



**Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte
Tehniskā fakultāte**

LBTU TF studentu un maģistrantu zinātniskā konference 2023

Inženierzinātņu sekcija

2023. gada 21. aprīlī



Jelgava 2023

Programmas komiteja

Dainis Berjoza
Ilmārs Dukulis
Vitālijs Osadčuks
Dace Rotgalve Birziete

Konferences moderatori

Vadītājs: Dainis Berjoza
Vadītāja vietnieks: Ilmārs Dukulis

Recenzenti

Dainis Berjoza; Ainārs Galiņš; Aivars Kaķītis; Vitālijs Osadčuks; Jānis Palabinskis; Vilnis Pīrs;
Raimunds Šeļegovskis; Ruslans Šmigins; Kaspars Vārtukapeinis; Mārtiņš Ziemeļis

SATURS - CONTENT

| | |
|---|----|
| Artūrs Alhasovs, Juris Priekulis LOPBARĪBAS IZDALES PĒTĪJUMI SLAUCAMO GOVJU FERMĀS STUDIES ON DISTRIBUTION OF FODDER MIXTURES IN DAIRY COW FARMS..... | 4 |
| Līga Benīte, Jānis Bērziņš CENTRALIZĒTĀS SILTUMAPGĀDES ZEMA POTENCIĀLA SILTUMENERĢIJAS IZMANTOŠANA PRIVĀTMĀJAS APKUREI THE USE OF THE DISTRICT HEATING LOW-POTENTIAL HEAT ENERGY FOR PRIVATHOUSE HEATING | 9 |
| Andrejs Bite, Vilnis Pīrs DIVTAKTU MOTOCIKLA IZPLŪDES SISTĒMAS UZLABOŠANA IMPROVEMENT OF TWO-STROKE MOTORCYCLE EXHAUST SYSTEM..... | 16 |
| Dāvis Artūrs Bite, Ainārs Galiņš ALTERNATĪVĀS ENERĢIJAS SPĒKSTACIJA LAUKU VIENSĒTAI ALTERNATIVE ENERGY POWER PLANT FOR RURAL FARM..... | 22 |
| Viktors Dreimanis, Liene Kanceviča, Indulis Straume (konsultants) PĀRTIKAS PĀRPALIKUMU UN PAPĪRU PUTEKĻU POTENCIĀLS BIOGĀZES IEGŪŠANAI BIOGAS POTENTIAL BY CO-FERMENTING FOOD AND PAPER WASTE | 28 |
| Artis Einštāls, Dainis Berjoza SOLĀRĀS ENERĢIJAS KATAMARĀNA PIELĀGOŠANA EKSPERIMENTIEM ADAPTATION OF SOLAR ENERGY CATAMARAN TO EXPERIMENTS | 33 |
| Mārtiņš Elsiņš, Kārlis Banis METODIKĀS IZSTRĀDE GĀZU PLŪSMAS MĒRĪŠANAS IEKĀRTAS ĢEOMETRISKO PARAMETRU IETEKMES NOVĒRTĒŠANAI DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR ASSESSING THE INFLUENCE OF THE GEOMETRICAL PARAMETERS OF A GAS FLOW MEASUREMENT DEVICE..... | 39 |
| Māris Ginters, Māris Mangalis SLAUKŠANAS ROBOTA IZMANTOŠANAS EFEKTIVITĀTES PĒTĪJUMI STUDIES ON THE EFFICIENT USE OF MILKING ROBOTS | 45 |
| Salvis Saulvedis Ivanovs, Daina Kanaška ĢENERATĪVAIS DIZAINS KONSTRUKTĪVO RISINĀJUMU OPTIMIZĀCIJAI GENERATIVE DESIGN FOR OPTIMIZATION OF CONSTRUCTIVE SOLUTIONS | 51 |
| Lauris Melders, Aivars Birkavs OGLEKĻA DIOKSĪDA IZMEŠU UZKRĀŠANAS UN UTILIZĀCIJAS IESPĒJAS AUTOSERVISA UZŅĒMUMOS POSSIBILITIES OF CARBON DIOXIDE COLLECTION AND UTILIZATION IN CAR SERVICE COMPANIES..... | 57 |
| Ģirts Sula, Kaspars Vārtukapteinis TRADICIONĀLĀS UN MINIMĀLĀS AUGSNES APSTRĀDES TEHNOLOĢIJU VĒRTĒJUMS TRADITIONAL AND MINIMAL TILLAGE TECHNOLOGY ASSESSMENT..... | 62 |
| Pēteris Zelčs, Juris Priekulis LOPBARĪBAS SAGATAVOŠANAS RISINĀJUMI AITKOPĪBAS NOZARĒ FORAGE PREPARATION SOLUTIONS FOR THE SHEEP SECTOR | 69 |
| Ēriks Žukovskis, Imants Plūme BIOGĀZES RAŽOŠANAS PAZEMINĀTĀS TEMPERATŪRĀS MEZOFĪLAJĀ REŽĪMĀ BIOGAS PRODUCTION AT REDUCED TEMPERATURES IN THE MESOPHILIC | 75 |

LOPBARĪBAS IZDALES PĒTĪJUMI SLAUCAMO GOVJU FERMĀS

STUDIES ON DISTRIBUTION OF FODDER MIXTURES IN DAIRY COW FARMS

Artūrs Alhasovs

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

Juris Priekulis

Zinātniskais vadītājs, profesors, Dr.sc.ing.

Abstract. The research found out the real situation in dairy cow farms, which is related to the way of keeping, milking and the used type of feed distribution. As a result of the research, it has been established that in a large part of dairy farms in Latvia, cows are kept tied, and feed is distributed by hand. Robotic equipment is used relatively little on farms in Latvia, as it is a relatively expensive investment. The study proves that by increasing the number of cows and modernizing the distribution of feed, higher milk yields can be obtained and labour consumption can be reduced.

Atslēgas vārdi: lopbarības izdāle, precīzā tehnoloģija, ražošana, piena lopkopība

Ievāds

Piena lopkopība ir viens no nozīmīgākajiem lauksaimniecības ražošanas virzieniem Latvijā. Pēc pēdējo gadu statistikas datiem, Latvijā reģistrēto kopējo slaucamo govju saimniecību vidējie piena izslaukumi palielinās [2]. Viens no galvenajiem iemesliem govju produktivitātes pieaugumam saistās ar pilnvērtīgu govju ēdināšanu.

Lopbarības izdāle sastāda aptuveni 30% no kopējās piena pašizmaksas. Ir būtiski slaucamās govīs apgādāt ar visām nepieciešamajām barības vielām, kas nodrošina labu govju veselību un vienlīdz arī augstus piena izslaukumus. Taču lopbarības izdālei nepieciešams salīdzinoši liels darba patēriņš, tāpēc nepieciešams lopbarības izdāles procesu mehanizēt un pēc iespējas modernizēt.

Modernās tehnikas izmantošanai ir arī citas priekšrocības: tā atvieglo dzīvnieku labturības prasību ievērošanu un precīzās lopkopības ieviešanu, kas perspektīvā uzlabo arī piena ražošanas ekonomiskās efektivitātes rādītājus.

Tomēr lopbarības izdāles procesu modernizēšana Latvijas saimniecībās nav tik vienkārša pie esošās vispārējās piena lopkopības situācijas. Un tāpēc šī pētījuma mērķis ir noskaidrot galvenās problēmas iespējai modernizēt barības izdāles procesu.

Materiāli un metodes

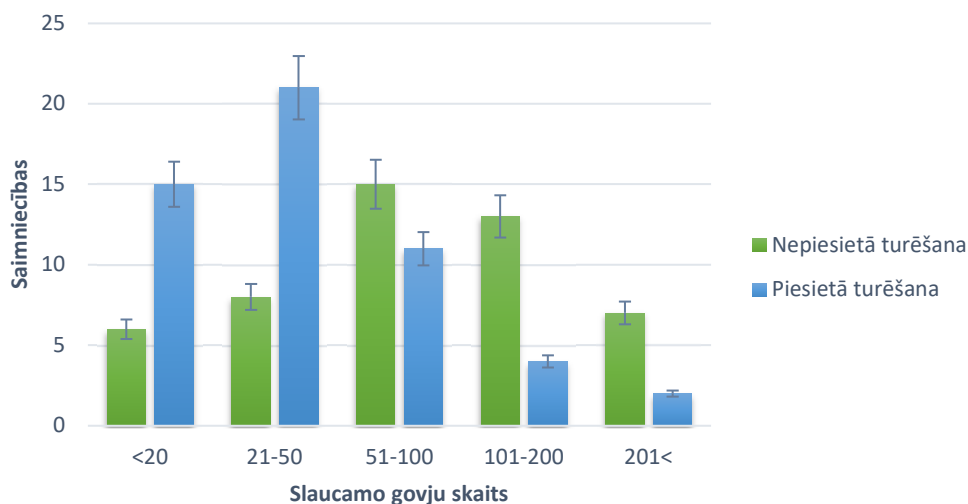
Pētījumā tika noskaidrota Latvijas pašreizējā reālā situācija un apstākļi slaucamo govju saimniecībās, kas saistās galvenokārt ar govju turēšanas veidu liellopu mītnēs, ēku konstrukciju īpatnībām, govju vidējiem izslaukumiem, ēdināšanu, kā arī lopbarības izdalīšanas veidu. Lai to izdarītu, tika izveidota anketa, kuru bija iespējams aizpildīt jebkuram slaucamo govju turētājam, lai dalītos pieredzē un raksturotu situāciju savā saimniecībā. Anketa tika izplatīta interneta vidē. Saimniekiem lūdzām atbildēt uz sekojošiem jautājumiem.

- Saimniecības atrašanās vieta (novads)?
- Slaucamo govju skaits saimniecībā?
- Govju vidējais piena izslaukums gadā?
- Govju turēšanas veids saimniecībā?
- Govju slaušanas veids?
- Lopbarības izdāles veids?
- Lopbarības izdāles agregāta, kādu pielietojat saimniecībā, ražotāja firma?
- Izmantotais zālaugu konservēšanas veids?
- Izmantotās barības komponentes govju ēdināšanā?
- Galvenie iemesli barības izdāles modernizēšanai?
- Modernizētās tehnoloģijas trūkumi?
- Galvenie iemesli, kādēļ nav iespējama barības izdāles mehanizēšana un modernizēšana Jūsu saimniecībā?

Apkopojot anketas rezultātus no 102 respondentu atbildēm no dažādu novadu saimniecībām ar dažādiem saimniecības lielumiem, produktivitātes rādītājiem un citiem parametriem, tika analizēta situācija saimniecībās, slaucamo govju turēšanas, ēdināšanas un slaukšanas tendences, kas raksturo nepieciešamību un problēmas procesa modernizēšanai.

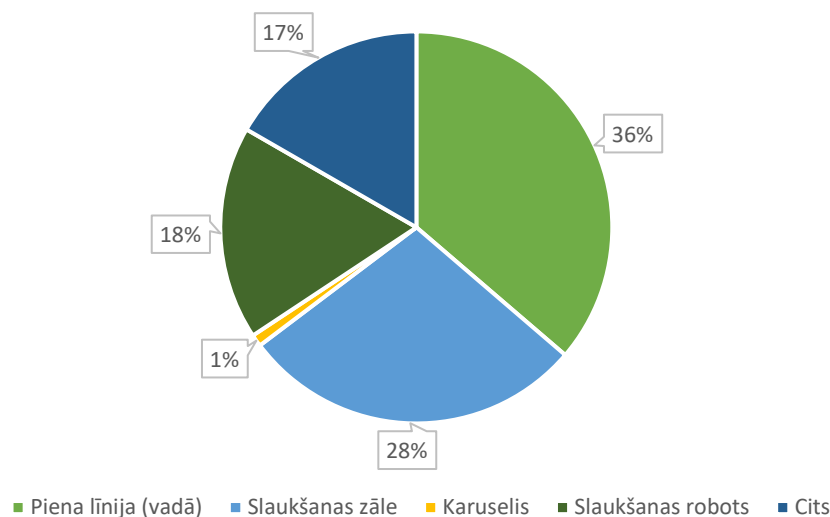
Rezultāti un diskusija

Saimniecību vidējais lielums Latvijā pēc vidējā slaucamo govju skaita saimniecībā, spriežot pēc aptaujas datiem, ir no 20 līdz 50 govīm. Pie šāda dzīvnieku skaita visbiežāk ir rentabli fermā notiekošos procesus mehanizēt. Taču pētījums rāda, ka liela daļa saimniecību joprojām izmanto piesietās turēšanas veidu, kas apgrūtina dažādu procesu mehanizēšanu, visbiežāk fermas konstruktīvā izveidojuma dēļ.



1. att. Slaucamo govju turēšanas veids saimniecībās

Vairāk nekā puse jeb 52% aptaujāto saimniecību lieto piesieto turēšanu. Grafiks parāda, ka, pieaugot slaucamo govju skaitam, piesietā tipa turēšanas veida īpatsvars samazinās. Tas skaidrojams ar to, ka nepiesietās turēšanas fermās procesus ir vieglāk mehanizēt, vairāk tiek domāts par govju labturības prasību ievērošanu un nepieciešams mazāks darbaspēka patēriņš.

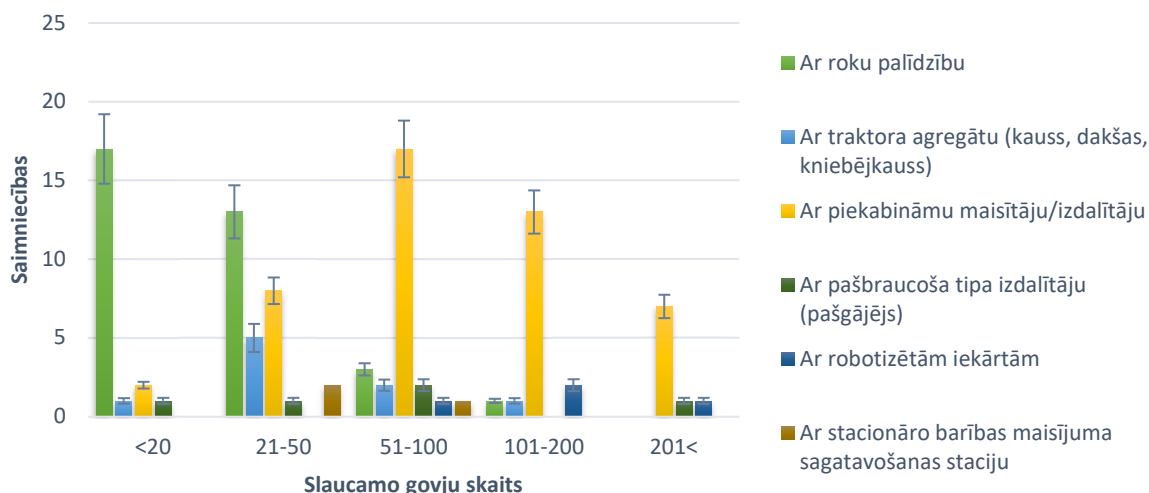


2. att. Govju slaukšanas veidi saimniecībās

Attēlā nr. 2 redzams, ka vairāk nekā puse aptaujāto saimniecību slaukšanai patērē lielu roku darbu. To rāda 36% gadījumu, kad slaukšana notiek piena vadā. Slaukšana piena vadā prasa salīdzinoši ilgāku laiku, jo nav iespējams izslaukt pietiekami daudz govju vienā piegājienā, ja šo operāciju izpilda viens

cilvēks, zūd darba ražīgums un pieaug darbaspēka patēriņš un izmaksas. Bet 28% gadījumu izmanto slaukšanas zāli, kurā iespējams izslaukt govīs īsākā laikā, samazinot darba patēriņu. Atbilžu variantā "Cits" saimniecības norādījušas slaukšanas veidu kannās, kur pie katra govīs tiek izslaukta atsevišķā kannā un piens pārvietots ar rokām līdz dzesēšanas vietai. Taču šajās saimniecībās slaucamo govju skaits svārstās no 15 līdz 30 govīm.

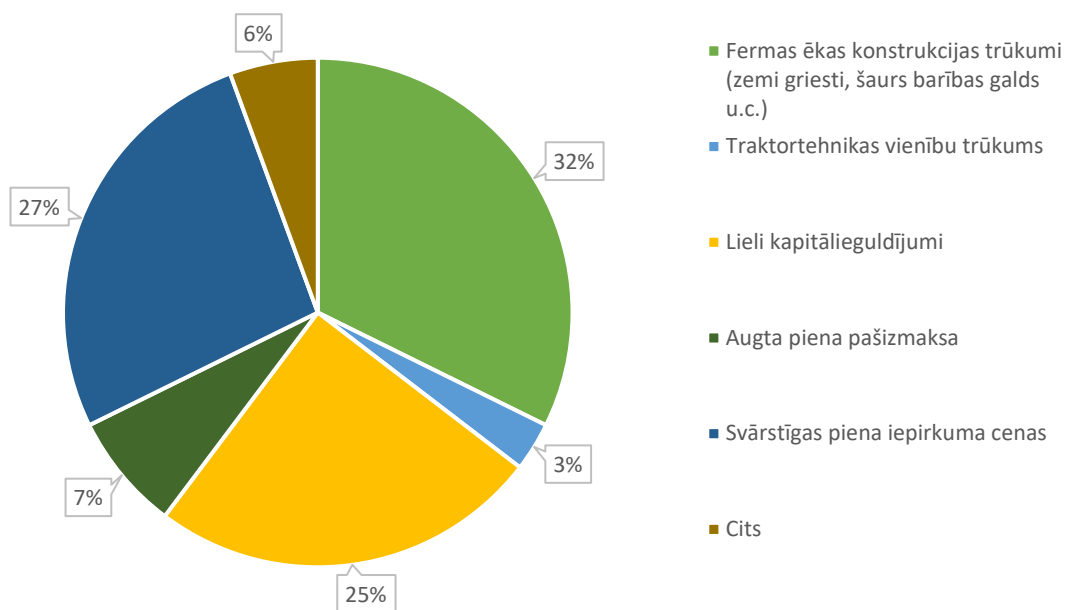
Barības uzglabāšanas veida ziņā vairāk nekā 57% aptaujāto barību konservē un glabā rituļos. Tie visbiežāk ir siens, salmi un skābsiens. Rituļu priekšrocība ir tāda, ka tos ir vieglāk pārvietot, to pārvietošanai nav nepieciešama ļoti jaudīga tehnika. Taču pieaugot liellopu skaitam nepieciešams lielāks daudzums barības. Šādā situācijā rentablāk barību uzglabāt ir stirpās, kas pārklātas un nosegtas ar plēvi [3], dēļ augstām rituļu plēves izmaksām.



3. att. Barības izdales veidi atkarībā no govju skaita

Skaidri redzams, ka, palielinoties slaucamo govju skaitam, arvien vairāk tiek mehanizēta barības izdāle. Tā atvieglo strādājošo darbu, kā arī uzlabo izēdināmās barības daudzveidību, jo iespējams apvienot vairākas barības komponentes vienā.

Taču barības izdales procesu mehanizēšana un modernizēšana saimniecību vidū nešķiet tik vienkārša, jo tā saistās ne tikai ar jaunas tehnikas iegādi, bet būtisks faktors ir arī fermas konstruktīvais izveidojums, kāpēc nav iespējama procesu mehanizēšana.



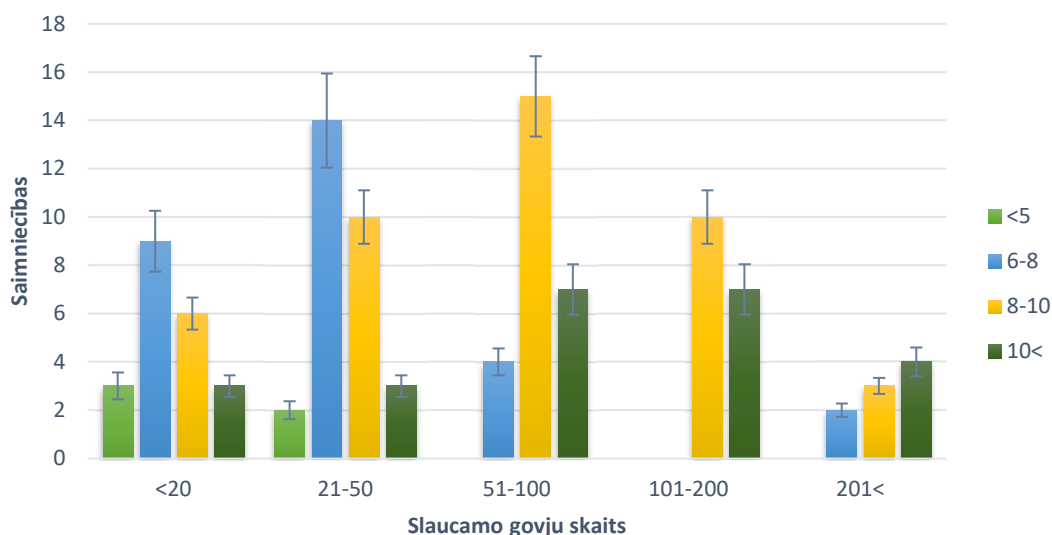
4. att. Lopbarības izdales modernizēšanas problēmas

Taču liela problēma vēlmei mehanizēt un modernizēt notiekošos procesus saimniecībā ir lieli kapitālieguldījumi, par kuriem ir šaubas, vai tie atmaksāsies. Jau šobrīd piena pašizmaksā pilnvērtīga govju ēdināšana sastāda ap 25-30% no piena iepirkuma cenas [3]. Visbiežāk mazās saimniecībās procesi netiek mehanizēti. Ļoti liela daļa saimniecību jaunu govju mītņu izbūvē paredz iespējas procesus modernizēt, taču tas visbiežāk saistās ar iespēju pretendēt un ES līdzfinansējumu, par ko liecina sniegtā atbilde 13% gadījumu.

Slaucamo govju produktivitātes pamatā ir pilnvērtīga govju ēdināšana, kas noskaidrots jau iepriekš. To iespējams panākt lietojot mehanizētas barības maisījuma sagatavošanas un izdales tehniku. Taču lielas grūtības pieņemt pareizo lēmumu, kādu barības izdales tehnoloģiju izvēlēties, jāņem vērā galvenokārt slaucamo govju skaits, cik vienā reizē varēs sagatavot barības maisījumu, izmantotais barības konservēšanas veids, kā arī mašīnizmaksu, kapitālieguldījumu un darbaspēka izmaksas. Jāņem vērā arī iegūtā peļņa, ko iegūst no papildus peļņas govju produktivitātes uzlabošanā. Veicot visus nepieciešamos aprēķinus, nepieciešams arī aprēķināt ieguldītā kapitāla atmaksāšanās laiku pēc formulas:

$$T_k = \frac{K_j}{E + PP} \quad (1)$$

kur T_k – uzņēmumā ieguldītā kapitāla atmaksāšanās laiks, gados;
 K_j – vajadzīgie īpatnējie ieguldījumi, EUR;
 E – izdevumu īpatnējā ekonomija, EUR;
 PP – papildus peļņa, EUR gadā.



5. att. Izslaukuma pieaugums atkarībā no slaucamo govju skaita

Pētījumi rāda, ka palielinoties slaucamo govju skaitam, nepieciešama fermā notiekošo procesu mehanizēšana, govju labsajūtas prasību nodrošināšana un, galvenokārt, pilnvērtīga barības maisījuma izdalīšana. Lietojot pareizi sagatavotu barības maisījumu, govīs apēd ievērojami vairāk, tāpēc palielinās arī piena ieguve, kas nodrošina izslaukumu palielinājumu par 500-2000 kg gadā no govīm un piena olbaltumvielu satura palielinājumu vidēji par 0,4% [1].

Kā redzams 5. attēlā, saimniecībās ar lieliem ganāmpulkiem, mēdz būt augstāks govju ražīgums, kas visnotaļ skaidrojams ar precīzo barošanas tehnoloģiju pielietošanu, ko iespējams panākt ar pilnvērtīga barības maisījuma izdalīšanu.

Pēc iepriekšējiem pētījumiem ekonomiski izdevīgākais barības izdales risinājums pie attiecīgo govju skaita ir [1]:

- ar piekabīnāmu maisītāju/izdalītāju sākot ar 40-50 govīm;
- pašbraucošie barības izdalītāji sākot no 350-400 govīm;
- un barības maisījuma izdales roboti sākot no 50-70 govīm.

Secinājumi

1. Pētījuma gaitā noskaidrots, ka lielai daļai saimniecību lopbarības izdales procesu ir nepieciešams mehanizēt vai modernizēt. Taču tas bieži saistās ar labu darbinieku trūkumu mazāk apdzīvotajos reģionos.
2. Lielu īpatsvaru no kopējo saimniecību skaita Latvijā sastāda mazās saimniecības, kurās visbiežāk barības izdales mehanizēšanai izmaksas neatmaksājas.
3. Palielinoties slaucamo govju skaitam, nepieciešams uzlabot govju labturības prasības, kas saistās ar turēšanas apstākļiem un pareizu govju ēdināšanu, kā rezultātā pieaug slaucamo govju produktivitāte.
4. Viena no galvenajām problēmām vēlmei mehanizēt barošanas tehnoloģiju, ir svārstīgā situācija piena tirgū, kas veicina saimnieku bažas par ilgtermiņa kapitālieguldījumu atmaksāšanos.
5. Robotizēto lopbarības izdales tehnoloģiju ieviešana saimniecībās ir salīdzinoši dārga, tāpēc tā ir nepopulāra Latvijas saimniecībās.

Izmantotie informācijas avoti

- [1] Priekulis J. Moderna piena ražošanas ferma. Jelgava: LLU, 2013, 240 lpp.
- [2] Latvijas lauksaimniecība. Statistisko datu krājums 2022. [tiešsaiste] [30.03.202]. Pieejams:https://admin.stat.gov.lv/system/files/publication/2022-06/Nr_15_Latvijas_Lauksaimnieciba_2022_%2822_00%29_LV_EN_0.pdf
- [3] Priekulis J., Strautnieks N. Lauksaimniecības darbu mehanizācijas ekonomiskais vērtējums. Jelgava: LLU, 2000. 29 lpp.
- [4] Salins A., Freimanis M., Priekulis J. Preparation and distribution of forage mix using mobile machinery. /10th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development". Proceedings, Volume 10. Jelgava, Maijs 26-27, 2011, pp. 59-63.

CENTRALIZĒTĀS SILTUMAPGĀDES ZEMA POTENCIĀLA SILTUMENERĢIJAS IZMANTOŠANA PRIVĀTMĀJAS APKUREI

THE USE OF THE DISTRICT HEATING LOW-POTENTIAL HEAT ENERGY FOR PRIVATHOUSE HEATING

Līga Benīte

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrante

Jānis Bērziņš

Zinātniskais vadītājs, vieslektors, Mg.sc.ing.

Abstract: One of the most important issues, which are solving heat supply companies, is to improve the operation of district heating (DH) system, for example, by reducing heat losses and attracting more consumers. The purpose of the study is to find out the sufficiency of the DH return temperature to provide the necessary heat energy for a low-energy building, as well as the possible benefit of reducing heat loss in the DH system. The study analyzes the existing private house's consumption and area's DH system parameters, which are further used in the theoretical calculations and evaluation of the proposed solution, where private house connected to DH return network. In existing area's DH return temperature is about from 42°C to 46°C, but average DH system heat loss in the 1.8 km section is from 39 kW to 60 kW. As a result, it is possible to reduce area's DH return network temperature by 0.03°C to 0.18°C, but heat loss can be reduce by up to 0.17%.

Atslēgas vārdi: Centralizētā siltumapgāde, atpakaļgaitas temperatūra, privātmājas apkure, individuālais siltumpunkts, siltuma zudumi.

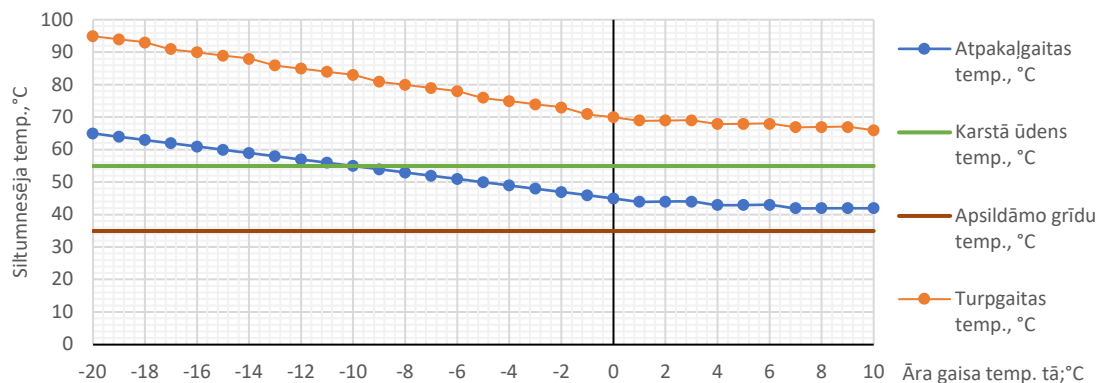
Ievads

Šobrīd Latvijā tiek pielietota 3. paaudzes CSA sistēma, kur siltumnesēja turpgaitas temperatūra ir vidēji no 90°C līdz 80°C, bet atpakaļgaitas temperatūra – no 70°C līdz 60°C. Optimāla siltumtīklu turpgaitas un atpakaļgaitas temperatūra ir viens no svarīgākajiem jautājumiem, ko risina siltumapgādes uzņēmumi, jo atbilstošs siltumnesēja temperatūras režīms ietekmē siltumtrašu cauruļvadu diametru izvēli – jo augstāka siltumnesēja turpgaitas temperatūra, jo mazāks ir nepieciešamais siltumnesēja daudzums siltumenerģijas pārvadei, līdz ar to ir nepieciešams izvēlēties mazāku cauruļvada diametru. Taču palielinot turpgaitas temperatūru siltumtīklos, palielinās siltuma zudumi [1]. Kopumā siltuma zudumi Latvijā samazinās, kas saistīts ar siltumapgādes uzlabošanas pasākumiem, piemēram, siltumtīklu nomainīšana uz rūpnieciski izolētajām caurulēm, tai skaitā nomainot četrcauruļu sistēmu uz divcauruļu sistēmu, uzstādīti individuālie siltumpunkti. Centralizētās siltumapgādes pāriešana uz 4.paaudzes siltumapgādi ļautu samazināt siltuma zudumus siltumtrasēs, jo tiek samazināts turpgaitas temperatūra, kā arī ir plašākas iespējas izmantot dažāda veida siltummezglus un tos kombinēt ar citām tehnoloģijām, piemēram, akumulācijas tvertnēm, saules kolektoriem [1]. Tas būtu viens no variantiem kā varētu īstenot Latvijas Nacionālā enerģētikas un klimata plānā izvirzītos mērķus, kurā daži no plāna rīcības virzieniem ir palielināt centralizētās siltumapgādes (CSA) un lokālās siltumapgādes sistēmu izmantotāju skaitu, palielināt atjaunojamo energoresursu izmantošanu un uzlabot CSA sistēmas darbības efektivitāti [2]. Tas uzlabotu ne tikai pašus siltumtīklu darbības rādītājus, bet lielākas iespējas piesaistīt arī tādus patērētājus, kuru siltumenerģijas patēriņš ir zems, piemēram, privātmājas.

Pašlaik tiek veikti ļoti daudz pētījumi par pāriešanu uz zemas temperatūras siltumapgādes sistēmu un tās ieguvumiem. Kā vienu no piemēriem var minēt pētījumu Dānijā, kurā tika izvērtēts, vai 1930. gadā celtām privātmājām ir iespējams lielāko apkures sezonas laiku nodrošināt nepieciešamo apkuri ar turpgaitas temperatūru līdz 55°C, kā arī tika pētīts patērētāju ieradumi un apkures sistēmu traucējumi, kas varētu ietekmēt augstu atpakaļgaitas temperatūru. Rezultātā tika secināts, ka ir iespējams šādām ēkām nodrošināt nepieciešamo telpu temperatūru, izmantojot zemas temperatūras siltumapgādi ar temperatūru režīmu 55/30°C, un atpakaļgaitas temperatūra var būt no 25-30°C [3]. Savukārt, Lūstrupā, Dānijā privātmāju mikrorajonā tika īstenots pilotprojekts, kurā tika integrēta zemas temperatūras siltumapgādes sistēma esošajā centralizētajā siltumapgādē, sajaucot CSA sistēmas turpgaitas plūsmu ar atpakaļgaitas plūsmu, uzstādot papildus vārstus [4].

Jelgavas pilsētā CSA sistēmā turpgaitas temperatūra ir no 95°C līdz 70°C, bet atpakaļgaitas temperatūra no 65°C līdz 42°C, kas ir raksturīga CSA sistēmas 3. paaudzei. Saskaņā ar Jelgavas pilsētas siltumenerģijas piegādātāja SIA "Gren Jelgava" datiem uz 2018. gadu CSA sistēmai pieslēgto ēku platība bija 809 412 m², kas ir 38% no visas Jelgavas dzīvojamo ēku platībām. Pārējie 62% dzīvojamo

ēku, galvenokārt, sastāda individuāli apkurināmās ēkas. CSA sistēmai nepieslēgtajās individuālajās dzīvojamās ēkās Jelgavā pamatā apkure tiek nodrošināta ar malkas vai gāzes apkures katliem [5]. Tādēļ ir svarīgi izskatīt iespējas, kā CSA sistēmai piesaistīt arī patērētāju ar zemu enerģijas patēriņu.



1. att. Noteiktais SIA “Gren Jelgava” siltumnesēja temperatūras grafiks [6]

Kā redzams 1.attēlā, atpakaļgaitas siltumnesēja temperatūru grafiks spētu nodrošināt nepieciešamo siltumenerģiju zema patēriņa ēkās, kurās ir uzstādītas apsildāmās grīdas. Tomēr, lai nodrošinātu patērētājam 55°C temperatūru karstā ūdens sagatavošanai un izvairītos no *Legionella* baktērijas rašanās iespējamības, ir nepieciešams iesviest papildus risinājumu. Pētījumā tiek izvērtēts pie CSA sistēmas pieslēgtās zema patēriņa ēkas esošais patēriņš, kā arī CSA tīkla atpakaļgaitas sistēmas parametri, ar mērķi noskaidrot atpakaļgaitas siltumnesēja temperatūras pietiekamību, lai nodrošinātu privātmājai nepieciešamo siltumenerģiju, kā arī iespējamo ieguvumu siltuma zudumu samazinājumam CSA sistēmā, līdz ar to noskaidrotu, kāds būtu devums CSA tīklam pieslēdzot līdzīgas zema patēriņa ēkas.

Materiāli un metodes

Pētījuma veikšanai dati tiek apkopoti ar “Metbox” sistēmas palīdzību, kurā ir iespējams attālināti nolasīt siltumskaitītāja rādījumus no izvēlēta individuālā siltumpunkta. Lai noskaidrotu kāda ir zema patēriņa ēku pieslēgšanas iegumi pie atpakaļgaitas tīkla, pētījumā tiek izvēlēta CSA sistēmai pieslēgtā privātmāja, kura celta 2021.gadā un tās kopējā platība ir 207 m² ar diviem stāviem. Siltumtrases cauruļu diametrs ir DN25. Ēkas individuālā siltumpunktā uzstādītās jauda apkures vajadzībām ir 13 kW, bet karstā ūdens sagatavošanai ir 25 kW. Individuālajā siltumpunktā apkures sistēmas primārajā kontūrā tiek nodrošināta temperatūra no 105-70°C, bet sekundārajā 4 -30°C, taču karstā ūdens primārajā kontūrā tiek nodrošināta 65-25°C, bet sekundārajā kontūrā 55°-5°C. Ēkas pirmā stāva apsildei izmanto apsildāmās grīdas, bet otrajā stāvā – radiatorus. Konkrētā ēka tiek izvēlēta, jo tās siltumenerģijas patēriņš ir mazs, kā arī tā ir celta, ievērojot Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnikas būvnormatīvus. Lai izvērtētu CSA sistēmas rādītājus, tiek izvēlēts konkrētais rajons, kurā atrodas privātmāja. Izvēlētais rajons atrodas Jelgavas pilsētas Kreisajā krastā, un atzaram ir pieslēgti 23 patērētāji, kas ir daudzdzīvokļu ēkas un viena privātmāja.

Tālākai datu apstrādei no “Metbox” sistēmas tiek izvēlēti galvenie parametri – laika periods, plūsma, siltumnesēja unāra gaisa temperatūras un siltumenerģijas patēriņš. Pētījumā tiek izvēlēts 1 gada periods, no 2022.gada 1.februāra līdz 2023.gada 31.janvārim, un tiek atlasīti diennakts rādītāji. Tālāk šie dati tiek eksportēti MS Excel datnē, lai veiktu nepieciešamo analīzi un tos izmantotu turpmākajos aprēķinos. No atlasītajiem datiem, netika ņemti vērā mērījumi, kuros visu mērījumu vērtība bija 0 konkrētajā datumā, kas saistīts ar veiktajiem apkopes vai remontdarbiem, vai arī turpgaitas temperatūra bija zemāka par atpakaļgaitas temperatūru. Datu analīzei tiek izmantota regresijas analīze, kur pamatā tiek salīdzinātas siltumnesēja temperatūras, siltumenerģijas patēriņa un caurplūdes sakarības atkarībā no āra gaisa temperatūras. Rezultātā tiek iegūts regresijas vienādojums un korelācijas koeficienta kvadrāts, kas parāda sakarību ciešumu starp rādītājiem.

Pēc iegūto datu apstrādes ir nepieciešams noskaidrot, kāda ir CSA atpakaļgaitas tīkla temperatūras izmaiņa, pie tā pieslēdzot patērētāju. Aprēķinu vienādojuma sastādīšanai ir nepieciešams sastādīt siltuma daudzuma (1.formula) un siltumnesēja masas plūsmas bilances (2.formula).

$$Q_S = Q_m + Q_B, \quad (1)$$

kur Q_S – sākotnējais CSA atpakaļgaitas siltuma daudzums, J;
 Q_m – privātmājai nepieciešamais siltuma daudzums, J;
 Q_B – CSA atpakaļgaitas siltuma daudzums pēc pieslēguma, J;

$$G_S = G_1 + G_2 = G_B, \quad (2)$$

kur G_S – sākotnējā CSA atpakaļgaitas siltumnesēja masas plūsma, $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$;
 G_1 – siltumnesēja masas plūsma pieslēgumā uz privātmāju, $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$;
 G_2 – siltumnesēja masas plūsma posmā starp pieslēgumiem, $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$;
 G_B – siltumnesēja masas plūsma pēc pieslēguma, $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$;

Zinot nepieciešamo siltuma daudzumu privātmājai un turpgaitas temperatūru, tālākai aprēķina vienādojumam tiek pārveidota siltuma daudzuma aprēķina formula (3.formula)

$$T_2 = T_S - \frac{Q_m}{c \cdot G_1}, \quad (3)$$

kur T_2 – atpakaļgaitas temperatūra no privātmājas, K;
 c – ūdens īpatnējā siltumietilpība, $\text{J} (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$, tiek pieņemts $4187 \text{ J} (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$
 T_S – sākotnējā CSA atpakaļgaitas temperatūra, K;

Izmantojot augstāk minētās formulas, tiek sastādīta sekojoša izteiksme (4.formula) atpakaļgaitas tīkla temperatūras aprēķināšanai pēc privātmājas pieslēguma:

$$T_B = \frac{T_S \cdot G_S - \frac{Q_m}{c}}{G_S}, \quad (4)$$

kur T_B – CSA atpakaļgaitas temperatūra pēc pieslēguma, K;

Lai novērtētu piedāvātā pieslēguma devumu CSA sistēmai, ir nepieciešams veikt siltuma zudumu salīdzinājumu. Siltuma zudumu aprēķina (5.formula), ņemot vērā siltumtrases diametrus, siltumnesēja temperatūru starpību un grunts temperatūru atkarībā no āra gaisa temperatūras [7]

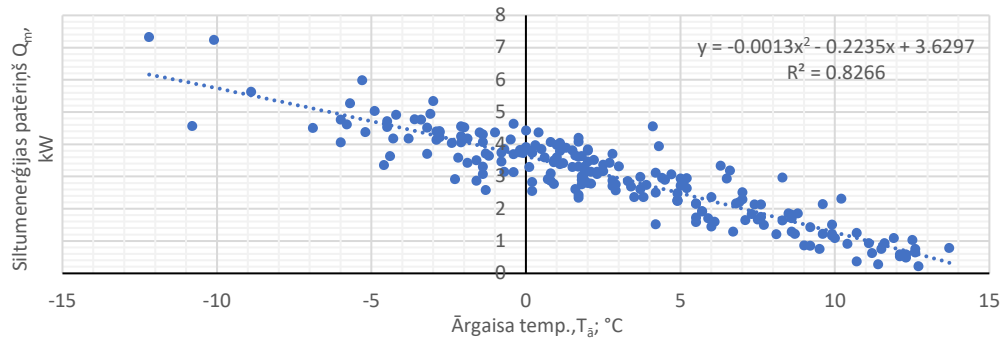
$$Q_Z = \frac{K \cdot (t_1 + t_2 - 2t_{gr}) \cdot L}{1000}, \quad (5)$$

kur Q_Z – siltuma zudumi, kW;
 t_1 – turpgaitas siltumnesēja plūsmas temperatūra, °C;
 t_2 – atpakaļgaitas siltumnesēja plūsmas temperatūra, °C;
 t_{gr} – grunts temperatūra, °C;
 L – nemainīga diametra siltumtrases garums, m
 K – kopējais cauruļvadu īpatnējais siltumvadītspējas koeficients, $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$

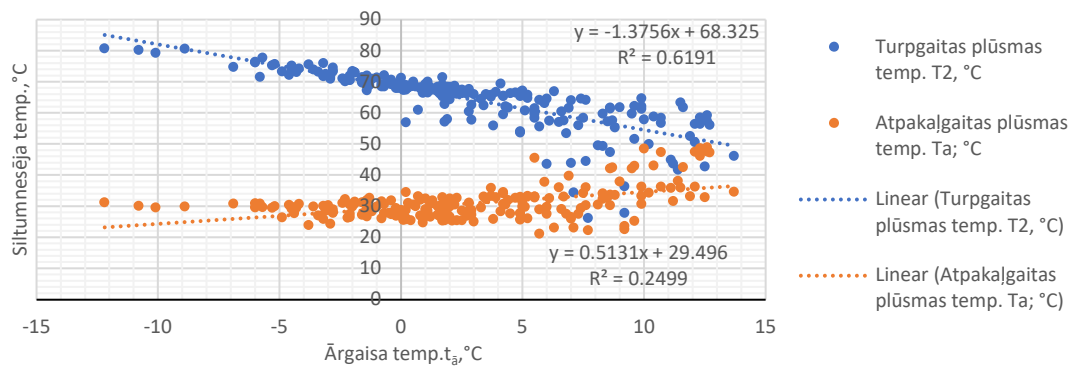
Rezultāti un diskusija

Tā kā vislielākais privātmājas siltumenerģijas patēriņš ir apkures vajadzībām, tādēļ šie rādītāji tiek atlasīti tieši apkures sezonā, kas tiek pieņemts no 1.oktobra līdz 30.aprīlim, kas ir 212 dienas. Šajā laika periodā (skat. 2.attēlu) vidējais diennakts siltumenerģijas patēriņš pie -5°C līdz $+5^\circ\text{C}$ āra gaisa temperatūras svārstās no vidēji 3 kW līdz 5.3 kW. Izņēmumu gadījumi ir aukstās dienas, kur piemēram pie -12.2°C āra gaisa temperatūras, enerģijas patēriņš sasniedza 7.32 kW.

Padotā turpgaitas temperatūra ir atkarīga no āra gaisa temperatūras (skat.3.attēlā). Turpgaitas temperatūras rādītāji pie āra gaisa temperatūras virs $5-7^\circ\text{C}$ ir izkliedēti, kā arī samazinās temperatūru starpība starp atpakaļgaitas temperatūru rādījumiem. Tas ir saistīts ar to, ka paaugstinoties āra gaisa temperatūrai patērētājiem ir zemāks siltumenerģijas patēriņš, un līdz ar to atpakaļgaitā temperatūra ir augstāka.

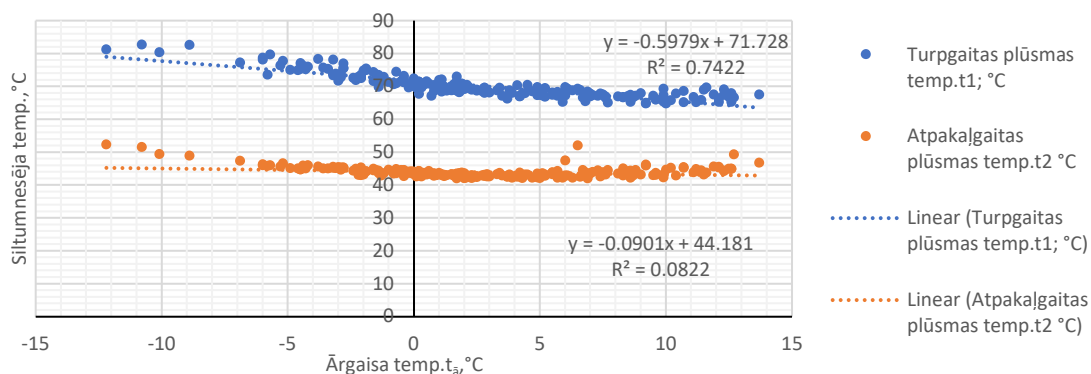


2. att. Ēkas siltumenerģijas patēriņš atkarībā no āra gaisa temperatūras apkures sezonā



3. att. Ēkas turpgaitas un atpakaļgaitas plūsmas temperatūras apkures sezonā.

Savukārt, rajona CSA turpgaitas siltumnesēja temperatūras izkliede salīdzinoši ar privātmājas temperatūru grafiku ir mazāka (skatīt 4.attēlu), taču temperatūra ir nedaudz augstāka, piemēram pie āra gaisa temperatūras -5.2°C turpgaitas temperatūra CSA tīklā ir 77.7°C , bet privātmājā tā ir 75.8°C , kas ir skaidrojams ar to, maģistrālajā siltumtrasē temperatūra būs augstāka, lai nodrošinātu pietiekamu turpgaitas temperatūru pie pārējiem patērētājiem. Jāņem vērā arī fakts, ka šie mērījumi “Metbox” sistēmā tiek nolasīti pie katra patērētāja, kuri tiek apkopoti un no tiem tiek ņemta vidējā vērtība visā rajonā.

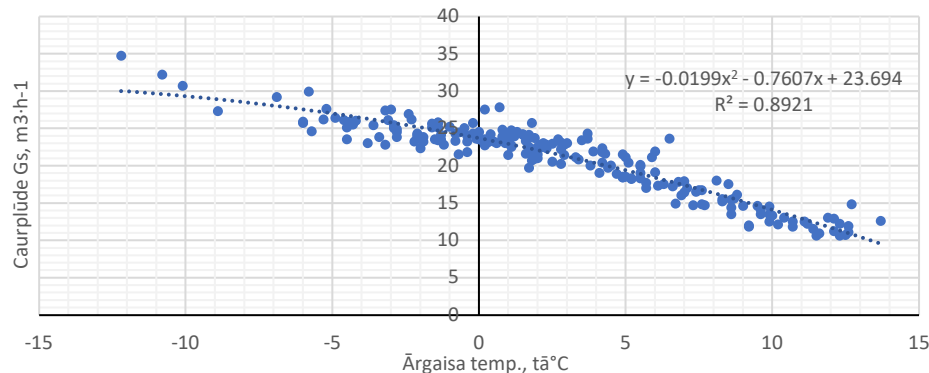


4. att. CSA rajona tīkla turpgaitas un atpakaļgaitas temperatūras atkarībā no āra gaisa temperatūras apkures sezonā

Atpakaļgaitas temperatūras konkrētajā CSA tīklā ir augstākas, salīdzinoši ar izvēlētajā privātmājas atpakaļgaitas temperatūras grafiku, piemēram pie -5.2°C āra gaisa temperatūras pilsētas rajona atpakaļgaitas temperatūra ir 46.6°C , savukārt privātmājai šis rādītājs ir 30.1°C . Tas ir skaidrojams ar to, ka šajā rajonā patērētāji ir daudzdzīvokļu ēkas, kuras ir nesiltinātas un ar novecojušu iekšējo apkures sistēmu, līdz ar to tās nespēj lietderīgāk izmantot siltumu no CSA tīkla, savukārt privātmāja ir celta 2021.gadā ievērojot nepieciešamās energoefektivitātes prasības, tādēļ tā spēj lietderīgāk izmantot nepieciešamo siltumenerģiju.

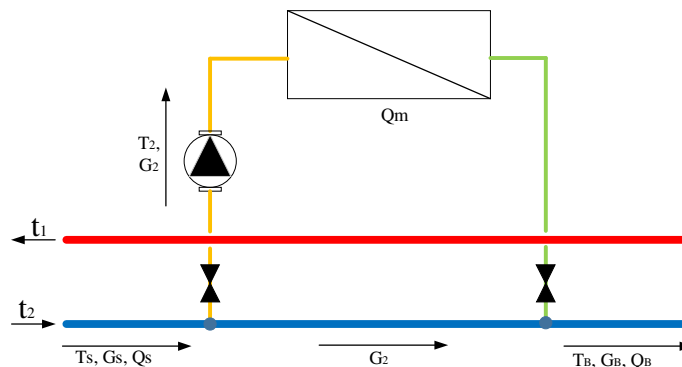
CSA tīklā caurplūde samazinās paaugstinoties āra gaisa temperatūrai, protams, šie rādītāji ir proporcionāli lielāki, sakarā ar to, ka maģistrālai siltumtrasei ir jānodrošina pietiekams plūsma un temperatūras visiem siltumenerģijas patērētājiem. Kā redzams 5.attēlā, tad piemēram pie -2.8°C āra gaisa temperatūras diennakts vidējā caurplūde rajona CSA tīklā ir $24.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, bet privātmājai ir $0.09 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Veicot nepieciešamo datu vākšanu, apstrādi un analīzi, var novērot, to ka rajona CSA atpakaļgaitas tīkla temperatūra ziemas periodā vidēji ir $42\text{-}46^{\circ}\text{C}$, kas var būt nepietiekama karstā ūdens sagatavošanai, taču tā ir pietiekama apkures vajadzībām. Tādēļ šajā pētījumā tiek izskatīts risinājums, kā šo siltumu var izmantot zema enerģijas patēriņa ēkas apkurei, izmantojot iegūtos un apstrādātos datus, ievērojot iegūtos regresijas vienādojumus.



5. att. CSA rajona tīkla caurplūde atkarībā no āra gaisa temperatūras apkures sezonā

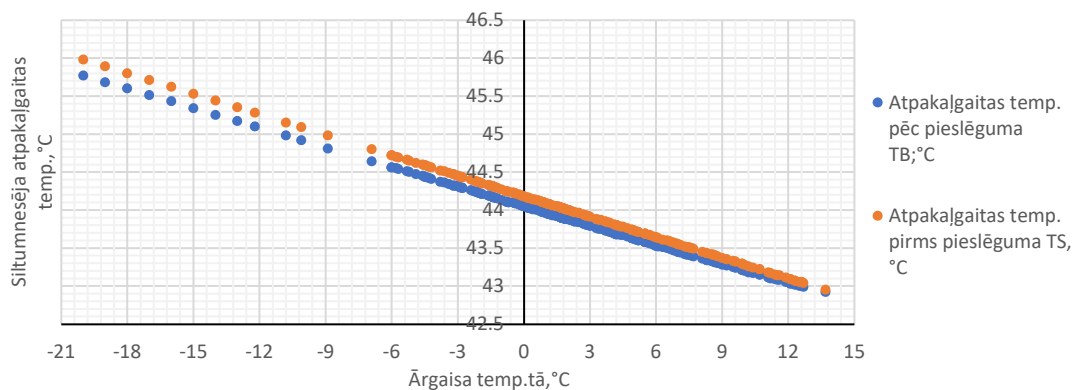
Pētījumā tika izskatīts pieslēguma risinājums, kurā privātmāja tiek pieslēgta pie CSA sistēmas atpakaļgaitas cauruļvada (skat. 6.attēlu), nemainot cauruļvada diametrus. Papildus šim risinājumam ir nepieciešams papildus uzstādīt cirkulācijas sūkni, lai nodrošinātu pietiekamu plūsmu uz privātmāju.



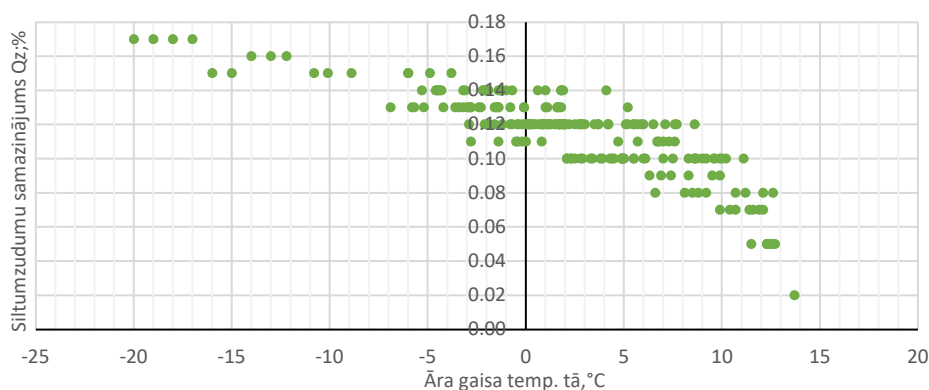
6. att. Piedāvātais risinājums privātmājas pieslēgumam pie CSA atpakaļgaitas cauruļvada

Ievērojot izmantoto datu korekcijas, pēc sastādītā vienādojuma (4. formula) tika aprēķināta atpakaļgaitas siltumnesēja temperatūras pēc privātmājas pieslēguma. Kā redzams 7.attēlā, pieslēdzot privātmāju pie rajona atpakaļgaitas sistēmas, atpakaļgaitas siltumnesēja temperatūra sistēmā var tikt samazināta par 0.03°C pie 13.7°C āra gaisa temperatūras, bet par 0.18°C pie -12.2°C āra gaisa temperatūras. Tātad, pieslēdzot vienu zemas enerģijas patēriņa ēku, temperatūra atpakaļgaitā var tikt samazināta līdz 0.06% . Pie zemākas āra gaisa temperatūras šis ieguvums ir lielāks, piemēram pie -20°C āra gaisa temperatūras, kur sākotnējais atpakaļgaitas siltumnesēja temperatūra ir 45.98°C , samazinājums pēc pieslēguma ir par 0.21°C .

Tā kā šajā situācijā tiek novērtēts siltuma zuduma izmaiņas pēc privātmājas pieslēguma, nemainīgais siltumtrases garums tiek ņemts no pieslēguma vietas līdz atzaram, kas savieno rajona siltumtrasi ar pārējo pilsētas siltumapgādes tīklu, kas ir 1850.5 m . Cauruļvada diametrs ir DN 150/280 ar kopējo cauruļvadu īpatnējo siltumvadītspējas koeficientu $0.256 \text{ W} (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$. Šajā siltumtrases posmā vidējie siltuma zudumi ir no 39 kW līdz 60 kW .



7. att. CSA rajona atpakaļgaitas siltumnesēja temperatūras izmaiņas pēc privātmājas pieslēguma apkures sezonā



8. att. Siltuma zudumu samazinājums no pieslēguma vietas līdz atzaram

Pieslēdzot privātmāju pie CSA atpakaļgaitas tīkla, siltuma zudumu samazinājums izvēlētajā siltumtrases posmā ir sākot no 0.02% pie 13.7°C āra gaisa temperatūras līdz 0.17% pie -20°C āra gaisa temperatūras. Lai arī pētīt konkrētu privātmājas pieslēgumu pie atpakaļgaitas tīkla, atpakaļgaitas siltumnesēja temperatūras un siltuma zudumu samazinājums CSA tīklā ir nelieli, tomēr pieslēdzot vairākas līdzīga zema patēriņa ēkas apkures vajadzībām, šis rādītājs būtu augstāks.

Secinājumi

1. Esošā CSA atpakaļgaitas tīkla temperatūra ir pietiekoša, lai nodrošinātu siltumenerģijas patēriņu zema enerģijas patēriņa ēkas apkures vajadzības, taču karstā ūdens nodrošināšanai ir nepieciešams izskatīt papildus risinājumus.
2. Pieslēdzot privātmāju pie rajona CSA atpakaļgaitas sistēmas, atpakaļgaitas siltumnesēja vidējā temperatūra var tikt samazināta par 0.03°C pie 13.7°C āra gaisa temperatūras, bet par 0.18°C pie -12.2°C āra gaisa temperatūras.
3. Siltuma zudumu samazinājums posmā no privātmājas līdz tuvākajam CSA tīkla atzaram ir no 0.02% pie 13.7°C āra gaisa temperatūras līdz 0.17% pie -20°C āra gaisa temperatūras.

Izmantotie informācijas avoti

- [1] Blumberga D., Pakare I., Lauka D. Siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanas potenciāla novērtējums, ieviešot ceturtnās paaudzes siltumapgādes sistēmas. Līgumdarba atskaite. Rīga, 2018, 74 lpp.
- [2] LR Ministru Kabinets rīk.Nr.46. Par Latvijas Nacionālo enerģētikas un klimata plānu 2021.-2030. gadam. Latvijas Vēstnesis, Nr.29, 11.Feb. 2020. [tiešsaiste] [skatīts 04.03.2023]. Pieejams: <https://www.vestnesis.lv/op/2020/29.11>
- [3] Østergaard D. S., Svendsen S. Experience from a practical test of low-temperature district heating for space heating in five Danish single-family houses from the 1930s. Energy, Vol. 159, 2018, pp. 569-578. DOI: 10.1016/j.energy.2018.06.142

-
- [4] Dalla Rosa A., Li H., Svendsen S., Werner S., Persson U., Ruehling K., Felsmann C., Crane M., Burzynski R., Bevilacqua C. IEA Annex X Final report: Toward 4 th generation district heating : Experience and potential of low-temperature district heating. In: IEA Annex X. Dānija, 2014, 205 p. [tiešsaiste] [skatīts 04.03.2023]. Pieejams: <http://www.iea-dhc.org/the-research/annexes/2011-2014-annex-x/annex-x-project-03.html>
- [5] Jelgavas valstspilsētas pašvaldības dome. Jelgavas pilsētas ilgtspējīgas enerģētikas un klimata rīcības plāns (Iekrp) 2021.-2030.gadam. Jelgava, 2020, 48 lpp.
- [6] Uzņēmuma SIA "Gren Jelgava" materiāli
- [7] SIA Poliurs. (n.d.). Katalogs - projektēšanas pamati 7.0.; 7 lpp. [tiešsaiste] [skatīts 04.03.2023]. Pieejams:<https://poliurs.lv/products/>

DIVTAKTU MOTOCIKLA IZPLŪDES SISTĒMAS UZLABOŠANA IMPROVEMENT OF TWO-STROKE MOTORCYCLE EXHAUST SYSTEM

Andrejs Bite

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

Vilnis Pīrs

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

Abstract. Moto skijoring is a popular sport created in Latvia, in which both retro and motorcycles manufactured in recent years can participate. In order for retro motorcycles to be competitive during races, their performance needs to be improved. There are several ways to adjust and influence the performance of street motorcycles in retro races, such as changing suspension components or gearboxes, improving intake manifolds, fuel mixture preparation or exhaust system modifications. The aim of this study is to identify and develop the most efficient exhaust system for the K-175 motorcycle that improves engine performance. The research methods include study of literature and previous solutions, design of an exhaust system for the K-175A motorcycle, calculations of the exhaust gas recirculation and speed and evaluation of efficiency of the designed exhaust system. The research developed in the master's thesis can be used not only to model the exhaust system of the K-175A motorcycle, but also to increase the power, reduce costs and adapt it to the needs of any two-stroke motorcycle.

Atslēgas vārdi: Motocikla izplūdes sistēma, *Solidworks Flow Simulation*, 2T motora izplūdes sistēmas uzlabošana, motocikla cilindra izklājums, cilindra lūku parametri

Ievads

Izplūdes sistēma ir viena no vissvarīgākajām motocikla sastāvdaļām. Tā, galvenokārt, ir sistēma izplūdes gāzu un karstuma, kas rodas dzinēja sadegšanas kamerā, izvadīšanai. Mūsdienās motocikla izplūdes sistēma papildus padara motociklu klusāku, pārvērš kaitīgās gāzes mazāk kaitīgās un, visbeidzot, uzlabo motocikla veiktspēju [1].

Pašlaik ir iespējams iegādāties dažādu konstrukciju, materiālu un dizaina izplūdes sistēmas, kas paredzētas dažādiem motociklu modeļiem. Taču to risinājumi atšķiras, un ne vienmēr tos ir iespējams uzstādīt, jo tie var neatbilst motocikla motora parametriem. Ar vajadzību modificēt izplūdes sistēmu var nākties saskarties, ja to nepieciešams sagatavot sacensībām.

Mūsdienās ir izplatīta konusveida izplūdes sistēma. Tam galvenais iemesls ir tas, ka konusveida caurule darbojas vai nu kā sprausla, vai kā difuzors, citiem vārdiem sakot, kā pakāpeniskāks process spiediena viļņu atslogošanai pie pēkšņas izplešanās un kontrakcijas [2]. Lai palielinātu izplūdes gāzu atgriešanas ātrumu, kas veicina labāku degvielas samaisīšanos cilindrā, var veikt daudzas izmaiņas, piemēram, mainīt motocikla izplūdes sistēmas pirmā likuma garumu, attālumu līdz pirmajam konusam un tā diametru, kā arī cilindriskās daļas un otrā konusa garumu. Pilnveidojot izplūdes sistēmu, ir svarīgi apzināties motora griešanās frekvenci, ar kādu motocikls tiks darbināts, jo no šiem datiem tiek aprēķināts kopējais izplūdes sistēmas garums [3].

Šī darba mērķis ir analizēt motociklu izplūdes sistēmas, to priekšrocības un trūkumus, lai konstruētu un modelētu 3D CAD izplūdes sistēmu, izmantojot datorprogrammas *2 Stroke Wizard 6*, *2T Exhaust Calc* un *Solidwork*.

Pētījumā apzināti izplūdes sistēmas konstruktīvie veidi, lai izvērtētu un izstrādātu piemērotāko motociklam K-175. Izmantojot dažādus informācijas avotus un izstrādājot metodiku to pielietošanai, iegūta šāda informācija:

- konstruktīvie veidi un to pielietojums;
- motocikla K-175 tehnisko datu analīze;
- izvēlētas pieejamākas maksas un bezmaksas programmatūras izplūdes sistēmu modelēšanai.

Pēc datu analīzes un atbilstošu parametru iegūšanas, tiek izstrādāts 3D CAD modelis, kas izmantots 3D maketa izveidei un izplūdes sistēmas izgatavošanai.

Materiāli un metodes

Lai iegūtu nepieciešamos datus izplūdes sistēmas modelēšanai, vispirms veido cilindra izklājumu ar lūku izmēriem, tad iegūtos parametrus apstrādā datorprogrammas *2 Stroke Wizard 6* un *2T Exhaust*

Calc. Iepriekš nosauktās programmas ir vienas no daudzām, kas palīdz modelēt individuālu izplūdes sistēmu konkrētam motoram, un ar kuru palīdzību, izmantojot *Solidworks Flow Simulation 2015*, var veikt dažādus sarežģītus uzdevumus [4]. Pēc 3D modeļa izveides, izplūdes gāzu spiediena plūsmas simulācija tika veikta datorprogrammas *Solidworks* vidē.

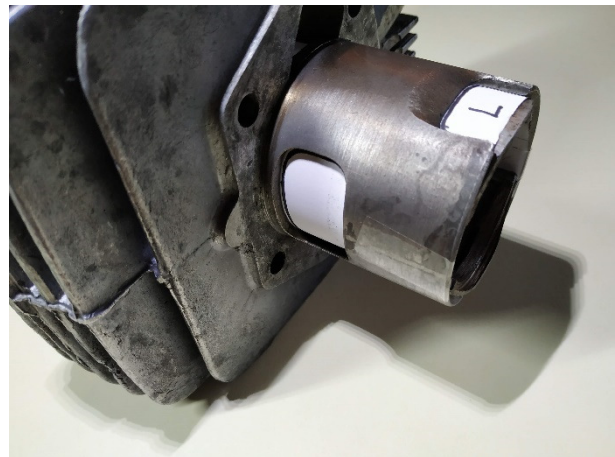
Izplūdes sistēmas modelēšana ir atkarīga no:

- izplūdes sistēmas konstrukcijas un vēlamā ieguvuma;
- motocikla motora parametriem;
- izplūdes sistēmas stiprinājuma un cilindra tehniskā risinājuma.

Individuālās izplūdes sistēmas galvenās prasības izvirzītas šādas:

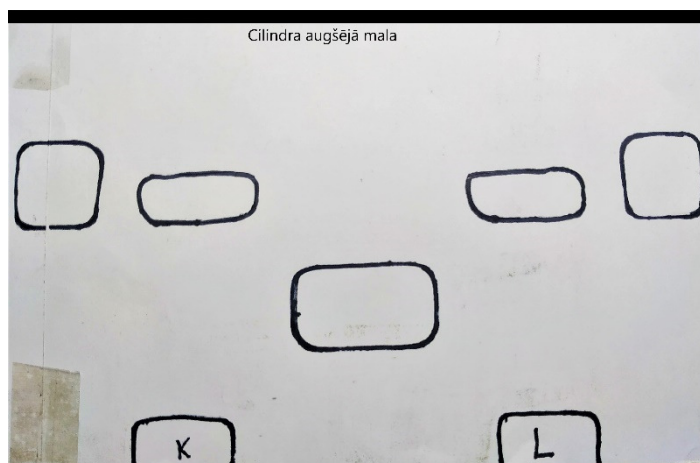
- izplūdes sistēmai ir jāiekļaujas motocikla garenbāzē;
- izplūdes sistēmu veidot katram izplūdes kanālam atsevišķi;
- izplūdes sistēma nedrīkst traucēt braucēju un radīt bīstamību;
- jābūt iespējai ar vienkāršiem risinājumiem modificēt eksperimentu laikā;
- konstrukcijas izgatavošanai jābūt pēc iespējas vienkāršākai.

Lai sāktu veikt aprēķinus un izmantotu datorprogrammas, nepieciešami motocikla K-175 motora izejas dati. Vieni no pirmajiem un svarīgākajiem lielumiem, kas nepieciešami, ir cilindra lūku izmēri. Šos lielumus iegūst nostiprinot cilindra iekšpusē pārgrieztu un salocītu baltu papīra lapu. Izplūdes, ieplūdes, kā arī pārplūdes lūku izmēru noteikšanai, ar zīmuli vai kādu citu smalku priekšmetu, apvelk nepieciešamās lūkas (skatīt 1. att.).



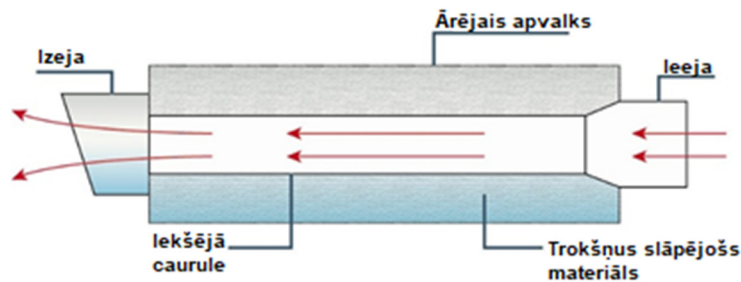
1. att. Cilindra ieplūdes un pārplūdes lūku izmēru noteikšana izmantojot iezīmēšanas metodi

Izņemot ielīmēto papīra lapu, iezīmējot un izmērot cilindra izklājumu, iegūst ievades datus. Šie dati ir nepieciešami konstruējot, izplūdes sistēmu datorprogrammās *2 Stroke Wizard 6* un *2T Exhaust Calc* (skat. 2.att.).



2. att. Motocikla K-175 cilindra izklājums

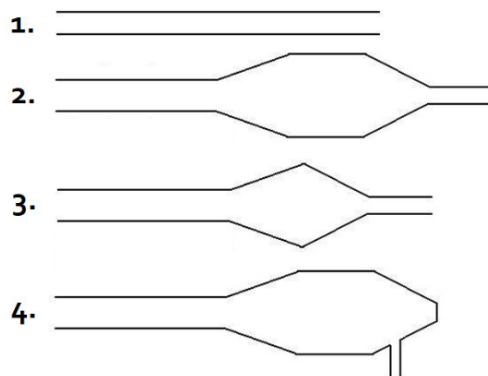
Motociklu izplūdes sistēmas var iedalīt divās grupās: “taisna izplūde”(straight exhaust pipe) (skat.3. att.) un pretspiediena tipa (skat. 4.att.).



3. att. Taisna tipa izplūdes sistēma [5]

Izplūdes sistēmu tipi ietekmē motora apgriezienus un jaudu. To nepareiza pielietošana var novest pie motora darbības traucējumiem. Atspoguļoto izplūdes sistēmu tipu priekšrocības un trūkumi ir aprakstīti zemāk.

3. att. un 4. att. 1. pozīcijā redzamā taisna tipa izplūdes sistēma tiek uzstādīta lielas jaudas un griezes momenta motoriem, kas paredzēti liela ātruma. Kā trūkumu var minēt lielo troksni pie motora darbības, jo caurulē nav nevienas starpsienas, kas to novirzītu trokšņa slāpējošā daļā. Šāda konstrukcija neefektīvi darbojas pie kloķvārpstas zemas griešanās frekvences [5].



4. att. Izplūdes sistēmu tipi

4.att. redzami konusa tipa rezonatori. Tos izmanto gan modificētu, gan rūpnieciski ražotu izplūdes sistēmu veidošanā. Kā plusus var minēt zemu trokšņu līmeni motoriem darbojoties, taču difuzora pareiza modificēšana ir dārgs un sarežģīts process, kas prasa zināmas iemaņas un iekārtas.

Rezultāti un diskusija

Ņemot vērā augstāk minētās izplūdes sistēmas tipa izvēles ietekmi uz motocikla motora veiktspēju, lai precīzāk un efektīvāk varētu veikt projektēšanu motocikla K-175 izplūdes sistēmai, aprēķini tika salīdzināti ar divu datorprogrammu palīdzību. Dati atspoguļoti 1.tabulā.

No tabulas redzams, ka iegūtie dati nav vienādi, jo katras programmas pamatā ir algebriskas darbības, kuras tiek veiktas ar ievadītajiem datiem. Bet dati un parametri, kurus nepieciešams ievadīt, katrā no programmām nedaudz atšķiras.

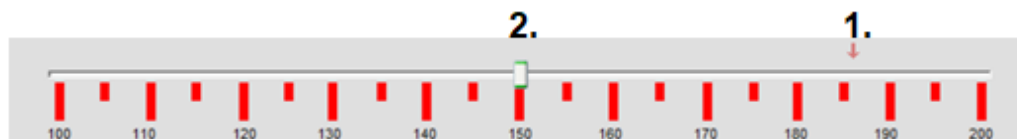
Būtiskākās atšķirības atspoguļojas izplūdes sastāvdaļu diametrā un atsevišķu detaļu garumā. Kā, piemēram, ar datorprogrammu *2T Exhaust Calc*. Izplūdes sistēmas cilindriskās formas diametra (D5) atšķirība ir 16,3 mm. Kas samazina pašas izplūdes sistēmas gabarīt izmērus un to vieglāk integrēt motocikla K-175 rāmī. Taču citu detaļu garumi dažādām komponentēm krasi atšķiras un pat dažās pozīcijās. Kā, piemēram, programmā *2T Exhaust Calc* pretkonusa (D) un izplūdes caurules (E) garumi ir vienādi. Šādi dati liek domāt par radušos kļūdu programmā, kā rezultātā nolemts atteikties no šīs programmas izmantošanas turpmākajā pētījumā.

1.tabula

**Motociklu izplūdes sistēmas parametru salīdzinājums,
izmantojot 2 Stroke Wizard 6 un 2T Exhaust Calc**

| Parametri | Apzīņējumi | 2 Stroke Wizard 6 | 2T Exhaust Calc |
|---------------------------------------|------------|-------------------|-----------------|
| Diametrs | D1(mm) | 32,0 | 32,00 |
| Diametrs | DF1(mm) | 40,4 | 46,01 |
| Diametrs | DF2(mm) | 67,5 | 71,58 |
| Diametrs | D5(mm) | 107,4 | 91,10 |
| Diametrs | D6(mm) | 14,8 | 19,62 |
| Cilindra izplūdes trakta garums | B1(mm) | 77,1 | - |
| Izplūdes flanča garums | B2(mm) | 49,1 | 42,60 |
| Pirmā konusa garums | F1(mm) | 285,5 | 326,32 |
| Otrā konusa garums | F2(mm) | 318,6 | 217,15 |
| Trešā konusa garums | F3(mm) | 157,6 | 109,17 |
| Cilindriskās daļas garums | C(mm) | 109,2 | 130,53 |
| Pretkonusa garums | D(mm) | 329,6 | 284,79 |
| Izplūdes caurules garums | E(mm) | 136,0 | 284,79 |
| Kopējais izplūdes sistēmas garums(mm) | | 1326,7 | 1186,62 |

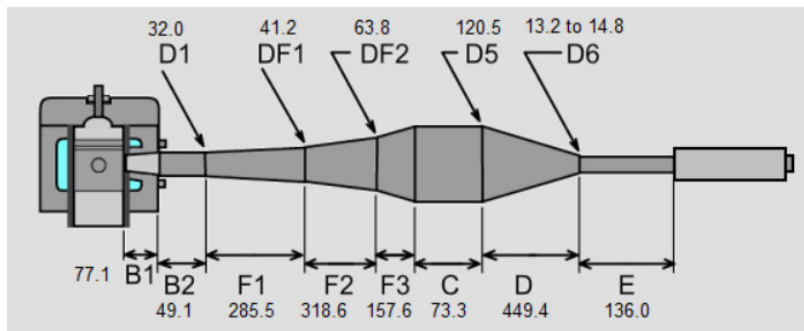
Plašākai datu pielāgošanai programmā *2 Stroke Wizard 6* ir iespēja noteikt motora jaudu. Šis faktors ir paredzēts, lai modelētu izplūdes sistēmu dažādās motora griešanās frekvencēs. Izplūdes sistēmas pielāgošanas pamatprincips ir noteikt maksimālo griezes momentu. Garākas izplūdes sistēmas nodrošina zemu un vidēju rotācijas frekvenci, bet īsas izplūdes sistēmas piemērotas augstas motora rotācijas frekvencēm, piemēram, motošosejā [6].



5. att. **Skala jaudas koeficienta pielāgošanai 2 Stroke Wizard 6:** 1 – datorprogrammas aprēķinātais ieteicamais jauda koeficients; 2 – indikators manuālai koeficienta iestatīšanai

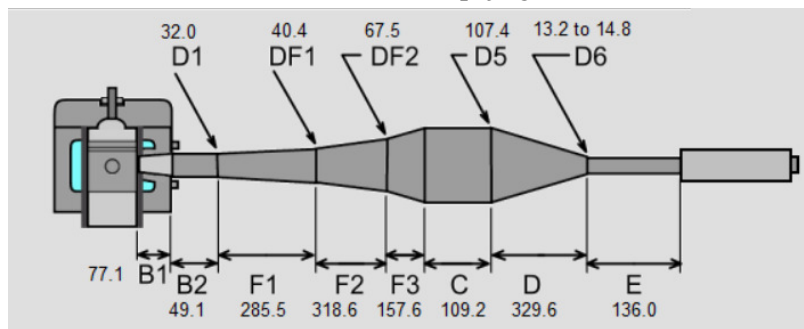
5. attēlā redzama skala, kas papildus ļauj pielāgot sistēmu atbilstoši vēlamajai jaudas konfigurācijai. Programmas ļauj projektēt izplūdes sistēmu mainot jaudas un griezes attiecību dažādas kloķvārpstas rotācijas frekvencēs. Konkrētā rezonatora ieteicamais koeficients automātiski tiek iezīmēts ar sarkana indikatora palīdzību. Nepieciešamības gadījumā ir iespēja šo attiecību koriģēt. Korekcija paredzēta sistēmas pielāgošanai sporta un ikdienas vajadzībām, pārbīdot zaļo indikatoru (skatīt 5.att. 2. pozīciju) pa labi vai kreisi no datorprogrammas ieteiktā (skatīt 5. att. 1. pozīciju). Indikatoru pārvietojot pa labi no aprēķinātā koeficienta, tiek modelēta izplūdes sistēma, kas paredzēta ikdienas lietošanai, iegūstot lielāku jaudas un griezes attiecību jau pie zemām kloķvārpstas rotācijas frekvencēm, savukārt pārbīdot pa kreisi, tieši pretēji, maksimālu jaudu iegūst augstas rotācijas frekvencēs, tādēļ ieteicams izmantot motošosejā.

6. attēlā projektēta izplūdes sistēma motocikla K-175 ikdienas lietošanai, kurā maksimālā jaudu sasniedz pilnā motora darbības amplitūdā un sākot no zemiem kloķvārpstas apgriezieniem. Lai arī šai izplūdes sistēmai ir savi plusi salīdzinājumā ar rūpnieciski ražoto, tomēr šīs izplūdes sistēmas pielietojums konkrētajam motociklam konstruktīvi nav iespējams, jo neiekļaujas motocikla tehniskajos parametros.



6. att. Izplūdes sistēmas modelis 2 Stroke Wizard 6

Sporta vajadzībām izplūdes sistēma jāveido pēc iespējas kompaktāka, tādēļ, izmainot koeficienta skalu un iestatot jaudas faktoru 130 vienības pie maksimālajiem kloķvārpstas apgriezieniem, iegūst izplūdes sistēmu ar mazāku diametru (107,4 mm) un kopējo garumu 1326,7 mm (skat. 7. att.).



7. att. Izplūdes sistēmas modelis sportam

3D modeļa un izplūdes sistēmas izveidošanai tika izmantots 7. attēlā modelētā izplūdes sistēma, jo tā dizains un izmēri atbilst izvirzītajām prasībām, kā arī plašās modificēšanas iespējas eksperimentu laikā dos labākus rezultātus. Motocikla K-175 izplūdes sistēmas 3D CAD modelis ir izstrādāts balstoties uz 2 Stroke Wizard 6 iegūtajiem izmēriem. Solidworks 3D CAD modelis apskatāms 8. attēlā.



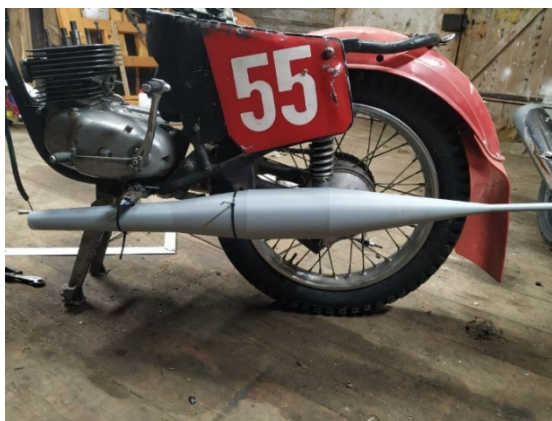
8. att. Motocikla K-175 Solidworks 3D CAD modelis

Lai pārbaudītu izveidotā 3D CAD modeļa funkcionalitāti, tiek veikta izplūdes gāzu spiediena un atgriezeniskā viļņa simulācija izmantojot Solidworks Flow Simulation 2015. Šajā programmā automātiski tiek ģenerēts skaņas un atgriezeniskā viļņa grafiskais attēls, kas demonstrē spiediena svārstības rezonātorā (skat 9. att.).



9. att. Motocikla K-175 izplūdes sistēmas spiediena plūsmas simulācija

10. attēlā parādīta ar 3D printeri izgatavota izplūdes sistēma, kas attēlota reālā mērogā. Tālāka rezonātorā izveidei tiks izmantots 3D prototipa izklājumi uz metāla loksnēm.



10. att. Motocika K-175 izplūdes sistēmas 3D prototips

Secinājumi

1. Nepieciešamās izplūdes sistēmas modelēšanai var izmantot specializētas datorprogrammas, kas ļauj modelēt izplūdes sistēmu, izmantojot izejas datus jebkuram 2T motocikla motoram.
2. Pētījuma izstrādē izmantotās modelēšanas programmas ļauj viegli un ērti izmainīt ievades datus un pielāgot tos savām vajadzībām, tā atvieglojot izplūdes sistēmas izgatavošanas procesu.
3. Izvēloties motocikla K-175 izplūdes sistēmu, piemērotākā tika atzīta trīspakāpju konusa izplūdes sistēma, kas nodrošina kopējā garuma un diametra samazināšanu.
4. Motocikla kopējais izplūdes sistēmas garums nepārsniegs 1326,7 mm.
5. Motocikla K-175 izplūdes sistēmas modelis ir izstrādāts balstoties uz 2 *Stroke Wizard 6* iegūtajiem izmēriem.
6. Izplūdes sistēmas 3D modeļa drukas izgatavošana ļauj pārliecināties par modelētās izplūdes sistēmas atbilstību, kā arī samazina ieguldīto materiālu un laika patēriņu tā izveidē.

Izmantotie informācijas avoti

- [1] Motorcycle Exhaust (Types, Parts And Maintenance) (s.a.) [tiešsaiste] [11.04.2022]. Pieejams: <https://bikerestart.com/motorcycle-exhaust-types-parts-and-maintenance/>
- [2] Blair P. G. Design and Simulation of Two-Stroke Engines. Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, 1996, 124 p.
- [3] Григорьев Ю.С. Мотоцикл без секретов. Б.м.: Б.и., 1973, 37 с.
- [4] Matsson J. E. An Introduction to SOLIDWORKS Flow Simulation 2015. Kansas: SDC Publications, 2015, 340 p.
- [5] Classification of Motorcycle exhaust Pipe, 2019 [tiešsaiste] [17.01.2023]. Pieejams: <https://tarazon.com/Classification-of-Motorcycle-exhaust-Pipe-id8750284.html>
- [6] Smith J. Smith's Fundamentals of Motorsport Engineering. Oxford University Press – Children, 2014, 232 p.

ALTERNATĪVĀS ENERĢIJAS SPĒKSTACIJA LAUKU VIENSĒTAI ALTERNATIVE ENERGY POWER PLANT FOR RURAL FARM

Dāvis Artūrs Bite

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

Ainārs Galiņš

Zinātniskais vadītājs, asociētais profesors, Dr. sc ing.

Abstract: Solar energy and wind power supply are decentralised, intermittent and renewable electrical power supply methods. Integrating this kind of renewable energy supply to the electrical grid may reduce the demand for centralised production, making renewable energy systems more available to remote regions. The aim of the work is to analyze reciprocal interaction between solar pannels and wind generators for rural homesteads „Krūmiņi” provision of electricity. The study will consist of literature analysis and practical research about real-time hybrid system.

Atslēgas vārdi: vēja enerģija, saules enerģija, atjaunīgā enerģija, alternatīvā enerģija.

Ievads

Pētāmā problēma saistās ar atjaunīgo energoresursu izmantošanu un energoneatkarības nodrošināšanu valsts un reģionālā līmenī. Darbā tiks izpētīta atjaunīgās enerģijas spēkstacijas darbība privātmājas elektroenerģijas nodrošināšanai. Darba nolūkos tiks analizēta esošas hibrīdsistēmas darbība atkarībā no elektroenerģijas izmantošanas.

Pētījuma mērķis ir izpētīt saules paneļu un vēja ģeneratoru savstarpējo mijiedarbību lauku privātmājas „Krūmiņi” elektroenerģijas nodrošināšanai.

Pētījuma mērķa sasniegšanai tika izvirzīti sekojoši darba uzdevumi:

- iegūt datus no esošas saules paneļu un vēja ģeneratoru spēkstacijas;
- apstrādāt datus analizējamā veidā un formātā;
- noteikt no saules un vēja saražotās enerģijas īpatsvaru;
- izpētīt dīzeļģeneratora ieslēgšanās gadījumus un tā darbības laikā saražotās enerģijas daudzumu.

Pētījuma laikā tiks fiksēti dati par sekojošiem parametriem: saules paneļu un vēja ģeneratoru saražotā elektroenerģija, jauda un strāva, privātmājas patērētā elektroenerģija, jauda un strāva, akumulatoru uzlādes līmenis un to temperatūra, lādēšanas strāva un jauda, invertora pašpatēriņa jauda, āra gaisa temperatūra, konteīnera iekštelpas temperatūra. Pēc šiem datiem tiks noteikts spēkstacijas lietderīgums.

Pētījumus veic izmantojot digitālos datu uzkrājējus, kuri uzkrāj saražotās jaudas un enerģiju no katra energoavota (saules un vēja), uzkrāto enerģiju akumulatoros, patērēto jaudu un enerģiju privātmājā, āra gaisa temperatūru un konteīnera telpas temperatūru. Datus uzkrāj visu laiku ar vienas minūtes intervālu. Dati ir apkopoti tabulā ar norādītu datumu un laiku. Datu apkopošanai tiek izmantotas intervāla vidējās vērtības.

Materiāli un metodes

Spēkstacija ir izveidota Viesturu pagastā privātmājas „Krūmiņi” teritorijā. Spēkstacijas darbība ir cieši saistīta ar meteoroloģiskajiem apstākļiem – saules intensitātes, saules atrašanās leņķa attiecībā pret horizontu, vēja ātruma, putekļainības, nokrišņu daudzuma un āra temperatūras. Pētījumā izmantojamie objekti atrodas gan ārpus konteīnera, gan konteīnera iekšpusē. Vēja turbīnas ir pakļautas spēcīgām vēja brāzmām, kuras var radīt mehānisko deformāciju vertikālo vēja ģeneratoru mastos. lai mazinātu šo deformāciju katra vēja turbīna ir nostiprināta ar trīs nopriegotām trosēm, kuras noenkurotas zemē ar 1.0-1.5 m gariem enkuriem.

Spēkstacija ir aprīkota arī ar dīzeļģeneratoru *KS 9200HDE ATSR KONNER & SOHNEN* kurš ieslēdzas brīžos, kad saules paneļu un vēja ģeneratori nespēj nodrošināt patērētājam nepieciešamo jaudu un akumulatori ir izlādējušies līdz noteiktam līmenim.

Dīzeļģeneratora galvenos parametrus iespējams skatīt 1. tabulā.

1. tabula

Dīzelģeneratora KS 9200HDE ATSR KONNER & SOHNEN galvenie parametri

| Parametrs | Mērvienība | Skaitliskā vērtība |
|-----------------------------|------------|--------------------|
| Nominālā jauda | W | 7000 |
| Maksimālā jauda | W | 7500 |
| Nominālais strāvas stiprums | A | 16; 32 |
| Nominālais spriegums | V | 220 - 240 |
| Degvielas tvertnes tilpums | l | 15 |
| Kontaktligzdu skaits | gab | 2 |
| Izmēri (G x P x A) | cm | 89 x 52 x 69 |
| Masa | kg | 170 |

Minētais dīzelģenerators spēj attīstīt jaudu līdz pat 7500 W. Ģeneratoram ir divas kontaktligzdas – viena vienfāzu un viena trīsfāzu ligzda.



1. att. Spēkstacijas saules paneļu novietojums

Viens no galvenajiem spēkstacijas elementiem ir saules paneļi (skat. 1. att.). Spēkstacija sastāv no astoņiem BRUK-BETA PEM.WB-450 saules paneļiem. Viena saules paneļa galvenie tehniskie dati doti 2. tabulā. Vēl spēkstacijai ir pieliktas divas vertikālās ass vēja turbīnas ar kopējo jaudu 2000 W, kuras pie noteikta vēja ātruma ieslēdz attiecīgo releju un pieslēdz ģeneratorus pie līdzstrāvas kopnēm.

2. tabula

Saules paneļa BRUK-BETA PEM.WB-450 galvenie izejas dati [1]

| Parametrs | Mērvienība | Skaitliskā vērtība |
|-----------------------------|------------|--------------------|
| Nominālā jauda | W | 450 |
| Nominālais strāvas stiprums | A | 13 |
| Nominālais spriegums | V | 41.29 |
| Efektivitāte | % | 20.6 |
| Izmēri (G x P x A) | mm | 1920 x 1138 x 40 |
| Svars | kg | 24 |
| Cena | EUR | 181.08 |

Pētījumos tiek izmantotas vairākas datu nolasīšanas un uzkrāšanas iekārtas. Viena no galvenajām iekārtām mērījumu veikšanai tiek izmantots RadianGS invertors, ar kuru tiek mērīti sekojoši lielumi – akumulatoru spriegums U_{AKB} , invertora izejas maiņspriegums U_{IZ} un maiņstrāva I_{IZ} , dīzelģeneratora spriegums U_{DGI} , no tā paņemtā strāva I_{DGI} un akumulatoru uzlādei nepieciešamā strāva I_{AKB} . Pēc

nolasītās kopējās ģenerators paņemtās strāvas I_{DGI} tiek aprēķināta kopējā no ģenerators paņemtā jauda P_{DGI} un saražotā enerģija E_{DGI} .

Lielumu monitorēšanai izmanto sistēmas monitoru un datu uzkrājēju *Flexmax 80*. Tas uzrāda aprēķināto lādēšanas jaudu no saules paneļiem un vēja ģeneratoriem, akumulatora uzlādes līmeni n_{AKB} , akumulatora temperatūru t_{AKB} , kā arī piefiksē releja stāvokli, kurš pieslēdz vēja uzlādes kontrollerus pie līdzstrāvas kopnes. Ierīce tiek barota ar 48 V spriegumu, kuru iegūst no saules paneļiem. Izmantojot šīs divas iepriekšminētās iekārtas tiek arī aprēķināti citi nozīmīgi lielumi – invertora pašpatēriņā strāva I_{INV} un jauda P_{INV} , invertora lādēšanas strāva I_{DGI} un jauda P_{DGI} no ģenerators.

Pie patērētāja ir uzstādīts skaitītājs *Carlo Gavazzi EM21*, kurš uzskaita patērētāja sekojošus elektriskus lielumus – spriegumu, strāvu, jaudas (aktīvo, reaktīvo un pilno), slodzes koeficientu, frekvenci un kopējo patērēto aktīvo un reaktīvo enerģiju. Temperatūras mērīšanai konteinerā un apkārtējā vidē tiek izmantoti *DS1280* temperatūras sensori. Vēja ātrums un vēja virziens tiek mērīti ar anemometra un vējrādītāja palīdzību. Visi dati tiek uzkrāti datu uzkrājējā pēc datora laika, kurš ir sinhronizēts ar internetu.

Par ieejas datiem tiek izmantoti saules paneļu un vēja ģeneratoru uzlādes strāva I un jauda P , ar kuru tiek lādēti akumulatori. Akumulatoriem tiks fiksēts arī to uzlādes spriegums U_{AKB} un uzlādes līmenis n_{AKB} . Par izejas parametriem tiks fiksēti invertora izejas spriegums U_{IZ} , strāvas stiprums I_{IZ} , jauda P_{IZ} un saražotā enerģija E_{IZ} , invertora pašpatēriņam nepieciešamā jauda P_{INV} un strāvas stiprums I_{INV} .

Ieejas parametru noteikšana ir atkarīga no meteoroloģiskajiem apstākļiem, līdz ar to parametri atšķirsies dienu vai pat stundu skatījumā. Saules paneļu darbībai nepieciešama saulaina diena, vēja ģeneratoru darbībai nepieciešams vējš, kurš nodrošina vēja ģeneratora lāpstiņu nominālo apgriezību skaitu (aptuveni $3-5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ vertikālās ass vēja turbīnām).

Dati tiek fiksēti nepārtraukti ar vienas minūtes intervālu tādā daudzumā, kādu datu uzkrājējs *Flexmax 80* spēj uzkrāt (līdz 128 dienām). Jo vairāk būs pieejamo datu, jo precīzāk būs iespējams veikt datu analīzi. Datu apjoma vizuālai uztveršanai tiks izveidotas diagrammas un grafiki noteiktos laika intervālos.

Visi pētāmie lielumi apkopoti 3. tabulā.

3.tabula

Pētāmie izejas un ieejas lielumi

| Ieejas lielumi | | | |
|--------------------------------|------------|----------------------|--|
| Pētāmais lielums | Apzīmējums | Mērvienība | Izmantojamā iekārta datu monitorēšanai |
| Saules paneļu uzlādes strāva | I_{PV} | Ampēri (A) | <i>Flexmax 80</i> |
| Saules paneļu uzlādes jauda | P_{PV} | Vati (W) | <i>Flexmax 80</i> |
| Vēja ģeneratoru uzlādes strāva | I_{VG} | Ampēri (A) | <i>Flexmax 80</i> |
| Vēja ģeneratoru uzlādes jauda | P_{VG} | Vati (W) | <i>Flexmax 80</i> |
| Akumulatoru uzlādes spriegums | U_{AKB} | Volti (V) | <i>Radian GS</i> |
| Akumulatoru uzlādes līmenis | n_{AKB} | Procenti (%) | <i>Flexmax 80</i> |
| Izejas lielumi | | | |
| Invertora izejas spriegums | U_{IZ} | Volti (V) | <i>Radian GS</i> |
| Invertora izejas strāva | I_{IZ} | Ampēri (A) | <i>Radian GS</i> |
| Invertora izejas jauda | P_{IZ} | Vati (W) | <i>Radian GS</i> |
| Saražotā jauda | E_{IZ} | Kilovatstundas (kWh) | |
| Invertora pašpatēriņa strāva | I_{INV} | Ampēri (A) | <i>Flexmax 80 un Radian GS</i> |
| Invertora pašpatēriņa jauda | P_{INV} | Vati (W) | <i>Flexmax 80 un Radian GS</i> |

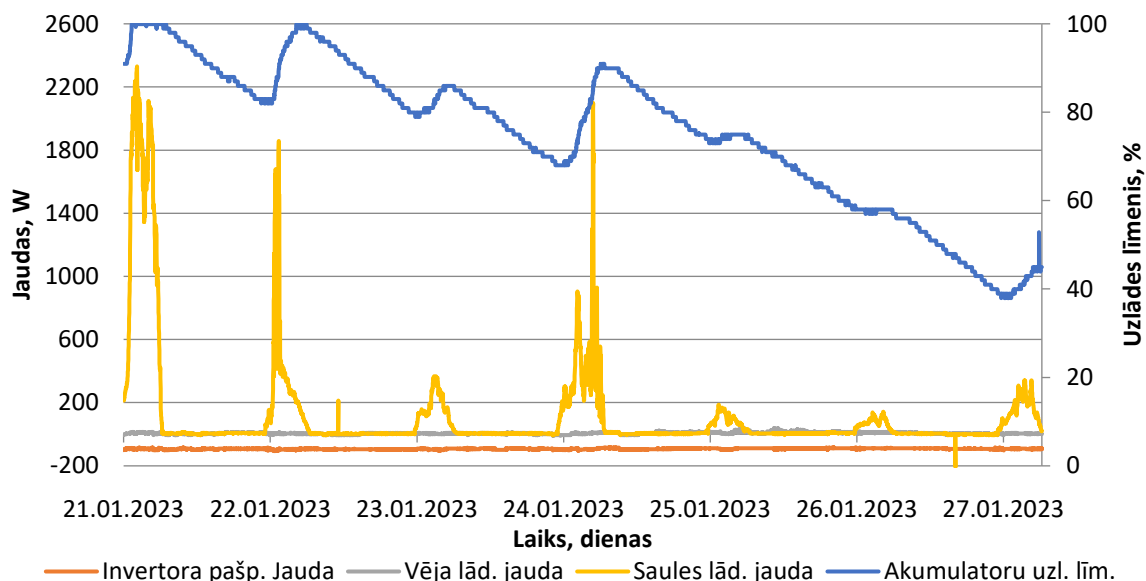
Rezultāti un diskusija

Eksperimenta veikšanai tika iegūti dati no dažādiem laika posmiem par saules, vēja un dīzeļģeneratora saražotajām jaudām. Pētījuma gaitā vairākos laika periodos datu ieguve no mērījumiem tika traucēta. Iepriekš minētais datu uzkrājējs un monitoringa ierīce *Flexmax 80* darbojas no saules

paneļu saražotās elektroenerģijas. Datu iztrūkumi pārsvarā vērojami diennakts tumšajā laikā, kad saules paneļi neražo elektroenerģiju. Tas ietekmē datu precizitāti un samazina apjomu, kuru iespējams analizēt. To varētu labot ja datu uzkrājējs *Flexmax 80* tiktu barots nevis no saules paneļiem, bet gan no akumulatoriem. Neskatoties uz trūkumiem dati tika sakārtoti un izmantoti tālākai analīzei.

Pētījumā tika izmantoti dati, kuri uzkrāri laika posmā no 2023. gada 1. janvāra līdz 9. februārim. No visa datu apjoma tika izpētītas no saules, vēja un dīzeļģeneratora saražotās jaudas, akumulatoru uzlādes līmenis un lādēšanas jauda, tika izpētīta sakarība starp vēja ātrumu un vēja ģeneratoru attīstīto jaudu.

Par vienu no analizētajiem laika posmiem tika ņemts sešu dienu garš posms, kurā nenotika datu uzkrāšanas pārtraukumi. 2. attēlā iespējams aplūkot akumulatora uzlādes līmeni un tā uzlādi no saules paneļiem un vēja ģeneratoriem. Sākuma laiks ir ap plkst. 10.00 pa dienu.



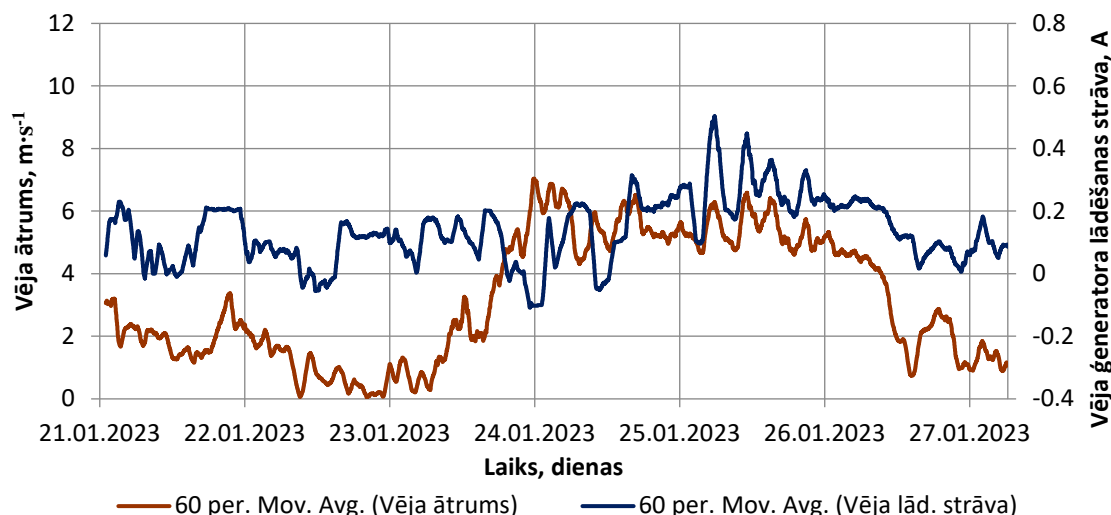
2. att. Akumulatoru uzlādes līmenis un strāvas

Kā redzams saules paneļi nodrošina akumulatora uzlādi gandrīz pilnībā, tomēr vēja ģeneratoru saražotā jauda ir pārāk maza, lai radītu ievērojamu uzlādes izmaiņu. Uz uzlādes līmeņa samazinājumu norāda arī negatīvā jaudas līkne, kura parāda invertora pašpatēriņa vajadzībām patērēto enerģiju. Pēc attēla var pateikt, ka invertora un vadības sistēmu darbības nodrošināšanai nepieciešami vismaz 100 W liela jauda. Grafikā var arī novērot, ka dažās dienās saules paneļi saražoja mazāku enerģijas daudzumu nekā citās dienās. Tas liecina par to, ka saules starojums tajās dienās nav bijis tik augsts. Ir redzams arī neliels „pīķis” ar negatīvu jaudu saules lādēšanas jaudas līknei. Tas saistāms ar īslaicīgu brīdi, kad datu uzkrājējs neprecīzi nolāsījis datus.

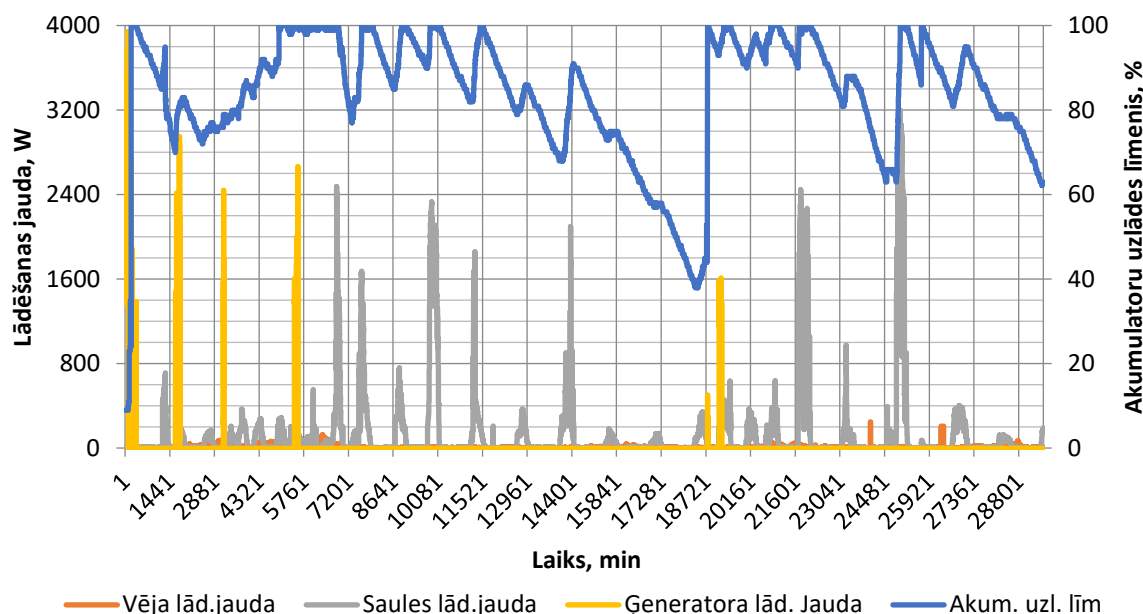
Lai izprastu laika posma vēja ģeneratoru saražotās jaudas nepietiekamību tika izveidots grafiks, kurā salīdzināti vēja ātrumi un saražotās jaudas šajā laika posmā (skat. 3. att.).

Uzskatāmākai datu attēlošanai tika izveidotas līknes (trendline), kurās norādītas vidējās vērtības ik pēc 60 minūšu intervāla. Tas saistīts ar lielu vēja ātruma izmaiņu stundas laikā. Pēc līknēm var redzēt, ka vēja ātrums brāzmās ir bijis pietiekams, lai vēja ģeneratori spētu attīstīt apmēram 15 – 20 W lielu jaudu. Tas ir tikai nepilns viens procents no jaudas, kuru spēj attīstīt saules paneļi. Visā laika intervālā redzams, ka vēja ātrums ir tieši saistīts ar vēja ģeneratoru attīstīto jaudu. Ievērojamas izmaiņas redzamas laika intervāla vidus daļā, kad pie liela vēja ātruma tika attīstīta maza jauda. Tas izskaidrojams ar vēja ģeneratora mehāniskām problēmām, kuras savlaicīgi tika novērstas.

Pētījumā tika aplūkoti arī gadījumi, kuros ieslēdzās dīzeļģenerators, kā arī aplūkota akumulatoru uzlāde atkarībā no barošanas avota (skat. 4.att.).



3.att. Vēja ģenerators saražotās jaudas salīdzinājumā ar vēja ātrumu



4.att. Akumulatoru uzlāde atkarībā no barošanas avota

Pēc esošo un izmantojamo datu apkopošanas tika izveidotas līknes, kuras parāda lādēšanas apjomus pa dienām no esošajiem barošanas avotiem. Ir redzams, ka lielāko daļu laika lādēšana notiek izmantojot saules paneļus. Dažreiz vērojami arī dīzeļģenerators ieslēgšanās un uzlāde no tā. Pārsvārā tas notiek laikā, kad saules paneļi nespēj saražot pietiekošu enerģijas daudzumu akumulatoru uzlādei. Redzams arī tas, ka vēja ģeneratori atsevišķos laika periodos ir spējuši attīstīt jaudu līdz pat 200 W, kas uz neilgu laiku nosegtu invertora un vadības sistēmu darbībai nepieciešamo jaudu.

Pēc 4. attēla ir redzams, ka dīzeļģenerators spēj attīstīt jaudu līdz pat 3900 W, ar kuru iespējams pilnībā uzlādēt akumulatorus no zema akumulatora uzlādes līmeņa. Dīzeļģenerators ieslēgšanās un izslēgšanās gadījumi varētu būt bijuši biežāki un tie varētu netikt uzskaitīti tehnisku iemeslu dēļ. Precīzākai datu apstrādei nepieciešami vairāk dati ar mazāk pārtraukumiem, lai uzlabotu gan rezultātu kvalitāti, gan informācijas daudzumu.

Secinājumi

1. Pēc datu apstrādes un pētījuma ir secināts, ka visvairāk jaudas tiek saražots izmantojot saules enerģiju, kura dienā spēj saražot jaudu līdz pat 3000 W.

2. Pētījumā secināts, ka maksimālo jaudu, kuru spēj saražot vēja ģeneratori ir ap 200 W, kas ir tikai 20 % no vienas vēja turbīnas maksimālās jaudas.
3. Lai nodrošinātu visas vadības sistēmas un invertora pašpatēriņu nepieciešams vismaz 100 W liels jaudas daudzums.
4. Dīzeļģenerators nodrošina līdz pat 3900 W lielu jaudu ar kuru pietiek, lai pilnībā uzlādētu akumulatorus no zema uzlādes līmeņa.
5. Lai uzlabotu vēja ģeneratoru lietderību un to saražoto enerģiju nepieciešams izvēlēties cita veida un izmēra turbīnas vai ģeneratorus.

Izmantotie informācijas avoti

- [1] Photovoltaic Modules PEM.WB-450-Perfect_edge-PRO specification. [tiešsaiste] [05.12.2022]
Pieejams: <https://bbpv.pl/wp-content/uploads/2022/09/PEM.WB-450-EN-31.08.2022.pdf>

PĀRTIKAS PĀRPALIKUMU UN PAPĪRU PUTEKĻU POTENCIĀLS BIOGĀZES IEGŪŠANAI

BIOGAS POTENTIAL BY CO-FERMENTING FOOD AND PAPER WASTE

Viktors Dreimanis

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

Liene Kanceviča

Zinātniskā vadītāja, asociētā profesore, Dr. sc. ing.

Indulis Straume

Konsultants, Enerģētikas institūta vieslektors, Mg. sc. ing.

Abstract: Food waste is becoming an increasingly important issue of large amounts of food leftovers that are thrown away and produce greenhouse gases. There are a number of ways that food waste can be used to generate energy, including anaerobic digestion, biofuel production and incineration. The aim of the study is to investigate different food waste biomasses during anaerobic co-fermentation mesophilic conditions for biomethane obtaining yields. Biogas yields were determined by co-fermentation of collected food remains from household, cafeteria and hospital canteen. Bioreactors were divided in groups by three where and they are having the same content in each group to ensure the reliability of results. Before filling batch each collected biomass sample was grinded. Bioreactors were placed in thermostat which provided 38°C temperature. In AF process released biogas was collected in to plastic gas bags outside reactor. The highest biogas amount was collected from cafeteria food leftovers. Benefits to using food waste as a source of energy is that it can help to reduce our reliance on fossil fuel and it can help us to divert waste from landfill sites, where it would decompose and release methane gas – a potent greenhouse gas. However, using food waste as an energy source can help us to reduce our carbon footprint and tackle climate change.

Atslēgas vārdi: Pārtikas atkritumi, anaerobā fermentācija, biogāze, papīra putekļi.

Ievads

Dotajā brīdī pasaulē pārtikas pārpalikumi, atkritumi un pārprodukcija ir liela problēma. Pasaulē no saražotās produkcijas tiek izšķērsti aptuveni 1,3 miljardi ēdina tonnas gadā. Šo skaitli sastāda 45% dārzeņi un augļi, 35% zivis un citi jūras produkti, 30% graudaugu produkti, 20% gaļa, kā arī 20% piena un citi ikdienas produkti. Eiropā ēdiena atkritumi ir aptuveni 16% no saražotās produkcijas. Vairāk nekā 50% ēdamo un neēdamo pārtikas atkritumu Eiropas savienībā nāk no privātām māsaimniecībām, kas veido 47 miljonus tonnu atkritumu [1]. Eiropas savienībā atkritumu daudzums kļūst ar vien lielāks un izaicinājums to pārstrādei tikai kļūst nopietnāks. Katru gadu tiek izšķērdēti aptuveni 88 miljoni tonnu pārtikas [2].

Ar attīstītu pareizu pārtikas atkritumu un pārpalikumu pārstrādi var veikt lielu ienesumu biogāzes, un enerģijas ražošanā. Pētījumos konstatēts, ka pārtikas atkritumu pievienošana notekūdeņu attīrīšanas iekārtu dūņām paātrina metāna ražošanas procesu, kā arī palielina tā ražu un organisko cieto vielu sadalīšanos pakāpi (dūņām tā ir 38-57% robežās, tad maisījumam ar pārtikas atkritumiem tas var sasniegt 85%) [3]. Pārtikas atkritumi ir labi piemēroti biogāzes ražošanai, jo parasti satur aptuveni 73% bioloģiski noārdāmās masas. Universitātes un slimnīcas ēdņu pārtikas atkritumos var būt zema C:N attiecība un pH parasti diapazonā no 4,42 līdz 6,8 [4].

Anette T. Jansson u.c. veica pētījumus ar pārtikas (FW) un papīra atkritumu (PW) fermentāciju dažādās to devu koncentrācijās substrātā. Pētījumā tika konstatēts, ka ņemot vērā šo izejvielu sarežģīto struktūru un iespējamo inhibitoru klātbūtni, tika veikta pārtikas un atkritumu sausā fermentācija ar kopēju cietvielu koncentrāciju (TS) (14%, 16%, 18%, 20% TS), kas atbilst substrātam attiecībā pret inokulātu (S/I) 0.5 un 1. Inokulāts un substrāta (I:S) attiecība ir būtisks darbības parametrs anaerobās fermentācijas (AD) procesa sākuma periodā, un šī attiecība uzrāda augstu diferenciaciju attiecībā uz substrāta sastāvu. Vislielākā metāna produkcija - 402 mLCH₄ gVS-1 un 229 mLCH₄ gVS-1 tika iegūta fermentējot FW un PW, respektīvi 14% TS, kas atbilst S/I attiecībai 0,5, palielinot S/I attiecību uz 1 un TS saturu uz 20% bioreaktora maisījumos bija nelabvēlīga abu substrātu fermentācijai [5].

Zhang vadība pētīja pārtikas atkritumu kofermentāciju ar liellopu vircu un dažāda veida kartona izstrādājumiem, nepārtrauktas darbības bioreaktors ar ietilpību 4 un 75 litri. Pārtikas atkritumi tika samalti dzirnaviņās un līdz fermentācijai tika uzturēta zemā temperatūra 4°C. Tika izmantoti dažāda veida papīra atkritumi, kas vispirms tika sasmalcināti biroja smalcinātājā, kuram izejošā frakcijas

lielums ir 50·5 mm. Katras dienas sasmalcinātais papīra daudzums (porcija), tika pildīta bioreaktorā sajaukta šādās proporcijās – 29,6% gofrētais kartons, 62,5% kartona iepakojums un 7,9% cita veida kartons. Inokulāts 4 litru bioreaktoriem tika ņemts no 35 litru pārtikas atkritumu bioreaktora. 75 litru bioreaktoru ieraugs tika ņemts ar digestātu no mezofīla bioreaktora, kas attīra sadzīves notekūdeņu bioloģiskās cietās vielas. Vislabākie rezultāti tika sasniegti, fermentējot izejvielas 4 litru bioreaktorā, bet tika novērots nestabils fermentācijas process. Pētījumā ar 75 litru bioreaktoru, saražotā biogāze bija mazāka, bet biogāzes ikdienas produktivitāte bija stabila. Pārtikas atkritumu kofermentācija ar liellopu kūstmēsliem 4 litru bioreaktoros ieguva biogāzi ar 62,7% metāna saturu un īpatnējo metāna iznākumu – $0,306 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}_{\text{VS}}^{-1}$, kas sasniegts ar pārtikas atkritumu un liellopu kūstmēslu attiecību 60:40 un organisko slodzi $4 \text{ kg} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$. Pārtikas atkritumu kofermentācija ar kartonu 4 litru bioreaktoros, īpatnējās metāna iznākuma maksimālā vērtība bija pie organiskās slodzes $3 \text{ kg} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ – $0,315 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}_{\text{VS}}^{-1}$. Metāna koncentrācija vidēji bija 54%. Pētījumos ar 75 litru bioreaktoru maksimālais metāna iznākums bija fermentējot vienu un to pašu pārtikas atkritumu – $0,203 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}_{\text{VS}}^{-1}$. Tas ir saistīts ar faktu, ka gaistošo taukskābju koncentrācija bija mazāka augstākajā bioreaktorā – $2 \text{ 600 mg} \cdot \text{L}^{-1}$, salīdzinot ar pētījumu ar 4 litriem bioreaktorā – $7 \text{ 000 mg} \cdot \text{L}^{-1}$ [6].

Materiāli un metodes

Eksperimentā tika pētītas trīs dažādas iegūtās biomasas. Slimnīcas un kafejnīcas pārpalikumu daudzums vienā dienā ir 9,307 un 5,768 kg.

Slimnīcas pārtikas atkritumu sastāvā ir baltmaize, saldskābā maize, rīsi ar burkāniem, auzu pārslu biezu putru, tomāti, kartupeļu biezu putru, svaigs gurķis, kabači, paprika, cukīni.

Kafejnīcas pārtikas atkritumu sastāvā ir kartupeļu mizas, biskvītkūka, romiešu salāti, marinēti gurķi, kāposti, burkāni, cūkgaļa, grauzdīņu salāti, kartupeļi, kafijas biezuļi, burkāni.

Mājsaimniecībā pārtikas atkritumi radušies no neapēstās pārtikas, kas ir 3,833 kg, kuri ir savākti 4 dienu laikā. Pārtikas atkritumu sastāvā ir bietes, skābēti gurķi, sabojājušies sīpoli un āboli, kartupeļu mizas, zivs, sīpolu mizas, burkāni, tomāti.

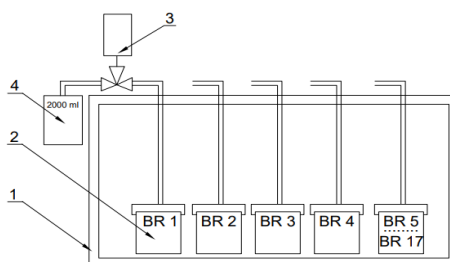
Pirms bioreaktoru uzpildīšanas ievāktie pārtikas atkritumi tika sasmalcināti, izveidojot homogēnu masu. Kopumā tika uzpildīti 17 bioreaktori.

Bioreaktori tika uzpildīti vienu reizi, šādās proporcijās:

- BR1, BR17 – 500 g ieraugs;
- BR2-BR4 – 500 g ieraugs un 25 g pārtikas atkritumi no slimnīcas;
- BR5-BR7 – 500 g ieraugs un 19 g kafejnīcas pārtikas atkritumi ar 6 g kafijas biezuļiem;
- BR8-BR10 – 500 g ieraugs un 25 g mājsaimniecības pārtikas atkritumi;
- BR11-BR13 – 500 g ieraugs un 23 g visu trīs paraugu sajaukums ar 2 g kafijas biezuļi;
- BR14-BR16 – 500 g ieraugs un 20 g visu trīs paraugu sajaukums ar 5 g papīra putekļiem.

Kā ieraugs tika izmantots fermentēti liellopu kūstmēsli (no 120l bioreaktora, kas darbojas nepārtrauktā režīmā). Pārtikas pārpalikumu un papīra putekļu anaerobais process notika pie $38 \pm 0.5^\circ\text{C}$.

Uzpildītie bioreaktori tika ievietoti krāsnī ar termostatu (1). Katram bioreaktoram (2) ir savs izvads ar trīsdaļīgu vārstu, no kura tika ņemtas biogāzes sastāva analīzes (3), biogāze uzkrājas plastmasas 2000 ml maisā (4).



1. att. Bioreaktora izvietojums

Saražotā biogāze uzkrāta plastmasas 2000 ml maisos, no kuriem tālāk tika veikti saražotās biogāzes daudzuma un sastāva mērījumi AF procesa laikā. Anaerobas fermentācijas cikls ilga 13 diennaktis, pēc tam metāna biogāzes ražošana beidzās. Aprēķinos iegūtās metāna biogāzes daudzumu, tika ņemti vērā visu uzpildīto bioreaktoru iegūto metāna biogāzes daudzumi. Pēc rezultātu apkopošanas, tika aprēķināti vidējie rezultāti. Rezultāti apkopoti tabulās un parādīti grafikos.

Rezultāti un diskusija

Eksperimentālais pētījums tika veikts LBTU TF biogāzes laboratorijā, laika posmā no 27.01.2023, kad tika veikta bioreaktoru uzpildīšana. Uzpildīti tika 17 bioreaktori un ievietoti laboratorijas termostatā, kurā tie atradās visu eksperimenta laiku. Bioreaktori tika izņemti no termostata sildīšanas iekārtas 10.02.2023, kad bioreaktoros vairāk netika ražota gāze. Augstākais biogāzes saturs tika saražots sajaucot visu pārtikas atkritumus ar papīra putekļiem, kas bija 9,08 litri vidēji no bioreaktora.

1. tabula

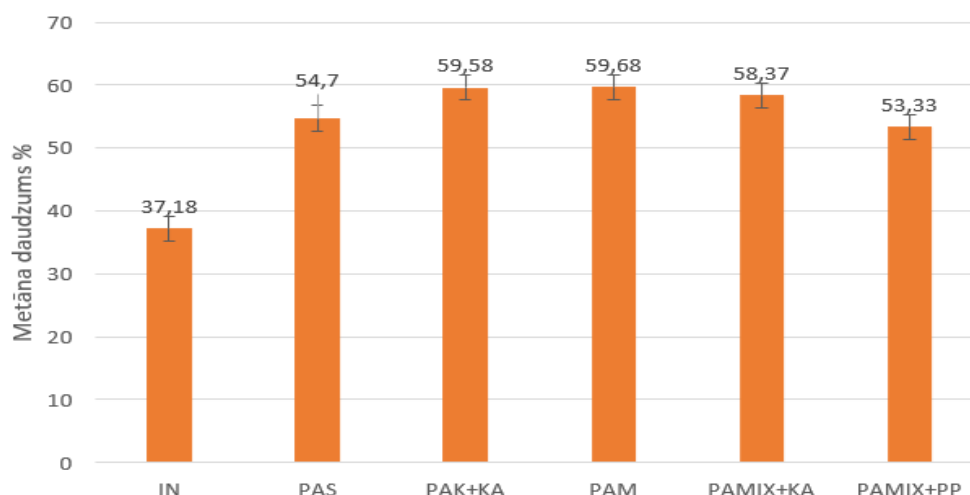
Reaktora izejas materiālu sastāvs

| Reaktoru nummuri | Izejmateriālu apzīmējums | Iesvars, g | TS, % | TS, g | ASH, °A | ASH, g | OMs, % | OMs, g |
|------------------|--------------------------|------------|-------|-------|---------|--------|--------|--------|
| BR1;BR17 | IN | 500 | 4,74 | 22,46 | 1,27 | 6,06 | 3,46 | 16,41 |
| BR2;BR3;BR4 | PAS | 25 | 4,71 | 24,09 | 1,21 | 6,20 | 3,50 | 17,89 |
| BR5;BR6;BR7 | PAK+KB | 19+6 | 4,97 | 24,95 | 1,02 | 5,10 | 3,96 | 19,85 |
| BR8;BR9;BR10 | PAM | 25 | 4,56 | 23,14 | 1,39 | 7,05 | 3,17 | 16,09 |
| BR11;BR12;BR13 | PAMIX+KB | 23+2 | 4,64 | 23,29 | 1,28 | 6,41 | 3,37 | 16,88 |
| BR14;BR15;BR16 | PAMIX+PP | 20+5 | 4,95 | 24,72 | 1,42 | 7,10 | 3,53 | 17,62 |

Skaidrojums: IN – inokulāts, PAS – pārtikas atkritumi slimnīcas, PAK – pārtikas atkritumi kafējnīcas, KB – kafijas biežumi, PAM – pārtikas atkritumi mājāsaimniecības, PAMIX – pārtikas atkritumi kopā, PP- papīra putekļi, TS – kopējā sausna, ASH – pelni, OMs – sausā organiskā viela

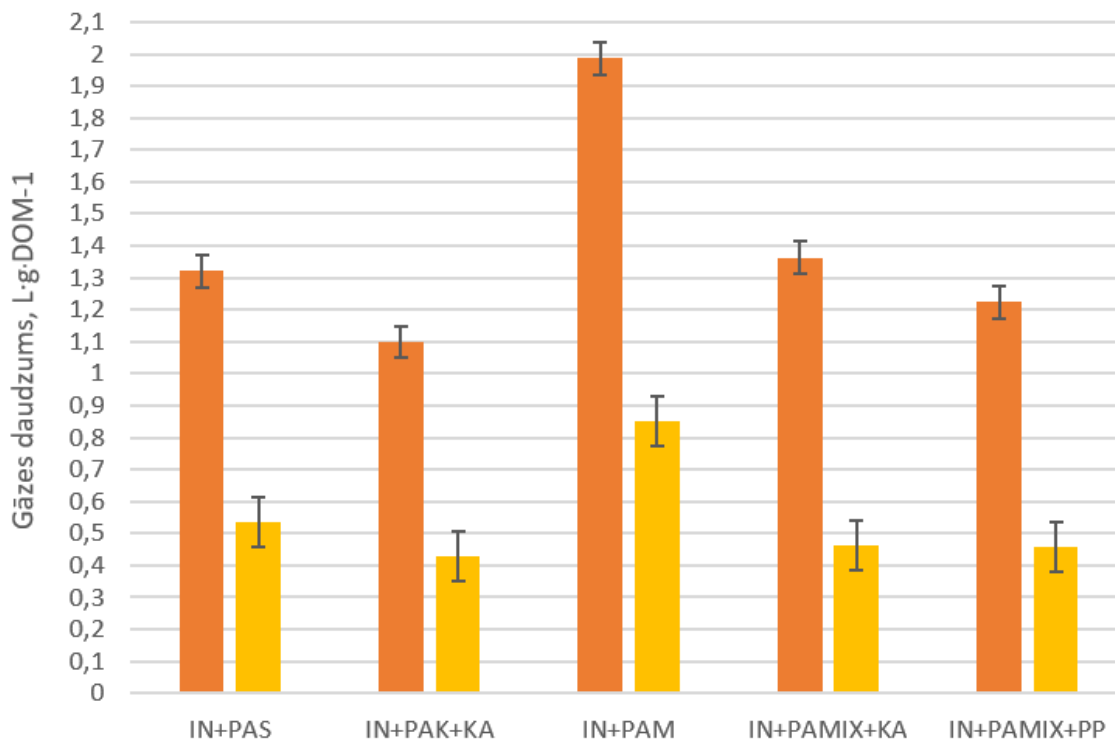
Pēc 1. tabulas datiem ir redzams, ka lielākā daļa sausnas un sauso organisko vielu ir pārtikas atkritumos no kafējnīcās, bet visvairāk pelnu saturs ir pārtikas atkritumu sajaucumā.

Veiktā eksperimentālā pētījumā iegūtais vidējais metāna daudzuma salīdzinājums reaktoros parādīts 2. attēlā. Procentuāli salīdzinot varam redzēt, ka PAK + KA, PAM un PAMIX + KA ar metāna daudzumu biogāzē izteikti neatšķiras, bet tomēr pārtikas atkritumi no mājāsaimniecības ir ar labāku metāna saturu, pieņemtu, ka tas ir dēļ sīpoliem, jo šis pārtikas produkts pārējos pārtikas atkritumos netika konstatēts.



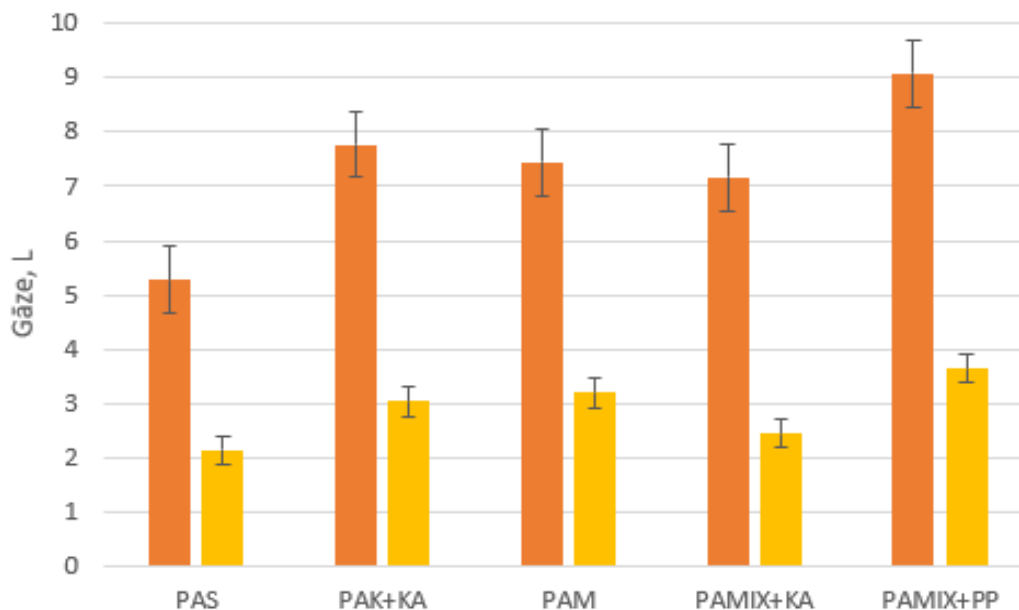
2. att. Saražotais vidējais metāna daudzums reaktoros %

Vidējais īpatnējais biogāzes un metāna daudzums reaktoros attēlos 3. attēlā. Eksperimentālā pētījumā iegūtie lielumi ir atkarīgi no izejvielām un to sastāva (proteīnu, lipīdu, ogļhidrātu satura), izteikti redzam, ka IN + PAM ir lielāks biogāzes daudzums, kas varētu būt dēļ nedaudz atšķirīgā pārtikas atkrituma sastāva.



3. att. **Biogāzes un metāna vidējais īpatnējais daudzums reaktoros**

4. attēlā parādīti biogāzes un metāna vidējie iegūtie daudzumi no ievietotajiem bioreaktoriem.



4. att. **Biogāzes un metāna vidējie iegūtie daudzumi**

Ļoti skaidri varam redzēt, ka visvairāk iegūtais biogāzes daudzums ir tieši pārtikas atkritumu maisījumam ar papīra putekļiem, pēc tam līdzvērtīgi biogāzi ir saražojuši PAK + KA un PAM bioreaktori, kas atšķiras tikai ar 300ml gāzes daudzumu, bet tomēr lielāks vidējais metāna saturs ir PAM bioreaktoram.

Secinājumi

1. Pievienojot pārtikas atkritumiem papīra putekļus ir iespējams palielināt biogāzes ražību aptuveni par 20%.

2. Pārtikas atkritumi ir spējīgi saražot pietiekamu metāna daudzumu, lai tos varētu efektīvi izmantot enerģijas ražošanai.
3. Biogāzes iegūtais daudzums ir atkarīgs no biomasas izejvielām un sastāva.
4. Iegūtais metāns ir gandrīz 60%, kas ir ļoti labs biogāzes ražošanas rādītājs.

Izmantotie informācijas avoti

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations [online] [13.01.2023] Available at: <https://www.fao.org/save-food/resources/infographic/en/>
- [2] Stenmarck Å., Jensen C., Quested T., et al. (2016). Estimates of European food waste levels, pp. 1-80.
- [3] Kanger K. Biogas Production under Co-Digestion of Food Waste with Sewage Sludge. University of Tartu. 2013. p.37.
- [4] Pārtikas atkritumu pārstrādes nosacījumu izstrāde to turpmākai pārstrādei, izmantojot biotehnoloģijas. Biedrība "Latvijas Atkritumu saimniecības asociācija". 2016. p.67
- [5] Anette T. Jansson, Regina J. Patinvoh, Ilona Sarvari Horvath, Mohammed J. Taherzadeh. Dry Anaerobic Digestion of Food and Paper Industry Waste at Different Solid Contents. Fermentation, vol. 5, no. 2, doi:10.3390/fermentation5020040. May, 2019.
- [6] Zhang Y, Banks C.J, Heaven S (2012) Co-digestion of source segregated domestic food waste to improve process stability. Bioresour Technol 114:168–178. doi:10.1016/j. biortech.2012.03.040

SOLĀRĀS ENERĢIJAS KATAMARĀNA PIELĀGOŠANA EKSPERIMENTIEM ADAPTATION OF SOLAR ENERGY CATAMARAN TO EXPERIMENTS

Artis Einštāls

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

Dainis Berjoza

Zinātniskais vadītājs, Spēkratu institūta vadītājs, Dr. sc. ing.

Abstract. The consumption of non-renewable natural and energy resources has increased several times over the last decade compared to previous years. In this paper Author has mentioned some of Internationally built solar powered boats and key components for efficient use. The aim of the study was to conduct operational tests of the prototype catamaran to determine the energy consumed and produced in different modes of motion. The object of the study in being studied in movement under real operating conditions in the city of Jelgava, Driksas river and Lielupe territory – around Post island in 5th of July 2022. Catamaran prototype is equipped with a 12 V, 40 Ah lithium iron battery, 450 W solar panel and 350 W Minn Kota Endura 34 electric motor. Pilot operational studies – catamaran movement at 3 different power levels repeated 5 times each and shorter distance at 2 lowest power levels 3 times. During experiment characteristics were recorded – path, speed, time, battery and engine voltages, solar panel power output. In the result we concluded that with a standard 450 W solar panel on a sunny day, solar catamaran could travel in any power level without discharging the battery.

Atslēgas vārdi: Saules baterijas, atjaunojamā enerģija, alternatīvā enerģija, peldlīdzekļi.

Ievads

Pēdējos desmit gados neatjaunojamo energoresursu patēriņš ir audzis vairākkārtīgi, salīdzinot ar iepriekšējiem gadiem, bet tas ir tikai viens no vairuma, iemeslu kādēļ ik gadu pieaug pieprasījums pēc alternatīvām, kuras spētu aizstāt neatjaunojamo energoresursu un izejvielu izmantošanu ražošanā un sadzīvē. Kā jau iepriekš minēts, strauji samazinoties neatjaunojamo dabas resursu krājumiem, aug nepieciešamība pēc atjaunojamajiem enerģijas avotiem, kuru izmantošana palīdzētu samazināt siltumnīcas gāzu emisijas, dažādojot energoapgādi. Vēja enerģija kā alternatīva peldlīdzekļos kā Latvijā tā arī visā plašajā pasaulē tiek izmantota jau ļoti sen. Pateicoties tehnoloģiju attīstībai jau 20. gs. beigās pasaulē peldlīdzekļos tiek izmantoti kombinēti alternatīvās enerģijas avoti kā saules un vēja enerģijas prototipi. Savukārt, saules enerģijas izmantošana peldlīdzekļu darbināšanai ne tikai Latvijā vēl netiek plaši izmantota.

Visā pasaulē jau kopš 21. gs. sākuma zinātnieki pārveido dažādu tipu peldlīdzekļus tā, lai to darbību varētu nodrošināt ar alternatīvās enerģijas izmantošanu. Par piemēru var minēt Bangladešā zinātniekus, kuri prototipa izveidei izvēlējās savā reģionā visplašāk izmantoto koka laivas modeli, attiecīgi atvieglot projekta izveidošanas procesu, saīsinot izgatavošanas laiku. Piedziņas kardiāns dzesēšanas nolūkos tiek uzlabots ar virs tā novietotu šauru cauruli pa kuru tiek tecināta lietota iekšdedzes dzinēju eļļa. Prototipa darbināšanai tika izvēlēta saules enerģija, uzstādot saules paneļus uz speciāli izgatavotiem koka stabiem, kas vienlaikus pilda arī jumta funkciju, pasargājot pasažierus no nokrišņiem un tiešajiem saules stariem. Bangladešas zinātnieku mērķis bija izveidot efektīvāku un modernāku peldlīdzekli ar kuru nogādāt strādniekus un vietējos iedzīvotājus pāri upei.

Bangladešas zinātnieki izpētīja, ka lai, iegūtu sev vēlamu pārvietošanās efektivitāti, ir nepieciešams saražot 380 W elektroenerģijas, un pēc saviem ieskatiem izvēlējās līdzstrāvas elektromotoru ar 500 W lielu jaudu, lai nodrošinātu jaudas rezervi un samazinātu elektromotora noslodzi. Zinātnieki aprēķinājuši, ka ir nepieciešama vismaz 162 Ah liela akumulatora baterija. Ņemot vērā drošības faktoru tiek izvēlētas četras 12 V, 200 Ah akumulatoru baterijas. Sistēma izmanto 48 V spriegumu, uzlādes kontrolēšanai tiek izmantots 48 V, 15 A MPPT uzlādes kontrollers. Kā arī zinātnieki aprēķināja, ka saules paneļiem jānodrošina 919 W elektroenerģijas, tādēļ prototipam tiek izvēlēti četri 24 V, 250 W saules paneļi [1].

Pētniekiem bieži vien izgudrojumi tiek izstrādāti tikai teorētiski, nevis kopīgi ar visu prototipu. 2014. gadā Indonēzijas pētnieki izstrādāja dizainu laivas prototipam, kas būtu piemērots īsām distancēm. Tika plānots veikt līdz pat 25 km lielu distanci vienas dienas laikā, ja kopējais prototipa svars nepārsniegtu 200 kg [2]. Maksimālais sasniedzamais ātrums $7.4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ izmantojot 2.7 kW jaudas

elektromotoru. Elektroenerģijas uzkrāšanai tiek izmantotas divas 84 Ah akumulatoru baterijas veidojot 24 V lielu spriegumu.

Rezultātā pētnieki nonāca pie slēdziena, ka ir pēdējais laiks pēc iespējas samazināt iekšdedzes dzinēju izmantošanu, aizstājot to ar alternatīvās enerģijas izmantošanu. Lielākais uzsvars būtu jāliek uz pilsētvides teritoriju, kur katru dienu novērojams vislielākais piesārņojums no izplūdes gāzēm un citiem iekšdedzes dzinēju darbības procesa blakus produktiem. Vien ūdens transporta līdzekļu vidū aizstājot iekšdedzes dzinējus ar alternatīvās enerģijas izmantošu tiks ievērojami samazināts ikdienā izdalītais piesārņojuma daudzums [2].

Pētnieki Taizemē 2015. gadā veica pētījumu ar mērķi izvēlēties efektīvu elektromotoru 4m gara laivas modeļa piedziņai. Nepieciešams izveidot piedziņas mehānismu, lai prototips attīstītu $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ lielu kustības ātrumu. Elektroenerģiju piedziņa nodrošina kopējā slēgumā saslēgts 3 fāzu 2.2 kW indukcijas motors un četras akumulatora baterijas, uzturot 24 V līdzstrāvas. Eksperimentam tika izmantota stikla šķiedras laiva. Pētnieki noskaidroja, ka ir nepieciešams vismaz 1.8 kW jaudas elektromotors un 24-48 V spriegums no akumulatora baterijām. Tika izvēlētas četras 12 V dziļizlādes akumulatoru baterijas ar kopējo kapacitāti 120 Ah. Pēc veiktajiem eksperimentiem pētnieki nonāca pie secinājuma, ka standarta elektromotoru var izmantot kā piedziņas avotu ar elektroenerģiju darbināmām laivām, taču vispirms nepieciešams veikt dažus pētījumus. Lai aprēķinātu nepieciešamo elektromotora jaudu jāizpēta hidrodinamika, kā arī praktiski jāizmēģina vairāki elektromotoru veidi [3].

Saules enerģija tiek izmantota arī sacensību nolūkos jau vairākus gadus, ar mērķi izaicināt inženierzinātņu programmu studentus, veikt ieguldījumu attīstībā un savu noslēgumu darbu īstenošanai. 2015. gadā Nīderlandes students sava promocijas darba ietvaros veica teorijas apskatu par savas augstskolas iepriekšējo gadu uzbūvēto, ar saules enerģijas darbināmo, sacīkšu laivu prototipiem, ar mērķi uzlabot efektivitāti [4]. Lai optimizētu komponentu darbību sacīkšu laivā, tā laika students Tims Gorters analizēja elektroenerģijas plūsmu no saules paneļu sistēmas uz piedziņas propelleru, ņemot vērā laivas prototipa pretestību. Tika noskaidrots, ka laivas pretestība ietekmē nepieciešamo saules paneļu sistēmas saražotās jaudas apjomu. Prototipu var sadalīt divos galvenajos mezglos – mehāniskajā un elektriskajā. Elektriskais mezgls sastāv no saules paneļu sistēmas, akumulatoru baterijām un elektromotora vadības. Mehāniskais mezgls sastāv no elektromotora, pārnese kārba un piedziņas propellera [4].

Students aprēķināja un izveidoja jaunu dizainu piedziņas propelleram, ņemot vērā uzstādīto saules paneļu sistēmas jaudu. Izmēģinot jauno dizainu, tika novērota līdz pat 15% lielāka efektivitāte. Optimālais darbības režīms elektromotoram un propelleram ir ierobežots, tas nozīmē, ka pie dažādām jaudām, mainīgiem motora darbības apgriezieniem mainās arī griezes moments, kas ietekmē elektromotora optimālu darbību. Rezultātā ir apgrūtināti izveidot piedziņas mezglu alternatīvās enerģijas peldlīdzekļiem, kas paredzēti garām distancēm. Lai visefektīvāk veiktu dažādas distances ir nepieciešams izstrādāt vairākus propellerus, kurus var nomainīt, uzlabojot efektivitāti attiecīgi īsiem ātriem pārbraucieniem vai garākām distancēm [4].

Eksperimentālo pētījumu mērķis ir veikt katamarāna prototipa ekspluatācijas testus, lai noteiktu patērēto un saražoto enerģiju kustības režīmos. Darba izstrādei tiek izmantots Latvijā pirmais pilnībā elektrisks ar saules enerģiju darbināms katamarāna prototips. Prototipa konstrukcijas pamatā ir standarta katamarāna korpus, tam tika nomontēts pedāļu piedziņas mehānisms, aizstāts ar stūrēšanas mehānisma svīru, aizmugurējā daļā uzstādītu standarta laivas elektromotoru. (skatīt 1. att.).



1. att. Pārbūvētais katamarāna *Pelican Monaco* korpus

Materiāli un metodes

Kā pamata konstrukcija tiek izmantots standarta katamarāna korpus *Pelican Monaco* ar sēdvietām 2 pieaugušajiem un 2 bērniem. Prototipa pārbūves laikā tika demontēts rūpnīcas uzstādītais piedziņas mehānisms – pedāļi un lāpstīņu rotors. No konstrukcijas elementiem klāt tika uzstādīts elektromotora stiprinājums aizmugures daļā un izgatavots rāmis saules paneļa stiprināšanai.

Prototipam izvēlēts 450 W saules panelis *Longi LR-472HIH-445M*, tehniskos parametrus skatīt 1. tabulā. Saules paneļa ārējie izmēri 2100 x 1050 mm. Saules panelis katamarāna prototipam kalpo ne tikai kā elektroenerģijas ģenerators, bet arī kā jumts, kas aizsargā katamarānā esošos cilvēkus un iekārtas no tiešas laika apstākļu, nokrišņu ietekmes.

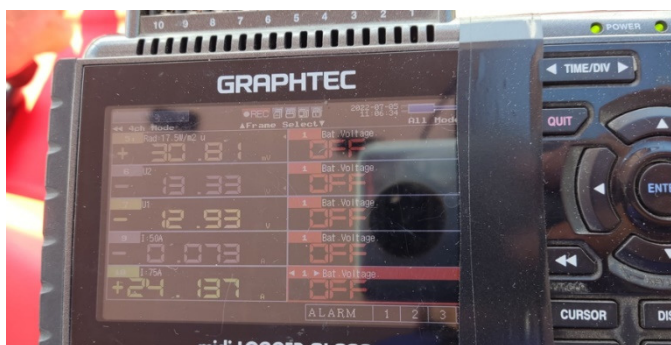
1. tabula

Saules paneļa Longi LR4-72HIH-445M galvenie tehniskie parametri

| Nr.p.k. | Parametrs | Vērtība |
|---------|---|-----------------|
| 1. | Masa | 22 kg |
| 2. | Maksimālā jauda | 445 W |
| 3. | Spriegums pie maksimālās pretestības | 41.3 V |
| 4. | Strāvas stiprums pie maksimālās pretestības | 10.8 A |
| 5. | Drošinātājs | 20 A |
| 6. | Darba temperatūra | -40 līdz + 85°C |
| 7. | Spriegums bez slodzes | 49.1 V |

Katamarāna korpusam eksperimentu veikšanai ir nepieciešams veikt uzlabojumus saistībā ar izmantotajām iekārtām. Lai uzlabotu saules enerģijas sistēmas efektivitāti, tiek uzstādīts *MPPT* uzlādes kontrolers *MPPT XTRA3210/N*.

Saražotās elektroenerģijas uzkrāšanai tiek izmantota 40 Ah litija jonu akumulatora baterija. Ekspluatācijas eksperimentālo datu mērījumu fiksēšanai un ierakstīšanai izmanto *Graphitech midi Logger GL220* (akumulatora baterijas sprieguma U_{akb} , strāvas stipruma I_{akb} , elektromotora patērētā sprieguma $U_{el.mot.}$, strāvas stipruma $I_{el.mot.}$), lai veiktu tālāku datu apstrādi. *Graphitech* datu ierakstīšanas iekārtu skatīt 2. attēlā.



2. att. **Kustības datu mērīšanai un ierakstīšanai GPS datu ierakstīšanas iekārta *Garmin Edge 830***

Eksperimentālo pētījumu mērķis ir veikt katamarāna prototipa ekspluatācijas testus, lai noteiktu patērēto un saražoto enerģiju dažādos kustības režīmos. Pētījuma objekts tiek pētīts kustībā reālos ekspluatācijas apstākļos Jelgavas pilsētā, Driksas upes un Lielupes teritorijā – apkārt Pasta salai. 2022. gada 5. jūlijā pa noteiktu maršrutu. Eksperiments tika veikts no plkst. 10:15 līdz 16:17.

Veic ekspluatācijas eksperimentālos pētījumus;

Katamarāna kustība 3 dažādās jaudas pakāpēs. Katru eksperimentu atkārto 5 reizes. Divās mazākajās jaudas pakāpēs eksperimentu atkārto īsākā posmā 3 reizes. Eksperimenta laikā tiek ierakstīts maršruts ar raksturīgajiem parametriem (ceļš, ātrums, laiks), kā arī fiksētie elektriskie parametri (akumulatora spriegums, spriegums uz motora, akumulatora strāva, motora strāva). Datu fiksēšana 10 reizes sekundē. Pēc eksperimenta tiek aprēķināta akumulatora atdotā un saņemtā jauda, un motora patērētā jauda. Mērīta arī saules intensitāte ar piranimetru. Meteoroloģiskie laika apstākļi brīžiem veidojās mākoņaini, bet pārsvarā saulaini, gaisa temperatūra + 27°C, nokrišņi netika novēroti.

Katamarāna prototips tika glabāts LBTU noliktavas telpās, regulāri veiktas apkopes un komponentu stāvoklis un to darbības pārbaudes.

Eksperimenta laikā tika izmantotas akumulatora baterijas un mērierīču drošības sistēmas gadījumiem, ja kāda no iekārtām tiek bojāta vai rodas uguns bīstamība. Katamarāna vadītajam un pasažierim tiek lietotas drošības vestes. Katamarāna prototipam tika izmantotas drošības virves pietauvošanai.

Materiāli un mezgli izmantoti, izgatavojot katamarānu prototipu. Iekārtu slēgumam izmantoti dažāda diametru vadi un papildus drošībai, lai pasargātu ne tikai vadus bet arī iekārtas no iekrišanas ūdenī, individuāli stiprinājumi.

Eksperimentu uzsāk ar prototipa ievietošanu ūdenstilpnē un ieslēdzot mērierīces, uzsākot datu reģistrēšanu, mērierīču atmiņas kartēs. Uzsākot kustību, tiek iestatīts elektromotora jaudas pakāpju sviras stāvoklis vēlamajā pakāpē, drošības nolūkos kustības uzsākšanai lieto 2 jaudas pakāpi. Pārvietošanās laikā elektromotoram pārslēdzas starp 2. un 5. jaudas pakāpi un veic stūrēšanu ar stūres sviru. Pirms kustības uzsākšanas ieslēdz un pārliedz par elektrisko datu ierakstīšanas iekārtu un GPS datu logeru darbību. Pēc kustības uzsākšanas veic pārvietošanos pa izvēlēto maršrutu, ik pēc minūtes, pārliedzinoties vai visas mērierīces darbojas. Maršruta beigās katamarāna prototipu pietauvo pie ostas un aptur, saglabā braucienus datus. Aprakstītās darbības veic vismaz 5 reizes ar katru no jaudas pakāpēm.

Nosakāmie ieejas un izejas parametri:

- v – kustības ātrums, $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ (no 0 līdz $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$);
- t – laiks, s (reakcijas laiks);
- U – spriegums, V (akumulatora baterijai 0-14.1 V; saules baterijai 0-41.3 V);
- I – strāvas stiprums, A (saules baterijas radītais strāvas stiprums elektroenerģijas pārnese laikā 10.8 A);
- P – jauda, W (saules baterijas momentānā saražotā elektroenerģija un elektromotora patērētā jauda 0 – 350 W);
- s – ceļš, m (veicamā ceļa posma garums 0-1500 m).

Gadījuma faktors, kuru nav iespējams ietekmēt eksperimenta dalībniekiem ir mākoņu aizstāšanās priekšā saulei, kas samazina saules staru intensitāti uz saules bateriju paneļa. Tieši saules stari rada maksimālo saules staru intensitāti, taču katrs objekts, kas parādās starp paneli un saules stariem samazina momentāno saražoto saules bateriju elektroenerģijas daudzumu.

Visu augstāk minēto parametru mērierīces tiek iestatītas vienā režīmā, izņemot elektromotora jaudas pakāpju sviru, kuras režīmu maiņas brīdī izmainās patērētās elektroenerģijas apjoms un prototipa kustības ātrums. Eksperimentu jāveic saulainā laikā, vēlams ar saules maksimālo intensitāti un diennakts laika posmā, kad saule nav zemāka par 25 grādiem virs horizonta.

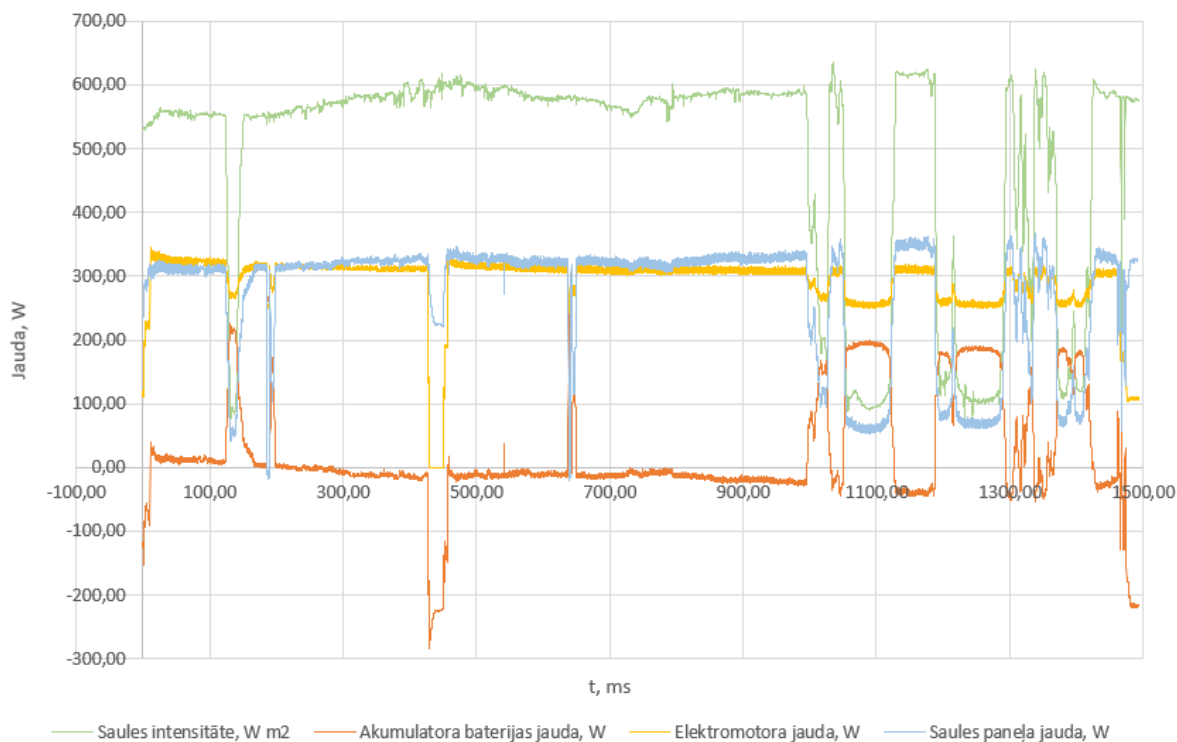
Ņemot vērā, ka mērījumu precizitāte visām izmantotajām mērierīcēm ir zem 1%, tad atkārtojumu skaits tiek izvēlēts – 5 atkārtojumi. Izvēlēti 5 atkārtojumi, jo izvēlētajā maršruta viens atkārtojums ilgst vidēji vienu stundu.

Iegūtie eksperimentu dati no mērierīču atmiņas kartēm tiek ierakstīti datorā. Ar datu apstrādes programmām datus pārveido un sakārto saprotamā un uzskatāmā formā. Programmā Excel tiek veikts datu kopsavilkums, grafiku un tabulu uzskatāmā formātā. Tiek veikta datu analīze pēc kuras var izvērtēt iegūto datu precizitāti.

Pētījumā iegūtie dati ir prezentējami kā atskaites punkts, informācija, turpmākajiem eksperimentiem un ekspluatācijai, jo šāda tipa izklaides/atpūtas tipa peldlīdzekļi vēl nav pētīti. Datī tiek prezentēti stabiņu grafiku veidā.

Rezultāti un diskusija

Eksperimenta gaitā maršruts visātrāk tika veikts 5 jaudas pakāpē, 1492 s ar vidējo ātrumu $3.84 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Ar elektroniskajām mērierīcēm tika fiksētas saules paneļa, akumulatora baterijas un elektromotora jaudas vērtības W, kā arī saules intensitāte $\text{W} \cdot \text{m}^2$. Eksperimenta atkārtojumus sākām 5. jaudas pakāpē ar mērķi teorētiski aprēķināt, vai vienas dienas diennakts gaišajā laikā varēs veikt visus atkārtojumus visās jaudas pakāpēs. Fiksētie mērierīču mērījumi, veicot eksperimentu 5. jaudas pakāpē, pēc reģistrēto datu apstrādes grafiks parādīti 3. attēlā.



3. att. Saules paneļa, akumulatora baterijas un elektromotora jauda 5 jaudas pakāpē

Diagrammā parādīts, ka akumulatora baterijas jaudas uzrāda arī negatīvas vērtības, tas nozīmē, ka tajā laika posmā akumulatora baterija tiek lādēta no saules paneļa, bet pozitīvās vērtības parāda, ka tiek patērēta elektroenerģija elektromotora darbināšanai. Par piemēru 430-450 sekundē akumulatora baterija tika lādēta, jo elektromotors nepatērēja elektroenerģiju attiecīgajā laika posmā, par iemeslu minot nezāļu saķeršanos elektromotora propellerā un nepieciešamību to apturēt, lai izņemtu nezāles. Saules intensitāte, veicot atkārtojumu, bija robežās no 555-590 $\text{W}\cdot\text{m}^2$, un saules panelis spēja attīstīt vidēji 325 W jaudu. Lieki piebilst, ka saules panelis efektīvi spēj saražot tikai 70-75% no tehniskajā specifikācijā uzrādītās jaudas. Apskatot 1.2. attēlā redzamo laika intervālu, 995 s līdz 1492 s novērojama nevienmērība mērījumos. Tika ievērojami vairāk patērēta elektroenerģija no akumulatora baterijas elektromotora darbināšanai, jo saules intensitāte samazinājās brīžiem pat vien $95 \text{ W}\cdot\text{m}^2$. Samazinoties saules intensitātei, saules panelis nespēj saražot tik lielu elektroenerģijas daudzumu, un elektromotora darbināšanai pieslēdzas akumulatora baterija, lai nodrošinātu nepieciešamo izejas jaudu kustības nodrošināšanai izvēlētajā jaudas pakāpē.

Secinājumi

1. Katamarāna uzlabojumi palīdzēja veikt veiksmīgus ekspluatācijas eksperimentus, jo gan saules baterijas panelis, gan elektromotors spēja sniegt pēc rūpnīcas noteiktajiem rādītājiem savu maksimālo sniegumu 350 W jeb 72% no saules paneļa ražotāja uzrādītās jaudas 455 W.
2. Eksperimenta laikā, kad saules intensitāte bija virs $550 \text{ W}\cdot\text{m}^2$, saules panelis spēja saražot pietiekoši daudz elektroenerģijas, lai darbinātu elektromotoru, bez nepieciešamības izmantot akumulatora baterijā uzkrāto elektroenerģiju.
3. Kad saules panelis saražo pietiekoši daudz elektroenerģijas elektromotora darbināšanai, tad neizmantojot elektroenerģiju tiek uzkrāta akumulatora baterijā.
4. Saulaini un skaidri laika apstākļi ievērojami uzlabo saules paneļa elektroenerģijas saražošanas spējas, un pat iespējams veikt pārvietošanos, izmantojot tikai saules paneļa saražoto elektroenerģiju tik ilgi, kamēr vien saules panelis uztver tiešos saules starus.
5. Kad saules intensitāte nokritās zem $500 \text{ W}\cdot\text{m}^2$, elektromotora darbināšanai tika izmantota arī akumulatora baterijā uzkrātā elektroenerģija.

6. Saules panelis izvēlēts veiksmīgi, jo tas spēj pilnībā nodrošināt elektromotora darbināšanai nepieciešamo jaudu, pie nosacījuma, kad saules intensitāte uz saules paneļa bateriju ir vismaz $400 \text{ W}\cdot\text{m}^2$.

Izmantotie informācijas avoti

- [1] Solar Powered Ferry Boat for Rural Area of Bangladesh In “International Conference on Advances in Electrical, Electronic and System Engineering”. Proceedings, November 14 – 16, 2016. Putrajaya, Malaysia, 2016, pp. 38-42.
- [2] Morsalin. S., Mahmud. K., Md. Khan. I., Design and Fabrication of an Automated Solar Boat. International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 64., 2014, p. 13.
- [3] Reabroy R., Tiaple Y., Pongduang S., Nantawong T., Iamraksa P., The Possibility of using Electrical Motor for Boat Propulsion System. In 2015 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies, Energy Procedia 79., 2015 pp. 1008-1014.
- [4] Gorter T., Design considerations of a solar racing boat: propeller design parameters as a result of PV system power. In the 7th International Conference on Applied Energy – ICAE2015, 2015, DOI: 10.1016/j.egypro.2015.07.179.

METODIKAS IZSTRĀDE GĀZU PLŪSMAS MĒRĪŠANAS IEKĀRTAS ĢEOMETRISKO PARAMETRU IETEKMES NOVĒRTĒŠANAI

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR ASSESSING THE INFLUENCE OF THE GEOMETRICAL PARAMETERS OF A GAS FLOW MEASUREMENT DEVICE

Mārtiņš Elsiņš

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

Kārlis Banis

Zinātniskais vadītājs, vieslektors, Mg.sc.ing.

Abstract. In this paper a methodology is developed to evaluate the effect of gas flow measurement devices varied geometrical parameter effect on the measurement results on ISO 5167 compatible orifice type gas flow measurement device without flow conditioners. The aim of this article is to prepare methodology on how geometrical deviations, within ISO 5167 recommended values, effect the mass flowrate measurement result of gas flow compared to simulation data. Experimental model is developed in Solidworks Flow simulation with inner pipe diameter of 100mm. Table of changed geometrical parameter variable table has been made.

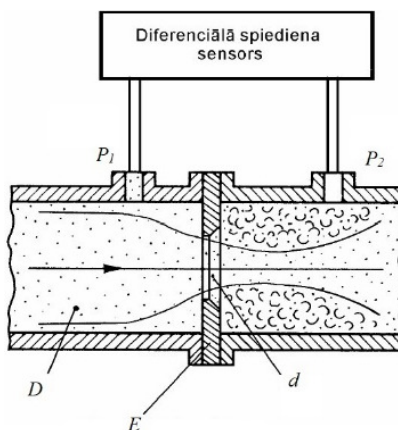
Atslēgas vārdi: gāzu plūsmu mērīšana, plūsmas simulācijas, ISO 5167, asu malu drosele.

Ievads

Gāzu plūsmas mērīšanas iekārtas uzdevums ir mērīt kāda noteikta objekta gāzu tilpuma vai masas caurplūdi laika vienībā. Šādas iekārtas ir svarīgas, piemēram, naftas un gāzes, enerģētikas, ķīmijas, pārtikas, farmācijas, autotransporta, autosporta, motosporta, kā arī citās nozarēs, kur gāzu tilpuma vai masas caurplūde, vai tās izmaiņa dažādu konstruktīvo parametru ietekmē ir būtisks faktors. Ar šādu iekārtu palīdzību var nomērīt gāzu masas vai tilpuma caurplūdes vērtību pētāmajā objektā, piemēram, iekšdedzes motoru ieplūdes un izplūdes sistēmu sastāvdaļās [1].

Gāzu plūsmas mērīšanas iekārtas galvenā sastāvdaļa ir plūsmas mērīšanas elements. Viens no šādu elementu tipi ir asu malu drosele, kas ir plaši pielietota konstrukcijas vienkāršības, zemo izmaksu, labas precizitātes un prognozējamās iekārtas darbības dēļ. Šī tipa plūsmas mērīšanas elementa gāzes caurplūdes lieluma mērs ir spiediena kritums ap drosele caurulē (skatīt 1. attēlu) [2]. Šādas mēriekārtas pamatelementi ir vakuuma avots, caurule, droseļejošais elements, diferenciāla spiediena sensors, temperatūras sensors, kā arī spiediena sensors spiediena krituma iestatīšanai zem pētāmā objekta [1].

Gāzu plūsmas mērīšanas iekārtas darbojas ar fiksētu spiediena krituma vērtību, ko izvēlas iekārtas operators. Veicot katru mērījumu, šo spiediena kritumu ir jāiestata atkārtoti, lai iegūtos datus varētu savstarpēji salīdzināt. Tas ir nepieciešams, jo pie dažādiem spiedienu kritumiem zem pētāmā objekta, veidojas dažādas gāzu masas vai tilpuma caurplūdes vērtības [1]. 1. attēlā redzama asu malu droseles plūsmas mērīšanas elementa shematiskā uzbūve.



1. att. Asu malu droseles tipa diferenciālā spiediena plūsmas mērītāja shematiskā uzbūve:

P_1, P_2 – diferenciālā spiediena mērīšanas urbumi; D – caurules diametrs;

E – drosele; d – droseles urbuma diametrs [2].

Šāda tipa plūsmas mērītāju konstruēšanai un lietošanai ir izstrādāti vairāki standarti. Metodikas sagatavošanai tika izstrādāts gāzu plūsmas mērīšanas iekārtas modelis, balstoties uz ISO 5167-1 un ISO 5167-2 standartiem. Lai šajos standartos aprakstītās aprēķinu metodes uzskatītu par korektām, tiek uzdoti vairāki nosacījumi:

- konstants spiediena kritums ap pētāmo objektu;
- vienmērīga un stabila gāzes plūsma;
- ģeometriskie parametri standartā noteiktajās robežvērtībās;
- nevirpuļojoša gāzes plūsma;
- plūsmas ātrums nepārsniedz skaņas ātrumu [3].

Pētījuma mērķis ir izstrādāt metodiku gāzu plūsmas mērīšanas iekārtas ģeometrisku parametru ietekmes izvērtēšanai uz mērījumu rezultātu.

Materiāli un metodes

Lai izvērtētu gāzu plūsmas mērīšanas iekārtas ģeometrisku parametru ietekmi uz mērījumu rezultātu, tiek izveidots iekārtas mērinstrumenta daļas modelis, balstoties uz standartu ISO 5167-1 un ISO 5167-2 rekomendācijām, iekārtām bez laminārās plūsmas režģiem. Standarts iekārtas dimensijas raksturo kā sakarību ar caurules iekšējo diametru D [3]. Caurules iekšējais diametrs tiek izvēlēts 100 mm un tiek aprēķināti pārējie ģeometriskie parametri. Šis diametrs izvēlēts, jo tirgū tas ir brīvi pieejams izmērs izejmateriāliem.

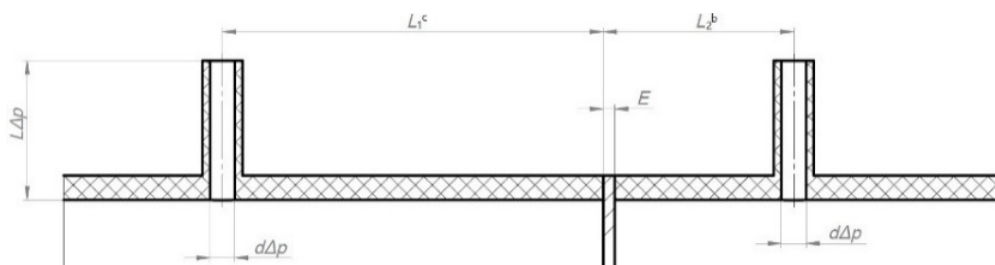
Par iekārtas nominālajiem jeb bāzes parametriem izvēlas standartā uzdotās vērtības. Ja kādam parametram vai izmēram ir iedota robežvērtība, tad par nominālu tiek izvēlēta vidējā vērtība [3]. Iekārtas nominālie parametri doti 1. tabulā.

1. tabula

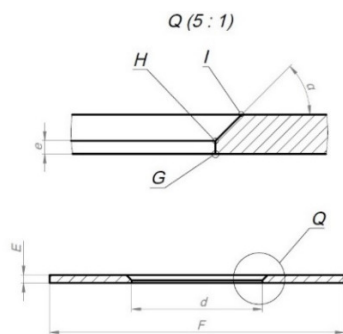
Izstrādātā gāzu plūsmas mērīšanas iekārtas nominālie ģeometriskie parametri

| Parametrs | Apzīmējums | Nominālā vērtība |
|---|-------------|------------------|
| Caurules iekšējais diametrs | D | 100.00 mm |
| Attālums no droseles līdz 90° liekumam | S_1 | 2.20 m |
| Attālums no droseles līdz izejas liekumam | S_2 | 600.00 mm |
| Attālums no iepļūdes caurules sākuma līdz pagriezianam | S_3 | 600.00 mm |
| 90 grādu liekuma rādiuss | R | 150.00 mm |
| Droseles urbuma diametrs | d | 50.00 mm |
| Droseles ārējais diametrs | F | 112.70 mm |
| Droseles urbuma dziļums | e | 1.25 mm |
| Droseles biezums | E | 3.125 mm |
| Droseles fāzes leņķis | α | 45.00° |
| Droseles malas noapaļojuma rādiuss | $G;H;I$ | 0.00 mm |
| Caurules un droseles urbuma diametrālā attiecība | β | 0.50 |
| Spiediena mērīšanas caurulītes diametrs | $d\Delta p$ | 6.50 mm |
| Minimālais spiediena mērīšanas caurulītes taisnais garums | $L\Delta p$ | 16.30 mm |
| Attālums no droseles līdz iepļūdes puses spiediena mērīšanas urbuma centram | L_1^c | 100.00 mm |
| Attālums no droseles līdz izplūdes puses spiediena mērīšanas urbuma centram | L_2^b | 50.00 mm |

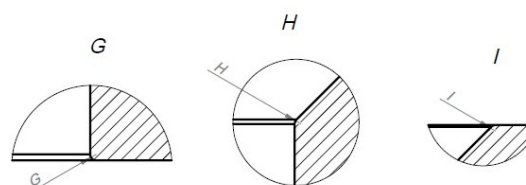
Gāzu plūsmas mērīšanas iekārtas konstrukciju nosaka ISO 5167-2 standarts. 5. attēlā parādīti cauruļu garumi S_1 , S_2 , S_3 , bet 3. un 4. attēlā redzami droseles galvenie izmēri griezumā. Spiediena mērīšanas caurulīšu centru attālums un garums redzams 2. attēlā. Attēloto ģeometrisku parametru nominālās vērtības skatīt 1. tabulā.



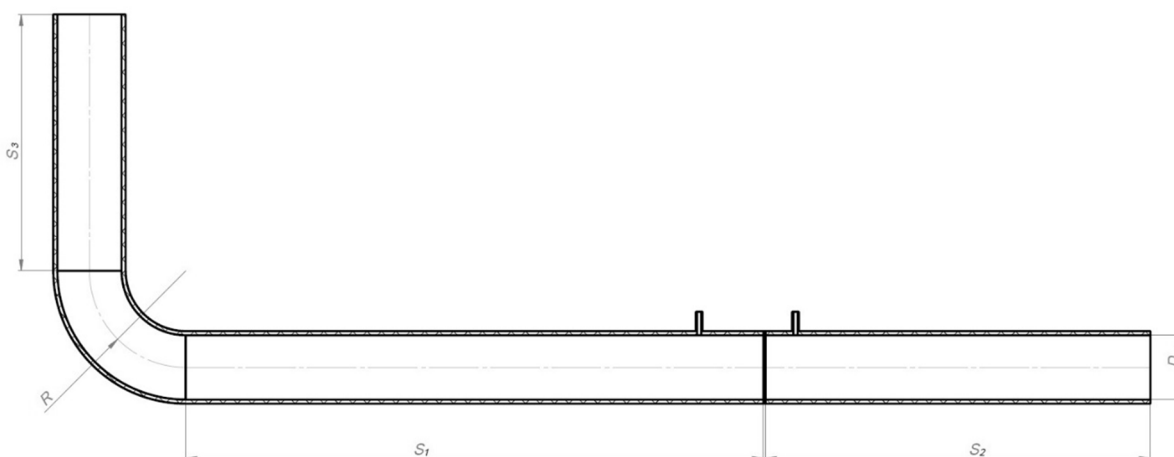
2. att. Gāzu plūsmas mērīšanas iekārtas spiediena mērīšanas caurulišu ģeometriskie parametri



3. att. Izstrādātā asu malu drosele



4. att. Izstrādātās asu malu droseles malu pieļaujamie noapaļojumu rādiusi



5. att. Gāzu plūsmas mērīšanas stenda cauruļu ģeometriskie parametri

Lai izstrādātu vadlīnijas gāzu plūsmas mērīšanas konstrukcijas izveidei nepieciešams veikt pētījumu 2., 3., 4. un 5.attēlos redzamo parametru ietekmei uz mērījumu rezultātu.

Mērījumu un datu apstrādes metodika

Gāzu plūsmas mērīšanas iekārtas ģeometrisku parametru ietekme uz mērījumu rezultātu tiek veikta *Solidworks Flow Simulation* vidē ar standartā noteiktās konstrukcijas digitālo modeli. Tiek pētīts kā mainās gaisa masas caurplūdes mērījuma rezultāts, atkarībā no ģeometrisku parametru robežvērtības ISO 5167-2 standartā noteiktajā diapazonā.

Pēc ISO 5167-2 standarta tiek izvēlētas ģeometrisku parametru izmaiņu robežas [4]. Negatīvā izmaiņu vērtība ir standartā norādītais mazākais pieļaujamais izmērs, savukārt pozitīvo izmaiņu vērtība ir standartā norādītais lielākais pieļaujamais izmērs. 2. tabulā attēlotas izstrādātās gāzu plūsmas mērīšanas iekārtas ģeometrisku parametru izmainītās vērtības mērījumu veikšanai.

2. tabula

Izstrādātā gāzu plūsmas mērīšanas stenda ģeometrisko parametru izmaiņu diapazons

| Parametrs | Apzīmējums | Diapazons |
|---|-------------|----------------|
| Attālums no droseles līdz 90° liekumam, m | S_1 | 0.90...4.40 |
| Attālums no droseles līdz izejas liekumam, m | S_2 | 0.30...1.20 |
| Attālums no ieplūdes līdz 90° liekumam, m | S_3 | 0.30...1.20 |
| Droseles urbuma diametrs, mm | D | 40.00...60.00 |
| Droseles urbuma dziļums, mm | e | 0.50...2.00 |
| Droseles biezums, mm | E | 2.00...5.00 |
| Droseles fāzes leņķis, ° | α | 30...60 |
| Spiediena mērīšanas caurulītes diametrs, mm | $d\Delta p$ | 3.25...9.25 |
| Attālums no droseles līdz ieplūdes puses spiediena mērīšanas urbuma centram, mm | L_1^c | 90.00...110.00 |
| Attālums no droseles līdz izplūdes puses spiediena mērīšanas urbuma centram, mm | L_2^b | 48.00...52.00 |

Izstrādāta mērījumu secība (3. tabula). Eksperiments tiek sākts ar iekārtas nominālajiem izmēriem un turpinot ar izmainītajiem ģeometriskajiem parametriem (2. tabula). Izceltās mainīgo parametru vērtības mērījumos ir izmainītais parametrs, salīdzinot ar nominālajiem izmēriem. Plūsmas simulācijās kopā veikti 25 mērījumi, ar dažādām mainīgo parametru kombinācijām un iegūts rezultāts – P_1 un P_2 vērtības.

3. tabula

Mērījumu secība

| Nr.pk. mērījumam | Mainīgie parametri | | | | | | | | | |
|------------------|--------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------------|-----------------|--------------|-------------|
| | S_1, m | S_2, m | S_3, m | d, mm | e, mm | E, mm | $\alpha, ^\circ$ | $d\Delta p, mm$ | L_2^c, mm | L_2^b, mm |
| 1. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 2. | 0.9 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 3. | 4.4 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 4. | 2.2 | 0.3 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 5. | 2.2 | 1.2 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 6. | 2.2 | 0.6 | 0.3 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 7. | 2.2 | 0.6 | 1.2 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 8. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 40.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 9. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 60.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 10. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 0.50 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 11. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 2.00 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 12. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 1.50 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 13. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 5.00 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 14. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 30.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 15. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 60.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 16. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 3.25 | 100.0 | 50.0 |
| 17. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 9.25 | 100.0 | 50.0 |
| 18. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 90.0 | 50.0 |
| 19. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 110.0 | 50.0 |
| 20. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 48.0 |
| 21. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 52.0 |
| 22. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 90.0 | 48.0 |
| 23. | 2.2 | 0.6 | 0.6 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 110.0 | 52.0 |
| 24. | 0.9 | 0.3 | 0.3 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |
| 25. | 4.4 | 1.2 | 1.2 | 50.0 | 1.25 | 3.125 | 45.0 | 6.50 | 100.0 | 50.0 |

Plūsmas simulācijā iekārtas ieplūdes pusē tiek uzdots robežnosacījums – 3 kPa spiediena kritums zem atmosfēriskā spiediena vērtības. Iekārtas izplūdes pusē tiek uzdota nemainīga gaisa masas caurplūde $5 \text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$. Katra plūsmas simulāciju mērījuma rezultātā tiek iegūtas spiedienu P_1 un P_2 vērtības (skatīt 1. attēlu). Šīs vērtības simulācijas laikā var būt svārstīgas, tādēļ tiek aprēķinātas šo

rezultātu vidējās vērtības. Tiek nomērīts arī gāzu plūsmas vidējais ātrums caurulē pirms droseles V_1 ((3) formula), Reynoldska skaitļa aprēķināšanai.

Tiek aprēķināta procentuālā novirze caurplūdes aprēķinam, par cik tā ir novirzījies no simulācijā uzdotās caurplūdes. Šādi dati tiek apstrādāti un fiksēti katram mērījumam. Gaisa masas caurplūdes aprēķinu pēc ISO 5167-1 standarta veica ar formulu (1), gaisa tilpumiskā caurplūde tiek aprēķināta ar formulu (2).

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1} \quad , \quad (1)$$

kur q_m – gaisa masas caurplūde, $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$;
 C – caurplūdes koeficients;
 β – caurules un droseles iekšējo diametru attiecība;
 ε – gāzes izplešanās koeficients;
 d – droseles urbuma diametrs, m;
 Δp – diferenciālais spiediens, Pa;
 ρ_1 – gaisa blīvums droseles ieplūdes pusē, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [3].

$$q_V = \frac{q_m}{\rho} \quad , \quad (2)$$

kur q_m – gaisa masas caurplūde, $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$;
 q_V – gāzes tilpuma caurplūde, $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$;
 ρ – gaisa blīvums 20°C , 1.2041 , $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [3].

Caurplūdes koeficienta C vērtība ir atkarīga no Reynoldska skaitļa caurulē Re_D . Pēc tā vērtības un diametru attiecības β , no ISO 5167-2 A.2 tabulas izvēlas atbilstošo caurplūdes koeficientu priekš pirmā mērījumu rezultātu aprēķināšanas.

$$Re_D = \frac{V_1 \cdot D}{\nu_1} \quad , \quad (3)$$

kur Re_D – Reynoldska skaitlis caurulē;
 D – caurules iekšējais diametrs, m;
 V_1 – gāzes vidējais aksiālais ātrums, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;
 ν_1 – gāzes kinemātiskā viskozitāte, $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ [3].

Izplešanās koeficients ε tiek izvēlēts no ISO 5167-2 A.12 tabulas. Tā vērtība ir atkarīga no diametru attiecības β , spiedienu P_1 un P_2 attiecības, gāzes adiabatiskā saspiežamības koeficienta k [4].

Mainoties Reynoldska skaitlim Re_D , diametru attiecībai β , spiedienu P_1 un P_2 attiecībai atbilstoši no ISO 5167-2 standarta tabulām tiek izvēlēts izplešanās koeficienta ε un caurplūdes koeficienta C vērtības. Tiek ņemts vērā, ka mainoties gāzu plūsmas vidējam ātrumam caurulē V_1 , mainās Reynoldska skaitlis.

Rezultāti un diskusija

Pēc iepriekš aprakstīto eksperimentu veikšanas ar plūsmu simulāciju palīdzību, nolasa 1. mērījuma rezultātus – P_1 un P_2 vērtības (skat. 1. att.). Ievietojot tās (3) formulā, veic 1. mērījuma gaisa masas caurplūdes aprēķinu, izmantojot pēc standarta ISO 5167-2 noteikto caurplūdes koeficienta C vērtību. Iegūto rezultātu salīdzina ar simulācijā uzdoto robežnosacījuma gaisa masas caurplūdes vērtību ($5 \text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$) un veic caurplūdes koeficienta C korekcijas, līdz iegūta aprēķinu rezultāta un simulācijas robežnosacījuma sakritība. Iegūtā novirze starp standartā ISO 5167-2 noteikto caurplūdes koeficientu un eksperimentāli noteikto caurplūdes koeficientu raksturo teorētisko aprēķinu sakritību ar plūsmas simulācijas rezultātu.

Caurplūdes koeficienta vērtība ir nosakāma tikai eksperimentālā ceļā, taču gāzu plūsmas mērīšanas iekārtas darbības nodrošināšanai to ir nepieciešams fiksēt. Šāda iemesla dēļ, eksperimentāli noteiktā caurplūdes koeficienta vērtība bez izmaiņu veikšanas tālāk tiek izmantota pārējo mērījumu gaisa masas caurplūdes aprēķinam.

Izmantojot pārējo mērījumu plūsmas simulāciju rezultātus, veic gaisa masas caurplūdes aprēķinu saskaņā ar (3) formulu. Procentuālo atšķirību starp aprēķināto un simulācijas robežnosacījumā uzdoto gaisa masas caurplūdi nosaka pēc (4) formulas.

$$P = \left(\frac{q_{m1}}{q_{mn}} - 1 \right) \cdot 100, \quad (4)$$

kur P – procentuālā novirze, %;

q_{m1} – gaisa masas caurplūde pirmajam mērījumam, $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$;

q_{mn} – gaisa masas caurplūde n-tajam mērījumam, $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$.

Iegūtās gaisa masas caurplūdes novirzes iespējams savstarpēji salīdzināt, tādējādi nosakot ticamības līmeni mērījumiem, kas veikti izmantojot gāzu plūsmas mērīšanas iekārtu ar iepriekš aprakstītajiem konstruktīvajiem parametriem. Šī ticamības līmeņa noteikšana ir svarīga, izstrādājot gāzu plūsmas mērīšanas iekārtas konstrukciju pēc standarta ISO 5167-2. Gadījumā, ja kādā no mērījumiem tiek fiksēta gaisa masas caurplūdes vērtības novirze, kas nespēj nodrošināt pietiekošu mērījumu ticamības līmeni, ir nepieciešams izvairīties no veikto konstruktīvo parametru izmaiņām.

Secinājumi

Gaisa masas caurplūde asu malu droseles plūsmas mērītājā ir atkarīga no vairākiem ģeometriskajiem parametriem. Sakarības starp šiem parametriem apraksta standarts ISO 5167-1 un ISO 5167-2.

Aptuvena caurplūdes koeficienta vērtības noteikšana ir iespējama, izmantojot ISO 5167-2 standartu.

Precīzai tās noteikšanai ir nepieciešami eksperimentālie pētījumi.

Lietojot gāzu plūsmas mērīšanas iekārtu, nepieciešams pieņemt nemainīgu caurplūdes koeficienta vērtību. Tas var radīt veicamo mērījumu novirzes no faktiskā rezultāta gadījumā, kad tiek izmantoti noteikti iekārtas konstruktīvie parametri.

Ja noteikti iekārtas konstruktīvie parametri nenodrošina pietiekošu mērījumu ticamības līmeni, ir nepieciešama šo parametru izmaiņa.

Ar šajā pētījumā izstrādātās metodikas palīdzību ir iespējams noteikt gāzu plūsmas mērīšanas iekārtas mērījumu ticamības teorētisko līmeni, izmantojot dažādus tās konstruktīvos parametrus.

Izmantotie informācijas avoti

- [1] Corrao N. Design, Construction and Testing of Square-Edge Orifice Meter Flow Bench For Automotive Use, 2014.
- [2] Kaķītis A., Galiņš A., Leščevičs P. Sensori un mērīšanas sistēmas, 2008, 395 p.
- [3] ISO 5167 : 1 : 2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 1: General principles and requirements. 61010-1 © Iec:2001, Vol. 2003, pp. 34.
- [4] ISO 5167 : 2 : 2003 Measurement of Fluid Flow by means of pressure differential devices inserted in full Part 2 : Orifice Plates. 61010-1 © Iec:2001, Vol. 2003, pp. 47.

SLAUKŠANAS ROBOTA IZMANTOŠANAS EFEKTIVITĀTES PĒTIJUMI STUDIES ON THE EFFICIENT USE OF MILKING ROBOTS

Māris Ginters

Tehniskās fakultātes 2.kursa maģistrants

Māris Mangalis

Vieslektors Mg.sc.ing.

Abstract. The Masters work aims to reduce the duration of a robot's downtime by changing the movement of animals from free choice to directed movement. The work is structured in four chapters. The first chapter describes the use of cow milking robots in the world and Latvia. The second chapter summarizes the theoretical study of robot operation. Chapter three has carried out robot operations studies. Chapter four shows the results and conclusions of the study. In Chapter five, an economic calculation has been carried out so that the benefits of installing the sorting gate on the holding can be understood.

Atslēgas vārdi: robota dīkstāve, šķirošanas vārti, slaukšanas reizes.

Ievads

Latvijas tautsaimniecībā viena no galvenajām nozarēm ir lauksaimniecība, kurā piena lopkopība ieņem nozīmīgu vietu. Strādājot zemnieku saimniecībā, ļoti liela nozīme ir darba laika ietaupījumi slaukšanas robota veiktspējīgai. Tādēļ ir jāveic darbu mehanizācija, lai samazinātu robota dīkstāvi un vairākkārtēju reižu govju iešanu cauri slaukšanas robotam, kurām nav pienācis laiks atrasties slaukšanas robotā, rezultātā kavējot robota darbu un citu liellopu nokļūšanu robot

Modernās tehnikas izmantošanai ir arī citas priekšrocības: tā atvieglo dzīvnieku labturības prasību ievērošanu, precīzās lopkopības ieviešanu, bet perspektīvā uzlabo arī piena ražošanas ekonomiskās efektivitātes rādītājus. Tādēļ govju slaukšanas robotu izmantošana, kas ir viena no modernās piena lopkopības sastāvdaļām, jāvērtē kā tautsaimnieciski nozīmīgs pasākums [1].

Lietojot slaukšanas robotu, govīm pašām ir jāizvēlās: kad un cik reizes diennaktī doties uz slaukšanu. Taču ne visas govīs pietiekoši bieži apmeklē slaukšanas robotu. Tādēļ, lietojot slaukšanas robotu, izmanto dažādas dzīvnieku virzīšanas sistēmas, kuras racionalizē dzīvnieku pārvietošanos no vienas funkcionālās vietas uz otru. Šīs sistēmas var iedalīt trīs grupās:

- brīvā;
- vadītā;
 - ar priekššķirošanu;
 - bez priekššķirošanas;
- daļēji vadītā;
 - ar priekššķirošanu;
 - bez priekššķirošanas .

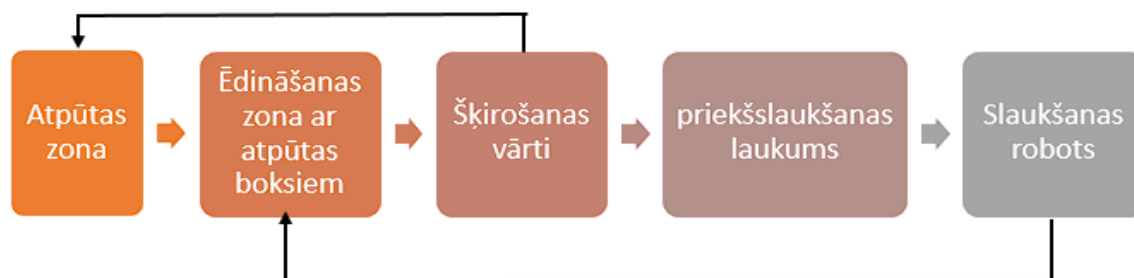
Priekššķirošana nozīmē, ka ierīkoti šķirošanas elementi pirms slaukšanas robota, lai slaukšanas zonā nokļūtu tikai tās govīs, kurām pagājis menedžmenta sistēmā iestatītais laika intervāls kopš iepriekšējās slaukšanas reizes. Tas nepieciešams, lai slaukšanas robotu nenoslogotu ar nesen slauktajām govīm, kuras grib piekļūt pie slaukšanas stendā izsniegtās spēkbarības un neaizkavētu govīs, kurām ir slaukšanas atļauja un nepieciešams tikt uz slaukšanas robotu [2].

Govju brīvā virzīšana nodrošina, ka govīs var brīvi izvēlēties, kad no atpūtas zonas pāriet uz ēdināšanas zonu, un kad doties uz slaukšanas robotu. Govīs var robotā ieiet pēc pašas vēlmes, taču tās tiek slauktas pēc noteikta, iepriekš iestatīta laika intervāla, kad pagājušas, piemēram, 4-5 stundas. Taču šādā gadījumā ganāmpulkā ir vienmēr govīs, kas nepietiekoši bieži, apmeklē slaukšanas robotu. Tādēļ samazinās šo govju izslaukums un tiek stimulēta to aizlaišana. Tāpat katrā ganāmpulkā ir arī „čaklās” govīs, kas robotu apmeklē biežāk, lai „pamielotos” ar kombinēto spēkbarību, bet tas samazina robota darba ražīgumu (apkalpojamo govju skaitu).

Brīvās govju virzīšanas priekšrocības ir tās vienkāršums un lētums, kā arī govju neierobežota piekļūšana pie slaukšanas robota un barībai. Taču šīs sistēmas trūkumi ir sekojoši.

- Nav pārlicība, ka šī sistēma spēj pietiekoši efektīvi stimulēt govju apmeklēt slaukšanas robotu, jo dzīvnieki bez slaukšanas robota apmeklēšanas var brīvi piekļūt pie barības galda.
- Zemāka ranga govīm ļoti liela iespēja var būt problēmas ar tikšanu uz slaukšanu, jo vadošās govīs var bloķēt slaukšanas robota ieeju cenšoties piekļūt slaukšanas robotā pieejamai spēkbarībai [2].

Govju virzīšana raksturīga ar to, ka visām govīm, lai nokļūtu no atpūtas uz ēdināšanas zonu, vispirms ir jāiet cauri slaukšanas robotam. Šeit pārbauda, kad attiecīgā govī ir pēdējo reizi izslaukta un tad tiek pieņemts lēmums par tās tūlītēju palaišanu uz ēdināšanas zonu vai vispirms izslaukšanu un tad laišanu uz ēdināšanas vietu. Varianta trūkums, ka tā palielinās robota noslogojums un samazinās govju ganāmpulka lielums, kuru spēj apkalpot viens slaukšanas robots. Turklāt augstākajās govīs, kuras dienā ēd 10 un vairāk reizi, var uzņemt nepietiekoši daudz barības [3] (skat. 1.att.).



1. att. Govju vadītās virzības sistēma

Materiāli un metodes

Eksperimentālo pētījumu mērķis ir samazināt slaukšanas robota, *Lely Astronaut A5*, dīkstāves ilgumu, mainot dzīvnieku kustību kūtī no brīvās izvēles uz virzīto kustību. Eksperimenta laikā analizēts, cik liels dīkstāves laiks ir saimniecībā esošajam slaukšanas robotam un piedāvāts tehnisko risinājumu kopums, kas samazinātu slaukšanas robota dīkstāvi un slaukšanas robota darbības kvalitāti kopumā.

Metodikas galvenais mērķis ir mākslīgi saimniecībā radīt vadītās govju virzības sistēmu, vienlaikus ievērojot govju uzturēšanas prasību ievērošanu.

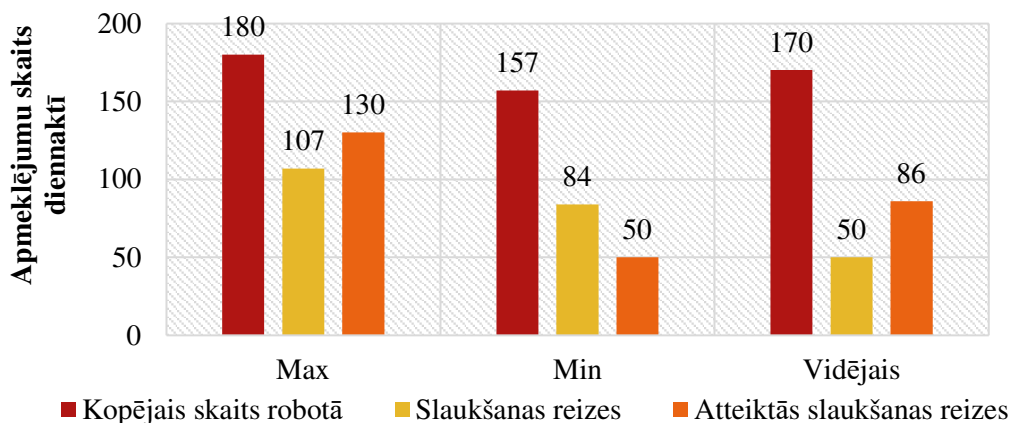
Pētījumā ir izvēlētas piecas pētījuma metodes, viena no tām ir Hronometrāžas pētījumi, kur tiks pētīts, slaukšanas robota darba parametri un veidota govju slaukšanas procesa ciklogramma. Otrā no izvēlētajām pētījuma metodēm ir veikt uzskaiti par dzīvnieku skaitu, kuras neapmeklē slaukšanas robotu, un vienlaikus veikt hronometrāžu, cik liels darbaspēka patēriņš ir nepieciešams govju piedzīšanai pie slaukšanas robota. Trešā no pētījumu metodikām ir veikt kūs plānojumu virzītās kustības nodrošināšanai. Ceturtā no pētījumu metodikām ir iegūt datus no citām saimniecībām, kurās ir uzstādīti slaukšanas roboti ar šķirošanas vārtiem. Piektā no pētījumu metodikām ir datu apstrāde un analīze, pēc kuras izejot no iegūtajiem datiem no slaukšanas robota gan hronometrāžas datiem, tiks analizēts slaukšanas robota efektivitāte un labums, ko dotu virzītās kustības izveide saimniecībā.

Students ievāca datus no divām saimniecībām, Z/s “Jāņkalni” ar brīvo govju virzīšanas sistēmu, *Lely Astronaut A5* slaukšanas robotu un 67 slaucamām govīm, kā arī Z/s “Jaunsiliņi” ar vadīto govju virzīšanas sistēmu, GEA 2 Monobox slaukšanas robotu un 70 slaucamām govīm uz vienu slaukšanas robotu.

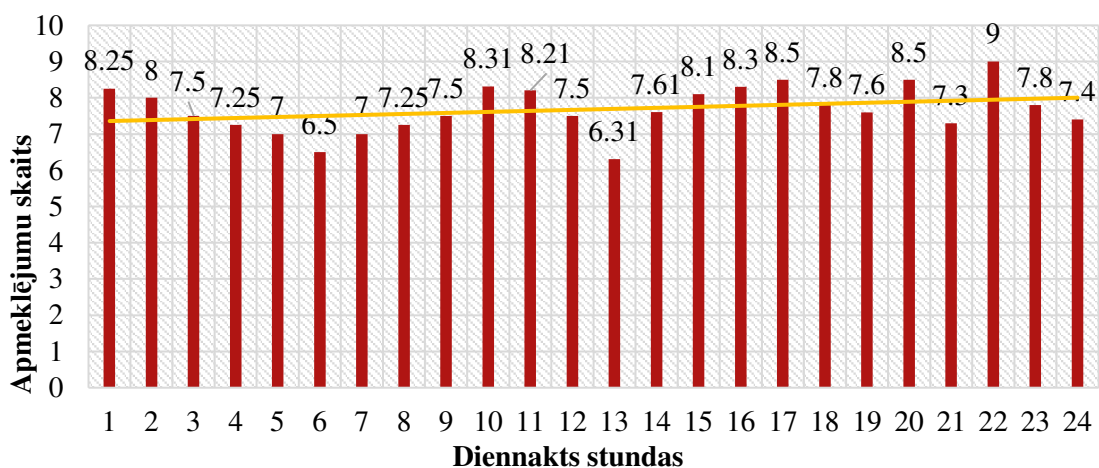
Rezultāti un diskusija

Analizējot datus Z/s “Jāņkalni”, slaukšanas robota *Lely Astronaut A5* iegūtos datus, ir iespējams novērot, ka strādājot saimniecībā ar brīvās govju virzības sistēmu, slaukšanas robotam ir ļoti liels skaits govju kas iet caur slaukšanas robotu un kavē slaukšanas procesu govīm, kurām tās ir nepieciešams (skat. 2. att.).

Iegūstot datus par vidējo roboto apmeklējumu diennaktī, ievācu datus mēneša garumā par slaukšanas robota apmeklējumu slaukšanas robotā. Eksperimenta veikšanas laikā, mēnesī bija 30 dienas (skat. 3. att.)

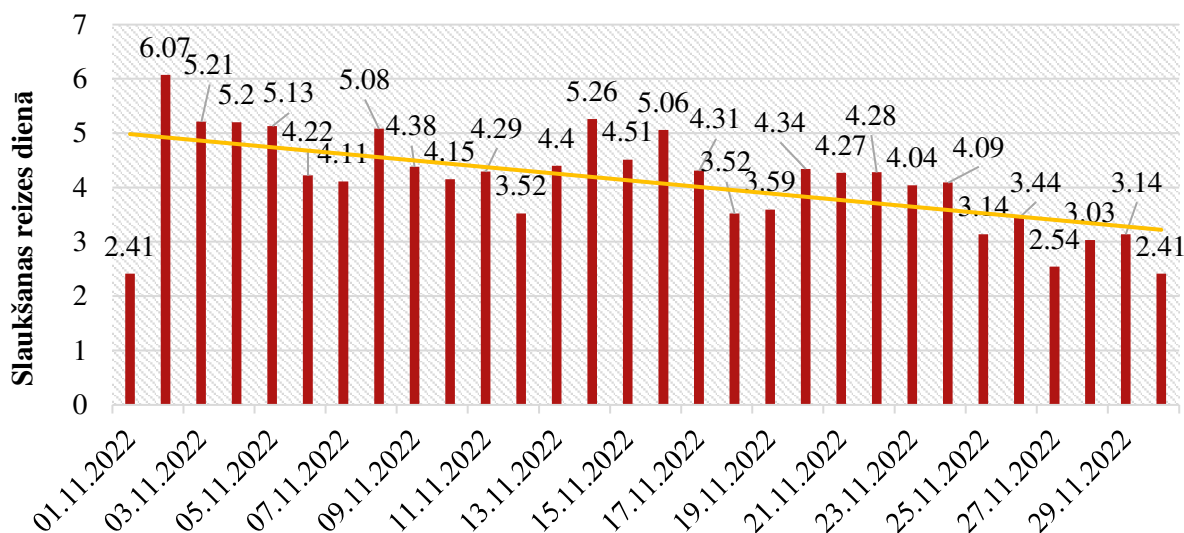


2. att. Datu kopums periodā no 01.11.22 līdz 30.11.22 par slaukšanas robota apmeklējumu Z/s “Jānkalni”



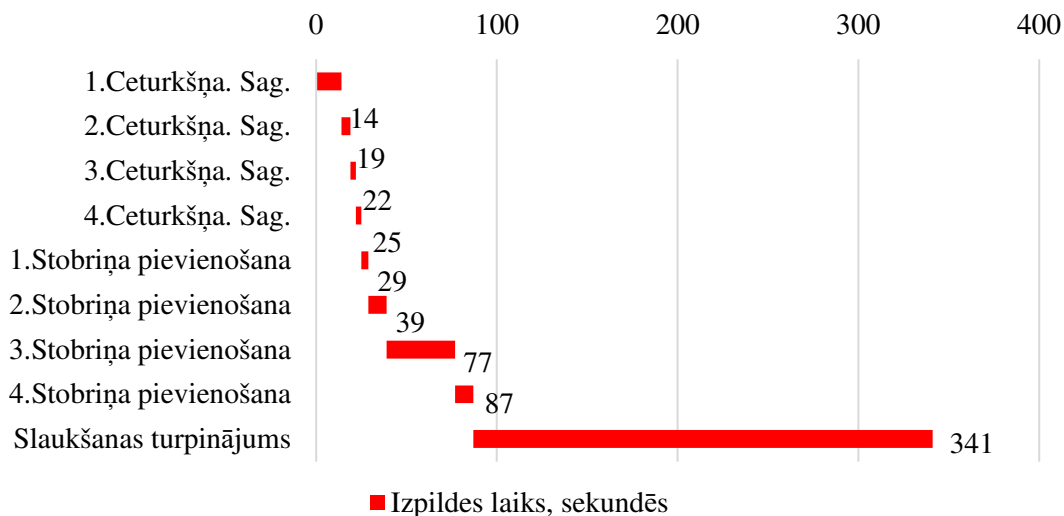
3. att. Slaukšanas reizes dienā pa stundām periodā no 01.11.22 līdz 30.11.22

Iegūstot datus par vidējo slaukšanas robota apmeklējumu pa stundām, ievācu datus mēneša garumā par govju skaitu, kuras iziet cauri slaukšanas robotam (skat. 4. att.).



4. att. Slaukšanas robota apmeklējums pa dienām periodā no 01.11.22 līdz 30.11.22

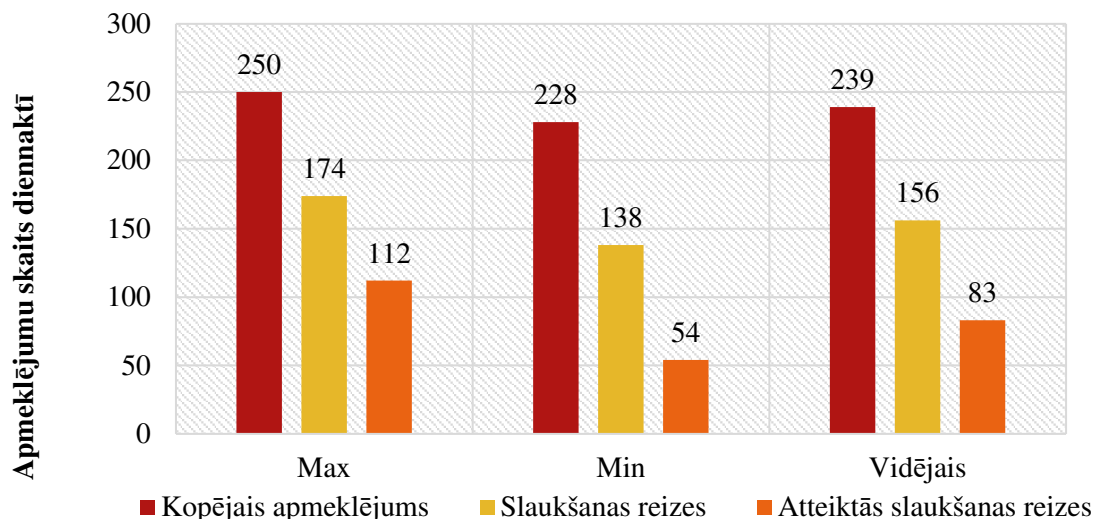
Veicot datu iegūvi saimniecībā, tika veikta hronometrāža, slaukšanas robota veiktspējai, tika veikta laika uzņemšana slaukšanas procesu norisei, cik ilgā laikā tiek sagatavoti govju ceturkšņi un stobriņu pievienošana pie pupiem. Mērījumus veicu 15 govīm un veicu vidējo datu apstrādi (skat. 5 .att.).



5. att. Govju slaukšanas ciklogramma

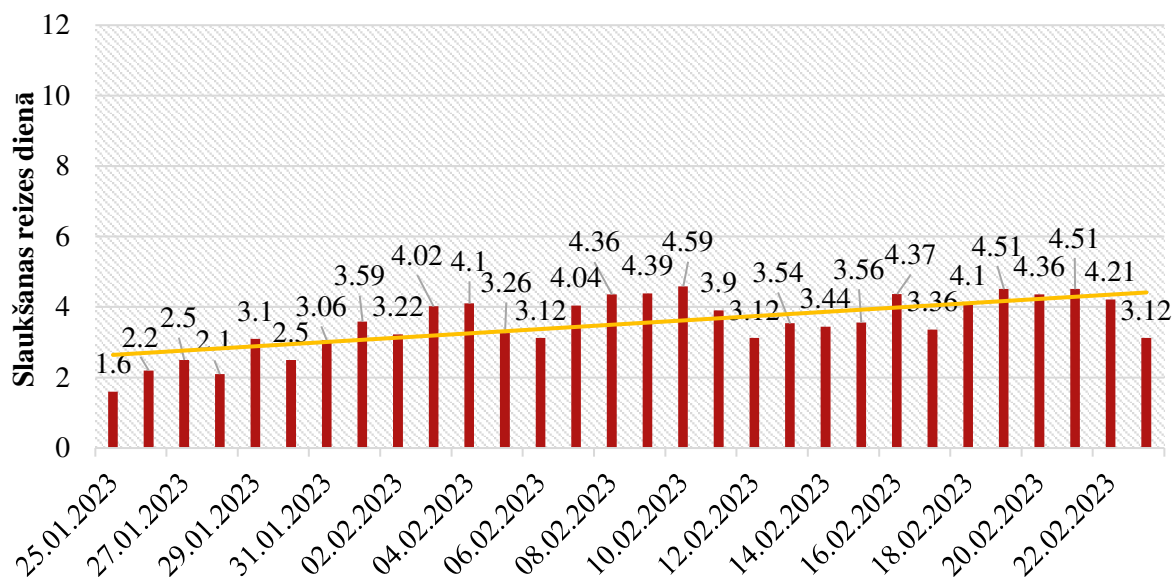
Datu salīdzināšanai tika veikti pētījumi Z/s “Jaunsiliņi”, kurā ir uzstādīti divi slaukšanas roboti, kuri atdala govju grupas, un ir govju virzītās kustības sistēma. Saimniecībā ir uzstādīti GEA slaukšanas roboti. Veicot eksperimenta mērījumus, dati tika ņemti no viena slaukšanas robota.

Analizējot datus Z/s “Jaunsiliņi”, slaukšanas robota *GEA 2 MONOBOX* iegūtos datus, ir iespējams novērot kad strādājot saimniecībā ar virzītās govju virzības sistēmu, slaukšanas robotam ir mazāks skaits govju kas iet caur slaukšanas robotu un nekavē slaukšanas procesu govīm, kurām tās ir nepieciešams, salīdzinot to ar saimniecību kurā nav uzstādīti virzītās kustības vārti, govju plūsmas nodrošināšanai (skat.6. att.).



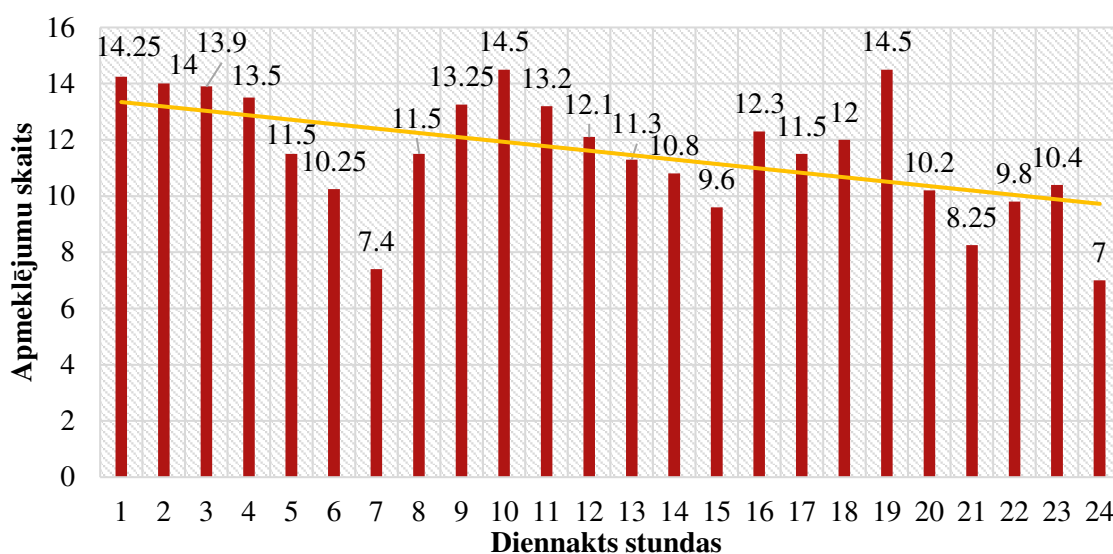
6. att. Datu kopums periodā no 01.11.22 līdz 30.11.22 par slaukšanas robota apmeklējumu Z/s “Jaunsiliņi”

Iegūstot datus par vidējo roboto apmeklējumu dienā, ievācu datus mēneša garumā par slaukšanas robota apmeklējumu slaukšanas robotā. Eksperimenta veikšanas laikā, mēnesī bija 30 dienas (skat. 7. att.).



7. att. Slaukšanas reizes dienā pa stundām periodā no 25.01.23 līdz 23.02.23

Ievācu datus par vidējo slaukšanas robota apmeklējumu pa stundām, datus ievācu mēneša garumā par govju skaitu, kuras iziet cauri slaukšanas robotam (skat. 8. att.).

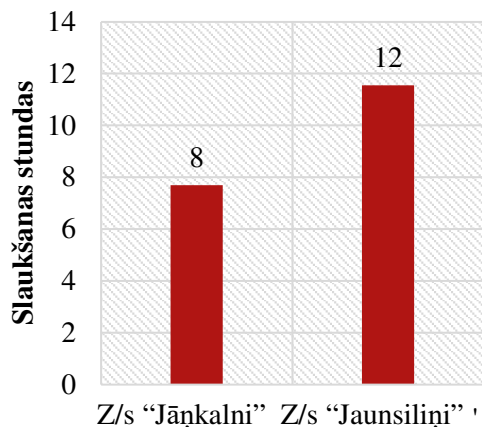


8. att. Slaukšanas robota apmeklējums pa stundām periodā no 25.01.23 līdz 23.02.23

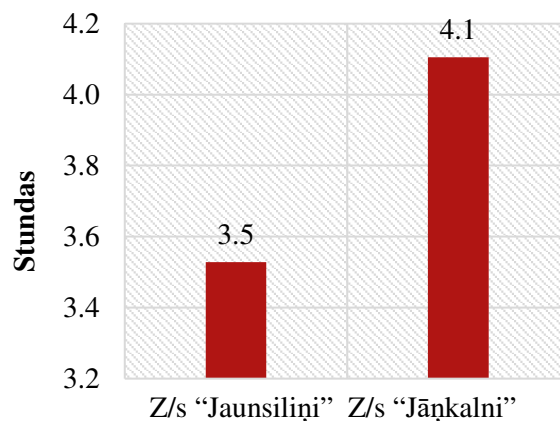
Ievācot datus par abām saimniecībām, veicu datu salīdzināšanu starp tām, lai noskaidrotu, ka brīvās virzības kūts plānojums rada zaudējumus saimniecībai salīdzinot ar saimniecību, kura ir virzītās kustības plānojums saimniecībā.

9. attēlā redzams kad Z/s “Jāņkalni” ir ievērojami mazāks slaukšanas reižu skaits stundā nekā Z/s “Jaunsiliņi” atšķirība ir par 4 stundām dienā un, skatoties uz 365 dienām gadā, tas būtu 1460 stundas gadā.

Savukārt ievācot datus un salīdzinot par slaukšanas robota dīkstāves ilgumiem 1 mēneša laikā, Z/s “Jaunsiliņi” dīkstāves ilgums dienā ir 3.5 stundas, bet savukārt Z/s “Jāņkalni” dīkstāves ilgums dienā ir 4,1 stundas. Atšķirība salīdzinot abas saimniecības ir 40 minūtes dienā (10. att.).



9. att. Datu kopums par slaukšanas reizēm stundā



10. att. Slaukšanas robota dīkstāves ilgums dienā

Secinājumi

1. Eksperimenta rezultāti liecina par to, ka ir palielināta robota dīkstāve, izmantojot brīvā tipa virzīšanas principu, bet izmantojot virzītās kustības principu, saimniecībā ļoti efektīvi samazinātu robota brīvo laiku un mazāk govīs ietu robotā, kurām nav pienākusi. slaukšanas atļauja
2. Izmantojot virzītās kustības principu saimniecībā, ļoti efektīvi samazinātu robotas brīvo laiku un mazāk govīs ietu robotā, kurām nav pienākusi kārtā.
3. No iegūtajiem rezultātiem raksta autors secina, ka lielākās grūtības saimniecībai pāriet no brīvās izvēles govju kūts plānojuma un virzītā principa saimniecības plānojuma ir govju pieradināšana, ieviešot šādas lielas izmaiņas saimniecības menedžmentā, bet šo grūto soli sperot, saimniecības govju produktivitāte var ievērojami palielināties.

Izmantotie informācijas avoti

- [1] Priekulis. J. Atskaite., „Govju slaukšanas robota ieviešanas pētījumi LLU mācību un pētījumu saimniecībā „Vecauce”., Jelgava: LLU, 2008, 3 lpp.
- [2] Priekulis J. Moderna piena ražošanas ferma: tehnoloģija, tehnika, apsaimniekošana. – Jelgava: LLU, 2013. 194-195. lpp.
- [3] Priekulis. J. Mācību grāmata., „Lopkopības mehanizācija”., Jelgava: LLU, 2008, 80 lpp.

ĢENERATĪVAIS DIZAINS KONSTRUKTĪVO RISINĀJUMU OPTIMIZĀCIJAI GENERATIVE DESIGN FOR OPTIMIZATION OF CONSTRUCTIVE SOLUTIONS

Salvis Saulvedis Ivanovs

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

Daina Kanaška

Zinātniskā vadītāja, docente, dr.sc.ing.

Abstract. This paper discusses a new approach to the design of engine bracket using topology optimization and Autodesk Fusion 360 Generative design for additive manufacturing. The full go through for designing an engine bracket is presented. Peculiarities of the criteria for evaluating the strength properties of engine bracket as per automotive regulations are specified. A topology optimization for a 1999 BMW 3 series engine bracket is performed as an example and the stress state of the part with the initial geometry and the optimized geometry is evaluated.

Atslēgas vārdi: ģeneratīvais dizains, topoloģiskā optimizēšana, 3D skenēšana, projektēšana.

Ievads

Mākslīgajam intelektam ar vien straujāk attīstoties cilvēki meklē veidus, kā tas varētu palīdzēt veikt darbus ātrāk, efektīvāk un radošāk. Arī projektēšanas nozare neatpaliek un meklē jaunus veidus kā izmantojot mākslīgo intelektu varētu atvieglot cilvēku dzīvi. Viens no svarīgākajiem faktoriem iekārtās, kas ietekmē to dizainu ir tehnoloģijas. Kā jauns palīgriks projektēšanā ir parādījis Ģeneratīvais dizains, kas ļauj veidot iekārtas vēl līdz šim neredzētos veidos [1].

Konceptuālais dizains ir produkta izstrādes procesa priekšgala posms, kurā inženieri un dizaineri ģenerē un novērtē vairākas dizaina alternatīvas, lai atrastu optimālākos risinājumus. Šajā posmā pieņemtajiem lēmumiem būs liela ietekme uz visiem turpmākajiem produktu izstrādes posmiem, kas ietver dažādas jomas, piemēram, ražošanu, testēšanu, finanses un citas. Eksperti apgalvo, ka līdz 80% no produkta izmaksām var noteikt līdz projektēšanas fāzes beigām. Tāpēc projektēšanas fāzē ir jāņem vērā vairākas prasības, lai novērstu papildu izmaksu uzkrāšanos vēlākās izstrādes fāzēs [2].

Topoloģijas optimizācija ir skaitļošanas projektēšanas metode, kuras mērķis ir optimizēt materiāla sadalījumu noteiktā projektēšanas telpā attiecībā uz slodzēm un ierobežojumiem, vienlaikus maksimāli palielinot konstrukcijas veiktspēju. To parasti izmanto agrīnā projektēšanas fāzē, lai izpētītu un novērtētu daudzas dizaina iespējas atbilstoši izvirzītajiem mērķiem, piemēram, samazināt svaru, palielināt stingrību, samazināt stresu, samazināt pārvietošanos. Topoloģijas optimizācijas rīki ir izstrādāti, lai samazinātu inženieru pūles, kas nepieciešamas, lai veiktu iteratīvos procesus, izstrādājot un analizējot vairākas dizaina variācijas, kā arī lai atbalstītu radošumu, piedāvājot risinājumus, par kuriem inženieri, iespējams, nebūtu iedomājušies [3].

Topoloģijas optimizācija ir viena no trim galvenajām strukturālās optimizācijas kategorijām, kā arī formas un izmēra optimizācija. Formas optimizācijā tiek ņemti vērā noteikti kontūru parametri, ko nosaka mezglu pozīcijas, lai izpildītu piešķirtos projektēšanas kritērijus un mērķus (piemēram, samazinātu sprieguma koncentrāciju vai palielinātu noguruma kalpošanas laiku). Izmēru optimizācija maina projektēšanas parametru vērtības, kas saistītas ar elementu šķērsriezuma laukumiem, lai rastu optimālu risinājumu attiecībā uz svaru, spriegumu, nobīdēm utt. Pēdējo bieži izmanto kopņu konstrukciju, atbalsta stieņu un konstrukciju karkasu problēmām. Atšķirībā no topoloģijas optimizācijas šīs metodes neļauj pievienot vai noņemt jaunus elementus vai tukšumus struktūrā, tikai mainīt to parametru vērtības. Turklāt formas un izmēra optimizācijas metodēm ir nepieciešams sākotnējais parametrizēts modelis, lai veiktu optimizāciju, savukārt topoloģijas optimizācijai ir nepieciešams tikai noteikts sākuma tilpums [4].

Pētījumi par ģeneratīvo dizainu sākās ap 1980. gadiem, taču tolaik tie galvenokārt ietvēra publikācijas, kas bija tīri teorētiskas, bez neviena ievērojama pielietojuma piemēra. Gaidāmajā datoru un tehnoloģiju attīstībā pētnieki sāka meklēt iespējamus risinājumus, kas varētu izmantot šos jaunus resursus savu darba procesu uzlabošanai. Sākotnēji lielākā interese bija par arhitektūras jomu, bet drīz pēc tam citu jomu pētnieki sāka pētīt iespējamās iespējas un pielietojumus, no kuriem izriet skaitļošanas un analogiju kombinācija [5].

Ģeneratīvo dizainu var saprast kā metodi vairāku dizainu izveidei, kas ietver noteiktu automatizācijas un autonomijas apjomu procesā. Dabas evolucionārā pieeja tiek izmantota projektēšanas procesā, sākot ar vienu vai vairākiem dažādiem dizainparaugiem, kas ir izplatīti visā projektēšanas telpā, kas laika gaitā pārvēršas par piemērotākām formām noteiktajiem apstākļiem. Dizaini, kas neatbilst nosacījumiem vai neatbilst dizaina mērķiem, tiek izmesti, un attīstības process turpina virzīties citos virzienos. Inženieri un dizaineri ir iesaistīti procesā galvenokārt, lai noteiktu ierobežojumus un projektēšanas mērķus pirms paaudzes sākšanas, bet var tikt iekļauti arī klienti, lai uzlabotu visu ģenerēšanas procesu. Lai gan ģeneratīvo dizainu var veikt matemātiski, izmantojot noteiktu noteikumu kopumu, termins parasti tiek izmantots projektēšanai ar skaitļošanas palīdzību. Ģenerētie izvadi var būt dažādi: attēli, modeļi, skaņas, animācija, tāpēc šo metodi var izmantot dažādās jomās, piemēram, arhitektūrā, inženierzinātnēs un dizainā, mākslā, mūzikā, modē un daudzās citās [6].

Šajā darbā tiks aplūkoti trīs dizaina paņēmieni: klasiskais, topoloģiskā optimizācija un ģeneratīvais dizains un tās, cik tie ir atbilstoši dažādiem kritērijiem: sloģošanai, ražošanas izmaksām, un materiāla daudzuma izmantošanai.

Materiāli un metodes

Lai izpētītu iespējas un atrastu atšķirības starp topoloģijas optimizācijas un ģeneratīvā dizaina pieejām, tiek veikts pētījums par 1999. gada BMW 320 dzinēja kronšteinu. Dzinēja kronšteins ir automobiļa sastāvdaļa, kas nostiprina dzinēju un ātrumkārbu klāt pie šasijas. Šajā darbā vērā ņemtie spēki, kas darbojas uz kronšteinu ir dzinēja un ātrumkārbas svārs un dzinēja griezes moments. Lai vienkāršotu projektēšanas uzdevumu, tiek pētīts tikai labās puses dzinēja kronšteins. Orģinālajam dzinēja kronšteinam tika veikta 3D skenēšana, lai iegūtu pēc iespējas precīzāku modeli. 3D skenēšana tika veikta ar iekārtu Einstar, kas ir budžeta klases 3D skeneris.

1. tabula

Einstar 3D skenēšanas parametri

| | |
|------------------------------|--|
| Skenēšanas metode | Strukturētā gaismas skenēšana |
| Punktu distance | 0,1 mm ~ 3 mm |
| Gaismas veids | Infrasarkanā strukturētā gaisma |
| Darba distance | Efektīvā darba distance: 160 mm-1400 mm; Optimālā darba distance: 400 mm |
| Uztveršanas dziļums | 160-1400 mm |
| Maksimālais redzes laukums | 434 mm*379 mm (optimālā darba distancē) |
| Skenēšanas ātrums | 980,000 punkti/sek, līdz 14 FPS (kadri sekundē) |
| Darba temperatūras diapazons | 0-40°C |
| Darba mitruma diapazons | 10-90% |

Lai skenējumu iegūt pēc iespējas precīzāku uz detaļas tiek izvietoti marķieru punkti, kas palīdz skenerim labāk uztvert ģeometriju. Pēc skenēšanas iegūtais punktu mākonis tiek uzlabots, novēršot nepilnības, kas rodas skenēšanas procesā. Skenēšanas procesu un neapstrādāto punktu mākonis var aplūkot 1. attēlā.

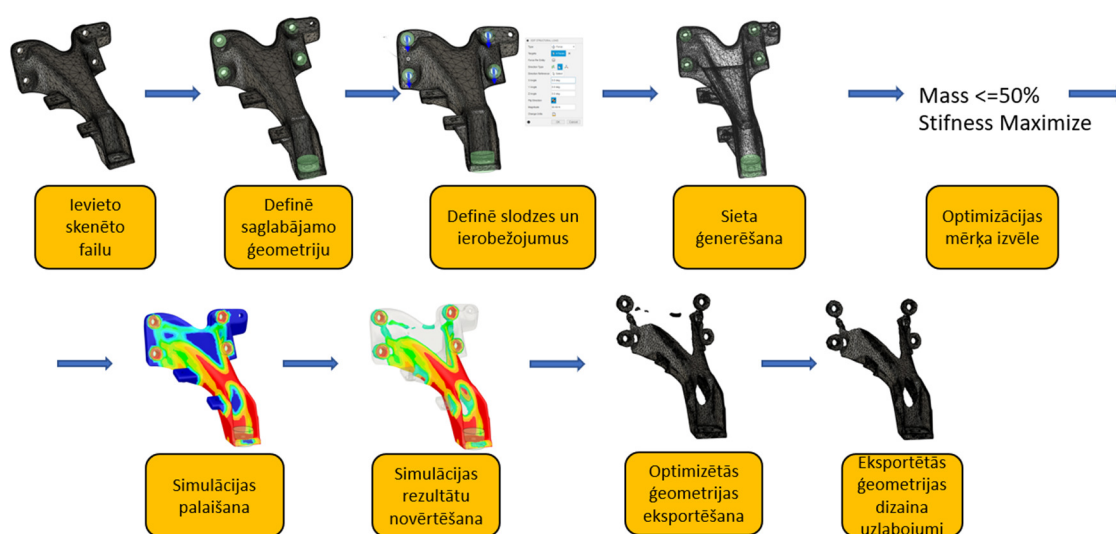


1. att. Skenēšanas process un neapstrādāts punktu mākonis

Gan topoloģijas optimizācijas, gan ģeneratīvā dizaina pētījumi tiek veikti programmatūrā Autodesk Fusion 360, pirmajā izmantojot shape optimization moduli, bet otrajā – generative design moduli. Sākotnējais modelis tika importēts kā .stl fails, kurš pēc tam tika pārveidots no virsmas modeļa uz pildītu. Sākotnējais kronšteina materiāls ir alumīnijs A380, ko plaši pielieto, kad materiāls tiek liets. Orģinālās detaļas svars ir 2,19 kg. Lai sasniegtu salīdzināmus rezultātus, abos pētījumos tika noteikti vienādi kritēriji, t.i., ierobežojumi un slodzes sadalījums. Noteiktais svars, kas spiež un konkrēto kronšteinu ir 93,5 N. Drošības koeficients tiek pieņemts 2. Pētījuma ietvaros tika ģenerēts formas optimizācijas tīkls, kas tika pielāgots dizaina modelim.

Sagatavojot dizaina pētījumus, tika pamanītas dažas būtiskas atšķirības pētījuma darbplūsmās, kas ietekmē gala projektus. Galvenās atšķirības ir sākotnējās ģeometrijas sagatavošanā un projektēšanas telpas definīcijā. Turklāt ģeneratīvais dizains ietver iespēju pētījuma veikšanai izvēlēties vairākus materiālus un ražošanas metodes, kā arī nodrošina iespēju salīdzināšanai rezultātu pārskatam.

Topoloģijas optimizācijas pētījumu veikšanai tika izmantots Formas optimizācijas modulis programmā Autodesk Fusion 360 Simulation. Topoloģijas optimizācijas darbplūsma, kas tika ievērota, ir parādīta 2. attēlā.

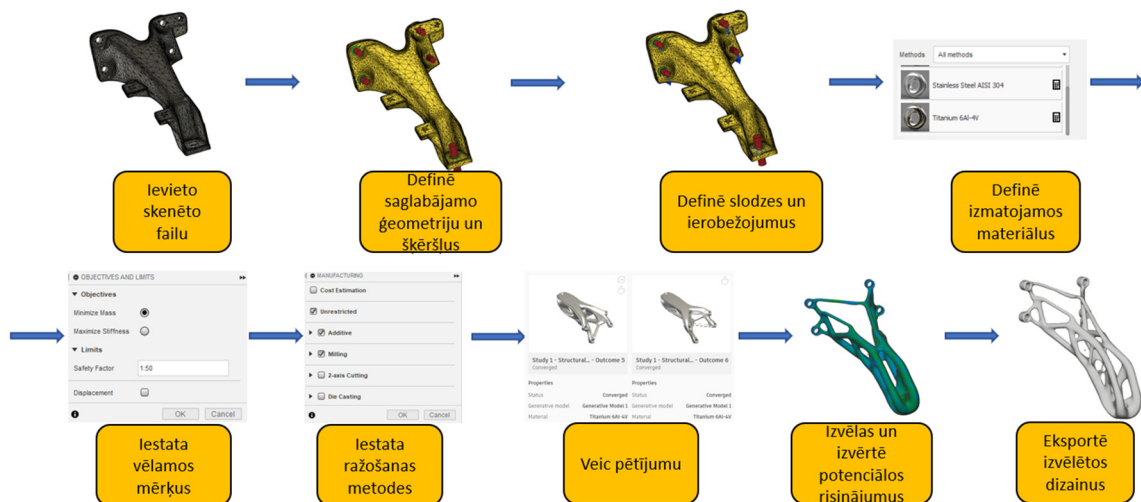


2. att. Topoloģijas optimizācijas darba plūsma

No sākuma, simulācijas vidē tika importēts sākotnējais kronšteina STL modelis. Tas atspoguļo dizaina telpas ārējās robežas, kas nozīmē, ka optimizētais dizains būs sākotnējā apjoma robežās. Ir jāpiešķir materiāls pētījumam. Pēc tam, ir jādefinē saglabātā ģeometrija, kas parasti ir pozīcijas, kas atrodas savienojumu vietā ar citām komponentēm. Komponentei tiek piemērots vienkāršots slodzes modelis, definējot slodzes un strukturālos ierobežojumus. Pēc tam var ģenerēt sietu, ko var tālāk lokāli pielāgot, lai labāk atbilstu vēlamajiem rezultātiem. Dizainu var optimizēt atbilstoši vienam no diviem mērķiem: masas samazināšanai vai stinguma maksimizēšanai, lai samazinātu materiāla izmantošanu, vienlaikus saglabājot nepieciešamo izturību. Projektēšanas mērķis bija samazināt masu līdz 50% no sākotnējās masas, un izvēlētais materiāls ir alumīnijs A380. Topoloģijas optimizācijas pētījuma rezultāts ir viens visvairāk optimizētais dizains atbilstoši dotajam mērķim. Bieži vien rezultātā tiek iegūta organiska forma, tāpēc topoloģijas optimizācijas darbplūsma parasti nebeidzas ar ģenerētā dizaina eksportēšanu, bet gan nepieciešama papildu ģeometrijas rediģēšana, lai pareizi sagatavotu to ražošanai.

Ģeneratīvā dizaina izpēte jau no paša sākuma prasa atšķirīgu pieeju. Saistītā darbplūsma ģeneratīvajam pētījumam ir parādīta 3. attēlā. Atšķirībā no topoloģijas optimizācijas, ģeneratīvā dizaina metode neizmanto maksimālo esošās apjomu kā projektēšanas vietas ierobežojumu. Tā vietā, lai noņemtu nevajadzīgu materiālu, šī metode veido ģeometriju, kas savieno saglabātās dizaina zonas, vienlaikus izvairoties no aizliegtajām zonām, tā sauktajiem šķēršļiem. Sākotnējo ģeometriju var modelēt no jebkurā CAD programmā vai importēt kā esošu komplektu, kas sastāv no daļām, kas ir savienotas ar mērķa daļas dizainu vai rada telpiskus ierobežojumus. Ja ģeometrija ir izstrādāta no nulles, dizaineriem ir jāizmanto atšķirīga pieeja telpas modelēšanai nekā parastajai detaļu projektēšanai. Ģeneratīvā pētījuma veikšanai nepieciešamās konstrukcijas iezīmes sastāv no ķermeņa daļām, kas jā saglabā

projektēšanā, bet kas neierobežo detaļas galīgo struktūru, un no projektēšanas zonām, kuras nevar aizpildīt ar materiālu. Pēdējie ir ģeometriskie šķēršļi, kas apzīmē citas sastāvdaļas, kas jāatstāj, lai nodrošinātu komponentu kustību, vai vietu, kas jāatstāj komponentu uzstādīšanai (piemēram, bultskrūves un uzgriežņi). Sākotnējo ģeometrijas modeli var diezgan ātri izveidot no dizaina pamatfunkcijām, piemēram, kubiem, cilindriem un sfērām, vai arī to var importēt no jau esoša modeļa. Mūsu gadījumā tika izmantots esošais kronšteina modelis. Pēc sākuma ģeometrijas iestatīšanas modelim tiek piemērotas slodzes un ierobežojumi. Kā minēts iepriekš, ģeneratīvajā projektēšanā vienlaikus var apsvērt vairākus dažādus materiālus un ražošanas metodes, kas samazina pētījumu skaitu, kas būtu jāveic dizainerim, lai pārbaudītu visus vēlamos materiālus. Turklāt ir jādefinē konstrukcijas mērķis, kas ir vai nu masas samazināšana, vai stinguma palielināšana. Ģeneratīvā dizaina pētījuma rezultātā tiek iegūti dažādi dizaini, kas dažādos veidos apmierina ievaddatus un dizaina mērķus, jo ir iespējamas dažādas struktūras un materiālu kombinācijas. Pētījuma algoritms jau ņem vērā ražošanas ierobežojumus, tāpēc vairākiem iegūtajiem rezultātiem nav nepieciešama turpmāka pārveidošana.



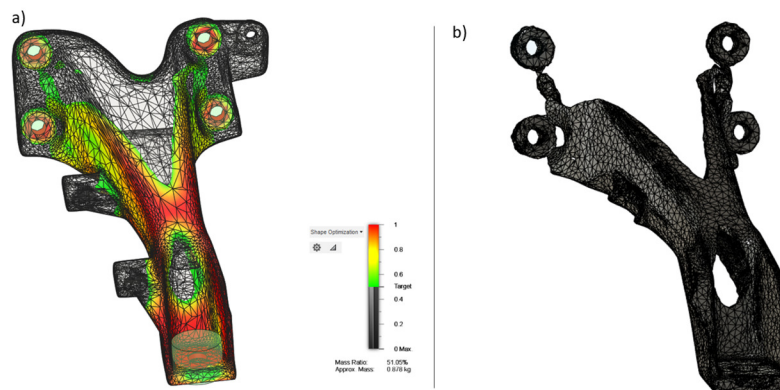
3. att. Ģeneratīvā dizaina darba plūsma

Pēc sākuma ģeometrijas iestatīšanas modelim tiek piemērotas slodzes un ierobežojumi. Kā minēts iepriekš, ģeneratīvajā projektēšanā vienlaikus var apsvērt vairākus dažādus materiālus un ražošanas metodes, kas samazina pētījumu skaitu, kas būtu jāveic dizainerim, lai pārbaudītu visus vēlamos materiālus. Turklāt ir jādefinē konstrukcijas mērķis, kas ir vai nu masas samazināšana, vai stinguma palielināšana. Ģeneratīvā dizaina pētījuma rezultātā tiek iegūti dažādi dizaini, kas dažādos veidos apmierina ievaddatus un dizaina mērķus, jo ir iespējamas dažādas struktūras un materiālu kombinācijas. Pētījuma algoritms jau ņem vērā ražošanas ierobežojumus, tāpēc vairākiem iegūtajiem rezultātiem nav nepieciešama turpmāka pārveidošana.

Izvēlētais pētījuma mērķis bija masas samazināšana, lai minimālā drošības koeficienta vērtība būtu 2. Ģeneratīvā dizaina pētījumam tika izvēlēti trīs materiāli: alumīnijs AlSi10Mg, titāns 6Al-4V un nerūsējošais tērauds AISI 304. Papildus izvēlētajiem materiāliem tika ņemtas vērā trīs ražošanas metodes: 2 asu griešana, 3 asu frēzēšana, piedevu ražošana; tika iekļauta arī bez ierobežojumu metode.

Rezultāti un diskusija

Formas optimizācijas rezultātā tika izveidots viens labākais risinājums atbilstoši noteiktajiem kritērijiem. Formas optimizācijas pētījums aizņēma mazāk nekā 2 minūtes, bet papildu laiks tika pavadīts galīgās dizaina ģeometrijas pārveidošanai. 4. attēls a) parāda optimizācijas rezultātus pirms eksportēšanas uz sieta korpusu (attēls 4. b). Sarkanie apgabali apzīmē kritisko slodzes ceļu, kas norāda, kur materiāls ir jāizplata. Tomēr, aprēķinot kritisko slodzes ceļu, spriegumi netiek ņemti vērā, tāpēc galīgajam projektam ir jāveic sprieguma analīze, lai apstiprinātu konstrukcijas pielietojamību.



4. att. **Optimizācijas rezultāti:** a – kritiskās slodzes vietas; b – iegūtais siets

Masa tika samazināta līdz 55,6% no sākotnējās masas, t.i., masas samazinājums par 45%. Pārveidotajai daļai tika veikta sprieguma analīze, kas nozīmēja nepieciešamās izmaiņas rādītu izmēros, lai izvairītos no sprieguma koncentrācijas. Dizains tika rediģēts, līdz sprieguma vērtība bija zem tecēšanas robežas, t.i., drošības koeficients bija lielāks par 2.

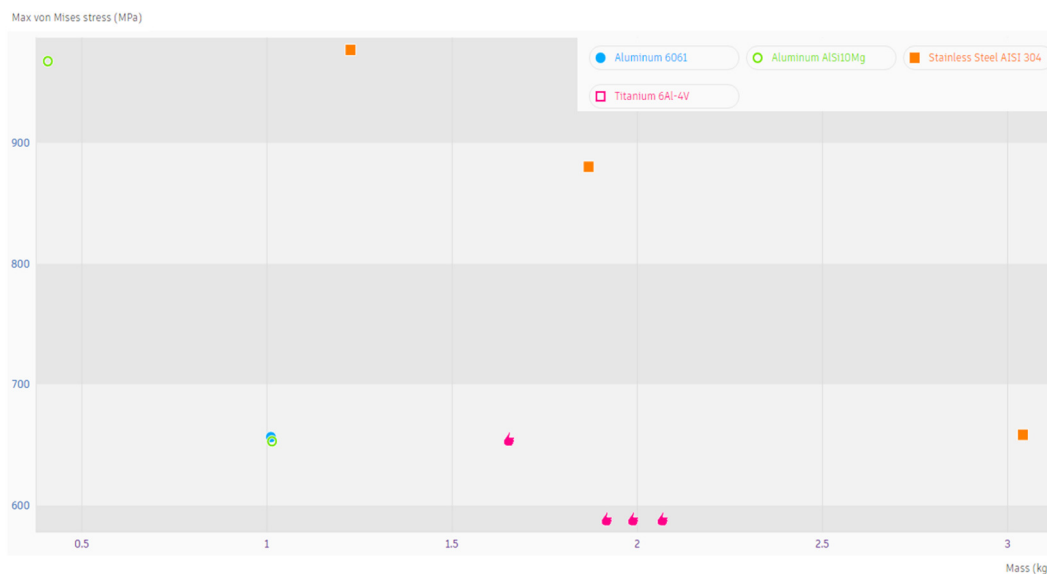
Ģeneratīvā dizaina vizuālie rezultāti ir parādīti 5. attēlā. Pētījuma pabeigšana aizņēma 2,5 stundas. Tika sniegti tikai daži ģenerēti rezultāti, kuriem bija laba ģeometrijas un ražošanas metodes kombinācija, ko varēja tieši eksportēt un ražot bez papildu rediģēšanas.



5. att. **Ģeneratīvā dizaina pētījuma rezultāti**

Ir skaidrs, ka algoritms izmantoja lielāku telpu, lai ģenerētu dizainu nekā topoloģijas optimizācijas pētījumā. No otras puses, tikai nelielam skaitam ģenerēto dizaina alternatīvu tika pievienoti papildu caurumi. Dažiem dizainparaugiem bija laukumi ar ļoti mazu materiāla biezumu, kas neveicināja konstrukcijas stabilitāti, tāpēc tos varēja noņemt, lai iegūtu optimālāku formu. Tas kopumā radīja lielāku ģenerēto dizainu masu, kas norāda, ka vēl ir vietas šīs metodes uzlabošanai.

Autodesk Fusion 360 spēj sniegt pārskatu par dizaina alternatīvām un to veiktspēju atbilstoši izvēlētajiem kritērijiem (6. attēls). Pētītajam piemēram grafikā redzams, ka optimālie dizaini ar viszemākajām masas un sprieguma vērtībām ir izgatavoti no alumīnija. Katrai konstrukcijai ir iespējams apskatīt spriegumu sadalījumu (6. attēls).



6. att. Ģeneratīvā dizaina risinājuma izvērtēšana: projektā kartētas dizaina alternatīvas

Secinājumi

1. Topoloģijas optimizācija un ģeneratīvā projektēšana ir gan instrumenti, lai izpētītu dizaina telpu un atrastu optimālus risinājumus.
2. Topoloģijas optimizācijai ir nepieciešama sākotnējā ģeometrija, un parasti katrā pētījumā tiek iegūts tikai viens dizains, savukārt ģeneratīvai projektēšanai nav nepieciešama pilnībā definēta projektēšanas telpa, un tā var radīt vairākas dizaina alternatīvas.
3. Ģeneratīvie projektēšanas rīki joprojām tiek izstrādāti, un tiem ir tādas problēmas kā dizaini, kas satur nefunkcionālas zonas un augstas skaitļošanas prasības.
4. Abiem rīkiem ir nepieciešami kvalificēti dizaineri, lai pareizi definētu dizaina telpu un izvirzītu mērķus.
5. Topoloģijas optimizācija ir labāka esošo komponentu optimizēšanai, savukārt ģeneratīvā projektēšana ir labāka, lai izpētītu dizaina izkārtojumu un izmērus.
6. Neviens no instrumentiem pašlaik neņem vērā materiālu un ražošanas procesu izmaksas.
7. Šo rīku ieviešana sākumposmā varētu ietaupīt laiku un atbalstīt radošumu, taču ir nepieciešami turpmāki pētījumi, lai izpētītu to ietekmi uz projektēšanas procesu.

Izmantotie informācijas avoti

- [1] Missy Roback. GENERATIVE DESIGN: REDEFINING WHAT'S POSSIBLE IN THE FUTURE OF MANUFACTURING. GENERATIVE DESIGN: REDEFINING WHAT'S POSSIBLE IN THE FUTURE OF MANUFACTURING, 2020.
- [2] Bendsøe M. P. Optimal shape design as a material distribution problem. Structural Optimization, 1(4), 1989, pp. 193-202. DOI: 10.1007/BF01650949
- [3] Querin O. M. Topology Design Methods for Structural Optimization, Academic Press, 2017.
- [4] Shea K., Aish R., Gourtovaia M. Towards integrated performance-driven generative design tools. Automation in Construction, 14(2), 2005, pp. 253-264. DOI: 10.1016/j.autcon.2004.07.002
- [5] Tejani G. G., Savsani V. J., Patel V. K., Savsani P. V. Size, shape, and topology optimization of planar and space trusses using mutation-based improved metaheuristics. Journal of Computational Design and Engineering, 5(2), 2018, pp. 198-214. DOI: 10.1016/j.jcde.2017.10.001
- [6] Jia H., Beom H. G., Wang Y., Lin S., Liu B. Evolutionary level set method for structural topology optimization. Computers & Structures, 89(5), 2011, pp. 445-454. DOI: DOI: 10.1016/j.compstruc.2010.11.003

OGLEKĻA DIOKSĪDA IZMEŠU UZKRĀŠANAS UN UTILIZĀCIJAS IESPĒJAS AUTOSERVISA UZŅĒMUMOS

POSSIBILITIES OF CARBON DIOXIDE COLLECTION AND UTILIZATION IN CAR SERVICE COMPANIES

Lauris Melders

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

Aivars Birkavs

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

Abstract: CO₂ emissions have an impact on global climate change. CCS (Carbon Capture Storage) technology is key to reducing CO₂ emissions produced by the use of fossil fuels in transportation. Post-combustion removal of carbon dioxide from the exhaust gas stream can be accomplished using three ways: absorption, membrane separation and adsorption. Absorption is used for carbon capture on a small-scale operation. The aim of this study was to explore carbon dioxide capture devices on the European and world market, their operating principles, and to develop a device for CO₂ neutralization in the exhaust system of the toxic emissions in a car services.

Atslēgas vārdi: Oglekļa dioksīds, ķīmiskā absorbcija, utilizācija, piesārņojums.

Ievads

CO₂ emisijas izraisa globālo sasilšanu, kas mūsdienās rada siltumnīcas efektu. Pārmērīgs siltumnīcefekta gāzu daudzums atmosfērā izraisa dažādas vides problēmas, piemēram, nepārtrauktu ūdens līmeņa celšanos jūrā, pieaugošu okeāna vētru skaitu, plūdus. CO₂ ir galvenais globālās sasilšanas veicinātājs. Pašlaik CO₂ regulāri tiek atdalīts dažās lielās rūpnieciskās rūpnīcās, piemēram, dabasgāzes pārstrādes un amonjaka ražošanas iekārtās, lai gan šīs iekārtas atdala CO₂ izmešus, lai izpildītu procesa prasības nevis utilizācijas mērķiem. Uztveršanas tehnoloģijas paver ceļu liela mēroga zemu oglekļa emisiju vai bezoglekļa elektroenerģijas un transportam paredzētu degvielu ražošanai. Lai sasniegtu vidēja termiņa un ilgtermiņa CO₂ samazināšanas mērķus, ir jāizvērtē rentabla CO₂ uztveršana ne tikai no spēkstacijām, bet arī no salīdzinoši mazākām CO₂ izmešu piesārņošanas vietām [1].

CO₂ uztveršanas ciklā ir trīs dažādi veidi: pirms sadedzināšanas; pēcsadedzināšana un skābekļa-degvielas sadegšanas sistēmas. Pēcsadedzināšanas sistēmas ietver CO₂ izvadīšanu no dūmgāzēm, kas nāk no automobiļu sadegšanas kameras.

Zemās CO₂ koncentrācijas dēļ, šādai atdalīšanai vislabāk ir pielāgotas tehnoloģijas, kuru pamatā ir ķīmiskā absorbcijas metode. Ķīmiskie absorbenti galvenokārt ir metālu savienojumi. CO₂ absorbcijai tiek izmantoti metālu savienojumi divos veidos: metālu oksīdi un metālu sāļi. Viens no ķīmiskās absorbcijas izaicinājumiem ir kontrolēt gāzes šķīdību šķīdumā tādā veidā, lai reaģenta koncentrācija nebūtu pārāk liela un tādējādi iegūtās nogulsnes neizšķīstu [2].

Pētījuma veikšanai tiek noskaidrots dedzināšanas procesos radītā CO₂ uztveršanas iekārtu tehnoloģisko darbības princips, tā uzkrāšanas un utilizācijas iespējas autoservisa uzņēmumā. Un tiek izstrādāta ķīmiskās absorbcijas iekārta CO₂ automobiļa izplūdes gāzēs neitralizēšanas

Šī pētījuma mērķis ir izpētīt CO₂ uztveršanas iekārtas Eiropas un pasaules tirgū, to darbības principus, un izstrādāt iekārtu CO₂ neitralizēšanai autoservisa toksisko izmešu nosūces sistēmā. Pētījuma veikšanai tika izvēlēti automobiļi, kas aprīkoti ar benzīna dzinējiem.

Izvirzītā mērķa sasniegšanai nepieciešams noskaidrot dedzināšanas procesos radītā oglekļa dioksīda uztveršanas iekārtu tehnoloģisko darbības principu, izpētīt atgūtā CO₂ uzkrāšanas vai utilizācijas iespējas, noskaidrot CO₂ veidošanās avotus autoservisa uzņēmumos, izgatavot iekārtu CO₂ neitralizēšanai autoservisa uzņēmumā, veikt eksperimentālos pētījumus autoservisa toksisko izmešu nosūces sistēmā un dot ieteikumus toksisko izmešu samazināšanai autoservisa uzņēmumos.

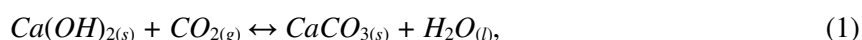
Materiāli un metodes

Salīdzinoši mazās darba vietās visefektīvākās un lētākais variants, lai samazinātu CO₂ ir izmantot ķīmisko absorbcijas metodi. Lai šo metodi veiktu ir nepieciešams izvēlēties piemērotu ķīmisko vielu, kas spētu reaģēt ar transportlīdzekļa CO₂ atgāzēm, tādā veidā tās samazinot autoservisa uzņēmumos. Nedzēstie kaļķi jeb kalcija oksīds (CaO) ir balta kristāliska viela, kuru iegūst no kaļķakmens, tos

karsējot. Nedzēstos kaļķus šķīdinot ūdenī, rodas kalcija hidroksīds $\text{Ca}(\text{OH})_2$ jeb dzēstie kaļķi, kurus izmanto plašā nozares spektrā, kā arī celtniecībā. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ir salīdzinoši zemas izmaksas, un to var iegūt iegādājoties kā dzēstos kaļķus katrā būvniecības veikalā. Šie materiāli ir lēti un nav bīstami videi. $\text{Ca}(\text{OH})_2$ un CO_2 reakcija ir tipiska un labi izpētīta reakcija [4]. CaCO_3 jeb kalcija karbonāts, kurš ir iegūts kā blakusprodukts no šīs minētās ciklona iedarbības.

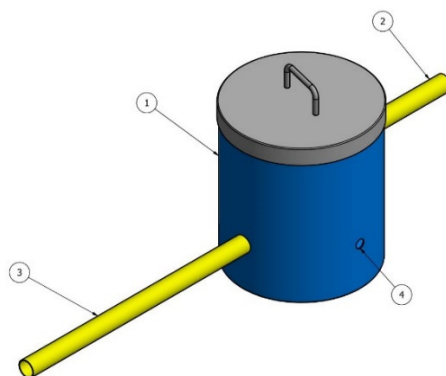
Darbības princips - automobiļa izplūdes gāzes ieplūst neutralizācijas iekārtā un vienlaikus tajā tiek izsmidzināts kalcija hidroksīds veidojot savstarpēju ciklonu starp izplūdes gāzēm un izsmidzināto vielu. Pateicoties ciklonam notiek ķīmiska reakcija, kuras rezultātā tiek samazināts oglekļa dioksīds no izplūdes gāzēm un rodas kalcija karbonāts nogulšņu veidā, (skat. 1. formulu). Lai noskaidrotu kalcija hidroksīda precīzu iesmidzināšanas daudzumu, nepieciešams noskaidrot vidējo transportlīdzekļa CO_2 izmešu daudzumu, gaisa plūsmas ātrumu un kopējo atgāzu tilpumu.

Reakcijas vienādojums:



kur $\text{Ca}(\text{OH})_{2(s)}$ – kalcija hidroksīds;
 $\text{CO}_{2(g)}$ – oglekļa dioksīds;
 $\text{CaCO}_{3(s)}$ – kalcija karbonāts;
 $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$ – ūdens.

Pētījuma veikšanai tika izveidota iekārta CO_2 neutralizēšanai autoservisa teritorijā. (skat.1. att.). Iekārta tiek izgatavota no metāla mucas tipa konstrukcijas, kuras virspusē ir paceļams un fiksējams metāla vāks. Tās sānos, viena otrai pretim, 350 mm augstumā no pamatnes tiek piemetinātas metāla caurules ar garumiem 500 mm un 250 mm, un diametru 50 mm. Starp šīm caurulēm, 250 mm augstumā no iekārtas pamatnes, tiek izveidots urbums, kurš kalpo kā ķīmiskās vielas iesmidzināšanas vieta.



1. att. **Ķīmiskās absorbcijas iekārta:** 1 – iekārta, kurā notiek ciklona darbība; 2 – caurule, kuru savieno ar transportlīdzekļa atgāzu izplūdes sistēmu; 3 – caurule, kurā ievieto atgāzu analizatora taustu; 4 – kalcija hidroksīda iesmidzināšanas vieta

Eksperimenta laikā tika neutralizēts CO_2 izmešu daudzums katram transportlīdzeklī atsevišķi un kopā no toksisko izmešu sistēmas. Neutralizācijas iekārta tika pievienota transportlīdzekļu pie izplūdes sistēmas un toksisko izmešu sistēmas izvada. Eksperimentā tika izmantoti divi Otto motora transportlīdzekļi, un viens otto motora stends – modelis. To parametri apkopoti 1.tabulā. Minētie transportlīdzekļi ir labā tehniskā stāvoklī, ar atļauju piedalīties ceļu satiksmē.

1. tabula

Izmantoto transportlīdzekļu dati

| Parametrs | Audi A4 | Nissan Primera |
|-------------------------------|------------|----------------|
| Reģistrācijas gads | 18.07.1995 | 24.02.2004 |
| Pilna masa, kg | 1770 | 1810 |
| Pašmasa, kg | 1295 | 1368 |
| Motora tilpums, cm^3 | 1781 | 1769 |
| Motora maks. Jauda, kW | 92 | 85 |
| Degvielas tips | Benzīns | Benzīns |



2. att. **Principiālā shēma neitralizējot CO₂ no transportlīdzekļu izplūdes un toksisko izmešu sistēmas**

2. tabula

Eksperimentos izmantotās iekārtas

| Nr. | Parametri | Vērtības |
|--|---|--|
| Wintact digitālo gaisa plūsmas mērītājs | | |
| 1. | Mērīšanas apjoms, m ³ ·s ⁻¹ . | 0~30 |
| 2. | Izšķirtspēja | 0.01 |
| 3. | Precizitāte, % | ± 5% ± 0.1 |
| 4. | Temperatūras mērīšanas apjoms, °C | -10 °C ~ + 45°C |
| BOSCH BEA350 atgāzu analizators | | |
| 1. | Oglekļa monoksīds (CO), % vol. | 0...10,00 |
| 2. | Oglūdeņraži (HC), ppm. | 0...9999 |
| 3. | Oglekļa dioksīds (CO ₂), % vol. | 0...18 |
| 4. | Skābeklis (O), % vol. | 0...22 |
| 5. | Gaisa pārpalikuma koeficients (lambda λ) | 0,500...9,999 |
| 6. | Slāpekļa monoksīds (NO), ppm. | 0...5000 |
| Filtrācijas palīgīdzekļi | | |
| 1. | Plastmasas piltuve, mm. | kāts Ø 7, augšgals Ø 50, kāta garums 48. |
| 2. | Filtrpapīrs, g·m ⁻² . | 80 |
| 3. | Erlenmeijera kolba, ml. | 150 |
| 4. | Svari Esperanza EKS001, g. | 0.01 ... 5000 |

No iegūtajiem BOSCH atgāzu analizatora rezultātiem izsaku CO₂ vidējo vērtību, kāda tika sasniegta no transportlīdzekļa, %:

$$\bar{x}_{CO_2} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \quad (2)$$

kur x_{CO_2} – vidējā CO₂ atgāzu vērtība, %;
 n – iegūto vērtību saskaitāmo skaits;
 x – iegūtās vērtības.

No iegūtajiem gaisa plūsmas mērītāja rezultātiem izsaku vidējo vērtību, kāda tika sasniegta no transportlīdzekļa:

$$\bar{x}_p = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \quad (3)$$

kur x_p – vidējā plūsmas ātruma vērtība, m³·s⁻¹;
 n – iegūto vērtību saskaitāmo skaits;
 x – iegūtās vērtības.

Aprēķinu kopējo atgāzu tilpumu, kāds izplūst cauri neitralizācijas iekārtai.

$$V_a = d \cdot v_p, \quad (4)$$

kur V_a – atgāzu plūsmas tilpums, m³·s⁻¹;

d – neutralizācijas iekārtas caurules diametrs, m.
 v_p – plūsmas ātrums, $m \cdot s^{-1}$;

Izmantojot iepriekš iegūto CO_2 daudzumu un kopējo atgāzu tilpumu, aprēķinu izplūstošā CO_2 tilpumu.

$$V_{CO_2} = V_a \cdot \bar{x}_{CO_2}, \quad (5)$$

kur V_{CO_2} – izplūstošais CO_2 tilpums, $m^3 \cdot s^{-1}$;
 V_a – atgāzu plūsmas tilpums, $m^3 \cdot s^{-1}$;
 \bar{x}_{CO_2} – vidējā CO_2 atgāzu vērtība.

Viens mols jebkuras gāzveida vielas ieņem 22.4 l tilpumu. Pēc sakarībām iegūstu, ka 10g $Ca(OH)_2$ saista 3.14 l CO_2 . No iegūtā CO_2 tilpuma izsaku nepieciešamo kalcija hidroksīda $Ca(OH)_2$ daudzumu izsmidzināšanai neutralizācijas iekārtā.

$$m_{Ca(OH)_2} = \frac{V_{CO_2}}{3.14} \cdot 10, \quad (6)$$

kur $m_{Ca(OH)_2}$ – kalcija hidroksīda $Ca(OH)_2$ tīrs šķīdums, g;
 V_{CO_2} – izplūstošais CO_2 tilpums, $l \cdot s^{-1}$.

Pēc aprēķinu rezultātu iegūšanas, nepieciešams sagatavot $Ca(OH)_2$. Dzēsto kaļķu šķīdība ūdenī 0.185 g uz 100 ml. Sausā veidā iegādāto kalcija oksīdu jeb CaO sajaucu ar ūdeni, iegūstot $Ca(OH)_2$ bāzes šķīdumu. Šo bāzes šķīdumu nepieciešams izfiltrēt līdz pat 3 reizēm, lai iegūtu tīru (97%) $Ca(OH)_2$ koncentrātu, kurš spētu reaģēt ar CO_2 pilvērtīgi, samazinot to līdz minimumam vai pilnīgi. Filtru papīru īpašības mainās atkarībā no smalko daļiņu filtrācijas efektivitātes, uzsūkšanas kapacitātes, kā arī filtrācijas ātruma.

Rezultāti un diskusija

Ekspierimentālo mērījumu rezultātā servisa teritorijā, tika iegūti rezultāti, kas parāda CO_2 sadalījumu dažādiem transportlīdzekļiem, kā arī tika aprēķināts kopējais patērētais izsmidzinātais $Ca(OH)_2$ daudzums. Vidējie rezultāti katram transportlīdzeklim tika apkopoti tabulas formā (skat. 2. tabulu).

2. tabula

Iegūtie pētījuma rezultāti

| Transportlīdzeklis vai sistēma | Vidējais CO_2 izmešu daudzums, % vol. | Vidējais gaisa plūsmas ātrums, $m \cdot s^{-1}$ | Kopējais gāzu tilpums, $m^3 \cdot s^{-1}$ | Izplūstošā CO_2 tilpums, $m^3 \cdot s^{-1}$ | Izsmidzinātais $Ca(OH)_2$ daudzums, $g \cdot s^{-1}$ |
|---------------------------------|---|---|---|---|--|
| Peugeot Hybrid | 10.43 | 3.42 | 0.216 | 0.015 | 40.71 |
| AUDI A4 | 6.85 | 3.60 | 0.263 | 0.018 | 56.36 |
| Nissan Primera | 14.05 | 3.48 | 0.288 | 0.029 | 90.34 |
| Toksisko izmešu nosūces sistēma | 7.21 | 2.51 | 0.150 | 0.011 | 34.55 |

Secinājumi

1. Ekspierimentu veikšanai konstruētā iekārta un ķīmiskā absorbcijas metode pierādīja savu efektivitāti samazinot CO_2 pilnīgi vai daļēji.
2. Veicot eksperimentus izsmidzināmais $Ca(OH)_2$ daudzums mainījās no transportlīdzekļa motora režīmiem.
3. Priekšrocības izmantojot ķīmisko absorbcijas metodi ir iekārtas maza laukuma aizņemšana un tās ērta pārvietošana.
4. Kalcija karbonāts jeb $CaCO_3$ ir iegūtais pēcreakcijas produkts no CO_2 ciklona iedarbības neutralizācijas iekārtā. To izmanto līmēs, hermētiķī, pārtikā kā krāsvielu (E170), farmaceitiskos izstrādājumos, krāsās, pārklājumos, papīrā, cementā.

Izmantotie informācijas avoti

- [1] Mondal M. K., Balsora H. K., Varshney P. Progress and trends in CO₂ capture/separation technologies: A review. *Energy*, 46 (1), 2012, pp. 431-441. DOI: 10.1016/j.energy.2012.08.006
- [2] Sun N., Sun C., Liu J., Liu H., Snape C. E., Li K., Sun Y. Surface-modified spherical activated carbon materials for pre-combustion carbon dioxide capture. *RSC Advances*, 5 (42), 2015, pp. 33681-33690. DOI: 10.1039/c5ra02665b
- [3] Chai S. Y. W., Ngu L. H., How B. S. Review of carbon capture absorbents for CO₂ utilization. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 12 (3), 2022, pp. 394-427. DOI: 10.1002/ghg.2151

TRADICIONĀLĀS UN MINIMĀLĀS AUGSNES APSTRĀDES TEHNOLOĢIJU VĒRTĒJUMS

TRADITIONAL AND MINIMAL TILLAGE TECHNOLOGY ASSESSMENT

Ģirts Sula

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

Kaspars Vārtukapteinis

Zinātniskais vadītājs, profesors, Dr.sc.ing.

Abstract. Every year climate changes affect crop production and farmer's work. It is necessary to work more efficiently and grow high-quality crops. A lot of attention needs to be paid to maintaining soil fertility and structure to reduce soil erosion, which results in the loss of the fertile layer of the soil. It is also important to prevent soil compaction when working with tillage equipment. These factors can be changed by using the correct soil tilling technology. The aim of the research is to compare and find out which of the two tillage technologies – conventional tillage technology or minimal tillage technology is the most technically and economically advantageous. After two-year field trials it was clarified that, the average fuel consumption in conventional tillage technology (20.09 un 22.86 l·ha⁻¹) was 10.15 and 15.22% higher than in minimal tillage technology (18.05 un 19.38 l·ha⁻¹). After crop harvest, it was found that the average crop yield in traditional tillage for winter wheat (5.55 un 5.73 t·ha⁻¹) was 3.14% lower. In the minimal tillage (3.47 un 3.92 t·ha⁻¹), the average yield of white-flowered peas was 11.48% higher.

Atslēgas vārdi: tradicionālā augsnes apstrāde, minimālā augsnes apstrāde, ražība, graudaugi.

Ievads

Pašreiz novērojamā tendence lauksaimniecības nozarē, kad nepieciešamie izejmateriāli un resursi kultūraugu audzēšanai kļūst aizvien dārgāki, savukārt neprognozējamās gala produkcijas cenu svārstības rada nepieciešamību meklēt risinājumus, kā strādāt vēl efektīvāk un dabai draudzīgāk. Ik gadu strauji mainīgie klimatiskie apstākļi kultūrauga augšanas laikā veicina izvēlēties augsnes apstrādes tehnoloģijas, ar kuras palīdzību tiek veikta efektīvāka mitruma un gaisa aprīte augsnē, samazināta augsnes erozija, lai netiktu zaudēts augsnes auglīgais slānis un piesārņotas ūdens tīlpnes, kā arī netiek palielināta augsnes sablīvēšanās, veicot tās apstrādi.

Veicot augsnes sagatavošanu sējai ar tradicionālo augsnes apstrādi, daudz laika un energoresursu nākas patērēt tieši augsnes apstrādei. Lai strādātu vēl efektīvāk, jau vairākus gadus arvien vairāk lauksaimnieku sāk pievērsties bezapvēršanas augsnes apstrādes sistēmām, kas sniedz iespējas samazināt darbietilpību un izmaksas, kā arī ierobežot augsnes eroziju.

Pētījuma mērķis ir novērtēt tradicionālās un minimālās augsnes apstrādes tehnoloģiju tehniski ekonomisko izdevīgumu.

Lai sasniegtu pētījuma mērķi, tika izvirzīti šādi uzdevumi:

- apkopot informāciju par augsnes apstrādes tehnoloģiju tehniski ekonomisko vērtējumu;
- izpētīt tradicionālās un minimālās augsnes apstrādes teorētisko raksturojumu, priekšrocības un trūkumus;
- sagatavot metodiku augsnes apstrādes tehnoloģiju tehniski ekonomiskā vērtējuma veikšanai, izmantojot lauksaimniecības agregātu informācijas sistēmu datus;
- apkopot un izvērtēt no pētījumā izmantotās tehnikas iegūto tehniski ekonomisko informāciju;
- pamatojoties uz pētījuma rezultātiem sagatavot priekšlikumus augsnes apstrādes tehnoloģiju izvēlei.

Materiāli un metodes

Pētījums tika veikts Valkas novada Ērgemes pagasta zemnieku saimniecības *Lejasciņi* laukā (skat. 1. att.). Precīzai datu ieguvei pētījums tika veikts viena lauka ietvaros, jo tas ir labākais veids kā visprecīzāk iegūt, salīdzināt un izvērtēt iegūtos datus, strādājot ar minimālās augsnes apstrādes un tradicionālās augsnes apstrādes metodēm. Pētījuma ilgums bija divi ražas gadi. Ražas gads sākas ar kultūrauga iesēšanu un beidzas ar ražas novākšanu.

Pētījumam izvēlētais lauks ar kadastra numuru atrodas 100 metru attālumā no saimniecības, kas ir liela priekšrocība, jo, veicot augsnes apstrādi pēc katras metodes, nav jāmēro liels attālums, kas padara šo pētījumu efektīvāku un precīzāku. Netika lieki patērēta degviela ceļā uz lauku, veicot katru nepieciešamo darbību, kā arī bija iespējams veikt nepieciešamos augsnes apstrādes, sējas, mēslošanas, smidzināšanas un kulšanas darbus vienas dienas ietvaros, tādējādi palielinot pētījuma precizitāti.



1. att. Pētījuma lauks [1]

Lauka kopējā platība ir 8.86 hektāri. Pētījuma īstenošanai izvēlētais lauks tika sadalīts divās daļās, kur tradicionālā augsnes apstrāde tika veikta 4.46 hektāru platībā, bet minimālā augsnes apstrāde tika veikta 4.4 hektāru platībā. Laukam ir viens dominējošais augsnes veids – smilšmāls.

Lai izdarītu pēc iespējas precīzākus secinājumus un pareizi izvērtētu augsnes apstrādes tehnoloģijas lietderību, sākotnēji bija jānosaka etalons, ko izmantot kā atskaites kritēriju salīdzinājumu veikšanai. Salīdzināmie varianti drīkst atšķirties tikai ar vienu pazīmi, kas šajā pētījumā ir augsnes apstrāde. Tas tiek saukts par vienīgās atšķirības principu [2, 196. lpp.].

Šī principa ievērošana un pareiza lietošana augsnes apstrādes pasākumu agroekonomiskās efektivitātes noteikšanā ir visai sarežģīta, jo:

- augsnes apstrādes darbi ir saistīti ar sēju, kā arī minerālmēsļu iestrādi sējas laikā;
- augsnes apstrādes un sējas pasākumu izmaiņas rada nepieciešamību mainīt arī citu audzēšanas tehnoloģiju posmu izpildi;
- augsnes apstrādes un sējas pasākumu izmaiņām ir ilgstoša pēcietekme augsekā, tāpēc, balstoties tikai uz viena gada (ražas sezonas) rezultātiem, nav iespējams izdarīt objektīvus secinājumus.

Pētījumā divu ražas gadu laikā no veiktajiem darbiem uz lauka atšķīrās tikai pielietotā augsnes apstrādes metode augsnes sagatavošanai pirms sējas. Kultūraugu sēja un sējumu kopšana, kas ietver smidzināšanu un minerālmēslojuma izkliedi, abās lauka daļās tika veikta vienā laikā un ar vienādām iestrādes devām.

Tradicionālās augsnes apstrādes lauka daļā tika veikta augsnes apvēršana, izmantojot maiņvērsējarklu, un pēc tam augsnes izlīdzināšana un pieblīvēšana, izmantojot veltni. Minimālās augsnes apstrādes lauka daļā tika veikta augsnes lobīšana un rugaines kultivēšana.

Tradicionālās augsnes apstrādes lauka daļā aršana tika veikta ar *Case IH Puma 240 CVX* traktoru un *Kverneland ES 100* četru korpusu maiņvērsējarklu kombinācijā ar veltni *Packomat S* ar darba platumu divi metri (skat. 2. att.). Arot tika vienlaicīgi veikta augsnes apvēršana, izlīdzināšana un pieblīvēšana. Aršana tika veikta 21 cm dziļumā. Pirms sējas tika veikta augsnes virskārtas izlīdzināšana, augsnes cilu drupināšana un pieblīvēšana, izmantojot *Vaderstad Rollex 620* veltnus, kuri tika agregatēti ar *Case IH Puma 240 CVX* traktoru (skat. 3. att.) [3].



2. att. Traktors *Case IH Puma 240 CVX* ar četru korpusu maiņvērsējarklu *Kverneland ES 100* un veltni *Packomat S*



3. att. Traktors *Case IH Puma 240 CVX* ar veltniem *Vaderstad Rollex 620*

Minimālās augsnes apstrādes lauka daļā sākotnēji tika veikta augsnes lobīšana ar šķīvju lobītāju *Vaderstad Carrier 400* komplektā ar traktoru *Case IH Puma 240 CVX* (skat. 4. att.). Lobīšanas procesā tika samaisītas nokultās augu atliekas ar augsni, veikta nezāļu izprovocēšana veicinot to dīgšanu un izlīdzināts lauka mikroreljefs. Lobītāja darba platums ir četri metri un darba dziļums tika iestatīts uz sešiem centimetriem [4].



4. att. Traktors *Case IH Puma 240 CVX* ar šķīvju lobītāju *Vaderstad Carrier 400*

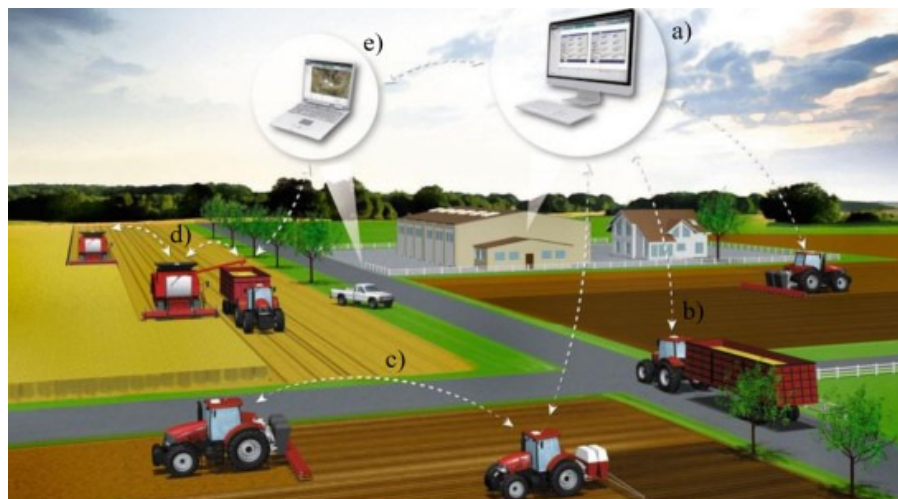


5. att. Traktors *Case IH Optum 300 CVX* ar rugaines kultivatoru *Vaderstad Cultus 620*

Rugaines kultivēšana pētījumā tika veikta 12 centimetru dziļumā ar zaru rugaines kultivatoru *Vaderstad Cultus 620* komplektā ar traktoru *Case IH Optum 300 CVX* (skat. 5. att.). Kultivēšanas procesā tika veikta augu atlieku iejaukšana augsnē un mikroreljefa izlīdzināšana pirms sējas. Rugaines kultivatora darba platums ir 6.2 metri, rugaines kultivēšana tika veikta 12 centimetru dziļumā [4].

Pēc augsnes sagatavošanas tika veikta attiecīgajā gadā paredzētā kultūrauga sēja visā pētījuma lauka platībā. Sējumu kopšana un ražas novākšana tika veikta vienādi abās pētījuma lauka daļās.

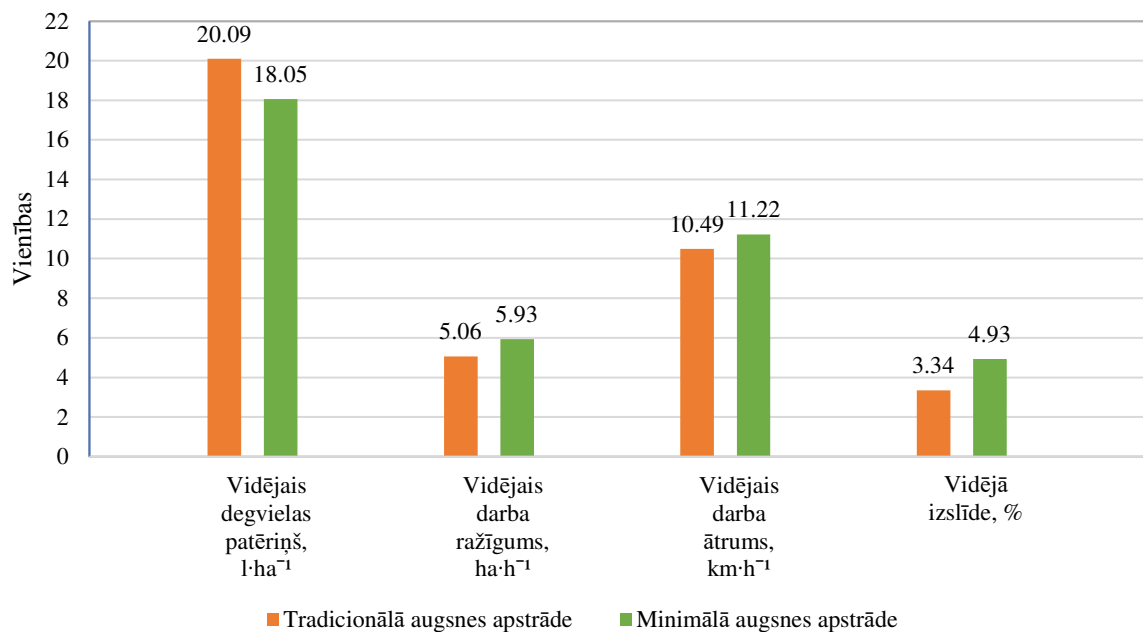
Veicot katru augsnes apstrādes, sējas, ražas novākšanas un kopšanas darbu, pētījuma dati tika reģistrēti izmantojot advansēto lauksaimniecības sistēmu *AFS Connect*, ar kuru ir aprīkoti izmantotie traktori un labības kombains. Sistēma apkopo izmantotās tehnikas vienības datus, izmantojot GPS signālu (skat. 6. att.). Izmantojot šo sistēmu, tiek reģistrēta informācija par degvielas patēriņu, darba ražīgumu, riteņu izslīdi, kultūrauga ražību, ražas mitrumu un darba ātrumu [5].



6. att. **Advansētā lauksaimniecības sistēma AFS Connect:** a) traktora GPS automātiskās vadīšana informācijas attālināta pārraudzība; b) tehnikas atrašanās vietas dati pēc GPS sistēmas koordinātēm; c) informācijas attālināta nodošana starp tehnikas vienībām; d) labības kombaina ražas kartes; e) AFS Connect sistēmas datu attālināta pārvalde [5]

Rezultāti un diskusija

Izmantojot tehnikas advansēto lauksaimniecības sistēmu tika iegūti dati par diviem pilniem ražas cikla gadiem. 2021. gada ziemas kviešu augsnes apstrādes dati redzami 7. attēlā.

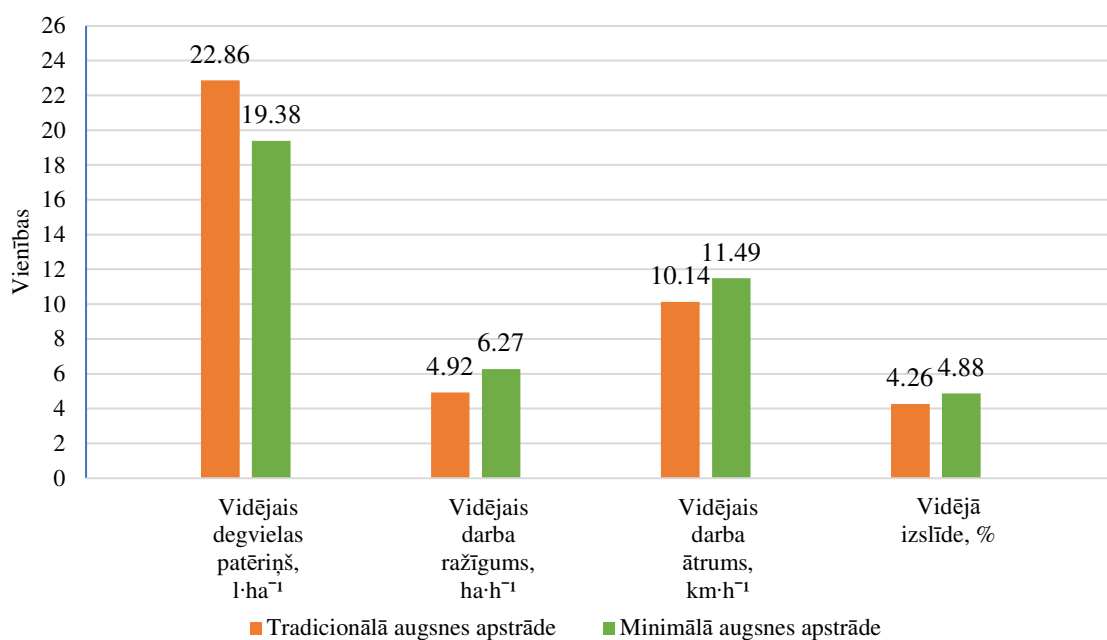


7. att. **Traktortehnikas informācijas sistēmas dati 2021. gada ziemas kviešiem**

Analizējot AFS Connect sistēmas iegūtos datus, ir iespējams novērot, ka strādājot ar minimālo augsnes apstrādes metodi, kopējais degvielas patēriņš ir par 2.04 l·ha⁻¹ mazāks nekā pielietojot tradicionālo augsnes apstrādes metodi. Šis patēriņa atšķirības ir skaidrojamas ar to, ka veicot augsnes aršanu tiek patērēts vairāk degvielas un ir zemāks darba ražīgums, kā arī ir nepieciešams irdeno augsni pēc aršanas pieblīvēt un nolīdzināt cilas, kas ir ļoti energoietilpīgi salīdzinot ar minimālo augsnes apstrādes tehnoloģiju. Vidējais darba ražīgums minimālajā augsnes apstrādes tehnoloģijā ir par 1.35 ha·h⁻¹ augstāks, jo veicot rugaines kultivēšanu un lobīšanu augsnes apstrādi ir iespējams veikt ar lielāku darba ātrumu, kas minimālajai augsnes apstrādei ir par 1.35 km·h⁻¹ augstāks, tādējādi samazinot darbietilpību. Vidējā izslīde bija par 0.62% zemāka tradicionālās augsnes apstrādes tehnoloģijā, kas

skaidrojams ar to, ka veicot rugaines kultivēšanu traktoram bija lielāka vilces pretestība, kas veicināja lielāku riteņu izslīdi.

Otrajā ražas gadā pavasarī tika gatavota augsne baltziedu zirņu sējai un iegūtie dati redzami 8. attēlā. Vidējais degvielas patēriņš minimālajai augsnes apstrādes tehnoloģijai ir par 3.48 l·ha⁻¹ zemāks, kā tradicionālajai augsnes apstrādes tehnoloģijai. Šie rezultāti atšķiras, jo, veicot rudens aršanu priekš pavasara sējas, augsnes virskārta ir mitrāka, līdz ar to palielinās vilces pretestība un izslīde veicot aršanu. Savukārt veicot lobīšanu rudenī nav tik liela rites pretestība, līdz ar to ir zemāks degvielas patēriņš. Darba ražīgums tradicionālajai augsnes apstrādes tehnoloģijai ir par 1,35 ha·h⁻¹ zemāks. Vidējais darba ātrums minimālajai augsnes apstrādes tehnoloģijai ir par 1,15 km·h⁻¹ augstāks. Savukārt izslīde minimālajai augsnes apstrādes tehnoloģijai ir par 0.26% lielāka, kā tradicionālajai augsnes apstrādei. Šie rezultāti ļauj secināt, ka izmantotais traktors ar 300 Zs jaudu ir par vieglu priekš 6.2 metru rugaines kultivatora, jo, veicot rugaines kultivēšanu, tiek nodrošināta nepieciešamā jauda, taču ir paaugstināta izslīde.

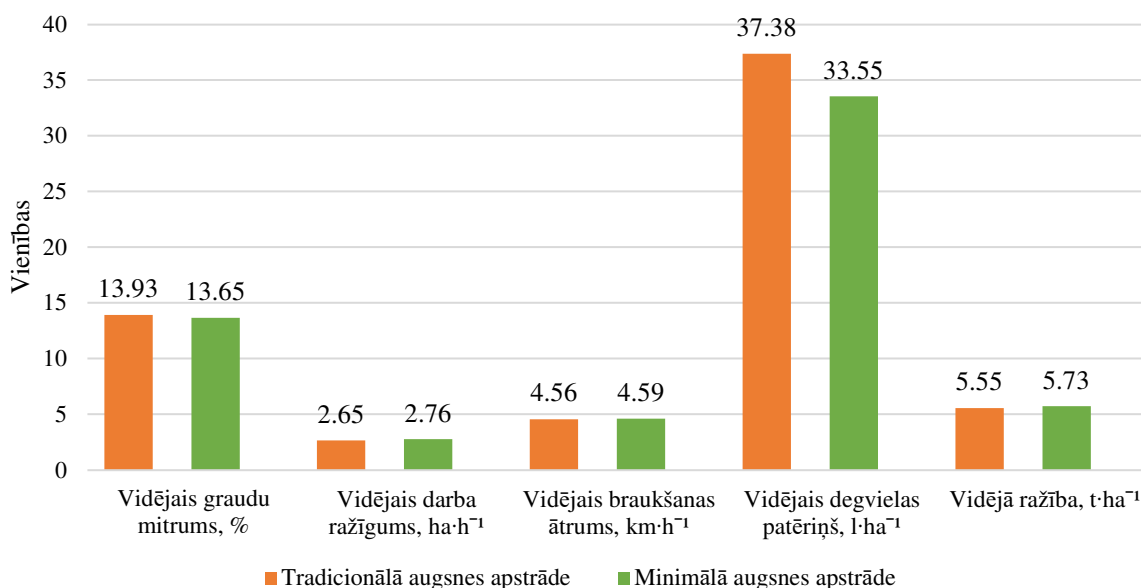


8. att. Traktortehnikas informācijas sistēmas dati 2022. gada baltziedu zirņiem

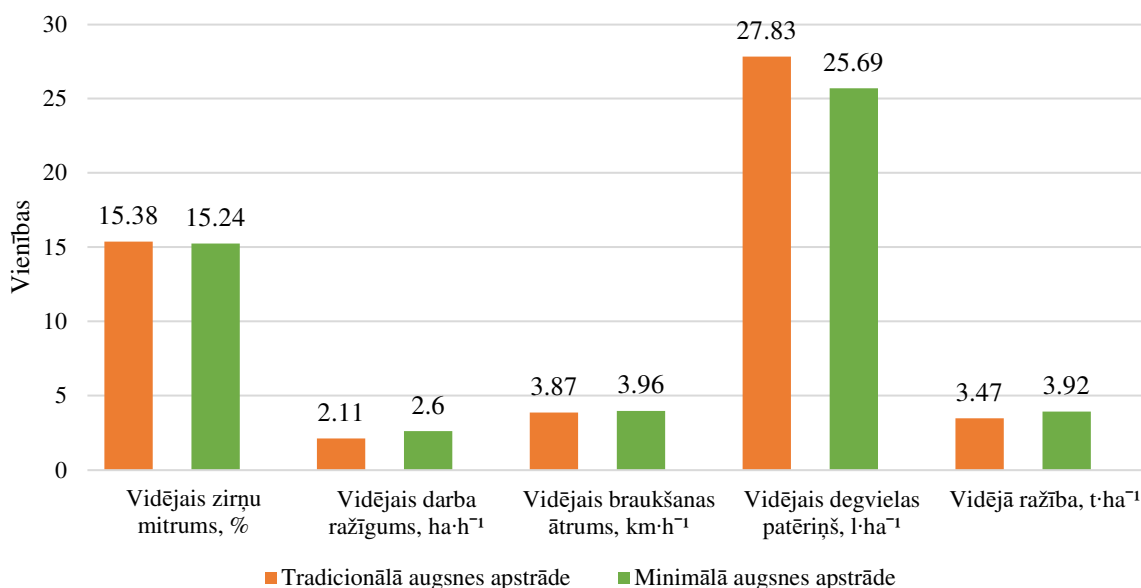
Pirmā tika kulta pētījuma lauka tradicionālās augsnes apstrādes daļa 4.46 hektāru platībā. Veicot kulšanu, vidējais ziemas kviešu mitrums bija 13.63% (skat. 9. att.). Vidējais kombaina darba ražīgums bija 2.76 ha·h⁻¹. Labības kombaina vidējais braukšanas ātrums, veicot kulšanas darbus, bija 4.59 km·h⁻¹. Vidējais degvielas patēriņš tradicionālās augsnes apstrādes lauka daļā bija 37.38 l·ha⁻¹ un kopā tika izlietoti 166.71 litri degvielas. Vidējā graudaugu ražība bija 5.73 t·ha⁻¹.

Uzreiz pēc labības kulšanas lauka tradicionālās augsnes apstrādes daļā tika veikta labības kulšana minimālās augsnes apstrādes lauka daļā 4.4 hektāru platībā, kur kulšanas darbi tika veikti 1.66 stundas. Šajā lauka daļā vidējais kviešu mitrums, veicot kulšanu, bija 13.93%. Kombaina vidējais ražīgums bija 2.65 ha·h⁻¹. Vidējais labības kombaina braukšanas ātrums bija 4.56 km·h⁻¹. Būtiskākā atšķirība pēc labības kombaina datu analizēšanas bija degvielas patēriņā, kur minimālās augsnes apstrādes lauka daļā tika patērēti 33.35 l·ha⁻¹, kas bija par 12% mazāk, kā tradicionālās augsnes apstrādes lauka daļā.

Veicot baltziedu zirņu kulšanu 2022. gadā, tika iegūti sekojoši rezultāti (skat. 10. att.). Vidējais zirņu mitrums tradicionālajā augsnes apstrādes lauka daļā bija par 0.14% augstāk, jo šī lauka daļa tika kulta pirmā. Līdz ar to zirņi bija mitrāki dēļ rīta rasas, nekā minimālās augsnes apstrādes lauka daļā, kā rezultātā vidējais braukšanas ātrums bija par 0.09 km·h⁻¹ mazāks. Vidējais darba ražīgums minimālās augsnes apstrādes lauka daļā ir par 0.49% augstāks. Vidējais degvielas patēriņš minimālajā augsnes apstrādes lauka daļā bija par 2.14 l·ha⁻¹ zemāks. Vidējā baltziedu zirņu ražība bija par 0.45 t·ha⁻¹ augstāka minimālās augsnes apstrādes lauka daļā, jo zirņu augsnes apstrādes laikā netika zaudēts augsnes mitrums.



9. att. Labības kombaina informācijas sistēmas dati 2021. gada ziemas kviešiem



10. att. Labības kombaina informācijas sistēmas dati 2022. gada baltziedu zirņiem

Secinājumi

1. Katrai no augsnes apstrādes tehnoloģijām ir savas priekšrocības un trūkumi, gan tehnoloģiskie, gan ekonomiskie, kā arī būtisks faktors ir augsnes agrofizikālās īpašības un meteoroloģiskie apstākļi, tādēļ izvēloties kurai no tehnoloģijām dot priekšroku, svarīgi izvērtēt konkrētās saimniecības mērķus un ietekmējošo faktoru būtiskumu.
2. Divu gadu lauka izmēģinājumos vidējais degvielas patēriņš tradicionālajā augsnes apstrādē (20.09 un 22.86 l·ha⁻¹) bija par 10.15 un 15.22% augstāks nekā minimālajā augsnes apstrādē (18.05 un 19.38 l·ha⁻¹).
3. Vidējais darba ražīgums tradicionālajā augsnes apstrādē (4.92 un 5.06 ha·h⁻¹) bija par 14.67 un 21.53% zemāks nekā minimālajā augsnes apstrādē (6.27 un 5.93 ha·h⁻¹).
4. Vidējais darba ātrums tradicionālajā augsnes apstrādē (10.14 un 10.49 km·h⁻¹) bija par 11.75 un 6.51% mazāks nekā minimālajā augsnes apstrādē (11.49 un 11.22 km·h⁻¹).

5. Vidējā kultūraugu ražība tradicionālajā augsnes apstrādē ziemas kviešiem (5.55 un $5.73 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) bija par 3.14% zemāka. Minimālajā augsnes apstrādē (3.47 un $3.92 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) vidējā ražība baltziedu zirņiem bija par 11.48% augstāka.
6. Labības kombaina vidējais degvielas patēriņš tradicionālās augsnes apstrādes lauka daļā (37.38 un $27.83 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$) bija par 25.55 un 23.43% augstāks nekā minimālās augsnes apstrādes lauka daļā (33.55 un $25.69 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$).
7. Veiktie pētījumi z/s Lejasciņi parāda, ka minimālās augsnes apstrādes tehnoloģijai ir gan ekonomiski, gan tehnoloģiski vairāk priekšrocību un ieguvumu.

Izmantotie informācijas avoti

- [1] Pētījuma lauka atrašanās kartē. (2023) [tiešsaiste] [27.03.2023]. Pieejams: <https://www.melioracija.lv/?loc=602972;403739;12>
- [2] Lapiņš D., Kažotnieks J. Laukkopība. Ozolnieki: LLU, 2000, 247 lpp.
- [3] Kā labāk apstrādāt augsni – minimāli vai tradicionāli? (2012) [tiešsaiste] [28.03.2023]. Pieejams: <https://www.la.lv/ka-labak-apstradat-augsni-minimali-vai-tradicionali-2>
- [4] Minimālā augsnes apstrāde. (2022) [tiešsaiste] [01.04.2023]. Pieejams: <https://www.vaderstad.com/lv/zini-ka/augsnes-sagatavosana/minimala-augsnes-apstrade/>
- [5] AFS system. (2023) [online] [31.03.2023]. Available: <https://www.caseih.com/apac/en-int/products/advanced-farming-system/afs-system4,92>

LOPBARĪBAS SAGATAVOŠANAS RISINĀJUMI AITKOPIBAS NOZARĒ FORAGE PREPARATION SOLUTIONS FOR THE SHEEP SECTOR

Pēteris Zelčs

Tehniskās fakultātes 2. kursa students, maģistrants

Dr. sc. ing. Juris Priekulis

Zinātniskais vadītājs, profesors, Dr.sc.ing.

Abstract. Most of the farm's fixed costs are labour and machinery. It is also the most variable among farms. For this reason, it is important to fully understand and manage both labour and machinery costs as they can have a significant impact on the financial viability of a farm. The aim of this work is to investigate technological solutions for forage preparation, to analyse and calculate the economic benefits and to assess the most chronologically correct sequence of technological development in the sheep farming sector. The study is based on the sequential calculation of the necessary data from which we obtain the required amount of forage, the area from which we can extract the forage and the cost of each technological operation separately, in order to ascertain the cost of forage for a given number of animals. After the calculations it was concluded that with a herd of 190 animals, it is more profitable to buy forage. But in order to know and be able to improve the quality of the forage, with this number of animals you can think about preparing the forage on the farm. Depending on the technological solutions for trench construction, trenching technologies could be useful in the sheep sector starting from 1000 sheep. As the flock gradually develops, at the beginning feed can be prepared using purchased forage, but when going beyond 200 animals feed roll technology can be used.

Atslēgas vārdi: lopbarība; aitkopība; aitas; dzīvnieki; tehnikas izmaksas; tehnoloģijas.

Ievads

Latvijas klimatiskajos apstākļos ir augsts potenciāls daudzveidīgo zālāju, kā arī sēto un kultivēto zālāju audzēšanai. Tas var būt labs pamats attīstīt tādas nozares, kā gaļas liellopu, piena govju un arī aitu audzēšanu. Lai nodarbotos ar lopkopību, ir nepieciešamas zināšanas par kvalitatīvas barības sagatavošanu, laikam kad dzīvnieki atrodas saimniecības novietnē, ziemas periodā. Aitkopības nozarē saimniecības dzīvniekus tur novietnē aptuveni 182 dienas. Tas nozīmē, ka uz šo periodu noteiktam dzīvnieku skaitam ir nepieciešama lopbarība. Katrā saimniecībā ir dažāds dzīvnieku skaits un pieeja, kā nodrošināt savlaicīgi nepieciešamo barības daudzumu minētajam laika posmam. Nepārtrauktais cenu kāpums visiem pakalpojumiem un precēm, nozīmē, ka jādomā un jārēķina līdz izdevumi, lai nav jāpārmaksā. Lielākā daļa no saimniecības pastāvīgajām izmaksām ir darbaspēks un tehnika. Tā ir arī vismainīgākā starp saimniecībām. Tā iemesla dēļ ir svarīgi pilnībā izprast un pārvaldīt gan darbaspēka, gan tehnikas izmaksas, jo tās var būtiski ietekmēt saimniecības finansiālo dzīvotspēju. Rīkojoties gudri, var sagatavot nepieciešamo barības daudzumu kvalitatīvi un nepārmaksājot, izmantojot racionāli savus saimniecības līdzekļus.

Lai saimniecības varētu pakāpeniski attīstīt lopbarības sagatavošanas tehnoloģiju, palielinot dzīvnieku skaitu novietnē. Pētījuma mērķis ir izpētīt lopbarības sagatavošanas tehnoloģiskos risinājumus, analizēt un aprēķināt ekonomisko izdevīgumu un novērtēt aitkopības nozarē hronoloģiski pareizāko tehnoloģijas attīstības secību.

Materiāli un metodes

Lopbarības sagatavošanas risinājumi ir atkarīgi no saimniecības dzīvnieku skaita, saimniecības lauksaimniecības platības ģeogrāfiskā novietojuma, tehnikas izmaksām un citiem ietekmējošajiem faktoriem. Protams var lopbarību iegādāties no citām saimniecībām, bet pastāv risks, ka tā var būt sākusī bojāties vai arī būt ar mazu uzturvērtību, kā arī likt pārmaksāt barības nodrošināšanā saimniecībā esošajam dzīvnieku skaitam.

Lopbarību var sagatavot vairākos veidos – siena kaudzēs (gubās), rituļu, ķīpu, tranšeju, skābbarības tuneļu tehnoloģiskajos risinājumos. Populārākie lopbarības sagatavošanas risinājumi ir rituļu un tranšeju tehnoloģiskie risinājumi. Lai noskaidrotu racionālāko tehnoloģiskā risinājuma izvēli, nepieciešama analīze un aprēķinu veikšana, kura sniegtu atbilstošu novērtējumu lopbarības sagatavošanai.

Atbilstoši dzīvnieku skaitam būtu jāzina aptuvenais barības daudzums, kas optimāli jānodrošina dzīvniekam dienas laikā. Zinot šo daudzumu, var izvērtēt racionālāko risinājumu lopbarības

sagatavošanai. Balstoties uz Latvijas saimniecību, kā arī uz konsultantu un zootehniķu pieredzi, dzīvnieki tiek iedalīti grupās.

1. tabula

Dzīvnieku iedalījums grupās

| Dzīvnieki | Dzīvnieku skaits | Vidēji dienā nepieciešamā barība | Turēšana novietnē | Nepieciešamais barības daudzums |
|------------------------------------|------------------|--|-------------------|---------------------------------|
| Aitu mātes | 120 | 8 kg | 182 dienas | 174.720 t |
| Teļi | 10 | 10 kg | 182 dienas | 18.200 t |
| Atšķirtie jēri | 20 | 4 kg | 120 dienas | 9.600 t |
| Audzējamās aitas | 40 | 7 kg | 182 dienas | 50.960 t |
| Rezerves barības daudzums 5% | 12.674 t | | | |
| Kopā jāpabaro 190 dzīvnieki | | Kopējais barības daudzums 266.154 t | | |

Barības daudzumu dzīvnieku grupai var aprēķināt pēc formulas:

$$B = \frac{Dz_{kopā} \times B_{dd} \times T}{1000} = \frac{120 \times 8 \times 182}{1000} = 174.720, \quad (1)$$

kur B – nepieciešamais barības daudzums grupai, t;
 $Dz_{kopā}$ – kopējais dzīvnieku skaits grupā, skaits;
 B_{dd} – nepieciešamais barības daudzums dienā, kg;
 T – turēšanas dienas novietnē, dienas.

Pēc aprēķinu veikšanas katrai grupai, zināms nepieciešamais barības daudzums. Savukārt, lai zinātu kopējo ganāmpulkam nepieciešamo barības daudzumu, kas būs jāgatavo ziemas periodam, aprēķinos izmantojam formulu:

$$B_{kopā} = (B_1 + B_2 + B_3 + B_4) + 5\% \text{ un}$$

$$B_{kopā} = (174.720 + 18.200 + 9.600 + 50.960) + 5\% = 266.154, \quad (2)$$

kur $B_{kopā}$ – nepieciešamais barības daudzums ganāmpulkam, t;
 B_1 – kopējais barības daudzums aitu mātēm, t;
 B_2 – kopējais barības daudzums teļiem, t;
 B_3 – kopējais barības daudzums atšķirtiem jēriem, t;
 B_4 – kopējais barības daudzums audzējamām aitām, t;
5% – nepieciešamā barības rezerve no kopējā barības daudzuma, %.

Izrēķinot kopējo nepieciešamās barības daudzumu, papildus jāzina proporcija, kā tiks plānota barības sagatavošana. Katra saimniecība barības ēdienkarti plāno dažādi. Līdz ar to šis ir ļoti mainīgs lielums. Lai korekti aprēķinātu apstrādājamo platību, kas nepieciešama, lai iegūtu vajadzīgo barības daudzumu, aprēķinos izmantojam formulu:

$$B_{siens} = ((B_1 + B_2 + B_3 + B_4) + 5\%) \times P_d \text{ un} \quad (3)$$

$$B_{siens} = ((174.720 + 18.200 + 9.600 + 50.960) + 5\%) \times 60\% = 159.692,$$

$$B_{skābsiens} = ((B_1 + B_2 + B_3 + B_4) + 5\%) \times P_d \text{ un}$$

$$B_{skābsiens} = ((174.720 + 18.200 + 9.600 + 50.960) + 5\%) \times 40\% = 106.462, \quad (4)$$

kur B_{siens} – plānotais siena daudzums ganāmpulkam no kopējā barības daudzuma, t;
 $B_{skābsiens}$ – plānotais skābsiena daudzums ganāmpulkam no kopējā barības daudzuma, t;
 B_1 – kopējais barības daudzums aitu mātēm, t;
 B_2 – kopējais barības daudzums teļiem, t;
 B_3 – kopējais barības daudzums atšķirtiem jēriem, t;
 B_4 – kopējais barības daudzums audzējamām aitām, t;
5% – nepieciešamā barības rezerve no kopējā barības daudzuma, %;
 P_d – barības sagatavošanas% no kopējā barības daudzuma, %.

Latvijas klimatiskajos apstākļos lopbarību iegūst no dažādiem zālāju veidiem.

- Dabiskā zālāja, kura pastāvēšanu pilnībā nodrošina dabas apstākļi (nokrišņi, uguns, augsne, savvaļas zālējādži), bet cilvēku saimnieciskā darbība nav nepieciešama. Lauksaimniecībā par dabisku zālāju nereti sauc jebkuru sēto zālāju, kurā sētās graudzāles ir daļēji iznīkušas un ieviesušās savvaļas sugas, taču pēc būtības tas ir ilggadīgs zālājs vai sens kultivēts zālājs. Ekoloģiski dabisks zālājs ir tikai tāds, kurā nav iekultivēšanas pazīmes.
- Sētā zālāja, kurš reizi piecos gados tiek uzarts un pārsēts. (Lauksaimniecībā lietots termins).
- Kultivētā zālāja, kas ir cilvēka veidots un uzturēts zālājs, kurā vides apstākļus kontrolē ar agrotehniskiem pasākumiem – mēslošanu, nosusināšanu, piesēšanu vai pārsēšanu. (Sinonīmi arī sēts zālājs, ielabots zālājs) [1].

Atšķirības starp šiem zālājiem ir iegūstamais zaļās masas daudzums no hektāra (ha). Ja gatavo lopbarību no kultivētajiem zālājiem, no viena hektāra var iegūt līdz pat 40 tonnas (t) zaļās masas, kuru pēc tam var pārvērst sev nepieciešamajā lopbarības veidā – sienā, skābsienā vai skābbarībā. Pieņemot vidējo vērtību, no kultivētajiem zālājiem var iegūt 25 tonnas no hektāra ($t \cdot ha^{-1}$), ko apliecina arī Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centra (LLKC) apkopotā informācija - vidējā kultivēto zālāju ražība, pļaujot 2-3 reizes sezonā, ir 20-30 tonnas no hektāra zaļmasas jeb 5-8 tonnas no hektāra siena ($t \cdot ha^{-1}$) [2].

Pēc LLKC augkopības konsultantu un saimniecības vadītāju dotajiem datiem, tika sastādīta 2. tabula, kuru katrai saimniecībai var pielāgot, attiecībā pēc iegūstamās zaļās masas daudzuma konkrētās saimniecības platībās.

2. tabula

Iegūstamās zaļās masas daudzums dažādos zālajos

| Pļaušanas reižu skaits sezonā | Dabiskais zālājs | Sētais zālājs | Kultivētais zālājs |
|---|------------------|---------------|--------------------|
| Iegūstamā zaļmasa pļaujot 1. reizi sezonā, $t \cdot ha^{-1}$ | 11.00 | 14.00 | 16.00 |
| Iegūstamais siena daudzums no nopļautās zaļmasas | 2.44 | 3.11 | 3.56 |
| Iegūstamā zaļmasa pļaujot 2. reizi sezonā, $t \cdot ha^{-1}$ | 19.80 | 25.20 | 28.80 |
| Iegūstamais siena daudzums no nopļautās zaļmasas, $t \cdot ha^{-1}$ | 4.40 | 5.60 | 6.40 |
| Iegūstamā zaļmasa pļaujot 3. reizi sezonā, $t \cdot ha^{-1}$ | - | 33.60 | 38.40 |
| Iegūstamais siena daudzums no nopļautās zaļmasas, $t \cdot ha^{-1}$ | - | 7.47 | 8.53 |

Iegūstot reālus datus un sakārtojot tos 2. tabulā, var aprēķināt nepieciešamo apstrādājamo platību, atkarībā no apstrādāšanas reižu skaita - sienam un skābbarībai, izmantojot formulu:

$$N_{pls} = \frac{B_{siens}}{I_{siens}} = \frac{159.692}{2.44} = 65.45 \text{ un} \quad (5)$$

$$N_{plsk} = \frac{B_{skābsiens}}{I_{skābsiens}} = \frac{106.462}{11} = 9.68, \quad (6)$$

kur N_{pls} – nepieciešamā platība siena ieguvei uz noteiktu dzīvnieku skaitu, ha;
 N_{plsk} – nepieciešamā platība skābsiena ieguvei uz noteiktu dzīvnieku skaitu, ha;
 B_{siens} – plānotais siena daudzums ganāmpulkam no kopējā barības daudzuma, t;
 $B_{skābsiens}$ – plānotais skābsiena daudzums ganāmpulkam no kopējā barības daudzuma, t;
 I_{siens} – iegūstamais siena daudzums, $t \cdot ha^{-1}$.
 $I_{skābsiens}$ – iegūstamais skābsiena daudzums, $t \cdot ha^{-1}$

Konkrētais piemērs tika aprēķināts pie nosacījuma, ka apstrādājam dabisko zālāju 1. reizi sezonā. Ja apstrādājam vairākas reizes sezonā, tad attiecīgi no 2. tabulas izvēlamies pamatvērtības, kuras ievietojam 5. un 6. formulā. Lai aprēķinātu kopējo apstrādājamo platību izmantojam šādu formulu:

$$K_{platība} = N_{pls} + N_{plsk} = 65.45 + 9.68 = 75.13, \quad (7)$$

- kur $K_{platība}$ – kopējā barības daudzuma nodrošināšanai nepieciešamā platība, ha;
 N_{pls} – nepieciešamā platība siena ieguvei uz noteiktu dzīvnieku skaitu, ha;
 N_{plsk} – nepieciešamā platība skābsiena ieguvei uz noteiktu dzīvnieku skaitu, ha;

Lai lopbarību sagatavotu saimniecības ganāmpulkam ir jāveic vairākas tehniskās operācijas, kuras sastāda atšķirīgas izmaksas. Lai konstatētu veicamos darbus un to izmaksas, jāsastāda hronoloģiska secība veicamajiem darbiem, kuru var aplūkot 3. tabulā.

3. tabula

Tehniskās operācijas lopbarības sagatavošanai noteiktam dzīvnieku skaitam

| Lopbarība tiek nopirkta | Nopirkšana | Ņemot vērā tirgus cenas un nepieciešamo daudzumu | | | | |
|--------------------------------------|------------|--|----------|--------------------------|--|-------------------------------------|
| | | Ārdīšana | Vālošana | Presēšana | Ritulu ietīšana | Transports |
| Ritulu sagatavošana saimniecībā | Pļaušana | | | | | |
| Apstrādājamā platība sienam, ha | 65.45 | 65.45 | 65.45 | 65.45 | - | Atkarībā no ģeogrāfiskā novietojuma |
| Apstrādājamā platība skābsienam, ha | 9.68 | - | 9.68 | 9.68 | 9.68 | Atkarībā no ģeogrāfiskā novietojuma |
| Lopbarība tiek sagatavota tranšējās | Pļaušana | Ārdīšana | Vālošana | Savākšana/ Transports | Sablīvēšana | Hermetizēšana |
| Apstrādājamā platība sienam, ha | 65.45 | 65.45 | 65.45 | 65.45 | Uzglabā šķūnī vai angārā | Uzglabā šķūnī vai angārā |
| Apstrādājamā platība skābbarībai, ha | 9.68 | - | 9.68 | 9.68 | Atkarībā no tranšejas būvtehniskajiem risinājumiem | |

Rezultāti un diskusija

Aplūkojot tirgus cenas rupjai lopbarībai 4. tabulā ir apkopoti dati lopbarības iegādē. Lai iegūtu lopbarības kopējās izmaksas, aprēķinām vienas tonnas cenu, no tirgū pieejamā lopbarības veida. Aprēķinos pieņemam, ka viena siena rituļa svars ir 200 kg un tā cena 10 EUR par rituli, bet skābbarības rituļa svars 580 kg un cena, 25 EUR par rituli.

4. tabula

Lopbarības iegāde noteiktam dzīvnieku skaitam

| Lopbarība tiek nopirkta | Nopirkšana | Ņemot vērā tirgus cenas un nepieciešamo daudzumu |
|-------------------------|------------------------|--|
| Siena izmaksas | 50 EUR·t ⁻¹ | 159.692 t x 50 = 7 984.60 EUR pieņemot, ka viena rituļa svars ir 200 kg, cena par rituli 10 EUR·gab ⁻¹ . |
| Skābsiena izmaksas | 45 EUR·t ⁻¹ | 106.462 t x 45 = 4 790.79 EUR pieņemot, ka viena rituļa svars ir 580 kg, cena par rituli 25 EUR·gab ⁻¹ . |
| Kopā izdevumi: | | 12 775.39 EUR |

Lai plānotu saimniecību izdevumus, iegādājoties dažādas tehnikas vienības, Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centra (LLKC) Inženiertehniskā nodaļa piedāvā izmaksu aprēķiniem izmantot tehnikas izmaksu aprēķinu rīku. Tehnikas izmaksu aprēķina rīks paredzēts, lai noskaidrotu, cik patiesībā izmaksā tehnikas izmantošana saimniecībā. To iespējams pielietot, lai modelētu situāciju jaunas tehnikas iegādei, kā arī optimizētu jau esošās tehnikas izmantošanu. Rīkā pieejamas informatīvas tabulas, kurās iespējams atrast gan remontu un tehnisko apkopju izmaksas, gan tehnikas degvielas patēriņu atkarībā no veicamā darba, gan arī darba ražīgumu, strādājot ar dažādām tehnikas vienībām. Atbilstoši vajadzībai, tehnikas aprēķina rīka lietotājam iespējams izvēlēties vienu no trijām aprēķinu iespējām: “Pašgājējmašīnas”, “Iekārtas ar elektropiedziņu” vai “Lauksaimniecības agregāti un traktori”. Kad lietotājs aprēķina formas tukšajās ailītēs savādājis savu informāciju, programma veic aprēķinu un tiek iegūti gala rezultāti, kas izteikti gan kā darba stundas, gan kā viena hektāra apstrādes izmaksas.

Papildus vizuālajā grafikā iespējams analizēt izmaksu struktūru, nosakot kritiskās pozīcijas, kuras tad darba gaitā iespējams optimizēt. Lai rīka izmantošana būtu pēc iespējas saprotamāka un ērtāka, pie katras aizpildāmās ailītes ir arī skaidrojošs komentārs, kas tajā rakstāms [3].

Izmantojot iepriekš minēto tehnikas izmaksu aprēķinu rīku var iegūt izmaksas izmantojot rituļu tehnoloģiju, skatīt 5. tabulu, kuras rodas lopbarības sagatavošanas procesā, kā arī salīdzināt ar Latvijas vidējām pakalpojuma cenām, kuras LLKC publicē savā mājas lapā [4;5].

5. tabula

Lopbarības sagatavošanas izmaksas izmantojot rituļu tehnoloģisko risinājumu noteiktam dzīvnieku skaitam

| Rituļu sagatavošana saimniecībā | Pļaušana | Ārdīšana | Vālošana | Rituļu presēšana | Rituļu ietīšana | Transports |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Apstrādājamā platība sienam | 65.33 ha | 65.33 ha | 65.33 ha | 65.33 ha | - | 10 km |
| Izmaksas pēc aprēķināšanas | 35.48 EUR·ha ⁻¹ | 26.73 EUR·ha ⁻¹ | 20.69 EUR·ha ⁻¹ | 6.78 EUR·gab ⁻¹ | - | 87.81 EUR par 20 rituļu kravu |
| Apstrādājamā platība skābsienam | 9.68 ha | - | 9.68 ha | 9.68 ha | 9.68 ha | 10 km |
| Izmaksas pēc aprēķināšanas | 35.48 EUR·ha ⁻¹ | 26.73 EUR·ha ⁻¹ | 20.69 EUR·ha ⁻¹ | 6.78 EUR·gab ⁻¹ | 14.38 EUR·gab ⁻¹ | 87.81 EUR par 20 rituļu kravu |
| Latvijas vidējās pakalpojuma cenas | 43.98 EUR·ha ⁻¹ | 30.66 EUR·ha ⁻¹ | 30.66 EUR·ha ⁻¹ | 6.10 EUR·gab ⁻¹ | 17.60 EUR·gab ⁻¹ | 1.39 EUR·km ⁻¹ |
| Kopā izdevumi sezonā, EUR: | 2 661.18 | 1 746.25 | 1 551.91 | 2 925.61 | 2 250.46 | 4311.59 |
| Kopā izdevumi: | 14 051.00 EUR | | | | | |
| Kopā izdevumi izmantojot pakalpojumu: | 9 187.11 EUR | | | | | |

Izmantojot iepriekš minēto tehnikas izmaksu aprēķinu rīku var iegūt izmaksas izmantojot tranšeju tehnoloģiju, skatīt 6. tabulu, kuras rodas lopbarības sagatavošanas procesā, kā arī salīdzināt ar Latvijas vidējām pakalpojuma cenām, kuras LLKC publicē savā mājas lapā [4;5].

6. tabula

Lopbarības sagatavošanas izmaksas izmantojot tranšeju tehnoloģisko risinājumu noteiktam dzīvnieku skaitam

| Lopbarība tiek sagatavota tranšejās | Pļaušana | Ārdīšana | Vālošana | Savākšana/Transports | Sablīvēšana | Hermetizēšana |
|--|---|----------|----------|----------------------|--|-----------------------------------|
| Apstrādājamā platība sienam, ha | 65.33 | 65.33 | 65.33 | 65.33 | Sienu uzglabā šķūnī vai angārā | Sienu nav nepieciešams hermetizēt |
| Izmaksas pēc aprēķināšanas, EUR·ha ⁻¹ | 35.48 | 26.73 | 20.69 | 14.71 | | |
| Apstrādājamā platība skābbarībai, ha | 9.68 | - | 9.68 | 9.68 | Atkarībā no tranšejas būvtehniskajiem risinājumiem | |
| Izmaksas pēc aprēķināšanas, EUR·ha ⁻¹ | 35.48 | - | 20.69 | 14.71 | | |
| Latvijas vidējās pakalpojuma cenas, EUR·ha ⁻¹ | 43.98 | 30.66 | 30.66 | 42.25 | | |
| Kopā izdevumi sezonā, EUR: | 2 661.18 | 1 746.25 | 1 551.91 | 2036.26 | - | - |
| Kopā izdevumi pēc aprēķiniem, EUR: | 7 995.60 (neieskaitot sablīvēšanu un hermetizēšanu) | | | | | |
| Kopā izdevumi izmantojot pakalpojumu, EUR: | 10 770.96 (neieskaitot sablīvēšanu un hermetizēšanu) | | | | | |

Secinājumi

1. Pēc aprēķinu veikšanas tehnoloģijas hronoloģiskā secība ir – lopbarības nopirkšana, lopbarības sagatavošana ar rituļu tehnoloģiju, barības sagatavošana tranšejās.
2. Saimniecībā, kurā tiek turēti 190 dzīvnieki un nepieciešamais barības daudzums ir 266.154 t jeb siens 159.692 t un skābsiens/skābbarība 106.462 t, viss racionālāk ir barību gatavot rituļu tehnoloģijas risinājumā.
3. Ekonomiski izdevīgāk saimniecībai būtu iegādāties barību, bet ja iegādājās barību no nezināmas saimniecības, tad nav īsti zināma barības kvalitāte, kā arī pastāv risks, ka nepieciešamo barības daudzumu nevar iegādāties.
4. Latvijas apstākļos ir tikai dažas saimniecības, kuras var atļauties taisīt barību tranšeju tehnoloģiskajā risinājumā un tās ir saimniecības, kurā dzīvnieku skaits pārsniedz 1000 aitas, jo pieņemot, ka tranšijas minimālais izmērs ir 10m plata un 2m augstumā, kurā tiek sablīvēta barība, 3 m jāizēdina nedēļas laikā, lai tā nesabojātos.

Izmantotie informācijas avoti

- [1] Grasslife, Zālājs? Pļava? Kas ir kas?, Projekts GrassLIFE: Zālāju atjaunošana un to dažādas izmantošanas veicināšana LIFE16NAT/LV/262”, [tiešsaiste] [skatīts 30.03.2023] Pieejams: <https://grasslife.lv/darbi/plavu-atjaunosana/zalajs-plava-kas-ir-kas/>
- [2] Strazdiņa B., Jakovels D., Auziņš A., Zālāju biomasas resursi Siguldas un Ludzas novadā, ziņojums. 2015. – 85 lpp., [tiešsaiste] [skatīts 30.03.2023] Pieejams: https://www.edo.lv/fileadmin/user_upload/News_files/Grassservice.pdf
- [3] Latvijas lauku konsultāciju un izglītības centra inženiertehniskā nodaļa. Zelčs P. 2021.gada 15. septembris. Ozolnieki. [tiešsaiste] [skatīts 30.03.2023] Pieejams: <http://new.llkc.lv/lv/nozares/ekonomika/saimniekiem-talka-nak-tehnikas-izmaksu-aprekinu-riks>
- [4] Latvijas lauku konsultāciju un izglītības centra inženiertehniskā nodaļa. Kažotnieks J., Zelčs P. Tehnikas izmaksu aprēķina rīks [tiešsaiste] [skatīts 30.03.2023]. Pieejams: http://laukutikls.lv/riki/tehnikas_izmaksu_aprekins/#traktori-agregati
- [5] Latvijas lauku konsultāciju un izglītības centra ekonomikas nodaļa. Tehnikas pakalpojuma cenas [tiešsaiste] [skatīts 30.03.2023]. Pieejams: <http://new.llkc.lv/lv/nozares/ekonomika-tehnikas-pakalpojumu-cenas>

BIOGĀZES RAŽOŠANAS PAZEMINĀTĀS TEMPERATŪRĀS MEZOFĪLAJĀ REŽĪMĀ

BIOGAS PRODUCTION AT REDUCED TEMPERATURES IN THE MESOPHILIC REGIME

Ēriks Žukovskis

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

Imants Plūme

Zinātniskais vadītājs, lektors, Mg. sc. ing.

Abstract. Biogas production is a energy production process that is at the same time sustainable and renewable and offers energy production in locations where other renewable types would be inefficient. Being one of the largest renewable energy producers in world, biogas production offers eco friendly energy using agricultural and food waste or sewage sludge for energy production. Using this technology lowers gas emissions (reduces negative impact on climate change), helps manage local community waste problems, creates for these same communities independent energy source, creates fertilizer for farmers to use, reducing their spending. Although previously mentioned positives, biogas currently has one very large downside it being the production costs. Currently biogas is expensive energy type to produce which is a reason it is unpopular in Latvia unless heavily subsidized. One of the largest expenses in biogas production is production costs, when biogas is being kept in a heating chamber. Aim of this research is to reduce biogas production costs by reducing operational temperatures, by adding additives or finding optimal biogas production equilibrium where reduced biogas yields meets production costs.

Atslēgas vārdi: biogāze, temperatūra, anaerobā fermentācija.

Ievads

Biogāzes ražošana ir enerģijas ražošanas process, kas vienlaikus ir ilgtspējīgs un atjaunojams un piedāvā enerģijas ražošanu vietās, kur citi atjaunojamās enerģijas veidi būtu neefektīvi. Būdamā viena no lielākajām atjaunojamās enerģijas ražotājām pasaulē, biogāzes ražošana piedāvā ekoloģisku enerģiju, enerģijas ražošanai izmantojot lauksaimniecības un pārtikas atkritumus vai notekūdeņu dūņas [1].

Šīs tehnoloģijas izmantošana samazina gāzu emisijas, kas savukārt, samazina negatīvo ietekmi uz klimata pārmaiņām, palīdz pārvaldīt vietējo kopienu atkritumu problēmas, rada šīm pašām kopienām neatkarīgu enerģijas avotu un rada lauksaimniecībām izmantojamu mēslojumu, samazinot izdevumus. Neskatoties uz iepriekš minētajiem pozitīvajiem rādītājiem, biogāzei pašlaik ir viena ļoti liela problēma, kas ir ražošanas izmaksas. Pašlaik biogāze ir dārgs enerģijas veids, ko ražot, un tas ir iemesls, kāpēc tā Latvijā ir nepopulāra, ja vien tā nav stipri subsidēta. Viens no lielākajiem izdevumiem biogāzes ražošanā ir ražošanas izmaksas, turot biomasu biomasas reaktoros [2].

Ņemot vērā Latvijas Nacionālo enerģētikas un klimata plānu 2021-2030.gadam, kur tiek minēti tādi pasākumi kā biomasas izmantošanas palielināšana apkurei un elektroenerģijas ražošanai, biogāzes ražošana ir ļoti pievilcīgs veids šī mērķa realizēšanai [3].

Šī pētījuma mērķis ir samazināt biogāzes ražošanas izmaksas, samazinot darba temperatūru, pievienojot piedevas vai atrodot optimālu biogāzes ražošanas līdzsvaru kur samazināti iegūtais biogāzes daudzums ir optimāls ar ražošanas izmaksām.

Lai sasniegtu sekojošo mērķi, tika veikti sekojošie uzdevumi:

1. Iepazīties ar iespējamiem veidiem biogāzes ražošanas efektivitātes paaugstināšanā;
2. Analizēt pašreiz izmantotās tehnoloģijas biogāzes ražošanā;
3. Eksperimentāli pārbaudīt iespējamus veidus biogāzes ražošanas efektivitātes paaugstināšanā;
4. Analizēt iegūtos datus.

Materiāli un metodes

Darbs aizsākās ar biomasas apstrādi, kas tika pievienota klāt substrātam ar tās cietvielu un sausās organisko vielu satura analīzi. Paraugu apstrāde cietvielu noteikšanai paraugos tika veikta ar termostata svāriem Shimadzu MOC-120H ar precizitāti ± 0.001 g kur paraugi tika žāvēti temperatūrā 120°C. bet organisko vielu saturam mufelkrāsnī Nabatherm B170 ar temperatūru 550°C. Apstrādāto paraugu rezultāti tika aprēķināti izmantojot matemātiskos aprēķinus. Pabeidzot pievienojamās biomasas sastāva analīzi, tika veikta eksperimenta sagatavošana, lai nodrošinātu precizitāti iegūtajos rezultātos. Kā pamatu darba metodikai tika izmantots raksts par biogāzes ražošanu izmantojot alģes [4], no kura tika

aizvietots ūdens tilpne bioreaktoru apsildei ar žāvskapi SNOL67/350 un biogāzes uzkrāšanai biogāzes maisi. Sekojošā biomasa tika sadalīta 6 grupās atkarībā no tās sastāva.

Testam tika izmantota reaktoru vienreizēja uzpildes metode. Biomasas sastāvēja no pilnībā fermentētiem liellopu mēsliem un organiskās vielas, kas tika pētīta. Rezultātu precizitātei kā pamats organiskajām vielām bija kārklu masa, kas tika sasmalcināta izmantojot dārza smalcinātāju AL-KO New Tec 2400R N24SWE un atkārtoti izmantojot daudzfunkcionālo pārtikas smalcinātāju. Kārklu masai, atkarībā no grupas, tika pievienoti klāt arī bentonīta māli, jaukts pārtikas atkritumu maisījums un kafijas ogles. Sekojošā biomasa tika pakļauta anaerobai fermentācijai, kā arī noteiktās grupās tika pievienots spriegums 0.7V līdzstrāvā. Biomasa reaktoros bija uzturēta mezofilā režīmā.

Biogāzes reaktoru skaits katrā žāvskapī bija 16 ar kopējo skaitu 48, kas tika turēti 3 temperatūras diapazonos (28°C, 33°C un 38°C) $\pm 0.5^\circ\text{C}$, kas ir mezofilās temperatūras diapazonā.

No katra biogāzes reaktora ir uzstādīts izvads ar biogāzes savākšanas maisu, kas atrodas ārpus žāvskapja uz kura atrodas regulējams izvads biogāzes koncentrācijas mērīšanai. Biogāzes koncentrācijas mērīšana tika veikta regulāri izmantojot biogāzes sastāva analizatoru Gasboard 3200L.

Pirms eksperimenta uzsākšanas tika veikta substrāta pH līmeņa noteikšana un kopējā svara noteikšana. pH līmeņa noteikšana tika izmantota iekārta HANNA HI-8424 ar precizitāti ± 0.01 pH, bet svēršanai svarus WA50002Y ar precizitāti 0.01 g.

Nobeidzoties gāzes ražošanai, tiek atkārtoti veikta bioreaktoru nosvēršana un pH līmeņa mērīšana, pēc kā tika veikta organikas un sausnas mērīšana katrā reaktorā balstoties uz iepriekšēji izmantotajām tehnoloģijām sausnas un organikas satura aprēķinā.

Kopējais eksperimenta darba posms ilga 35 dienas līdz biogāzes izstrādes beigām. Veicot informācijas apstrādi svarīgākie dati visās 48 bioreaktoros, kas tika apstrādāta, bija biogāzes daudzums, kas tika saražots anaerobās fermentācijas ceļā un metāna, ūdeņraža koncentrācija tajā. Sekojošā informācija tika apstrādāta, no kuras tika iegūtas vidējās vērtības, kas tika apstrādāta grafikos un tabulās.

Rezultāti un diskusija

Sekojošais eksperiments tika veikts LBTU TF biogāzes laboratorijā. Eksperiments tika sāks no 02.02.2023 ar biomasas un bioreaktoru sagatavošanu eksperimentam līdz 27.03.2023, kad pārstāja notikt anaerobās fermentācijas process un bioreaktori tika izņemti no žāvskapja.

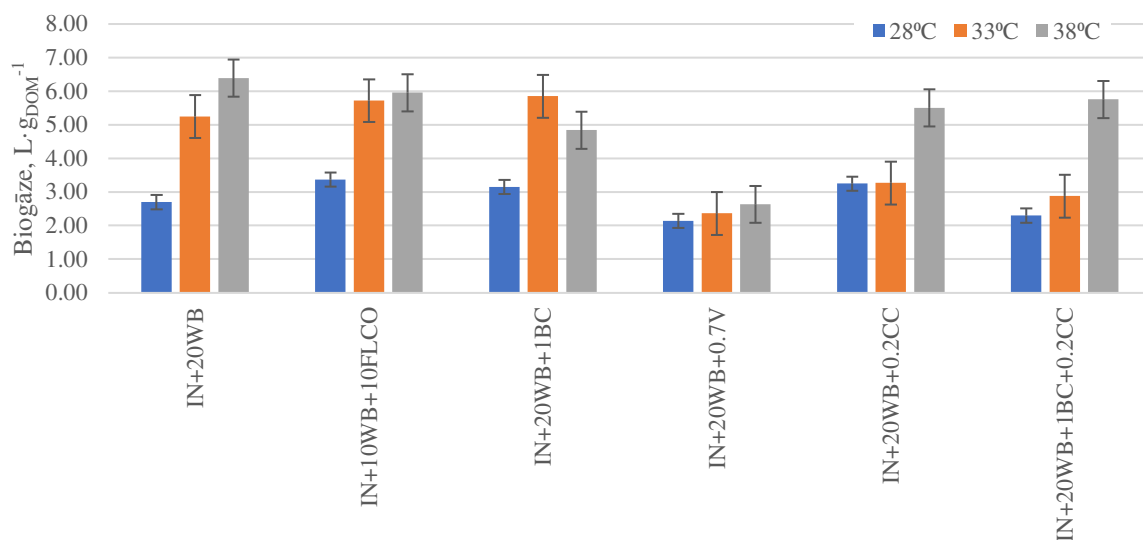
Bioreaktoru sastāvs tiek parādīts 1. tabulā.

1. tabula

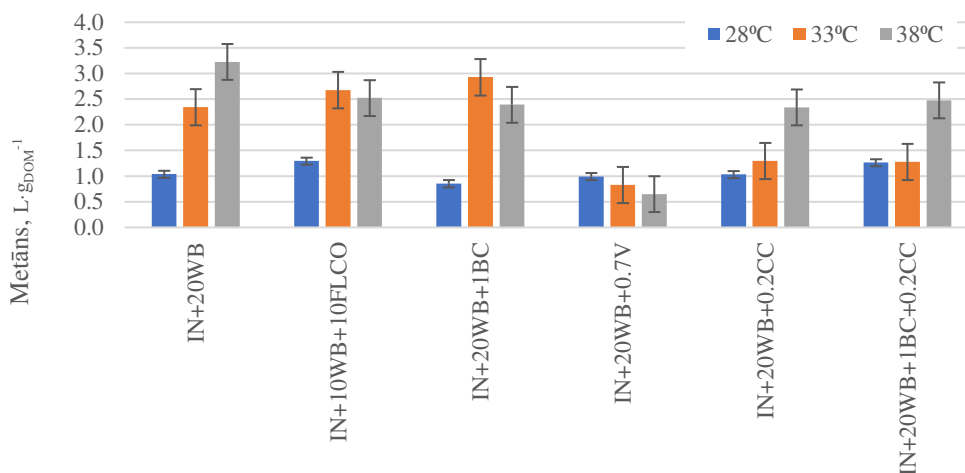
Bioreaktoru sastāvs

| Reaktoru numuri | Reaktora sastāvs | Digestāta svars, g ± 0.01 g | Kārklu svars, g ± 0.001 g | Piedevas svars, g ± 0.001 g |
|---------------------------|------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| R21, R37, R55 | IN | 500 | - | - |
| R22-R24, R38-R40, R56-R58 | WIL | 500 | 20 | - |
| R25-R27, R44-R46, R59-R61 | WIL + FLCO | 500 | 10 | 10 |
| R28-R30, R41-R43, R62-R64 | WIL + BC | 500 | 20 | 1 |
| R31-R32, R47-R48, R65-R66 | WIL + 0.7 V | 500 | 20 | - |
| R33-R34, R49-R50, R67-R68 | WIL + CC | 500 | 20 | 0.2 |
| R35-R36, R51-R52, R69-R70 | WIL + BC + CC | 500 | 20 | 0.2, 1 |

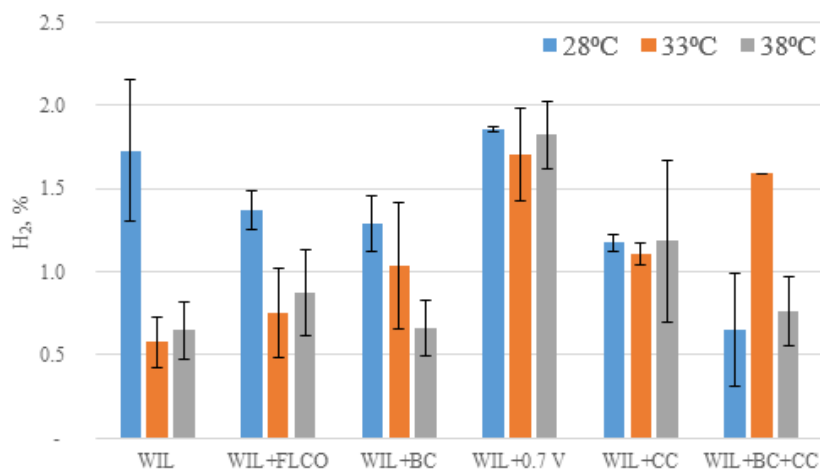
Paskaidrojums: IN-Inokulāts, WIL-kārkli, FLCO-pārtikas atkritumu maisījums, BC-bentonīta māli, CC-kafijas ogles, R1...R70-reaktoru numerācija. Paskaidrojums turpmākiem grafikiem- g_{DOM-1} - metāna daudzums, kas iegūts uz vienu gramu pievadītās organiskās vielas.



1.att. Vidēji saražotais biogāzes daudzums anaerobās fermentācijas ceļā atkarībā no temperatūras un kārkļu piedevām



2.att. Biometāna ieguvums no kārkļu anaerobās fermentācijas kopā ar pārtikas atkritumiem, kafijas oglēm, bentonīta māliem un sprieguma padeves atkarībā no 28°C, 33°C un 38°C temperatūras



3.att. Ūdeņraža koncentrācija no anaerobās fermentēšanas iegūtās biogāzes atkarībā no 28°C, 33°C un 38°C temperatūras

Kārķļu anaerobā fermentācija dažādās mezofilās temperatūrās (28°C, 33°C, 38°C), lielākais biogāzes iznākums tika sasniegts kārķļu fermentācijā 38°C temperatūrā – 6.39 ± 0.31 litri biogāzes. Augstākais biogāzes iznākums 33°C grupā tika sasniegta, kofermentējot kārķļus ar bentonīta māliem – 5.85 ± 0.46 litri uz reaktoru. Vislielākā īpatnējā biogāzes raža iegūta, kofermentējot kārķļus ar pārtikas atliekām jebkurā temperatūrā, bet maksimālā īpatnējā biogāzes raža sasniegta 38°C temperatūrā – 0.558 ± 0.065 un 33°C – $0.535 \pm 0.009 \text{ L} \cdot \text{g}_{\text{DOM}}^{-1}$. Vislielākā metāna koncentrācija biogāzē bija kārķļu fermentācijas laikā – 53.71%. Īpatnējā metāna raža tika sasniegta arī kofermentējot kārķļus ar pārtikas atkritumiem – 0.268 ± 0.033 (33°C) un 0.259 ± 0.044 (38°C) $\text{L}_{\text{CH}_4} \cdot \text{g}_{\text{DOM}}^{-1}$ (2. att.). Veicot datu salīdzinājumu ar pētījumu kur arī tika veikts biogāzes daudzuma mērījums atkarībā no temperatūras, var secināt, ka datu precizitāte ir patiesa [5].

Zema sprieguma (0.7 V) elektriskā lauka pielietošanai uz substrāta ar kārķļiem visu temperatūru grupās ir neitrāla vai arī negatīva, salīdzinot ar reaktoriem bez elektriskā lauka pielietošanas. Savukārt no šajās grupās ar elektriskā lauka pielietošanu tika novērota augsta ūdeņraža iznākums (ūdeņraža saturs 1.71-1.86% biogāzē) – 0.164 l, kas bija par 92.7% augstāks, salīdzinot ar substrātiem bez elektriskā lauka pielietošanas (3.att.). Tas nozīmē, ka, aprēķinot procesa efektivitāti substrātu fermentācijā elektriskā lauka ietekmē, jāņem vērā no bioreaktoriem izdalītais ūdeņradis.

Veicot matemātisko aprēķinu tika iegūts, ka samazinot temperatūru par 5°C, enerģijas izmaksas samazinās par 15%, bet samazinot par 10°C, par 25%. Iegūstot sekojošo informāciju tika izstrādāta 2.tabula.

2.tabula

Iegūto rezultātu koeficientu salīdzinājums starp temperatūru grupām

| | 28°C | 33°C | 38°C |
|-------------------------|------|-------|------|
| Biogāze | | | |
| IN + 20WB | 0.53 | 0.94 | 1 |
| IN + 10WB + 10FLCO | 0.71 | 1.10 | 1 |
| IN + 20WB + 1BC | 0.81 | 1.39 | 1 |
| IN + 20WB + 0.7V | 1.02 | 1.03 | 1 |
| IN + 20WB + 0.2CC | 0.74 | 0.68 | 1 |
| IN + 20WB + 1BC + 0.2CC | 0.50 | 0.57 | 1 |
| Metāns | | | |
| IN + 20WB | 0.40 | 0.84 | 1 |
| IN + 10WB + 10FLCO | 0.64 | 1.22 | 1 |
| IN + 20WB + 1BC | 0.45 | 1.41 | 1 |
| IN + 20WB + 0.7V | 1.91 | 1.47 | 1 |
| IN + 20WB + 0.2CC | 0.55 | 0.64 | 1 |
| IN + 20WB + 1BC + 0.2CC | 0.64 | 0.59 | 1 |
| Ūdeņradis | | | |
| IN + 20WB | 2.06 | 0.45 | 1 |
| IN + 10WB + 10FLCO | 1.39 | 0.52 | 1 |
| IN + 20WB + 1BC | 1.77 | 14.27 | 1 |
| IN + 20WB + 0.7V | 0.62 | 4.37 | 1 |
| IN + 20WB + 0.2CC | 0.87 | 1.67 | 1 |
| IN + 20WB + 1BC + 0.2CC | 0.01 | 1.60 | 1 |

Salīdzinot enerģijas izmaksas un anaerobās fermentācijā iegūtā gāzes, tika iegūts, ka starp temperatūras grupām, izdevīgākie biogāzes ieguvumi bija 33°C grupā, kārķļiem pievienojot bentonīta māla piedevu. Metāna ieguvē šie rezultāti arī bija redzami 28°C grupā, kārķļiem pievienojot strāvu, kur koeficients bija 1.91 un ūdeņraža ieguvē šie rezultāti bija secināmi arī 28°C grupā, kur augstākais rezultāts tika secināts tīros kārķļos bez piedevām ar koeficientu 2.06.

Secinājumi

1. Veicot biogāzes kopējā apjoma mērīšanu tika noteikts, ka augstākais biogāzes daudzums pie 38°C temperatūras bija reaktoros, kas saturēja kārķļus ar tilpumu 6.39 ± 0.31 litri biogāzes, 33°C

- temperatūras grupā, augstākie ieguvumi tika secināti reaktoros, kas saturēja kārkļus ar bentonīta mālu piedevu, kas saražoja biogāzi ar tilpumu 5.85 ± 0.431 , bet pie 28°C temperatūras šie radītāji bija secināmi reaktoros, kur kārkļiem tika veikta pārtikas atkritumu piedeva, kas saražoja 3.37 ± 0.121 .
2. Vislielākās vērtības metāna koncentrācijai biogāzē bija, kārkļu anaerobajā fermentācijā – 53.71%. Salīdzinoši augsta metāna koncentrācija bija kārkļu līdzfermentācijā ar bentonīta mālu un kafijas ogļēm – 51.27% un 51.07%.
 3. Zema sprieguma elektroenerģijas ievade 0.7 V elektriskā lauka uzturēšanai bija no 1.03 līdz 1.22 Wh uz reaktoru visa anaerobās fermentācijas (AF) procesa laikā. Grafīta elektrodu uzstādīšana un 0.7 V elektriskā lauka uzklāšana reaktoros neitrālu (pie 28°C) vai negatīvu (pie 33°C un 38°C) ietekmi uz metāna ieguvu salīdzinājumā ar reaktoriem bez elektriskā lauka uzklāšanas. Jāveic turpmāki pētījumi par iespējām uzlabot AF procesu, izmantojot elektrisko lauku ar atšķirīgu sprieguma un elektrodu konfigurāciju.
 4. Veicot koeficientu aprēķinu salīdzinājumu starp enerģijas izmaksām un saražoto biogāzes, biometāna un ūdeņraža daudzumu tika noteikts, ka augstākais koeficients biogāzes ieguvē bija 1.39 33°C grupai pie kārkļu fermentēšanas ar bentonīta piedevu, metāna ieguvē 1.91 28°C grupā kārkļiem pievadot strāvu un ūdeņraža ieguvē augstākais rezultāts tika iegūts kārkļiem bez piedevām 28°C grupā, kur galējais koeficients bija 2.06.

Izmantotie informācijas avoti

- [1] Dubrovskis V., Niklass M., Emsis I., Kārkliņš A. (n.d.). Biogāzes ražošana un efektīva izmantošana.
- [2] Jarrar L., Ayadi O., Al Asfar J. Techno-economic aspects of electricity generation from a farm based biogas plant. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 2020. DOI: 10.13044/j.sdewes.d7.0302
- [3] Par Latvijas Nacionālo enerģētikas un klimata plānu 2021.-2030. gadam (2020) Ministru kabineta rīkojums Nr.46. Spēkā ar 04.02.2020. *Latvijas vēstnesis*, 29, 11.02.2020.
- [4] Baltrenas P., Misevičius A. Biogas production experimental research using algae. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1), 3, 2015. DOI: 10.1186/s40201-015-0169-z
- [5] Tian G., Yang B., Dong M., Zhu R., Yin F., Zhao X., Wang Y., Xiao W., Wang Q., Zhang W., Cui X. (2018). The effect of temperature on the microbial communities of peak biogas production in batch biogas reactors. *Renewable Energy*, 123, 11-12. DOI: 10.1016/j.renene.2018.01.119