulas ar 1% katalizatora masas piejaukumu.

Pirmajā eksperimenta posmā tika dedzināts 1 kg kviešu salmu granulas bez katalizatora. Eksperimenta laikā tika fiksēta kviešu salmu granulu degšanas temperatūras līkne. Kviešu salmu granulas, degšanas procesā tiek papildinātas par 100 gramiem.



1. att. Kviešu salmu granulu degšanas temperatūras līkne

1. attēlā redzama kviešu salmu granulu degšanas momentānā temperatūras līkne. Veicot statistisko datu apstrādi ar ticamību 95%, vidējā degšanas temperatūra ir  $869.6 \pm 15.3$  °C. Papildinot kviešu salmu granulas par 100 gramiem degšanas procesā, ir novērojams temperatūras kritums.

Apstrādājot veiktā eksperimenta datus, tika konstatēts, ka pelnu daudzums ir 4.3%, no tiem 25% pelnu bija kristalizējušies. Lai atdalītu pelnu kristalizējušās daļas no kopējā pelnu daudzuma, tika izmantota gaisa plūsma. Kristalizējušies pelnu masa tika svērtā uz digitālajiem svāriem, lai noteiktu procentuālo daudzumu.

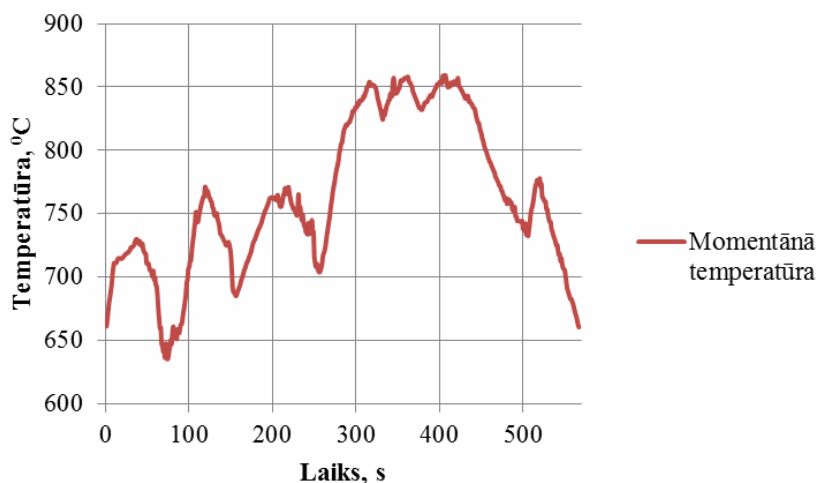
2. attēlā redzami kviešu salmu granulu pelni: (a) – kopējais pelnu daudzums; (b) – kristalizējušies pelni, kas nelabvēlīgi ietekmē granulu degļa darbību. Kūstošie pelni degšanas procesā traucē gaisa pieplūdi un apgrūtina mehāniski tos izvadīt no granula degļa.

Otra eksperimenta posma mērķis ir pārbaudīt, kā mainās pelnu kristalizācija, piejaucot 10% katalizatoru. Eksperimentā tika izmantotas iepriekš minētās mērierīces un nemainīgi iestatījumi.



2. att. Kviešu salmu granulu pelni: a – kopējais pelnu daudzums; b - kristalizējušies pelni

3. attēlā redzamas temperatūras svārstības, kas notiek brīdī, kad tiek papildināta granulu masa par 100 gramiem. Veicot statistikas datu apstrādi, vidējā temperatūra ir  $762.6 \pm 61.04^\circ\text{C}$  ar ticamību 95%. Salīdzinot ar pirmā eksperimenta datiem, otrajā eksperimentā pelnu kristalizācijas daudzums ir samazinājies par 21%, kas izskaidrojams zemās un nepastāvīgās temperatūras dēļ, ko iespējams ir izraisījis 10% katalizatora piejaukums.



3. att. Kviešu salmu granulu degšanas temperatūras līkne ar 10% katalizatora piejaukumu

Tālāko eksperimentu mērķis ir noskaidrot minimālo nepieciešamo katalizatora piejaukuma daudzumu procentos, lai samazinātu temperatūras svārstības, kā arī palielināt degšanas temperatūru. Tādēļ tika dedzinātas kviešu salmu granulas ar 5% katalizatora piejaukumu. Pelnu kristalizācija bija samazinājusies par 21.1 %, bet pēc datu apstrādes vidējā degšanas temperatūra  $764 \pm 60^\circ\text{C}$ .

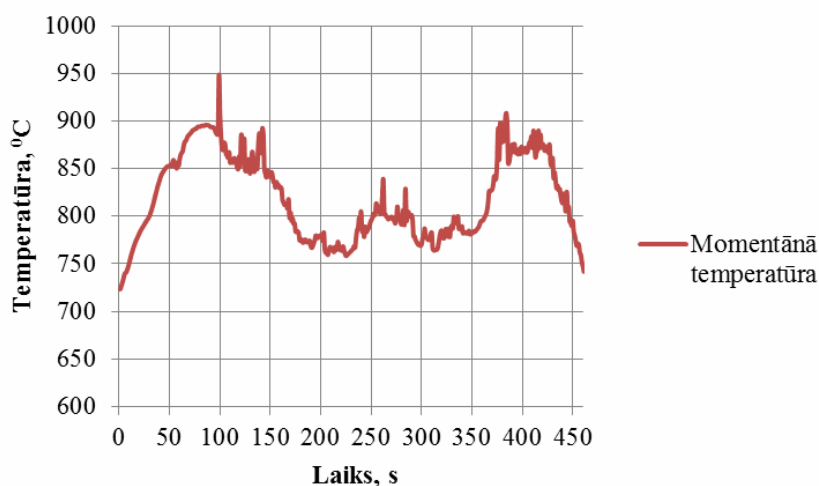
Ceturtajā eksperimentā tika dedzinātas kviešu salmu granulas ar 3% katalizatora piejaukumu. Apstrādājot uzņemtos datus ir novērojams, ka vidējā degšanas temperatūra ir palielinājusies  $773 \pm 59^\circ\text{C}$ , bet temperatūras svārstības ir novērojamas granulu papildināšanas brīdī. Kristalizējušos pelnu daudzums no kopējās pelnu masas ir 3.7%.

Piektajā eksperimentā tika pievienots 2% katalizators. Iegūtie rezultāti bija līdzvērtīgi ceturtajā eksperimentā iegūtajiem datiem.

Sestajā eksperimentā tika pievienots 1% katalizatora piejaukums. Apstrādājot iegūtos datus, tika konstatēts vidējās temperatūras paaugstinājums  $818.5 \pm 44.9^\circ\text{C}$  un temperatūras svārstību samazinājums.

4. attēlā redzams kviešu salmu granulu degšanas process. Momentānās temperatūras svārstības ir izskaidrojamas ar to, ka, papildinot granulu daudzumu 100 gramiem, ir nepieciešams laika posms, lai granulas aizdegotos.

5. attēlā parādītās baltās krāsas pelnu daļiņas ir katalizatora piejaukums, pelnu kristalizācija praktiski nav novērojama. Eksperimenta rezultāti tiks padziļināti pētīti, lai noteiktu kviešu salmu granulu ar katalizatora piejaukumu degšanas īpašības un dūmgāzu ietekmi uz apkārtējo vidi.

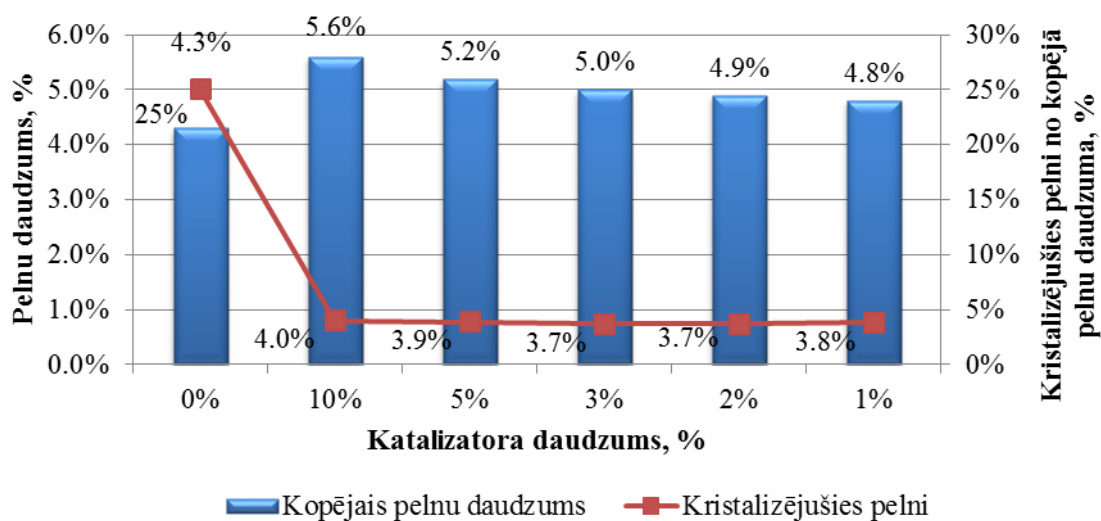


4. att. Kviešu salmu degšanas temperatūras līkne ar 1% katalizatora piejaukumu



5. att. Kviešu salmu granulu pelni ar 1% katalizatora piejaukumu

6. attēlā redzams visu sešu eksperimentu rezultātu pelnu daudzumu attiecība, dedzinot ar dažādu procentuālo katalizatora piejaukumu. Jo mazāk katalizatora piejaukuma kviešu salmu granulām, jo mazāks kopējais pelnu daudzums. Ar 1% katalizatora piejaukumu kviešu salmu granulām tika novērota pelnu kristalizācijas pakāpeniska palielināšanās, līdz ar to netika veikti tālākie eksperimenti ar katalizatora piejaukuma samazināšanu.



6. att. Kviešu salmu granulu pelnu daudzums ar katalizatoru

### Secinājumi

1. Pievienojot kviešu salmu granulām 1% katalizatora piejaukumu, pelnu kristalizācijas daudzums samazinās par 21.2% no kopējās pelnu masa, salīdzinot ar kviešu salmu granulām pelniem bez katalizatora piejaukuma.
2. Pētot kviešu salmu granulās ar dažādu katalizatora piejaukuma daudzumu, tika secināts, ka vidējā augstākā un stabilākā vidējā temperatūra ir ar 1% katalizatora piejaukumu.
3. Dedzinot kviešu salmu granulās bez katalizatora, no kopējās sadedzinātās pelnu masas 25% pelnu ir kristalizējušies.
4. Kristalizējušies pelni nelabvēlīgi ietekmē granulā degļa automatizētās pelnu attīrīšanas mehānisma darbību.
5. Katalizatora pievienošanai ir pozitīva ietekme uz pelnu struktūru, kas samazina pelnu kušņu daudzumu un izmērus.
6. Lai stabilizētu kviešu salmu granulā degšanas temperatūru ir nepieciešams samazināt granulā padeves daudzumu vienā ciklā.
7. Ir ieteicams veikt kviešu salmu granulā priekšsildīšanu degšanas procesā, lai samazinātu temperatūras svārstības.
8. Nepieciešams veikt padziļinātus pētījumus katalizatora procentuālai izvēlei un tās ietekmes noteikšanai uz pelnu struktūru.

### Izmantotie informācijas avoti

1. APP Valsts Stendes graudaugu selekcijas institūts. Lauksaimniecībā izmantojamais zinātnes ideju projekts. Dažādu graudaugu sugu piemērotība siltumenerģijas ražošanai un radušos atkritumu produktu – pelnu agronomiskās vērtības noteikšana. – Dižstende, 2007 – 2008.
2. Biomasas izmantošanas ilgtspējības kritēriju pielietošana un pasākumu izstrāde. Autori: A. Adamovičs, V. Dubrovskis, I. Plūme, Ā. Jansons, D. Lazdiņa, A. Lazdiņš, Valsts SIA Vides projekti. – Rīga, 2009.
3. Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2009/28/EK (2009) par atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanu un ar ko groza un sekojoši atceļ Direktīvas 2001/77/EK un 2003/30/EK. Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis. Nr. L140, 52. sējums. 16. – 63. lpp. [tiešsaiste] [skatīts 05.04.2012] Pieejams: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:FULL:LV:PDF>
4. The Role of Limestone in Preventing Agglomeration and Slagging during CFB Combustion of High-Phosphorous Fuels, Vesna Barišić Foster Wheeler – R&D Department Varkaus, Finland [online] [cited 16.04.2011] Available: [http://www.fwc.com/publications/tech\\_papers/files/TP\\_CFB\\_08\\_03.pdf](http://www.fwc.com/publications/tech_papers/files/TP_CFB_08_03.pdf)

## BIOGĀZES KVALITĀTES UZLABOŠANA AR BIOMASAS PELNIEM

### BIOGAS UPGRADING WITH BIOMASS BOTTOM ASHES

Rolands Putnieks  
Tehniskās fakultātes 1. kursa maģistrants  
Imants Plūme  
Zinātniskais vadītājs, lektors, Mg.sc.ing.

**Abstract:** The paper describes biogas upgrading experiment of biomass bottom ashes. There are results and mathematical compare about raw and upgraded biogas, heating value and Wobbe index.

**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 ( $\text{CH}_4$ ) 50-75% un oglekļa dioksīds ( $\text{CO}_2$ ) 25-45%, kā arī citas sastāvdaļas kā ūdens tvaiki ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 2-7%, skābeklis ( $\text{O}_2$ ) 0-2%, slāpeklis ( $\text{N}_2$ ) 0-2%, amonjaks ( $\text{NH}_3$ ) 0-1% un sērūdeņradis ( $\text{H}_2\text{S}$ ) 0-1%. Neattīrītas biogāzes siltumspēja ir  $18-27 \text{ MJ}\cdot\text{nm}^{-3}$  [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:  $31,8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ , Vobbes indekss:  $41,2-54,5 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ , sērūdeņraža koncentrācija: līdz  $0,02 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 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 lieks un nevajadzīgs galaprodukts. Turklāt Jelgavā top jauna, lielākā Latvijas biomasas koģenerācijas stacija.

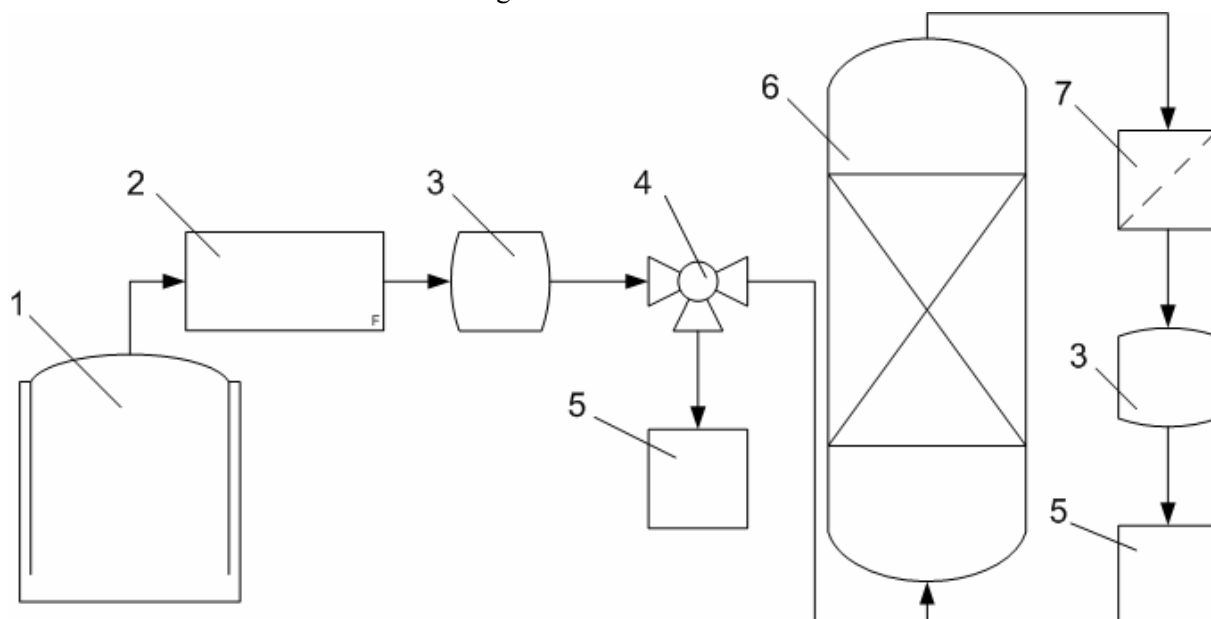
#### Materiāli un metodes

Pētījuma mērķis ir pārliecināties par pelnu izmantošanas iespējām biogāzes attīrīšanā un uzlabošanā, veikt eksperimentu un noskaidrot, pēc cik liela ievadītās gāzes daudzuma attīrīšanas iekārtā, attiecīgais pelnu daudzums būs piesātinājies un neveiks attīrīšanu.

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

Pētījuma veikšanai tika uzkonstruēta iekārta (1. att.). Biogāzes reaktorā 1 tiek saražota biogāze. Rodoties reaktorā spiedienam biogāze plūst tālāk pa cauruli caur gāzes skaitītāju 2. No gāzes skaitītāja biogāze nonāk gāze uzkrāšanas tvertnē 3. Tās tilpums ir divi litri, konstruēta no gāz necaurīdīgas membrānas materiāla un aprīkota ar plūsmas vienvirziena vārstu. Kad gāzes uzkrāšanas tvertne ir piepildījies, biogāze plūst caur trīscēļu vārstu 4. Atkarībā no vārsta regulācijas, gāze plūst uz gāzes

sastāva mēriekārtu 5 vai pelnu kolonnu 6. Pelnu kolonnā noris reakcija, kuras rezultātā pelni piesātinās ar oglekļa dioksīdu un sērūdeņradi, bet metāns ceļas augšup un aizplūst pa cauruli uz filtru 7. Filtrs paredzēts, lai sīkās pelnu daļiņas nenonāktu mēriekārtā. Tālāk jau attīrītā biogāze nonāk gāzes uzkrāšanas tvertnē un atkal tiek nomērīts gāzes sastāvs.



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

1 – biogāzes reaktors; 2 – gāzes skaitītājs; 3 – gāzes uzkrāšanas tvertne; 4 – trīsceļu vārsts;  
5 – gāzes sastāva mēriekārta; 6 – pelnu kolonna; 7 – filtrs

Pētījums tika veikts biogāzes laboratorijā, kur darbojas jau vairāki reaktori. Tika izvēlēts reaktors, kurš saražo biogāzi aptuveni 70 litru diennaktī. Pelnu kolonnas konstrukcijai tika izvēlēta kanalizācijas caurule ar diametru 0,2 m un garumu 2,3 m. Kolonna tika izveidota ar brīvajām vietām gan augšpusē, gan apakšpusē, lai gāze vienmērīgi ieplūstu kolonnā. Kopējais pelnu daudzums, kas tika iepildīts kolonnā, ir 23,92 kg ar tilpumu 23,3 litri. Pelnu mitrums iepildīšanas brīdī 18,43%. Pirms pelnu ievadīšanas tie tika izsijāti, lai pelnu daļiņu lielums nebūtu lielāks par 5 mm.

Lai pārliecinātos par biogāzes iznākuma kvalitāti un tās atbilstību, jānosaka tās siltumspēja. Aprēķins notiek pēc sekojošas formulas (1):

$$HV_{BN} = HV_{MN} \cdot p_{CH_4}, \quad (1)$$

kur  $HV_{BN}$  – biogāzes 1 m<sup>3</sup> siltumspēja normālos apstākļos, MJ·nm<sup>-3</sup>;  
 $HV_{MN}$  – metāna 1 m<sup>3</sup> siltumspēja, MJ·nm<sup>-3</sup>,  $HV_{MN} = 35,80$  MJ·nm<sup>-3</sup>;  
 $p_{CH_4}$  – metāna procentuālais sastāvs biogāzē pēc tilpuma, %.

Aprēķins jāveic arī nosakot Vobbes indeksu [4], kas ir svarīgs rādītājs deggāzēm. Vobbes indeksu aprēķina pēc formulas (2):

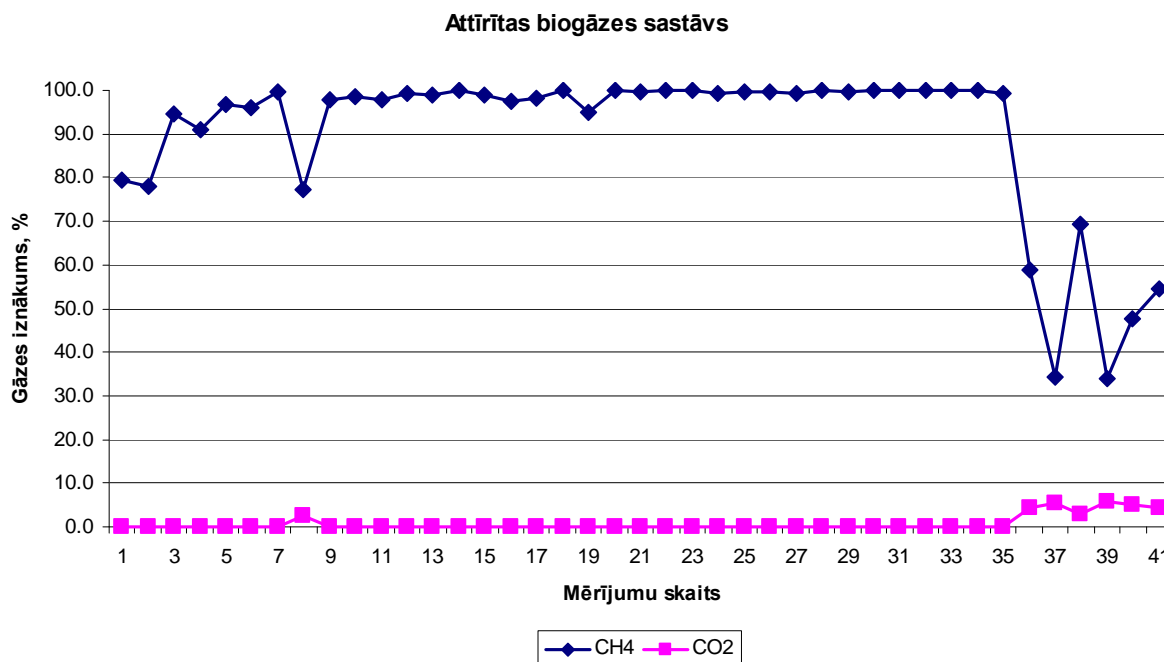
$$I_w = \frac{HV_{BN}}{\sqrt{G_s}}, \quad (2)$$

kur  $I_w$  – Vobbes indekss, MJ·m<sup>-3</sup>;  
 $HV_{BN}$  – biogāzes 1 m<sup>3</sup> siltumspēja normālos apstākļos, MJ·nm<sup>-3</sup>;  
 $G_s$  – gravitācijas konstante metānā,  $G_s = 0.5537$  [3].

## Rezultāti un diskusija

Eksperiments norisinājās 26 dienas, neskaitot sagatavošanās darbus. Kopumā tika veikts 41 mērījums, kas redzams arī līknē (2. att.). Pētījuma laikā biogāzes attīrīšanas iekārtā, pēc skaitītāja datiem, tika ievadīts 1,873 m<sup>3</sup> biogāzes. Apskatot līkni redzams, ka 8. mērījumā metāna daudzums

samazinājies, kas radies, jo bija nepieciešamība iekārtu atvienot no reaktora un līdz ar to attīrīšanas iekārtā ieplūda skābeklis.



## 2. att. Sastāvs attīrītai biogāzei ar pelniem

Vidējais biogāzes sastāva iznākums pirms attīrīšanas ir sekojošs: metāns (CH<sub>4</sub>) 56,3%, oglekļa dioksīds (CO<sub>2</sub>) 49,4%, skābeklis (O<sub>2</sub>) 0,4%, sērūdeņradis (H<sub>2</sub>S) 347ppm. Šādas, neatīrītas biogāzes, siltumspēja (pēc 1. formulas) ir 20,08 MJ·m<sup>-3</sup> un Vobbes indekss (pēc 2. formulas) ir 27,08 MJ·m<sup>-3</sup>.

Attīrītas biogāzes, izmantojot pelnus, vidējais sastāva iznākums ir šāds: metāns (CH<sub>4</sub>) 90,0%, oglekļa dioksīds (CO<sub>2</sub>) 0,7%, skābeklis (O<sub>2</sub>) 1,2%, sērūdeņradis (H<sub>2</sub>S) 7,1ppm. Veicot aprēķinus pēc formulas 1 un 2, iegūst siltumspēju 32,22 MJ·m<sup>-3</sup> un Vobbes indeksu 43,31 MJ·m<sup>-3</sup>.

## Secinājumi

1. Attīrot biogāzi ar biomasas pelniem, pieaug biogāzes kvalitāte un tā atbilst standartam, lai ievadītu biogāzi gāzes tīklā un lietotu kā transportlīdzekļu degvielu.
2. Biogāzes kvalitāti ir iespējams uzlabot izmantojot biomasas pelnus, kam varētu būt labs potenciāls nākotnē tieši Latvijas apstākļos.
3. Eksperimentā veiktajai attīrītajai biogāzei siltumspēja sasniedz 32,22 MJ·m<sup>-3</sup> un Vobbes indekss 43,31 MJ·m<sup>-3</sup>.

## Izmantotie informācijas avoti

1. Blumberga D., Dzene I., Al Sedi T. Biogāze rokasgrāmata. – Ekodoma, 155 lpp.
2. Kalniņš Arnis. Biogāzes iespējas un tās kā transportlīdzekļu degvielas izmantošana. – Rīga, 2007, 99 lpp.
3. Gases – Specific gravities. [online] Available: [http://www.engineeringtoolbox.com/specific-gravities-gases-d\\_334.html](http://www.engineeringtoolbox.com/specific-gravities-gases-d_334.html)
4. Wobbe index. [online] Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Wobbe\\_index](http://en.wikipedia.org/wiki/Wobbe_index)
5. Mostbauer P., Olivieri T., Lombardi L., Paradisi A., Pilot-scale upgrading of landfill gas and sequestration of CO<sub>2</sub> by MSWI bottom ash. Stockholm, Sweden, January 25 – 27, 2012. 10 p.

## ASINHRONĀ ELEKTRODZINĒJA SILŠANA UN ELEKTRISKIE ZUDUMI ILGSTOŠAS NOMINĀLSLODZES REŽIMĀ

### HEATING AND ELECTRICAL LOSSES OF INDUCTION MOTOR UNDER CONTINUED RATED LOAD

Aleksejs Gedzurs

Tehniskās fakultātes 1. kursa maģistrants

Andris Šnīders

Zinātniskais vadītājs, profesors, Dr.sc.ing.

**Abstract:** The paper discusses transient heating process and response of small-powered induction motor to permanent constant load under standard electrical supply system (380V, 50 Hz) for cold initial conditions and constant ambient temperature. Experimental investigations are performed on a 1.1 kW totally enclosed fan-cooled three-phase induction motor. The transient temperatures are measured in 6 points of stator end windings and in 2 points of motor casing using thermocouples. The current sensors and loggers for data processing and archiving are used. Analyses of research results show that influence of the temperature on the induction motor heating model should be taken into consideration. If the temperature rises, the electrical losses of IM increase.

**Atslēgas vārdi:** asinhronais elektrodzinējs, temperatūra, zudumi, tinumi, strāva, pretestība.

#### Ievads

Lauksaimniecībā asinhronos elektrodzinējus (AD) izmanto ūdens apgādei, barības sagatavošanai un sadalei fermās, slaukšanai un piena pirmapstrādei, mēsļu izvākšanai, graudu apstrādei, mehāniskās un kokapstrādes darbnīcās. Statistika rāda, ka, neskatoties uz asinhronā elektrodzinēja augsto drošumu un konstrukcijas vienkāršību, ikgadēja to atteices intensitāte ir aptuveni 3-5% no elektrodzinēju kopskaita un smagos apstākļos – līdz 12% [1]. Asinhrono elektrodzinēju atteice izraisa būtiskus tiešus un tehnoloģiskus zaudējumus, ieskaitot to nomaiņu un remontu, kā arī ražošanas zudumus.

Asinhrono elektrodzinēju atteices var klasificēt sekojoši: 1) ar elektrisko bojājumu saistītas atteices ~35%; 2) ar mehānisko bojājumu saistītas atteices ~31%; 3) ar apkārtējās 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 asinhrono elektrodzinēju konstrukcija nodrošina augstu energoefektivitāti un kompakтус izmērus, bet vienlaikus tie ir jutīgāki pret mehāniskām un elektriskām pārslodzēm. Savukārt, asinhrono elektrodzinēju silšanas pakāpes pārvērtēšana var novest pie to nepamatotas apstādīšanas un ražošanas procesa pārtraukšanas.

Visjutīgākais asinhrono elektrodzinēju elements ir statora tinumi. Galvenais ierobežojošs faktors, ilgstoši AD, ir statora tinumu temperatūra. Pārsniedzot temperatūras pieļaujamo robežu, tinumu izolācijas materiāls paātrināti oksidējas, kas var būt par iemeslu asinhronā elektrodzinēja atteicei. Parasti asinhronā elektrodzinēja silšanas procesu aprakstīšanai izmanto pirmās kārtas silšanas modeli ar konstantiem parametriem [2] vai ar mainīgiem parametriem, kuri ir atšķirīgi sākuma un beigu apstākļos [1]. AD termiskie un elektriskie parametri pastāvīgi mainās visā silšanas procesā. Mīksto palaišanas iekārtu un frekvenču pārveidotāju izmantošana palielina harmonikas un noved pie statora tinumu un citu detaļu intensīvākās silšanas [3; 4].

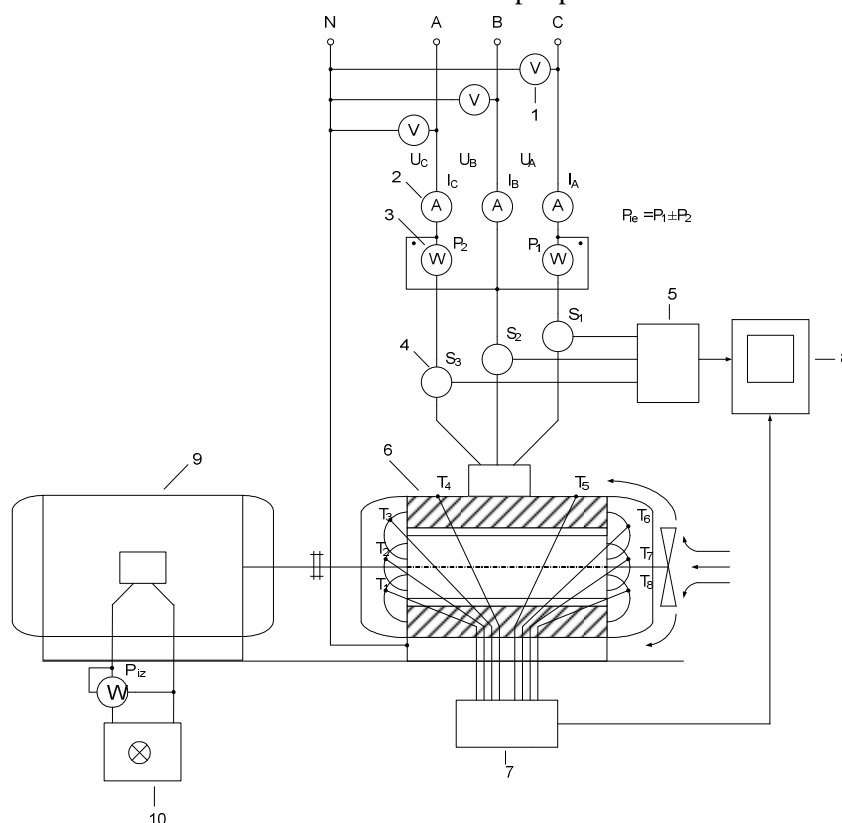
Darba galvenais uzdevums ir iegūt eksperimentālos datus par nomināli slogota elektrodzinēja tinumu un korpusa silšanas procesu laboratorijas apstākļos un sastādīt AD elektrisko zudumu modeli.

#### Materiāli un metodes

Silšanas procesu pētījumi tika veikti LLU Tehniskās Fakultātēs (TF) Lauksaimniecības enerģētikas institūta (LEI) Elektriskās piedziņas laboratorijā uz elektrodzinēju pētniecības stenda (1. att.), kurš sastāv no asinhronā elektrodzinēja, līdzstrāvas ģeneratora, reostatiem, termopāriem, elektriskajiem mērinstrumentiem, datu logera un datora. Pētījuma objekts ir trīsfāzu asinhronais elektrodzinējs: 4AX80A4Y3; 22-/380 V: 4.9/2.8 A; IP44; termiskās izolācija klase [B], m = 14.5 kg; P = 1.1 kW; n = 1400 min<sup>-1</sup>; s = 0.67; η = 0.75; cosφ = 0.81. Elektrodzinēja slodzes regulēšanai tika izmantoti līdzstrāvas ģenerators (P-22Y4, 220 V, 5.9 A, P = 1 kW, n = 1500 min<sup>-1</sup>), kuram ir pieslēgts lampu reostats. Trīsfāzu elektrisko lielumu mērīšanai tiek izmantoti ampēometri, voltmetri, vatmetri.



Precīzai elektrodzinēju korpusa un statora tinumu temperatūras mērīšanai tiek izmantoti termopāri BK-50. Elektrodzinēja korpusa temperatūra tiek mērīta 2 punktos vārpstas piedziņas un ventilatora pusēs ar termopāriem  $T_4$  un  $T_5$ . Statora tinumu temperatūra tiek mērīta katrā fāzē (A, B, C) vārpstas pusē ar termopāriem  $T_1, T_2, T_3$  un ventilatora pusē –  $T_6, T_7, T_8$ . Termopāri ir pievienoti pie datu logera TC-08 (PICOLOG programmatūra, temperatūras mērīšanas precizitāte  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ). Precīzai strāvas mērīšanai tiek izmantotas strāvas kņabiles 3XTA011AC, kuras pievienotas pie datu logera AEMC L101 Simple Logger. Abu datu logera dati tika reģistrēti un arhivēti datorā. Visi eksperimenti tika veikti normālos apstākļos – visu elektrodzinēju daļu temperatūra ir vienāda ar ārējas vides temperatūru. Barošanas tīkla parametri – 380 V, 50 Hz katrā fāzē. Statora tinumu un korpusa silšanas procesu analīzei tika veikti eksperimenti 2 režīmos – nomināli slogots un pārslogots asinhronais elektrodzinējs, atkārtotot eksperimentu 2 reizes katrā darba režīmā. Asinhrono elektrodzinēja slodzi raksturo ar slodzes koeficientu pēc strāvas  $k_i = I_s / I_{\text{nom}}$ , kur  $I_s$  – slodzes strāva, A;  $I_{\text{nom}}$  – nominālā strāva, A. Trīsfāzu elektrisko lielumu mērīšanas rezultāti apkopoti 1. tabulā.



1. att. Asinhronā elektrodzinēja pētniecības stenda elektriskā shēma:

1 – voltmets, 2 – ampērmetrs, 3 – vatmets, 4 – strāvas kņabiles, 5 – strāvas datu logeris,  
6 – asinhronais elektrodzinējs, 7 – temperatūras datu logeris, 8 – dators, 9 – līdzstrāvas ģenerators,  
10 – lampu reostats

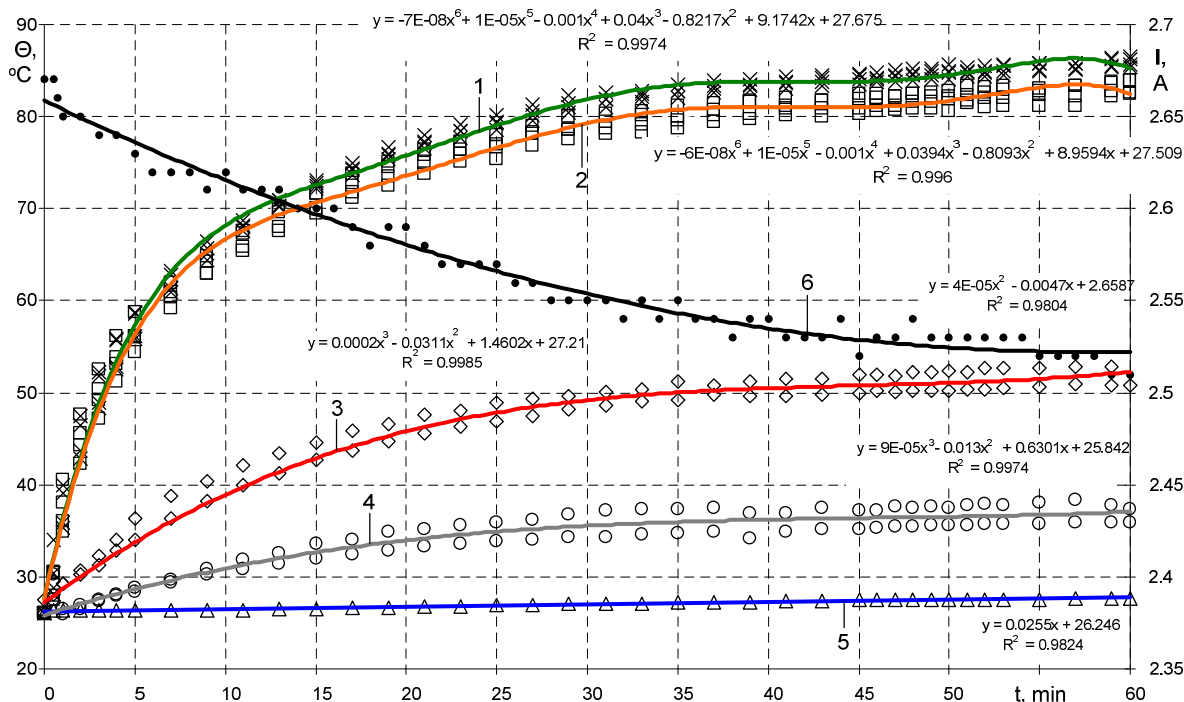
1. tabula. Eksperimentu elektriskie mērījumi

Darba režīms	$I_s, \text{A}$			$U_s, \text{V}$			Ieejas jauda, W	$k_i$	Izejas jauda, W
	A	B	C	A	B	C			
Nominālais 1	2.7	2.7	2.65	228	230	227	1280	0.95	800
Nominālais 2	2.75	2.7	2.65	230	231	229	1320	0.95	830
Pārslodze 1	3.2	3.15	3.2	228	228	226	1490	1.13	1120
Pārslodze 2	3.2	3.2	3.15	228	229	227	1520	1.13	1130

## Rezultāti un diskusija

Pētāmā asinhronā dzinēja silšanas process pie nominālās slodzes ir parādīts 2. attēlā. Sākumā elektrodzinēja visu daļu temperatūra ir vienāda ar vides temperatūru – 26°C. Slodzes koeficients  $k_i = I_s / I_{nom} = 2.67 / 2.8 = 0.95$ .

Tinumu temperatūra vārpstas pusē ir līdz 6°C lielāka nekā ventilatora pusē, jo ir atšķirīga siltuma atdeve. Ventilatora puse dzesēšanas apstākļi ir labāki gaisa plūsmas dēļ, kuru rada ventilators, un tāpēc tinumu temperatūra ventilatora pusē ir zemāka nekā vārpstas pusē. Korpusa temperatūra vārpstas pusē aiz pieslēgšanas kārbas, kur ventilatora radīta gaisa plūsma netiek, ir 52°C, korpusa temperatūra ventilatora pusē – 37°C. Līdz ar to var secināt, ka ventilatora loma elektrodzinēju dzesēšanas procesā ir svarīga.



2. att. Asinhrono dzinēju silšanas process pie nominālās slodzes:

1 – tinumu temperatūra vārpstas pusē, 2 – tinumu temperatūra ventilatora pusē, 3 – korpusa temperatūra vārpstas pusē, 4 – korpusa temperatūra ventilatora pusē, 5 – vides temperatūra, 6 – strāva statora tinumos

Eksperimenta laikā elektriskā strāva statora tinumos samazinās, pieaugot tinumu temperatūrai, jo palielinās tinumu aktīvā pretestība. Strāvas atkarību no statora tinumu temperatūras apraksta vienādojums (3. att):

$$I_{\theta} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^3 + 0.0003 \cdot \theta^2 + 0.0129 \cdot \theta + 2.8639, \quad (1)$$

kur  $\theta$  – tinumu temperatūra, °C;  
 $I_{\theta}$  – tinumos plūstoša strāva, A.

Pēc grafika var redzēt, ka strāva samazinājās par 6%.

Tinumu aktīvās pretestības atkarību no temperatūras var aprakstīt ar sekojošu izteiksmi [5]:

$$R_{\theta} = R_{\theta_0} [1 + \alpha(\theta - \theta_0)], \quad (2)$$

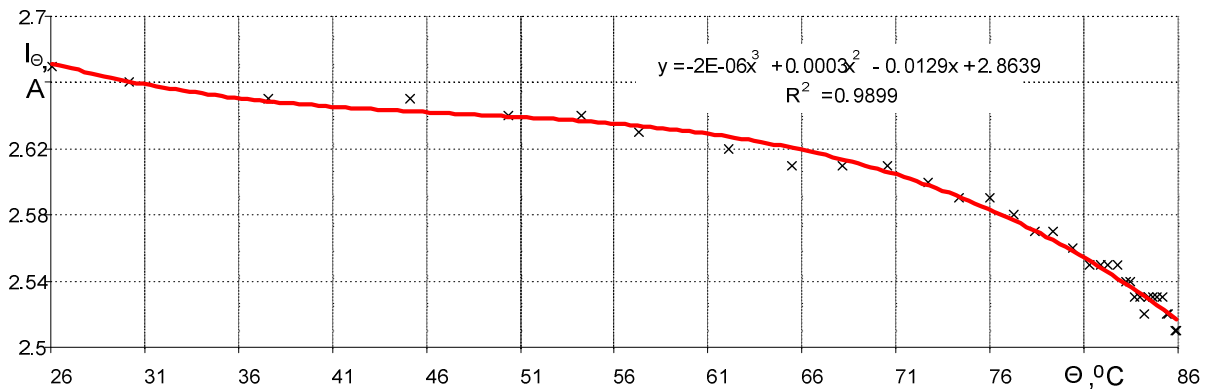
kur  $\theta_0 = \theta_v$  – tinumu temperatūra pie sākuma nosacījumiem, vienāda ar vides temperatūru, °C;  
 $\alpha = 4.26 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  – vara pretestības temperatūras koeficients;  
 $R_{\theta}$  – tinumu aktīvā pretestība,  $\Omega$ ;  
 $R_{\theta_0}$  – tinumu aktīvā pretestība pie sākuma temperatūras,  $\Omega$ .

Statora tinumu vienas fāzes izmērītā aktīvā pretestība pie vides temperatūras  $\theta_v = (22 \pm 2^\circ\text{C})$  ir  $R_{\theta_0} = (7.9 \pm 0.05) \Omega$ .

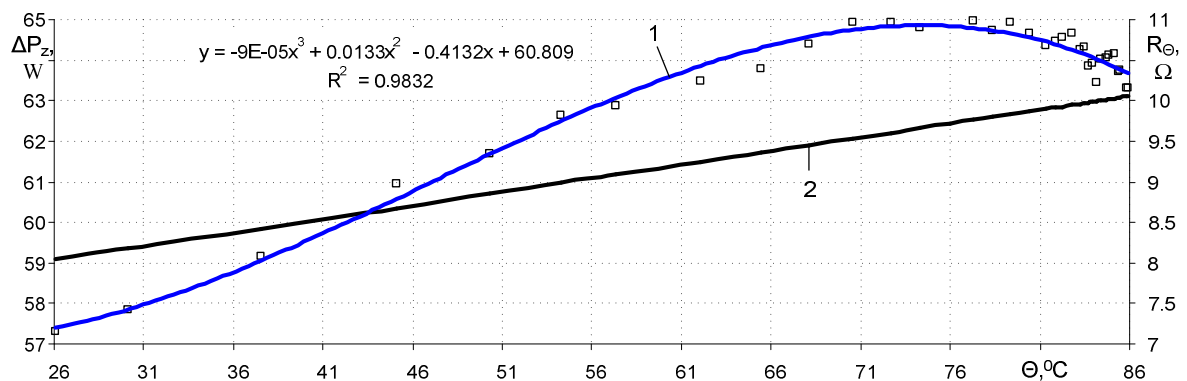
Izmantojot izteiksmes (1, 2) vienas fāzes elektriskos zudumus  $\Delta P_z$  (W), kuri izdalās kā siltums un uzsilda statora tinumus, var būt izteikti sekojoši, ievērojot, ka barošanas tīkla spriegums eksperimenta laikā ir konstants [5]:

$$\Delta P_z = I_\theta^2 \cdot R_\theta = (2 \cdot 10^{-6} \cdot \theta^3 + 0.0003 \cdot \theta^2 + 0.0129 \cdot \theta + 2.8639)^2 \cdot R_{\theta_0} [1 + \alpha(\theta - \theta_0)] \quad (3)$$

Izmantojot zudumu vienādojumu (3), iegūta vienas fāzes elektrisko zudumu atkarību no tinumu temperatūras (4. att.).



3. att. Tinumos plūstošas strāvas stipruma atkarība no tinumu temperatūras



4. att. Elektrisko zudumu un aktīvas pretestības atkarība no tinumu temperatūras:

1 – elektrisko zudumu jauda, 2 – tinumu aktīva pretestība

Grafiskā analīze parāda, ka elektrisko zudumu jauda palielinās, palielinoties tinumu temperatūrai un ekstrēma punktu sasniedz pie  $75^\circ\text{C}$ . Tinumu elektrisko zudumu pieaugums, ja  $\theta_0 = 26^\circ\text{C}$  un  $\theta = 86^\circ\text{C}$ :

$$\Delta P_z (\%) = \left[ \frac{\Delta P_z(\theta)}{\Delta P_z(\theta_0)} - 1 \right] \cdot 100\% = \left[ \frac{63.3}{57.3} - 1 \right] \cdot 100\% = 10.5\%$$

Aktīvās pretestības grafiskā analīze, izmantojot izteiksmi (2), parāda, ka tinumu vienas fāzes aktīva pretestība palielinās, palielinoties tinumu temperatūrai. Tinumu aktīvās pretestības pieaugums, ja  $\theta_0 = 26^\circ\text{C}$  un  $\theta = 86^\circ\text{C}$ :

$$\Delta R_\theta (\%) = \left[ \frac{R_\theta(\theta)}{R_\theta(\theta_0)} - 1 \right] \cdot 100\% = \left[ \frac{10.1}{8} - 1 \right] \cdot 100\% = 26.2\%$$

### Secinājumi

1. Asinhrono elektrodzinēju jutīgākā daļa pret termiskām pārslodzēm ir statora tinumi, sevišķi to pieres daļas vārpstas pusē, kur ir visaugstākā nostabilizējusies temperatūra, kas pie nominālas slodzes ir vismaz par 5% augstāka nekā ventilatora pusē sakarā ar pasliktinātu dzesēšanu. Tādēļ, izvēloties termiskās aizsardzības ierīci, temperatūras sensori jāuzstāda tinumu pieres daļās, kas atrodas pretējā pusē dzesēšanas ventilatoram.
2. Nomināli slogota asinhronā elektrodzinēja 4AX80A4Y3 tinumu silšanas procesa raksturlīkņu matemātiskā analīze parāda, ka elektrisko zudumu jauda  $\Delta P_z$ , kura galvenokārt nosaka tinumu silšanu, nav konstants lielums, bet tā būtiski palielinās (par 11.5%), paaugstinoties tinumu temperatūrai no 26°C līdz 75°C, kas jāņem vērā sastādot elektrodzinēja termisko modeli.

### 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 58<sup>th</sup> Annual Conference "Protective Relay Engineers", Black & Veatch Corporation, Kansas City, USA, 2005, pp. 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. Mukhopadhyay S.C. Prediction of Thermal Condition of Cage-Rotor Induction Motors under Non-Standard Supply Systems. International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, Vol. 2, No. 3, 2009, pp. 381 – 395.
4. Solveson M.G., Mirafzal B., Demerdash N.A.O. Soft-Started Induction Motor Modeling and Heating Issues for Different Starting Profiles Using a Flux Linkage ABC Frame of Reference. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 42, No. 4, 2006, pp. 973 – 983.
5. Šnīders A., Straume I. Automātiskā Elektriskā Piedziņa. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitātes Tehniskā fakultāte, 2008. 164 lpp.