



**Latvijas Lauksaimniecības universitāte  
Tehniskā fakultāte**

# **LLU TF studentu un maģistrantu zinātniskā konference 2022**

**Inženierzinātņu sekcija**

**2022. gada 22. aprīlī**



**Jelgava 2022**

**Programmas komiteja**

Dainis Berjoza

Ilmārs Dukulis

Vitālijs Osadčuks

**Attālinātas konferences vadītāji**

Vadītājs: Dainis Berjoza

Vadītāja vietnieks: Ilmārs Dukulis

Tehniskais redaktors: Vitālijs Osadčuks

**Recenzenti**

Dainis Berjoza, Ainārs Galiņš, Aivars Kaķītis, Liene Kanceviča, Aigars Laizāns, Gunārs Vērdiņš,  
Mārtiņš Ziemeļis

**SATURS - CONTENT**

<b>Kārlis Amatnieks, Aivars Birkavs</b> MOTOREĻĻU KVALITĀTES MONITORINGS EĻĻAS MAIŅAS INTERVĀLA ROBEŽĀS MONITORING OF ENGINE OIL DURING THE OIL CHANGE INTERVAL .....	4
<b>Anna Kristiāna Auniņa, Gunārs Vērdiņš</b> CNC PROGRAMMAS “RADAN” PIEMĒROŠANA SUPERELASTĪGU TĒRAUDA LOKŠŅU TILPUMŠTANCĒŠANĀ CNC PROGRAM “RADAN” APPLICATION TO A SUPERELASTIC STEEL SHEETMETAL PUNCHING .....	10
<b>Mārtiņš Jansons, Mārtiņš Ziemelis</b> DŪMGĀZU REKUPERĀCIJAS SILDĪTĀJA LIETDERĪBAS IZPĒTES METODIKA METHODOLOGY FOR RESEARCH ON FLUE GAS RECUPERATION HEATER EFFICIENCY .....	14
<b>Jevgēnijs Jekimenkovs, Aivars Kakītis</b> IMPREGNĒTĀ PAPĪRA TESTĒŠANAS IEKĀRTAS MODERNIZĀCIJA MODERNIZATION OF IMPREGNATED PAPER TESTING EQUIPMENT .....	18
<b>Matīss Kļaviņš, Imants Plūme</b> KĀRKĻU BIOMASAS PRIEKŠAPSTRĀDE ANAEROBĀS FERMENTĀCIJAS UZLABOŠANĀ PRE-TREATMENT OF WILLOW BIOMASS TO IMPROVE ANAEROBIC FERMENTATION .....	24
<b>Vladislavs Žeinis, Aigars Laizāns</b> KOMERCIĀLO ENERĢIJAS AVOTU SALĪDZINĀJUMS COMPARISON OF COMMERCIAL ENERGY SOURCES .....	30
<b>Edgars Žulpa, Guntis Gailums, Aivars Kakītis</b> SKAŅAS AVOTA VIRZIENA NOTEIKŠANA IZMANTOJOT DIGITĀLĀ SIGNĀLA IZVADI DETERMINING THE DIRECTION OF THE SOUND SOURCE USING DIGITAL SIGNAL OUTPUT .....	36

## MOTOREĻĻU KVALITĀTES MONITORINGS EĻĻAS MAIŅAS INTERVĀLA ROBEŽĀS MONITORING OF ENGINE OIL DURING THE OIL CHANGE INTERVAL

**Kārlis Amatnieks**

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

**Aivars Birkavs**

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

**Abstract.** In modern engines the problem of engine wear is becoming more and more of an issue, and the main cause for this issue are possible problems in the oiling system, that can be resolved by monitoring the condition of the engine oil. The aim of this study was monitoring engine oil during the oil change interval and to give recommendations for extending engine life. The study was conducted from November of 2020 until February of 2022 by taking oil samples from multiple vehicles, and analyzing them for changes in viscosity, metal particle contents, contaminants and various oil properties. During the research, it was concluded that certain motor oil parameters fall below their critical value before the manufacturer's suggested oil change interval is reached.

**Atslēgas vārdi:** motoreļļa, monitorings, kvalitāte, viskozitāte, piesārņojums.

### Ievads

Mūsdienās arvien biežāk ir novērojamas problēmas ar vieglo automobiļu dzinēju paātrinātu izdilšanu un citiem motoru bojājumiem, ko var izraisīt dažādu motoreļļas sastāvdaļu koncentrācijas izmaiņas automobiļos. Šādas problēmas, iespējams, varētu atrisināt biežāk mainot motoreļļu, tādējādi izvairoties no paaugstinātām izmaksām, kas rodas veicot dzinēju remontdarbus.

Pētījuma veikšanai izvēlēts veikt eļļas paraugu monitoringa analīzes zinātniskajā laboratorijā, analizējot izmaiņas motoreļļas ķīmiskajā sastāvā. Motoreļļas paraugi tiek analizēti izmantojot spektrometrisko un piesārņojumu analīzi, tiek veikti viskozitātes mērījumi un analizētas citas motoreļļas īpašības.

Metālu daudzuma noteikšana tiek veikta izmantojot spektrometrisko analīzi atbilstoši starptautiskajam standartam ASTM D5185. Atbilstoši šim standartam, tiek lietota induktīvās plazmas (ICP) atomiskās emisijas spektrometrija organiska solventa šķīdumā. Lietojot šo metodi iespējams noteikt 22 metāliskus elementus, kas atrodas motoreļļas paraugā. Šos elementus iespējams iedalīt kā nodiluma metālus, kas motoreļļas paraugā rodas dilstot vai oksidējoties automobiļa dzinēja mezgļiem, kā piedevu metāliem, kas pievienoti lai nodrošinātu motoreļļai vajadzīgās īpašības, un metālos ar dažādu izcelsmi. Metālu ar dažādu izcelsmi klātesamība iespējama gan tādēļ, ka šie metāli izmantoti dzinēja konstrukcijā, gan tādēļ, ka šos elementus var pievienot motoreļļai kā piedevas. Lietojot motoreļļas spektrometrisko analīzi tika noteikta sudraba, vanādija, svina, alvas, vara, alumīnija, niķeļa, hroma, dzelzs, titāna, molibdēna, litija, bora, magnija, kalcija, bārija, fosfora, cinka, antimona un mangāna daudzuma izmaiņa motoreļļās [1].

Motoreļļas piesārņojums tika noteikts lietojot vairākas metodes. Piesārņojošie metāli – silīcijs, nātrijs un kālijs – tiek noteikti spektrometriskās analīzes laikā, atbilstoši ASTM D5185 standartam, lietojot ICP atomiskās emisijas spektrometriju [1].

Degvielas piesārņojums tika noteikts atbilstoši ASTM D7593 standartam, lietojot gāzu hromatogrāfijas metodi, kurā tiek izveidoti vairāki references paraugi kas sastāv no specifiskas bāzes eļļas ar 75 cSt viskozitāti un dažādām degvielas koncentrācijām no 0% līdz 10%. Paraugi tiek ievadīti speciālā iekārtā, kas uzkrasē eļļas paraugu, un, mainot spiediena virzienu sistēmā atdala motoreļļas komponentus ar augstu vārīšanās temperatūru (bāzes eļļas) no komponentēm ar zemu vārīšanās temperatūru (degvielas). Atdalīto komponentu daudzums tiek reģistrēts lietojot īpašu detektoru. Rezultāti, kas iegūti no references paraugiem tiek salīdzināti ar rezultātiem kas iegūti no testējamā motoreļļas parauga, un tiek noteikts procentuālais degvielas daudzums motoreļļas paraugā [2].

Pelnu un ūdens saturu nosaka procentos no parauga daudzuma, atbilstoši ASTM E2412 standartam, lietojot Furjē transformāciju infrasarkano spektrofotometriju (FTIR). Motoreļļas paraugs tiek ievietots speciālā iekārtā, kur tas tiek apstarots ar infrasarkano radiāciju. Katrs elements uzņem dažādu starojuma daudzumu, radot specifisku atstaroto vai absorbēto starojuma daudzumu, ļaujot noteikt elementa daudzumu motoreļļas paraugā [3].

Motoreļļas viskozitāte tiks noteikta atbilstoši ASTM D445 standartam, lietojot kapilāro viskozimetru, kas ir iegremdēts šķidrums vannā, lai nodrošinātu vajadzīgo temperatūru. Motoreļļas paraugs tiek ievadīts kapilārā caurulītē, uzsildīts līdz nepieciešamajai temperatūrai, un kad vajadzīgā temperatūra sasniegta, tiek nodrošināta parauga tecēšana caur iekārtas kapilāro caurulīti. Laiks, kurā motoreļļas paraugs iztek starp diviem atzīmētiem punktiem uz viskozimetra kapilārās caurulītes tiek izmērīts, un atbilstoši laikam, viskozimetra konstantei un kapilāra diametram tiek aprēķināta šķidrums kinemātiskā viskozitāte centistoksos ( $\text{cSt}$  jeb  $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) [4].

Motoreļļas īpašības - oksidācija un nitrācija - tiek noteikta vienlaikus ar ūdens un pelnu noteikšanu, lietojot FTIR spektrofotometrijas metodi atbilstoši ASTM E2412 standartam [3]. Kopējo sārmu skaitu jeb TBN nosaka atbilstoši ASTM D4739 standartam, lietojot potenciometriskās sālskābes titrēšanas metodi. Precīzi nomērīts motoreļļas parauga daudzums tiek ievietots titrēšanas traukā, un tam tiek pievienots šķīdinātājs - sālskābe - un mērinstrumenta elektrodi. Šķīdumam pakāpeniski pievieno kālija hidroksīdu, un ar elektrodu palīdzību tiek mērīts skābes atlikums atkarībā no pievienotā kālija hidroksīda daudzuma, līdz tiek noteikts galapunkts. Iegūtos rezultātus atspoguļo kā kālija hidroksīda daudzumu miligramos uz 1 motoreļļas parauga gramu ( $\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$ ) [5].

Šī pētījuma mērķis ir veikt periodisku vieglo automobiļu motoreļļas kvalitātes monitoringu, ar mērķi dot ieteikumus dzinēja darbmūža pagarināšanai. Pētījuma veikšanai tika izvēlēti dažādi automobiļi, kas aprīkoti gan ar benzīna dzinējiem, gan arī dīzeļdzinējiem, kā arī lietotas dažādas, ražotāja specifikācijai atbilstošas motoreļļas.

Izvirzītā mērķa sasniegšanai nepieciešams noskaidrot potenciālos motoreļļas kvalitātes pasliktināšanās izraisītājus, apzināt klasifikāciju motoreļļām ar pagarinātu eļļas maiņas intervālu, izveidot motoreļļu kvalitātes izvērtēšanas metodiku izvēlētajiem automobiļiem, veikt motoreļļas kvalitātes noteikšanas eksperimentus, kā arī analizēt eksperimentos iegūtos rezultātus, izpētīt rezultātos redzamo izmaiņu cēloņus, un dot ieteikumus motoru darbmūža pagarināšanai.

## Materiāli un metodes

Motoreļļas analīzēm nepieciešamie paraugi tiek ņemti gan jaunai motoreļļai, gan arī no automobiļiem ik pēc nobrauktiem 3000 kilometriem, ar iespējamu nobīdi jebkurā virzienā, atkarībā no automobiļa ekspluatēšanas apstākļiem un iespējām. Paraugi tiek ņemti visa eļļas maiņas intervāla garumā, kas atbilst ražotāja norādītajam periodam.

Motoreļļas paraugus ņem lietojot tīru vienreizējās lietošanas medicīnisko šļirci ar 60 ml tilpumu un stingru gumijas caurulīti ar iekšējo diametru 4 mm. Parauga iegūšanai gumijas caurulīti ievieto caur eļļas līmeņa taustam paredzēto atveri dzinēja karterī, pievieno tai šļirci, un iesūc šļircē ne mazāk kā 50 ml motoreļļas. Pēc tam, šļirces atvērto galu noslēdz ar komplektā esošo korķīti, nomarķē ar automobiļa identifikāciju (marka un modelis), eļļas veidu un nobraukumu pie kāda paraugs tika ņemts. Šādu darbību atkārto divas reizes, jo motoreļļas monitoringa analīzēm nepieciešami kopumā ne mazāk kā 100 ml motoreļļas. Gumijas caurulīti izņem no eļļas tausta atveres, noslauka, izskalo ar ātri gaistošu tīrīšanas līdzekli, un izpūš ar saspiesta gaisa palīdzību. Katram automobilim pie katra motoreļļas veida lieto jaunu caurulīti, lai izvairītos no potenciālas motoreļļu sajaukšanās.

Lai izvairītos no motoreļļas noslāņošanās, pirms parauga ņemšanas ieteicams dzinēju iedarbināt un uzsildīt līdz darba temperatūrai. Pēc motora noslāpēšanas divu minūšu laikā paņemt nepieciešamo motoreļļas paraugu.

Šļirces ar motoreļļas paraugiem ievieto kārbā uzglabāšanai, līdz ievākti visi nepieciešamie paraugi. Visus paraugus uzglabā vienādi, telpā kur temperatūra ziemas laikā nesamazinās zemāk par  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , bet vasaras periodā nepārsniedz  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Kad ievākti visi nepieciešamie paraugi, to analīze tiek pieteikta uzņēmumā OILTEH "VA motors", SIA. Paraugu transportēšanai uz laboratoriju tiek izsniegti speciāli trauciņi, kuros jāievieto ne mazāk kā 100 ml eļļas, jānoslēdz, un ar atbilstoši aizpildītu veidlapu par katru paraugu jāiesniedz uzņēmumā. Šos paraugus uzņēmums nogādā "POLARIS Laboratories" filiālei Polijā, kur tiek veikti monitoringa testi.

Pētījuma veikšanai tiek izmantoti vairāki automobiļi kas aprīkoti gan ar benzīna dzinējiem gan dīzeļdzinējiem. Automobiļos tiek lietotas ražotāja specifikācijai atbilstošas motoreļļas un kopējam automobiļa nobraukumam atbilstošs eļļas maiņas intervāls (skatīt 1. tabulu).

1. tabula

**Eksperimentā izmantotie automobiļi un motoreļļas**

Nr. p.k.	Automobiļa marka un modelis	Izlaiduma gads	Motora tilpums, l	Degvielas veids	Motora jauda, kW	Eļļas maiņas intervāls	Kopējais nobraukums eksperimenta sākumā, km	Motoreļļas marka	Motoreļļas viskozitāte pēc SAE klasifikācijas	Motoreļļas standarts
1.	<i>Peugeot 308 SW</i>	2017	1.2	Benzīns	81	15000	107903	<i>Castrol Edge Start-Stop</i>	5W-30	<i>PSA B71 2312</i>
2.	<i>Peugeot 308 SW</i>	2017	1.2	Benzīns	81	15000	123601	<i>Total Ineo First</i>	0W-30	<i>PSA B71 2312</i>
3.	<i>Opel Insignia</i>	2014	2.0	Dīzeļdegviela	118	30000 vai 12 mēneši	174389	<i>Valvolyne Syn-Power</i>	5W-40	<i>Dexos2™</i>

Automobilim *Peugeot 308 SW* eksperiments tika atkārtots divas reizes, ņemot motoreļļas paraugus divos eļļas maiņas intervālos pēc kārtas, lietojot dažādas viskozitātes vienam standartam atbilstošas motoreļļas.

Automobiļa *Opel Insignia* eļļas maiņas intervāls ir veidots tā, lai motoreļļa tiktu nomainīta vai nu pēc sasniegta maksimālā nobraukto kilometru skaita, vai nu pēc viena kalendārā gada. Eksperimenta veikšanas laikā kā eļļas maiņas intervāls tiek pieņemts viens gads, kura laikā nobraukti aptuveni 15 000 kilometri.

Automobiļu nobraukums ar konkrēto motoreļļu paraugu ņemšanas brīdī apkopots 2. tabulā.

2. tabula

**Automobiļu nobraukums ar konkrēto motoreļļu paraugu ņemšanas brīdī**

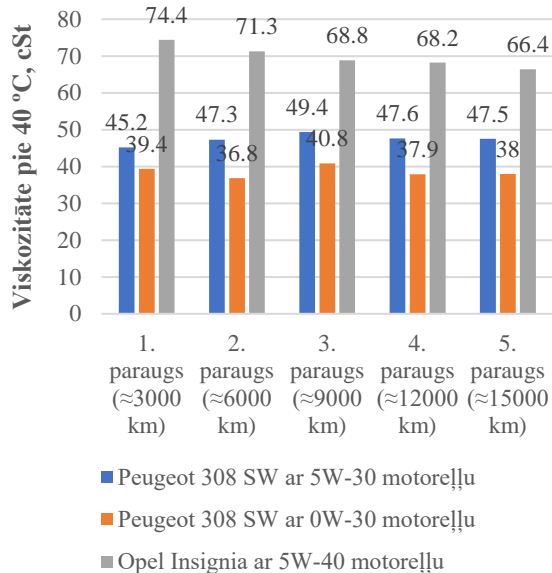
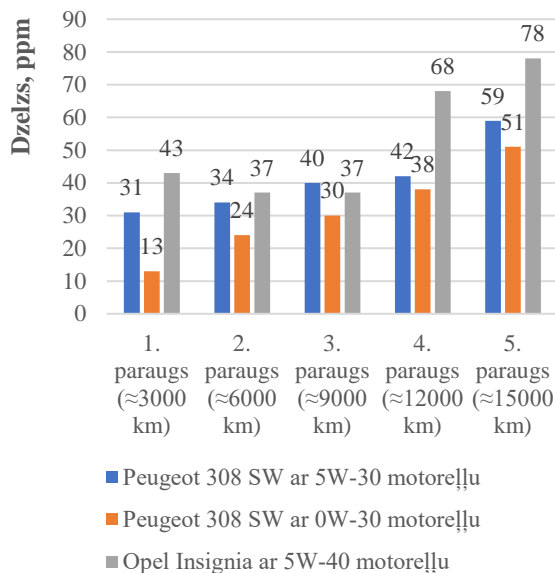
Automobilis	1. paraugs	2. paraugs	3. paraugs	4. paraugs	5. paraugs
<i>Peugeot 308 SW, SAE 5W-30 motoreļļa</i>	3155 km	6366 km	9230 km	12243 km	15298 km
<i>Peugeot 308 SW, SAE 0W-30 motoreļļa</i>	3061 km	5956 km	8976 km	11990 km	15067 km
<i>Opel Insignia</i>	3015 km	5905 km	8994 km	12168 km	15104 km

**Rezultāti un diskusija**

Kā redzams 1. attēlā, abiem eksperimentā izmantotajiem automobiļiem neatkarīgi no izmantotās motoreļļas novērojams dzelzs daļiņu skaita pakāpenisks pieaugums kas izskaidrojams ar berzi dzinēja mezglos, motoreļļas skalošanos pret no dzelzs un dzelzs sakausējumiem izgatavotām detaļām, kā arī dzelzs oksīda izdalīšanos skābju ietekmē. Tā kā nav iespējams pilnībā izslēgt berzes rašanos dzinēja mezglos, dzelzs daļiņu klātesamība nelielos daudzumos tiek uzskatīta par normālu parādību. Dzelzs līmenis motoreļļā nevienā no automašīnām tehniskās apkopes intervāla laikā nepārsniedz robežvērtības.

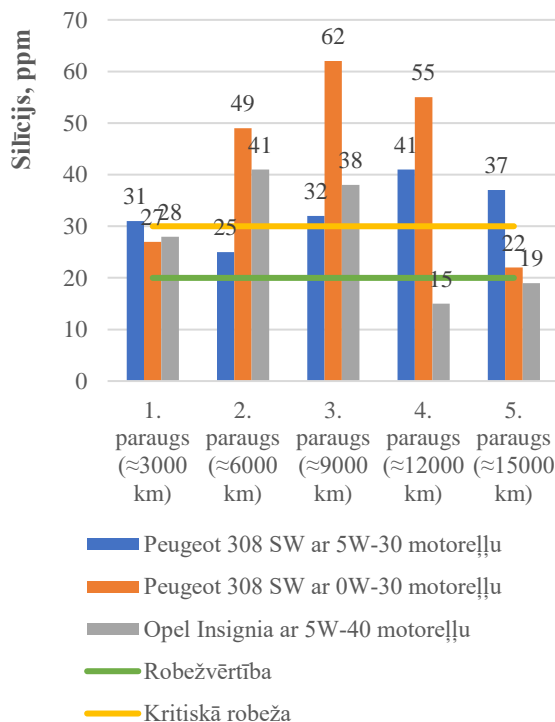
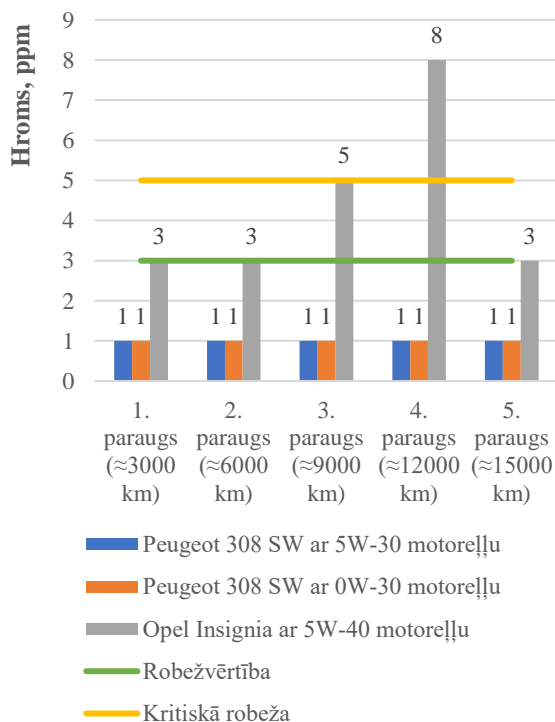
Viskozitāte ir motoreļļas īpašība, kas raksturo tās plūstamību. Saskaņā ar hidrodinamiskās eļļošanas pamatprincipiem, šķidrās berzes izšķirīgais priekšnoteikums ir, ka vārpstai slīdgultnī jānodrošina nesoša eļļas ķīļa veidošanās. Šķidrā berze iespējama, ja pie rotējošas vārpstas pielīpušai eļļas kārtīnai, kas sev līdzi ņem citus eļļas slāņus, eļļa kā ķīlis iespiežas starp vāpstu un slīdgultni. Rotējošās vārpstās un slīdgultņos motoreļļa darbojas gan kā amortizējošs gan centrējošs slānis [6]. Samazinoties motoreļļas viskozitātei eļļas plūsma dzinējā palielinās, turpretim eļļas spiediens samazinās. Šādā situācijā, motoreļļa, kas iespiežas rotējošajās dzinēja detaļās var nenodrošināt pietiekamu aizsardzību pret berzi un triecieniem, palielinot dzinēja mezglu pārkaršanas un palielinātas dilšanas riskus. 2. attēlā attēlotas viskozitātes izmaiņas eksperimentā izmantotajiem automobiļiem.

Visiem automobiļiem viskozitāte samazinājās zem SAE standartos noteiktās konkrētās eļļas klases minimālās viskozitātes. Automobilim *Peugeot 308 SW* ar SAE 0W-30 motoreļļu viskozitāte visā eļļas maiņas intervālā bija zemāka par robežvērtību, bet izmantojot SAE 5W-30 motoreļļu, viskozitāte sasniedza robežvērtību 5. paraugā. Automobilja *Opel Insignia* motoreļļas viskozitāte robežvērtību pārsniedza pie 2. parauga, bet kritisko vērtību - pie 5. parauga.



1. att. Dzelzs daļiņu skaita grafisks attēlojums

2. att. Viskozitātes pie 40 °C izmaiņas



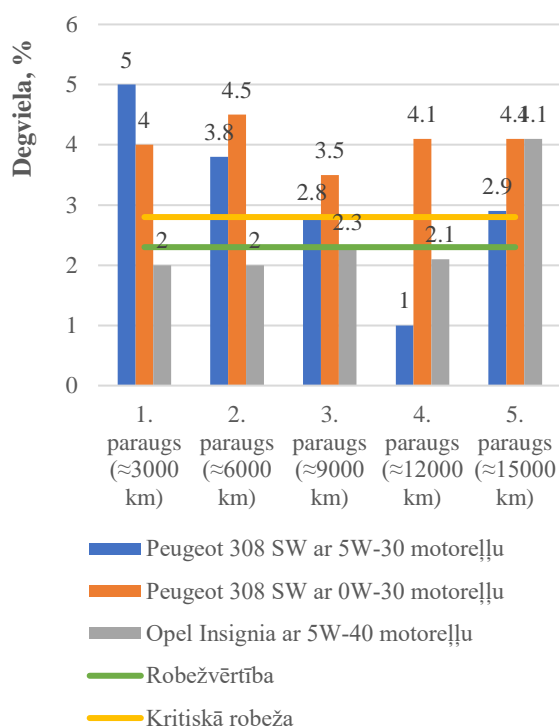
3. att. Hroma daļiņu skaita grafisks attēlojums

4. att. Silīcija daļiņu skaita grafisks attēlojums

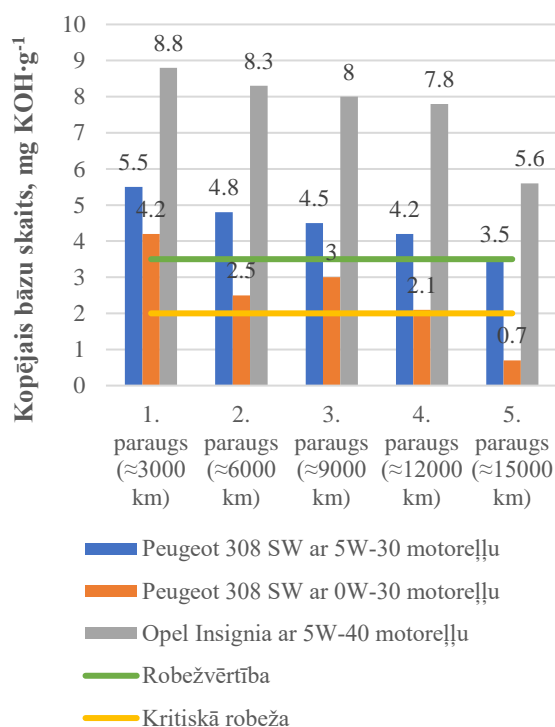
Hromu izmanto virzuļa gredzenu izgatavošanā kā ārējo antifrikcijas pārklājumu. 3. attēlā redzamas hroma daļiņu skaita izmaiņas. Automobilī *Peugeot 308 SW* neatkarīgi no izmantotās motoreļļas hroma daļiņu skaits saglabājas vienmērīgs un zems, tas nepārsniedz robežvērtības. Automobilim *Opel Insignia* hroma daļiņu skaits saglabājas vidēji augstā līmenī visa eļļas maiņas intervāla garumā. 3. parauga

analīzēs hroma saturs ir pārsniedzis robežvērtību, bet 4. parauga analīzēs jau ir sasniegta kritiskā vērtība. Šādi rezultāti norāda uz potenciāli palielinātu berzi virzuļa gredzenos, kas var novest līdz priekšlaicīgai gredzenu un cilindru nodilšanai.

Silīcijs ir motoreļļas piesārņotājs, kas dzinējā nonāk putekļu daļiņu veidā. Tā kā gaisa vide satur putekļus, silīcija daļiņas meklējamas arī pilnīgi jaunā motoreļļā. Silīcija daļiņas var iekļūt eļļošanas sistēmā arī gadījumos, ja dzinējam neseno veikti remontdarbi, un lietots silikona bāzes hermētiķis. Eksperimentos iegūtie silīcija daļiņu skaita izmaiņa attēlota 4. attēlā. Ņemot vērā automobiļu konstrukciju, kurā dzinēja blokkartera vāka savienojumā kā blīvējošais elements paredzēts silikona hermētiķis, silīcija daļiņas eļļā var nokļūt motoreļļai esot saskarē ar šo savienojuma vietu. Automobiļa *Peugeot 308 SW* konstrukcijā gāzu sadales mehānisma piedziņā izmantota slapjās zobsiksna konstrukcija (līdzīgi kā piedziņas ķēde, zobsiksna atrodas dzinēja bloka iekšpusē, pastāvīgā eļļas peldē), silīcija daļiņas šajā automobilī var izdalīties dilstot zobsiksnei.



5. att. Degvielas saturs grafisks attēlojums



6. att. Kopējā bāzu skaita (TBN) izmaiņas

Degviela eļļošanas sistēmā visbiežāk nokļūst degmaisījumam aizplūstot garām virzuļa gredzeniem un sajaucoties ar eļļas migliņu blokkarterī. 5. attēla diagrammā attēlotas motoreļļā esošā degvielas saturs izmaiņas. Visiem eksperimentā izmantotajiem automobiļiem tika novērots palielināts degvielas daudzums. Normālos apstākļos, motoreļļa ir izveidota tā, lai tā spētu neitralizēt degvielas radīto viskozitātes samazinājumu pie nosacījuma, ka degvielas daudzums nepārsniedz robežvērtību. Automobilim *Peugeot 308 SW* ar SAE 5W-30 motoreļļu degvielas daudzums motoreļļā svārstās. Tas iespējams tādēļ, ka motoreļļā nonākusi degviela ir benzīns, kas temperatūras ietekmē izgaro, un degvielas atlikums tiek sadalīts motoreļļā. Līdzīga situācija novērojama arī šajā pašā automobilī lietojot SAE 0W-30 motoreļļu, kad degvielas koncentrācija visā eļļas maiņas intervālā paliek augsta, bet nemainīga. Automobilim *Opel Insignia* ar dīzeļdzinēju novērojams vienmērīgs degvielas daudzuma pieaugums, kas pie 3. parauga sasniedz robežvērtību, bet pie 5. parauga sasniedz kritisko vērtību.

Kopējais sārmu skaits jeb TBN (no angļu val. *Total Base Number*) ir parametrs, kas apraksta motoreļļas spēju neitralizēt skābes. Ja kopējais bāzu skaits nokrīt zemāk par konkrētajai motoreļļai noteikto kritisko robežu, motoreļļa vairs nespēj neitralizēt skābes kas rodas degvielas sadegšanas produktiem un atgāzēm nokļūstot dzinēja blokkarterī. Šādu motoreļļu ieteicams nekavējoties nomainīt. TBN visiem eksperimentā izmantotajiem automobiļiem samazinās motoreļļas maiņas intervāla laikā. Automobilim *Opel Insignia* starp 4. paraugu (nobrauktiem 12168 km) un 5. paraugu (nobrauktiem



15104 km) novērojams straujāks TBN samazinājums, kas liecina par motoreļļas darbmūža tuvošanos beigām. Automobilim *Peugeot 308 SW* ar SAE 5W-30 motoreļļu TBN sasniedz robežvērtību pie 15 298 km. Izmantojot SAE 0W-30 motoreļļu, TBN svārstās ap robežvērtību no 5956 km līdz 12 243 km, pēc kā kopējais bāzu skaits strauji samazinās, un pie nobraukuma 15 067 km tas jau sasniedz kritiski zemu vērtību.

### Secinājumi

1. Visiem eksperimentā izmantotajiem automobiļiem novērojama kāda parametra pazemināšanās zem kritiskās vērtības pirms sasniegts ražotāja noteiktais eļļas maiņas intervāls.
2. Dzelzs daļiņu skaits eksperimentā izvēlēto automobiļu motoreļļas paraugos dzinēja dilšanas rezultātā pakāpeniski pieaug, bet netuvojas kritiskās dzelzs daļiņu koncentrācijas vērtībai.
3. Hroma daļiņu koncentrācija automobiļa *Opel Insignia* motoreļļas paraugos pārsniedz robežvērtību visa tehniskās apkopes intervāla garumā, un pie 12168 km nobraukuma par 75% pārsniedz kritisko hroma daļiņu skaita robežu, kas liecina par potenciāli palielinātu berzi starp virzuļa gredzeniem un cilindru sienām.
4. Automobilim *Peugeot 308 SW* gan ar izmantotu SAE 5W-30, gan SAE 0W-30 motoreļļu viskozitāte saglabājas vienmērīgā līmenī visa tehniskās apkopes intervāla garumā, bet automobilim *Opel Insignia* tehniskās apkopes intervāla garumā novērots viskozitātes samazinājums par 12%, kā rezultātā viskozitāte samazinās zem kritiskās vērtības.
5. Silīcija daļiņu skaits visās eksperimentā izmantotajās automašīnās pārsniedz robežvērtību, bet, tuvojoties tehniskās apkopes intervāla beigām, novērojama silīcija daļiņu skaita samazināšanās.
6. Automobilim *Opel Insignia* kopējais bāzu skaits tehniskās apkopes intervāla garumā samazinās par 36%, bet nesamazinās zem robežvērtības.
7. Automobilim *Peugeot 308 SW* gan ar izmantotu SAE 5W-30, gan SAE 0W-30 motoreļļu kopējais bāzu skaits samazinās, un 5. parauga ņemšanas brīdī tas sasniedz robežvērtību lietojot SAE 5W-30 motoreļļu, bet lietojot 0W-30 motoreļļu kopējais bāzu skaits ir par 65% zemāks kā robežvērtība.
8. Automobilim *Peugeot 308 SW* ar izmantotu SAE 0W-30 motoreļļu novērots degvielas daudzums, kas par 20 līdz 38% pārsniedz kritisko robežu visā tehniskās apkopes intervāla garumā, bet ar izmantotu SAE 5W-30 motoreļļu novērota degvielas līmeņa samazināšanās par 80% starp 1. un 4. paraugu, kam seko straujš pieaugums.
9. Automobilim *Opel Insignia* novērots pakāpenisks degvielas koncentrācijas pieaugums, kas starp 12168 km un 15104 km nobraukumu palielinās par 2%, un pārsniedz kritisko robežu par 32%.

### Izmantotie informācijas avoti

- [1] Shimadzu Corporation, (2015) Analysis of additive elements, wear metals, and contaminants in used lubricating oil according to ASTM D5185: ICPE-9820. Application News, No. J114A.
- [2] Shimadzu Corporation, (2019) Testing the dilution rate of diesel in engine oil in accordance with ASTM D7593. Application News, No. G314.
- [3] Shimadzu Corporation, (2019) Degradation Analysis of Lubricants Based on ASTM E2412 by Fourier Transform Infrared Spectrophotometer FTIR. Application News, No. A603
- [4] ASTM D445 & IP71 (2022) [online] [28.03.2022]. Available: <https://tamson-instruments.com/methods/astm-d445-ip71#:~:text=The%20ASTM%20D445%2C%20IP%2071,%20%20biodiesel%2C%20and%20used%20oils>
- [5] ASTM D4739: Base Number Total, by Hydrochloric Acid Method (2020) [online] [28.03.2022]. Available: <https://www.petrocube.com/price-list-catalog/astm-d4739-4423/>
- [6] Cikovskis V. Iekšdedzes motori. Rīga: Jumava, 2010, 288 lpp.

## CNC PROGRAMMAS “RADAN” PIEMĒROŠANA SUPERELASTĪGU TĒRAUDA LOKŠŅU TILPUMŠTANCĒŠANĀ

### CNC PROGRAM “RADAN” APPLICATION TO A SUPERELASTIC STEEL SHEETMETAL PUNCHING

**Anna Kristiāna Auniņa**  
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrante  
**Gunārs Vērdiņš**  
Profesors (Emeritus), Dr.Sc.Ing.

**Abstract.** The paper describes experiments of manufacturing technology with volume punching. The aim of this work is to develop a program for stamping sheet steel using the Radan program. In the thesis it will be necessary to develop a theoretical calculation methodology for determination of deformation of anisotropic sheet materials in case of plastic deformation. During the experiment, deformation processes will be modelled under specific conditions. Experimental data is compared with theory.

**Atslēgas vārdi:** tilpumštančēšana, ciparvadība, deformācija, anizotropija.

#### Ievads

Šī tēma bija aktuāla uzņēmumā kurā, strādājot ar iekārtu Amada Pega 344 radās problēmas tilpumštančējot superelastīga tērauda lielgabarīta lokšnes. Tērauda īpatnību pētīšana ir aktuāla, jo uzņēmuma iegādātā iekārta nebija paredzēta apstrādāt tik elastīgu materiālu. Pašlaik detaļu izgatavošanas produktivitāti ierobežo klienta pieprasītais materiāls jeb superelastīgs tērauds S460MC.

Tā kā standarta operāciju norisi, darbā ar štančēšana iekārtu, iekārta nespēj nodrošināt, ir jāveic eksperimenti kā lokšni pareizi apstrādāt, citādi, izmantojot standarta operāciju, ar kuru apstrādā tēraudu S235, rodas brāķi, tiek bojāta iekārta un tās instrumenti. Lai apstrādātu lokšnes, izmanto datorprogrammatūru “Radan”. Iekārta Amada Pega 344 pilda tādas tehnoloģiskās funkcijas kā lokšņu izciršana, caursišana un izciļņu formēšana.

Darba mērķis ir izstrādāt programmu lokšņu tērauda štančēšanai izmantojot programmu “Radan”. Darbā būs jāizstrādā teorētisko aprēķinu metodika anizotropu lokšņveida materiālu deformāciju noteikšanai plastisku deformāciju gadījumā. Eksperimenta gaitā notiks deformēšanas procesu modelēšana pie konkrētiem apstākļiem. Eksperimentāli iegūtos datus salīdzina ar teoriju.

#### Materiāli un metodes

Lai veiktu eksperimentu, ir jāgatavo divu dažādu materiālu paraugi (S235JR, S460MC). Tērauda S460MC mehāniskās īpašības apkopotas 1. tabulā. Sākotnēji uz paraugu virskārtas izveido precīzu koordinātu tīklu ar rūtiņu izmēriem 10x10 mm (skat. rasējumu 1. att). Sastāda eksperimentu norises plānu. Katram variantam izmanto 6 paraugus. Pēc izciļņu izveidošanas, ar precizitāti 0.01 mm, izmēra koordinātu tīkla deformācijas velmēšanas plaknē. Pēc mērījumu rezultātu apkopošanas aprēķina lokšņu deformācijas štančēšanas procesā. Uz iegūto rezultātu pamata nosaka kļūdu lielumu, kas rodas, izmantojot CNC programmu Radan.

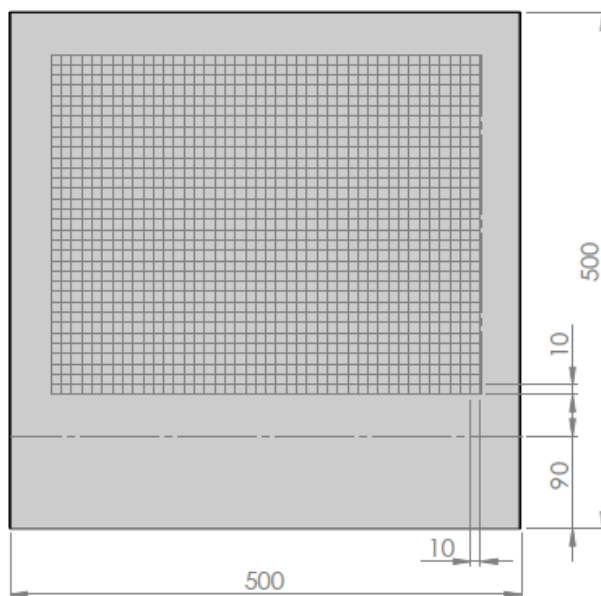
1. tabula

**Tērauda S460MC mehāniskās īpašības [3]**

Mehāniskās īpašības	Mērvienība	Vērtība
Junga modulis	MPa	$2 \cdot 10^5$
Stiprība stiepē	MPa	650..880
Relatīvais pagarinājums	A, %	8..25
Tērauda nogurums	MPa	275
Elastības robeža	MPa	350..550

Sākotnēji parauga lokšni ievieto lāzeriekārtā, lai iegravētu precīzu koordinātu tīklu. Paraugu ievieto uz štančējamās iekārtas un izcērt urbumus ar diametru 13 mm. Paraugus ar materiālu S235JR štančē ar parasto tehnoloģiju. Šo pašu tehnoloģiju izmanto arī materiālam S460MC, lai noteikti materiālu anizotropiju [1].

Ja ir novērojama urbumu centru nesakritība ar izvilktu izciļņu simetrijas asi, nosaka nesakritības lielumu simetrijas asu virzienos, kā arī zem  $45^\circ$  leņķa. Izvērtē iegūtos rezultātus. Nākošo eksperimentu plāno izejot no iegūtajiem rezultātiem. Eksperimentāli veic šādas darbības, kamēr iegūst minimālu centru nesakritību.



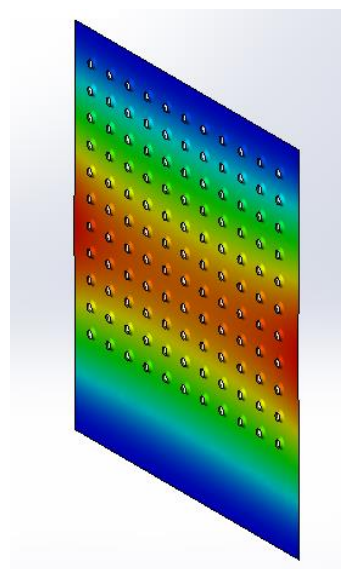
1.att. Sagataves veids

### Rezultāti un diskusija

Eksperimentu gaitā pierādās, ka programmu nepieciešams izstrādāt pa 3 etapiem, lai noritētu sekmīgs tilpumštancēšanas process bez brāķu iespējamības. Salīdzinot divus dažādas materiālus pēc to mehāniskajām īpašībām, ir jāievērtē fakts, ka izmantojot vienu un to pašu CNC programmu, loksni sekmīgi apstrādāt nevarēs un veidosies brāķis (2. att.).

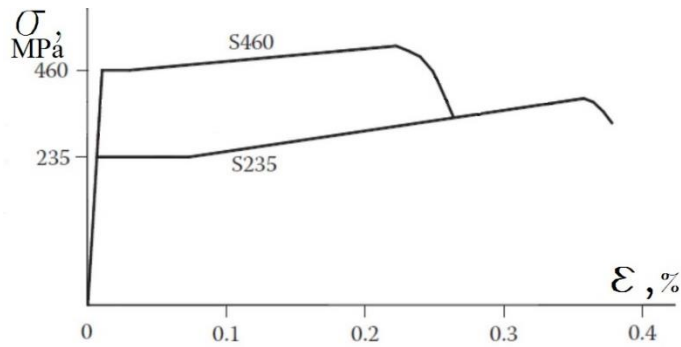


2.att. Brāķēta loksne



3.att. Modelēta loksne[2]

Slogojot tēraudu virs elastības robežas, šajā gadījumā no  $\varepsilon_1$  līdz  $\varepsilon_2$ , sākas tecēšana un plastiskā deformācija (skat. 4. att.).

4. att.  $\varepsilon$  un  $\sigma$  līkne diviem dažādiem materiāliem

### Plastiskās deformācijas

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E}, \quad (1)$$

kur  $E$  – elastības modulis,  $2 \cdot 10^5$  MPa;  
 $\sigma$  – tecēšanas robeža, MPa.

No 1.1. formulas izsaka

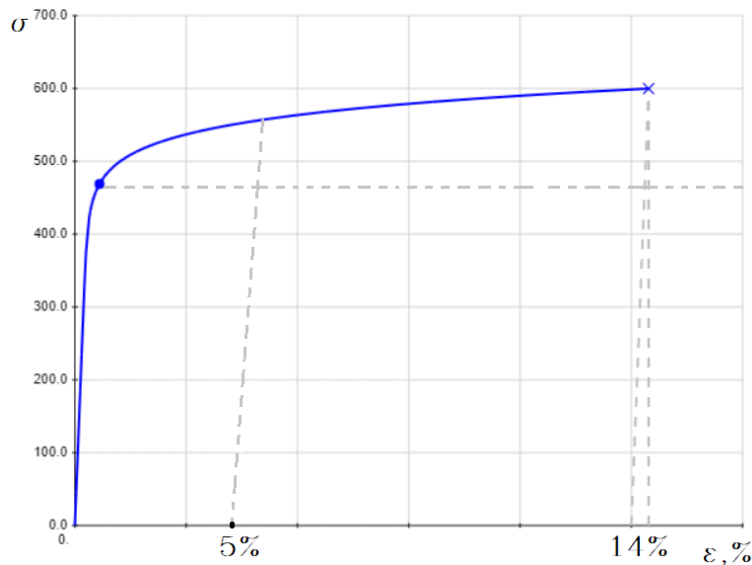
$$\varepsilon_1 = \frac{235}{2 \cdot 10^5} = 0.001175;$$

$$\varepsilon_2 = \frac{460}{2 \cdot 10^5} = 0.002300.$$

Plastisko deformāciju gadījumā izmanto pieņēmumu, ka aiz elastības robežām saglabājas parastās noslogošanas noteikumi. Šajā gadījumā elastības moduļa vietā tiek izmantots plastiskuma modulis[3]:

$$\varepsilon_{xplast} = \frac{1}{E'} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_x)], \quad (2)$$

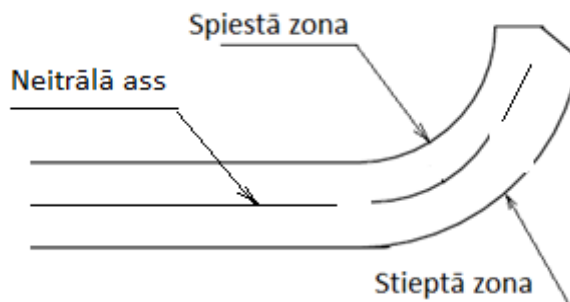
kur  $\mu$  – Puasona koeficients (0.23 ...0.3) pieņem kā 0.3;  
 $E'$  – plastiskuma modulis;  
 $\sigma_{tx} = 480$  MPa;  
 $\sigma_{tx} = \sigma_{tx}$  – tecēšanas robeža;  
 $\varepsilon_x$  – relatīvā deformācija.

5. att.  $\varepsilon$  un  $\sigma$  līkne superelastīgam tēraudam

Pēc 5. attēla nosakāms, ka relatīvais pagarinājums mūsu pētījumā nepārsniedz pieļaujamo pagarinājumu, kas nozīmē, ka plaisas metālā neradīsies. Relatīvo pagarinājumu izsaka no stieptās un spiestās līnijas loksnes štancētajos izciļņos.

6. attēlā ir redzams jau gatavs izcilnis. Veicot eksperimentus, tika izmērīts liekuma un neitrālās līnijas rādiuss jau izveidotam izcilnim, tādējādi nosakot relatīvo pagarinājumu.

Lai koriģētu superelastīgu tēraudu loksnes štancēšanas tehnoloģiju, nepieciešams mainīt vadības programmu. Lai nodrošinātu mazāku loksnes deformāciju, tā ir jāapstrādā pa vairākiem etapiem. Vienā etapā drīkst izformēt ne vairāk par 1/3 daļu no loksnes garuma [1].



6. att. Izciļņa asis

### Secinājumi

1. CNC programma Radan piemērojama vispārējas nozīmes tēraudu štancēšanas tehnoloģiju izstrādei.
2. CNC Programma Radan nav paredzēta tādu tehnoloģiju izstrādei, kur jāievērtē materiālu anizotropija un lieces deformācijas, kas rodas formveidošanas procesā.
3. CNC Programmas Radan izmantošana superelastīgu materiālu tilpumštancēšanas tehnoloģijas izstrādei iespējama pēc tās koriģēšanas, ievērtējot materiāla mehānisko un tehnoloģisko īpašību izmaiņas attiecībā pret vispārējas nozīmes tēraudiem.

### Izmantotie informācijas avoti

- [1] Vērdušs G., Dukulis I. Materiālu mācība: mācību līdzeklis. – Jelgava: LLU, 2008. 240 lpp.

# DŪMGĀŽU REKUPERĀCIJAS SILDĪTĀJA LIETDERĪBAS IZPĒTES METODIKA

## METHODOLOGY FOR RESEARCH ON FLUE GAS RECUPERATION HEATER EFFICIENCY

**Mārtiņš Jansons**

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

**Mārtiņš Ziemelis**

Zinātniskais vadītājs, lektors., Mg. sc. ing.

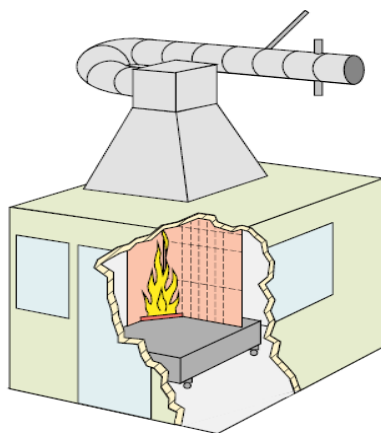
**Abstract.** In every proces, where heat is generated, some of the energy gets wasted. In order to limit energy loses regeneration or recuperation is used. Forest and Wood Products Research and Development Institute makes construction material fire reaction tests (SBI tests), where construction materials are tested in SBI fire testing furnace. During the test all of the generated heat energy is wasted, so there is an idea to retrieve some of the energy by making recuperation heather that uses heat from chimney of SBI furnace. Prototype of recuperation heater is made in a way that allows to test its generated enegy depending on suface area of heating elements.

**Atslēgas vārdi:** dūmgāzes, ugunsreakcijas, rekuperācija, siltumenerģija

### Ievads

Jebkurā apkures sistēmā kurināmā sadedzināšanas procesā daļa no iegūtā siltuma tiek nelietderīgi izvadīta atmosfērā, karstu dūmgāžu veidā. Tas ir neizbēgams process, kur zaudētās enerģijas apjoms ir atkarīgs gan no kurināmā, gan apkures sistēmas efektivitātes.

SIA Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūta [1] testēšanas laboratorijas ugunsreakcijas testēšanas sektors veic būvizstrādājumu testēšanu un klasifikāciju. Viena no būtiskākajām ugunsreakcijas testēšanas metodēm ir atbilstoši standartam LVS EN 13823 Būvizstrādājumu ugunsreakcijas testi [2]. Būvizstrādājumi, izņemot grīdas segumus, kas pakļauti atsevišķa degoša priekšmeta termiskajai iedarbei (SBI tests). Testa rezultāti ir nepieciešami ugunsreakcijas D – B (kombinācijā ar testa rezultātiem no LVS EN ISO 11925-2 Atsevišķa liesmas avota tests) [3], kā arī klases A2 (kombinācijā ar testa rezultātiem no LVS EN ISO 1716 Sadegšanas siltuma noteikšana) [4] noteikšanai. Šis tests ir piemērojams visiem būvniecības produktiem, izņemot grīdas segumus. Testa metode simulē apstākļus, kādiem pakļauti celtniecības materiāli istabas stūrī, ja uz tiem iedarbojas liesmas radītais karstums, kas radies no atsevišķi degoša priekšmeta šajā stūrī (skat. 1. att.). Testa procesā iegūtais siltums netiek izmantots lietderīgi, tas tiek uzreiz izvadīts tērauda dūmvadā un atmosfērā. Testa laikā, kas ilgst aptuveni 30 minūtes SBI iekārta patērē 0.6 m<sup>3</sup> gaisa sekundē. Tā rezultātā tiek novēroti siltuma zudumi testēšanas laboratorijas angārā, kurā iekārta atrodas, jo tā apkures sistēma nespēj nodrošināt vajadzīgo siltumatdevi. Lai atgūtu daļu no zaudētā siltuma, ir ideja izveidot dūmgāžu siltummaiņi, kas testa laikā varētu ražot papildus siltumu, izmantojot testēšanas procesā radušos siltumu, kas citādi tiek izvadīts atmosfērā.



1. att. Atsevišķa degoša priekšmeta tests

Pamatā ir divu veidu dūmgāžu siltummaiņi: reģenerācijas un rekuperācijas. Šim pētījumam ir izstrādāts rekuperācijas sildītājs, jo tas ir piemērotāks gaisa sildīšanai iekštelpām. Reģenerācijas sildītāja

konstruktīvā uzbūve pieļauj nelielu dūmgāzu sajaukšanos ar sildāmo gaisu, kas šajā gadījumā nav pieļaujama [1]

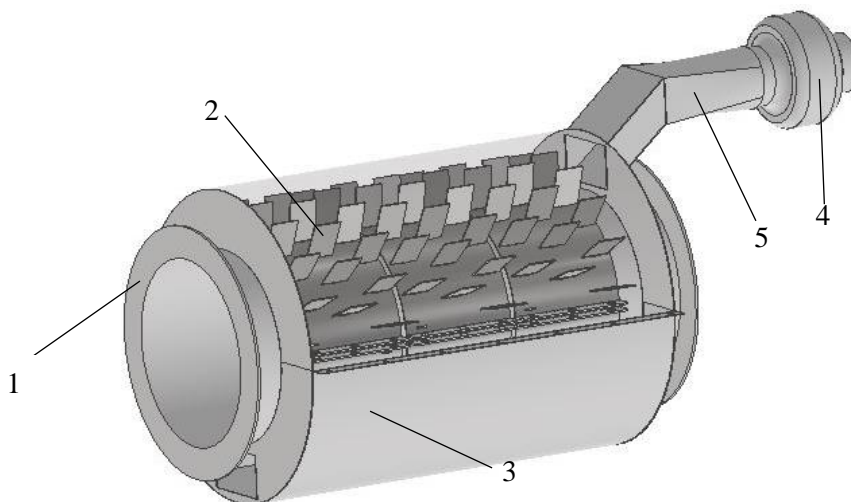
### Materiāli un metodes

Pētījuma veikšanai tika uzprojektēts un uzbūvēts rekuperācijas sildītājs (skat. 2. att), kas veidots balstoties uz konkrētā gadījuma specifiku. Tā kā testa iekārtas specifikas dēļ nedrīkst izmantot elementus, kas jebkādā veidā ietekmētu dūmgāzu plūsmu, tika izvēlēts risinājums siltumu izstarojošo elementu izvietošanai uz dūmvada. Elementi ir sadalīti 3 sekcijās, lai būtu iespējams mainīt sildelementa laukumu eksperimenta mērījumu veikšanai.

Katra sekcija sastāv no pamata plāksnes, kam piemetinātas papildus 50x70 mm plāksnītes, lai palielinātu siltumatdeves laukumu, kas katrai sekcijai ir 0.2 m<sup>2</sup>. Sekcijas pa pāriem pieskrūvē dūmvadam. Apkārt ir izveidots korpuss, kas notur caurplūstošo gaisu tuvu sildelementiem.

Gaisa plūsmu nodrošina kanāla ventilators, kas pievada āra gaisu. Izvēlēts kanāla ventilators Europlast AKM 125 [5], kura galvenie darba parametri ir:

- darba temperatūras diapazons no -40 °C līdz + 40 °C;
- jauda 64 W;
- rotācijas ātrums 2800 apgr·min<sup>-1</sup>;
- gaisa plūsma 379 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>.

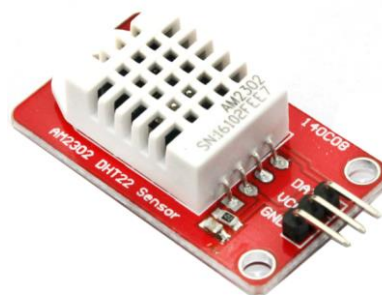


2.att. **Dūmgāzu rekuperācijas sildītājs:** 1 – dūmgāzu caurule; 2 – siltummaiņa sekcijas; 3 – ārējais korpuss; 4 – kanāla ventilators; 5 – gaisa pievadkanāls

Eksperimenta mērījumu iegūšanai un datu savākšanai tiks izmantots Arduino UNO (3.att) mikrokontrolers [6] un tam piemēroti sensori. Arduino tiks izmantots kā datu logeris. Tiks izmantoti DHT22 AM2302 [7] temperatūras moduļi (4. att), kas pieslēgti Arduino. Dūmgāzu temperatūras mērīšanai tiks izmantots K tipa temperatūras devējs, kas primāri tiek izmantots SBI iekārtā temperatūras mērīšanai. Datu uzkrājēja un sensoru parametri apskatīti 1. tabulā.



3. att. Mikrokontrolers Arduino UNO



4. att. Temperatūras sensors DHT22AM2302

1. tabula

## Eksperimentos izmantotās iekārtas

Nr.	Parametri	Vērtības
<i>Mikrokontrolera Arduino UNO (Atmega328) parametri</i>		
1.	Darbības spriegums, V	5
2.	Barošanas spriegums, V	7-12
3.	Digitālo pieslēgvietu skaits	14
4.	Analogo pieslēgvietu skaits	6
5.	Izejas stāva, mA	40
6.	Atmiņas ietilpība, kB	32
<i>Temperatūras sensora DHT22 AM2302 parametri</i>		
1.	Barošanas spriegums, V	3,3-6
2.	Izejas signāls	digitāls
3.	Temperatūras diapazons, °C	no -40 līdz + 80
4.	Precizitāte, ± °C	± 0.5
5.	Datu ierakstīšanas biežums, hZ	0.5

**Rezultāti un diskusija**

Eksperimentālos pētījumus veic 2 variācijās, kur vienā eksperimentē ar siltummaiņa virsmas laukumu, savukārt otrā ar ieplūstošā gaisa temperatūru.

Siltummaiņa virsmas laukuma izmaiņu metodika

Siltummaiņa virsmas laukuma eksperimentu veic, izmantojot gaisu telpā, kurā atrodas rekuperācijas sildītājs, lai nodrošinātu vienādu temperatūru ieplūstošajam gaisam. Ieplūstošā gaisa temperatūra ir vienāda ar laboratorijas angāra temperatūru un ir  $20 \pm 0.5$  °C, ko nodrošina centrālā apkures sistēma laboratorijā. Eksperimenta mērījumus veic brīdī, kad SBI iekārtas temperatūra ir nostabilizējusies un vairs nepieaug. Pēc novērojumiem tas ir aptuveni 5-8 minūšu intervāls, kurā dūmgāzu temperatūra būtiski nemainās. Mērījumi tiek veikti mainot rekuperācijas sildītāja siltuma izstarojošo virsmu, izmantojot sekciju skaitu.

Mērījumu reģistrēšanai tiek izmantots Arduino UNO mikrokontrolers, kam pieslēgti 2 DHT22 AM3202 temperatūras sensori ieplūstošās un izplūstošās gaisa temperatūras mērīšanai. Slēguma elektrisko shēmu skatīt 4. att. Mērījumus veic 2 minūtes, ar mērījuma reģistrēšanas biežumu reizi 5 sekundēs. Katru mērījumu atkārto 3 reizes, pēc tam pievieno rekuperācijas sildītājam vienu sekciju un atkal veic 3 mērījumus. Tā kā maksimāli iespējamās 3 sekcijas, tad pēc 9 mērījumu veikšanas apkopo datus.

Iegūto siltumenerģijas daudzumu aprēķina pēc formulas:

$$Q = cm(T_2 - T_1),$$

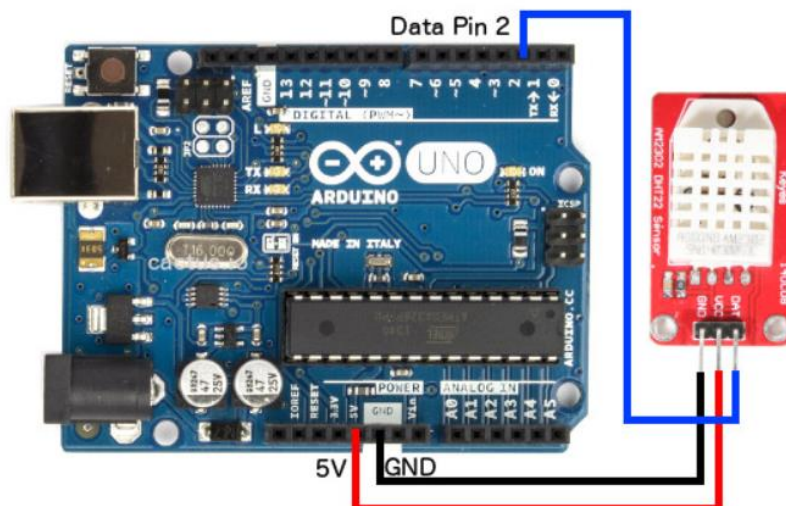
kur  $Q$  – siltuma daudzums, J;  
 $c$  – īpatnējā siltumietilpība, J·(kg·°C)<sup>-1</sup>;  
 $m$  – masa, kg;  
 $T_1$  – sākuma temperatūra, °C;  
 $T_2$  – beigu temperatūra, °C;

Ņemot vērā gaisa caurplūdi, var izrēķināt rekuperācijas sildītāja jaudu katram sildelementa sekciju skaitam.

Ieplūstošā gaisa temperatūras izmaiņas metodika

Ieplūstošā gaisa temperatūras izmaiņas eksperimentu veic pavasara dienā, kad āra temperatūra agrā rītā ir aptuveni  $-5$  līdz  $+3$  °C. Eksperimentā izmantoto gaisu, ko silda rekuperācijas sildītājā, ņem no āra. Dienas laikā temperatūra pakāpeniski pieaug un pēc novērojumiem sasniedz aptuveni  $+10$  °C. Dienas gaitā SBI iekārtā ir iespējams veikt līdz 8 ugunsreakcijas testiem, kas nosaka arī maksimālo eksperimenta atkārtojumu skaitu. Tāpat kā iepriekš izmanto jau aprakstītās mērierīces. Pēc eksperimenta veic datu apkopošanu un grafiku konstruēšanu.





4. att. Arduino UNO un DHT22 AM2302 slēguma shēma

### Secinājumi

1. Veicot eksperimentus ar rekuperācijas sildītāju, pēc to rezultātu apkopošanas, iespējams noskaidrot gan radīto gaisa temperatūras pieaugumu, gan paša sildītāja jaudu.
2. Paredzams, ka siltummaiņa laukuma izmaiņas pētījumos lielāku temperatūras diferenci starp ieplūstošo un izplūstošo gaisu, iespējams iegūt pie lielākā siltuma izstarojošā elementa laukuma siltummaiņī.
3. Ieplūstošā gaisa temperatūras metodikas pētījumos ieplūstošā un izplūstošā gaisa temperatūras starpībai vajadzētu būt līdzīgai, tā kā gaisa īpatnējā siltumietilpība ir konstants lielums.
4. Datu iegūšanai temperatūras mērīšanā tiks izmantots vienkāršas uzbūves datu logeris un sensori, kas tajā pašā laikā nodrošina pietiekami augstu precizitāti.

### Izmantotie informācija avoti

- [1] SIA “Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts” [online] [28.03.2022] Available at: <http://e-koks.lv/en/testesana/>
- [2] LVS EN 13823:2020 Būvizstrādājumu ugunsreakcijas testi. Būvizstrādājumi, izņemot grīdas segumus, kas pakļauti atsevišķa degoša priekšmeta termiskajai iedarbei
- [3] LVS EN ISO 11925-2:2020 Ugunsreakcijas testi. Tiešai liesmu iedarbībai pakļautu izstrādājumu degtspēja. 2.daļa: Viena liesmas avota tests
- [4] LVS EN ISO 1716:2018 Būvizstrādājumu ugunsreakcijas testi. Sadegšanas bruto siltuma noteikšana (siltumspēja)
- [5] “Manuals and user guides for europplast AKM 125” [online] [29.03.2022] Available at: <https://www.manualslib.com/products/Europplast-Akm-125-11059997.html>
- [6] “Arduino UNO R3” [online] [29.03.2022] Available at: <https://www.hobbytronics.co.uk/arduino-uno-r3>
- [7] Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 [online] [29.03.2022] Available at: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>

## IMPREGNĒTĀ PAPĪRA TESTĒŠANAS IEKĀRTAS MODERNIZĀCIJA MODERNIZATION OF IMPREGNATED PAPER TESTING EQUIPMENT

**Jevgēnijs Jekimenkovs**  
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants  
**Aivars Kaķītis**  
Zinātniskais vadītājs, Dr. sc. ing.

**Abstract:** The article provides information on an experimental study aimed at researching the effect of inaccurate clearance of metering rollers in a laboratory equipment on the quality of control samples of impregnated paper, as well as discusses aspects of various factors that have a negative impact on the quality of impregnated paper samples. In addition, the work analyzes the imperfection of the design of the laboratory equipment and proposes an option to replace some elements with more productive ones.

**Atslēgas vārdi:** Impregnēšana, kraftpapīrs, sveķi, penetrācija, finieris

### Ievads

Lai veiksmīgi konkurētu saplākšņa ražošanas tirgū, nepieciešams nodrošināt ne tikai pietiekamus ražošanas apjomus, bet arī teicamu produktu kvalitāti. Produkta kvalitāte bieži vien ir galvenais konkurences faktors.

Kokapstrādes uzņēmumā *Latvijas Finieris* liela uzmanība tiek pievērsta ražošanas eksperimentālajiem pētījumiem, kas tiek veikti uzņēmuma laboratorijā. Laboratorijas iekārtu mērījumu precizitāte tieši ietekmē gan kvalitāti, gan ražošanas izmaksas.

Lai veiktu papīra penetrācijas spēju ar jaunas receptūras sveķiem pētījumus, iegādāta *Tocchio Coating Solutions* (Itālija) ražotāja papīra impregnēšanas laboratorijas iekārta *MT276-20/172*.

Pirmie testi atklāja konstrukcijas nepilnības, kas būtiski ietekmē testu precizitāti un ir nepieciešami pētījumi, lai uzlabotu konstrukciju un palielinātu regulēšanas precizitāti, iestatot spraugu starp veltniem.

Pētījumu mērķis ir uzlabot impregnētā papīra testēšanas iekārtas darbības precizitāti atbilstoši tehnoloģijas prasībām.

Nozīmīgākie darba uzdevumi ir laboratorijas iekārtas darbības parametru novērtējums un tehnisko risinājumu izstrāde kļūdu novēršanai.

### Materiāli un metodes

Eksperimentālo pētījumu mērķis ir noteikt laboratorijas iekārtas tehnisko nepilnību aspektus, kas traucē papīra impregnēšanas eksperimenta kvalitāti. Iekārtas nepilnības tika analizētas pētījuma laikā un piedāvāts tehnisko risinājumu kopums, kas palielinās mērījumu precizitāti un laboratorijas iekārtas darbības kvalitāti kopumā.

Metodikas galvenais mērķis ir mākslīgi radīt tādus apstākļus uz laboratorijas iekārtas, kādi ir uz impregnēšanas līnijas, vienlaikus ievērojot iestatījumu un mērinstrumentu rādījumu precizitāti, t.i., nepārsniedzot pieļaujamās mērījuma vērtību novirzes.

Izveidotā metodika ir paredzēta ievērojami samazināt finansiālās izmaksas salīdzinājumā ar eksperimentiem, kas tiktu veikti tieši uz impregnēšanas līnijas. Piemēram, lai veiktu papīra impregnēšanas eksperimentu uz esošas ražošanas līnijas, ir nepieciešamas vismaz 3 tonnas fenola-formaldehīda sveķu, ražošanas līnijas un bīstamo vielu sadedzināšanas gāzes iekārtas darbība un liels energoresursu patēriņš.

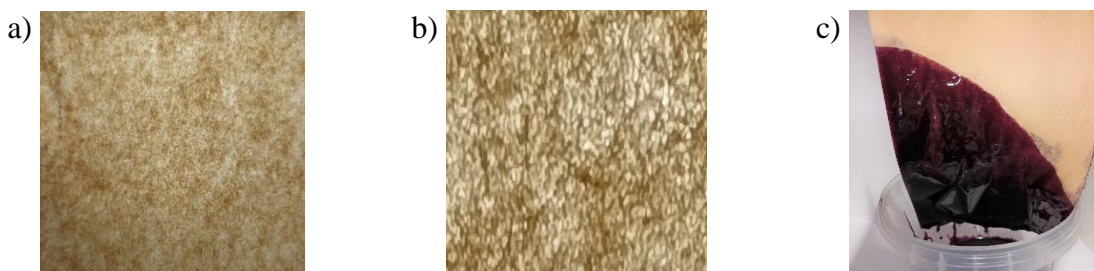
Pētāmais objekts ir kompānijas *Tocchio Coating Solutions* ražotā laboratorijas impregnēšanas iekārta *MT276-20/172*. Šai iekārtai ir nepieciešams noteikt sveķu uzklāšanas precizitāti, pārbaudot spraugas starp izlīdzināšanas veltniem. Turklāt jāmeklē un jānovērš faktori, kas var negatīvi ietekmēt papīra impregnēšanas kvalitātes pārbaudes norisi, piemēram, papīra penetrācijas paņēmiens un ilgums, un papīra nevienmērīga padeve uz veltniem.

Eksperimentiem un pētījumiem ir nepieciešami:

- impregnētā papīra laboratorijas iekārta *Tocchio MT276-20/172*;
- elektroniskais hronometrs *Rucanor* ar iedaļas vērtību 1 sek.;

- spraugmērs ar dažādām kalibrētām plāksnītēm no 0.05 mm līdz 2 mm;
- kaltēšanas skapis *Memmert UF 110* ar darba temperatūru  $150 \pm 1$  °C, lai žāvētu paraugus;
- kraftpapīra ciršanas ierīce *YANTE YT-DL100*, apļu ciršanai ar platību  $100 \text{ cm}^2 \pm 0.35 \text{ cm}^2$ ;
- svāri *KERN EW-2200-2NM* ar svara lasāmību 0.01 g un mērīšanas diapazonu līdz 2.2 kg;
- Indikatora pulkstenis ar magnētisku turētāju ar iedaļas vērtību 0.01 mm un mērīšanas diapazonu 0-10 mm;
- elektroniskais ciparu bīdmērs *MIB MESSZEUGE* ar iedaļas vērtību 0.01 mm vai 0.0005" un mērīšanas diapazonu 0-150 mm;
- *Latvijas Finieris* ražotā laboratorijas prese, ar karstajām  $150$  °C presplātnēm  $140 \times 140$  mm un saspiesta gaisa darba spiedienu  $0.8-6 \pm 0.1$  bar.

Lai veiktu eksperimentus, ir nepieciešams kraftpapīrs un *AS Latvijas Finieris* receptūras impregnēšanas sveķu šķīdums (impregnēšanas sveķi ar piedevām) (skat. 1. att.):

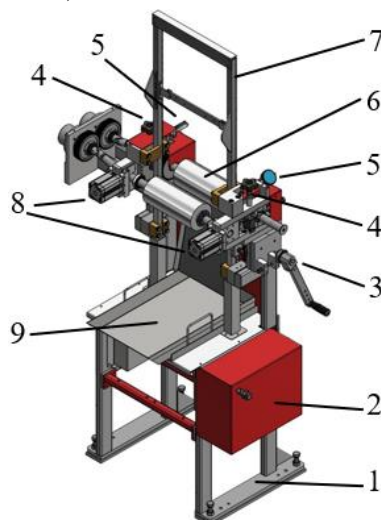


1. att. **Kraftpapīrs:** a – kopskats; b – makro fotogrāfija; c – papīrs mērīts sveķu šķīdumā

*Kraftpapīrs* ir ļoti izturīgs no sulfātcelulozes ražots papīrs. Ražots no koksnes, izmantojot sulfāta celulozes procesu, kas pazīstams arī kā kraftprocess [1, p. 183]. Atkarībā no laminētā saplākšņa pielietojuma jomas vai pēc pasūtītāja pieprasījuma, ražošanas procesā tiek izmantots kraftpapīrs dažāda blīvuma un formāta: no  $42 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  līdz  $78 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ . Pētījumos ir izmantots *NORDIC PAPER* ražošanas kraftpapīrs ar blīvumu  $77 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$  [2].

Sveķu temperatūrai jābūt  $35-37$  °C, lai sveķu penetrācija notiktu maksimāli ātri. Atkarībā no eksperimentu un paraugu ņemšanas skaita ir nepieciešami aptuveni 4-8 litri sveķu. Sveķu viskozitātei jābūt 18-22 sekundžu robežās, pēc viskozimetra VZ246 rādījumiem ar sprauslas diametru 4 mm [3].

Papīra penetrācija (sveķu piesūcināšana papīrā) un sveķu dozēšana notiek pētāmā laboratorijas iekārtā *Tocchio MT27-20/172* (sk. 2. att.).



2. att. **Laboratorijas iekārta *Tocchio MT276***

Iekārtas gabarīti ir  $1300 \times 850 \times 500$  mm (augstums x platums x dziļums). Barošanas avots ir saspiesta gaisa ar darba spiedienu 0.6 MPa. Iekārta sastāv no rāmja (1), pneimatiskā vadības bloka (2), reduktora ar grozāmo sviru (3), diviem spraugas regulēšanas mehānismiem (4), diviem iebūvētiem

indikatora pulksteņiem (5), diviem vadāmiem dozējošiem veltņiem (6), paceļamā rāmja piesūcināta papīra pacelšanai (7), diviem stumjošajiem veltņi pneimocilindriem (8) un vanniņas sveķiem (9).

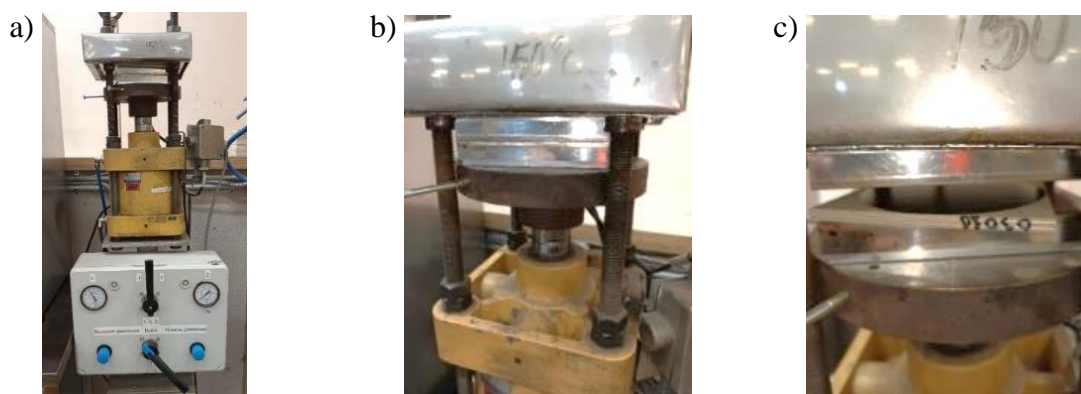
Impregnētā papīra žāvēšana notiek kaltēšanas skapī *Memmert UF 110* [4] pie temperatūras 160 °C, mitruma samazināšanai kontrolparaugā. Skapis ir aprīkots ar konvekciju, kas gan vienmērīgi sadala temperatūru visos kameras punktos, gan izvada mitrumu.

Lai noteiktu kontrolparauga atbilstību tehnoloģijai, tas jānogriež un jānosver. To var izdarīt ciršanas ierīcē *YANTE* (skat. 5. att.) un uz svāriem *KERN EW-2200-2NM* [5].

*YANTE YT-DL100* ciršanas ierīci izmanto ātrai un precīzai noteikta laukuma parauga ciršanai. Tā ir specialā paraugu ņemšanas ierīce, papīra un kartona svara mērīšanai [6]. Šī ierīce izcērt apli ar platību 100 cm<sup>2</sup>. Kļūdu ±0.35 cm<sup>2</sup> var neņemt vērā, jo kontrolparaugs jau ir piesūcināts ar sveķiem un tiek aprēķināts sveķu sausais atlikums, nevis kraftpapīra svars.

Ciparu hronometrs *Rucanor* ir nepieciešams, lai noteiktu kontrolparauga žāvēšanas laiku *Memmert* kaltēšanas kamerā. Pētāmo detaļu ģeometriskie mērījumi tika veikti ar elektronisko bīdmēru *MIB* [7].

*Latvijas Finieris* ražotā laboratorijas karstā prese (150 °C) ir paredzēta fenola filmas kontrolparaugu ar diametru 38 mm presēšanai pergamentā un ar spiedienu 0.8 Bar, vai fenola filmas ar laukumu 100 cm<sup>2</sup> presēšanai uz 10 mm bieža saplākšņa (skat. 3. att.) ar spiedienu 6 Bar, imitējot presplātņu īpatnējo spiedienu lielajā presē.



3. att. Laboratorijas karstā prese: a – kopskats; b – saspīstās presplātnes; c – kontrolparaugs pēc presēšanas uz saplākšņa

Pirms eksperimenta pētnieks iepazīstas ar ražošanas tehnoloģiju un visiem impregnēšanas iekārtu darbības aspektiem, lai saprastu visas prasības laboratorijas iekārtām, t.i., kā jādarbojas pētnieciskajai iekārtai.

Pēc tam pētnieks sagatavo aptuveni 40 kraftpapīra 250 x 650 mm lapas (20 loksnes pirms modernizācijas un 20 loksnes pēc modernizācijas) vai rullī 250 mm platumā, no kuras pēc tam tiek izgriezta lapa 650 mm garumā. Katrs eksperiments ietver vienas šādas lapas apstrādi.

Pirmkārt, pētnieks iestata nepieciešamo spraugu starp veltņiem, izmantojot iekārtas regulēšanas mehānismus (4) un iebūvētus indikatora pulksteņus (5) (skat. 2. att.). Kā papildu spraugas kontroli pētnieks izmanto spraugmēru komplektu, ievietojot starp saspīstiem veltņiem kalibrēto plāksnīti, piemēram 0.035 mm. Sākumā kraftpapīra lapa tiek piesūcināta ar sveķiem vanniņā (8), pēc tam piestiprināta pie pētāmās iekārtas paceļamā rāmja (7) un saspiežot dozēšanas veltņus (6) un paceļot rāmi (7), notiek sveķu dozēšana papīrā. Sveķu pārpalikums ieplūst atpakaļ vannā (8). Pēc tam piesūcināto paraugu ievieto *Memmert* krāsnī (skat. 4. att.) pie temperatūras 160 °C uz 1.5 minūtēm (kaltēšanas laiks izvēlēts eksperimentāli daudzu eksperimentu gaitā). Šajā laikā papīrā esošie sveķi daļēji polimerizējas (sacietē). Tas tiek darīts, lai turpmākajā darbībā paraugs nepielīptu pie svāriem. Pēc 1.5 minūtēm lapu izņem no krāsns un uz papīra ciršanas ierīces (skat. 5. att.) izgriež 2 kontrolparaugus. Kontrolparaugu ņem no impregnēta kraftpapīra lapas kreisajā un labajā pusē, jo dozēšanas veltņu atstarpes pretējās pusēs (kreisajā un labajā) var atšķirties. Šos paraugus nosver un reģistrē to svaru. Pēc nosvēšanas un datu

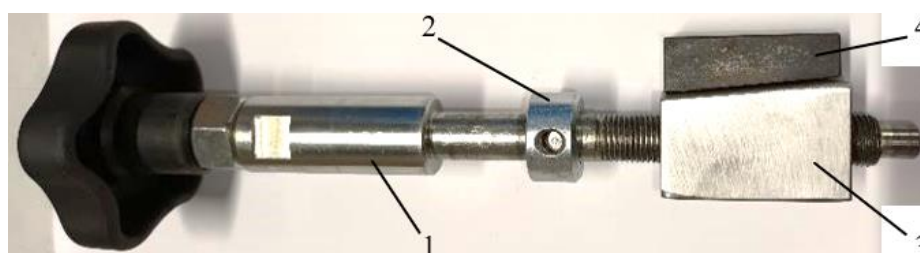
piefiksēšanas tos atkal ievieto krāsni uz 5 minūtēm. Šajā laikā mitrums no paraugiem tiek iztvaicēts līdz noteiktai pakāpei. Pēc 5 minūtēm, paraugus izņem un vēlreiz nosver. Rezultāti tiek ierakstīti protokolā.

Tālāk notiek datu apstrāde – tiek aprēķināts plēves svars (impregnēto kraftpapīru pēc žāvēšanas sauc par *fenola filmu*) un tā mitruma saturs, kā arī novērtēta virsmas faktūra. Lai pārbaudītu filmas faktūru, to uzpresē uz 135 x 135 x 10 mm saplākšņa pie temperatūras 150 °C laboratorijas karstajā presē (skat. 11. att.) 2.5 minūšu laikā, imitējot filmas presēšanu lielajā ražošanas presē.

Svars un mitrums ir galvenie parametri, kuriem, pēc papīra impregnēšanas iekārtas *Tocchio MT276* modernizācijas, jābūt noteiktās robežās.

## Rezultāti un diskusija

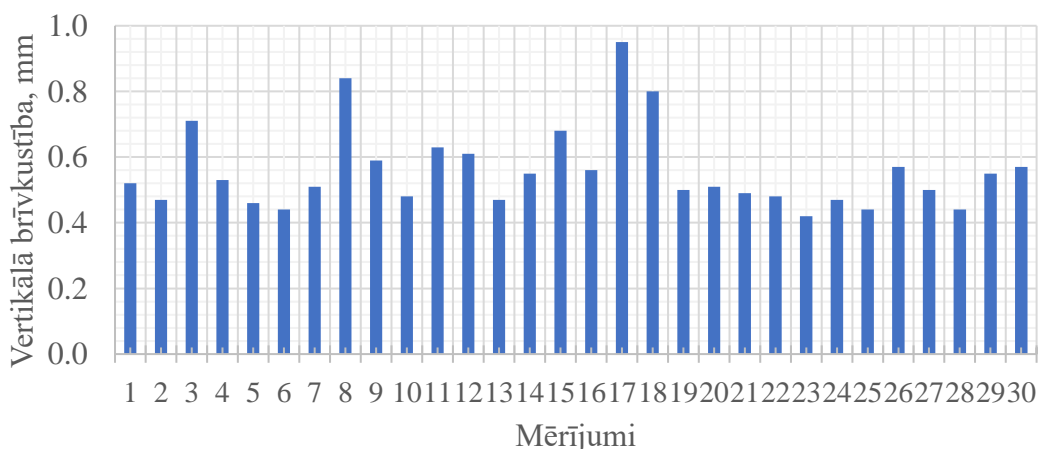
Darba laikā tika konstatētas nepilnības *Tocchio MT276* konstrukcijā, kas radīja nekvalitatīvu papīra pārklājumu. Pētījumu gaitā tika konstatēta brīvkustība mehānismos, kas regulē spraugu starp dozēšanas veltniem (6) (skat. 2. att.). Laboratorijas iekārtai ir divi šādi mehānismi, pa vienam katrā pusē (4) (skat. 2. att.). Iekārtas darbības analīze parādīja, ka katrā mehānismā ir novērojama brīvkustība, kas liecina par konstrukcijas nepilnībām, turklāt ierīce ir pilnīgi jauna, nav lietota, un par elementu nodilumu nevar būt runas.



4. att. **Spraugas regulēšanas mehānisms (horizontāls skats):** 1 – regulējošā skrūve; 2 – fiksācijas paplāksne; 3 – regulējošā trapece; 4 – veltna atbalsta trapece

Mehānismam ir speciāla skrūve ar smalku vītnes soli (1), pa kuru virzās taisnstūra trapece (3) (pa y asi), kas savukārt nosaka atstarpi starp dozēšanas veltniem. Paplāksnei (2) jānodrošina mehānisma fiksācija laboratorijas iekārtas regulēšanas mezglā (4) (skat. 2. att.). Pētījums atklāja šī mehānisma aksiālu brīvkustību. Ja trapece (3) nobīdās brīvkustības dēļ, tad tas rada veltna atbalsta trapeces (4) novirzi un izmaina veltna stāvokli, radot dozējošās spraugas izmaiņu.

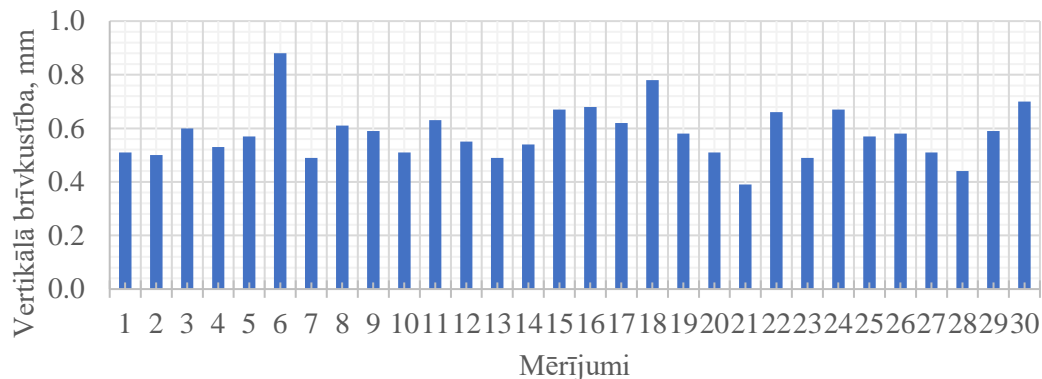
Brīvkustību var pārbaudīt, nospiežot ar pirkstu regulējošo trapeci (3) (skat. 4. att.) no apakšas uz augšu. Mehānisma brīvkustības mērīšanai ir izmantots indikators pulkstenis, kura mērīšanas lodīte novietota uz regulējošās trapeces (3) augšējās daļas. Nospiežot uz trapeces, indikatora bultiņa novirzās, rādījumi tiek reģistrēti un apkopoti diagrammā. Pārbaudes tiek veiktas pēc kārtas katram regulējamam mehānismam, t.i., kreisajā un labajā pusē.



5. att. **Taisnstūra trapeces vertikālā brīvkustība kreisajā pusē**

5. attēlā var redzēt mehānisma brīvkustības mērījumus kreisajā pusē. Trapeces vidējā brīvkustība ir 0.52 mm, ar 95% ticamību un  $\pm 0.05$  standartklūdu.

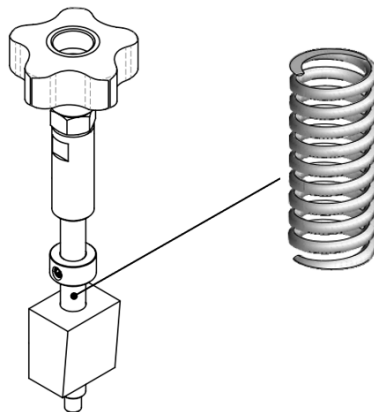
Savukārt, labajā pusē trapeces vidējā brīvkustība ir 0.58 mm, ar 95% ticamību un  $\pm 0.04$  standartklūdu (skat. 6. att.):



#### 6. att. Taisnstūra trapeces brīvkustība labajā pusē

Pētot brīvkustības cēloņus ir noskaidrots, ka spēks, kas rodas no veltņa balsta trapeces (4) (skat. 4. att.) darbības, kopā ar regulēšanas trapeces (3) pielikto spēku, kas rodas no regulēšanas skrūves (1) griešanās, pārvar fiksācijas paplāksnes (2) pretestību un tā novirzās pa skrūves kātu lejā.

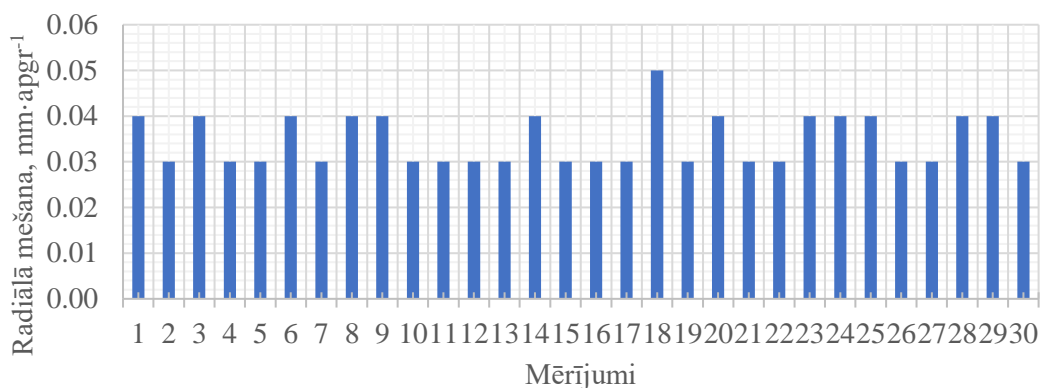
Spraugas regulēšanas mehānisma brīvkustības novēršanas konstruktīvs risinājums ir papildināt šo mehānismu ar cilindriskās formas atsperi, kas pretestības spēks kompensēs regulējošās trapeces spēka pretdarbību, cenšoties nepārtraukti novirzīt trapeci (3) (skat. 4. att.) lejā, bet fiksācijas paplāksni (2) uz augšu. Tādējādi skrūvei būs pietiekami ierobežots vertikālais pārvietojums (skat. 7. att.).



#### 7. att. Regulēšanas mehānisms ar atsperi

Turklāt ir jāpārbauda veltņa mešana griešanās laikā, lai noteiktu, vai tā ietekmē spraugu starp veltņiem. Pētījums parādīja, ka veltņa mešana ir niecīga un to var neņemt vērā. Veltņa vidējā radiālā mešana ir  $0.04 \text{ mm} \cdot \text{apgr}^{-1}$ , ar 95% ticamību un  $\pm 0.002$  standartklūdu (sk. 7. att.).

Pie nepilnībām var attiecināt arī nevienmērīgu veltņu griešanas ātrumu. Pētījumos ir noskaidrots, ka pie straujiem paātrinājumiem, pagriežot kloķi ar rāvieniem, uz piesūcinātā papīra parādās nehomogēnās piesūcinātās vietas. Tās izpaužas kā šķērseniskas caurspīdīgas, vai gluži pretēji, sabiezinātās svītras pēc sveķu dozēšanas. Lai nodrošinātu konstantu veltņu griešanas ātrumu, un attiecīgi vienmērīgu papīra pārvietošanos caur veltņiem ir piedāvāts konstruktīvs risinājums rotācijas piedziņas kloķa aizstāšanai pret 24 V līdzstrāvas elektromotoru [8]. Šāda motora tehniskie parametri ļauj nodrošināt nepieciešamo griezes momentu. Elektromotora darbības nodrošināšanai ir izstrādāta elektriskā shēma. Veltņu griešanas ātruma regulēšana tiek veikta, izmantojot impulsu platuma modulācijas (PWM) principu. Tas ļauj nodrošināt dažādus darbības režīmus eksperimentu laikā. Rāmja (7) maksimālo gājienu ierobežo ar galaslēdzēm.



8. att. Veltņa radiālā mēšana

### Secinājumi

1. Pētījumos ir noskaidrots, ka spraugas regulēšanas mehānismam kreisajā pusē trapeces vidējā brīvkustība ir 0.52 mm, ar 95% ticamību un  $\pm 0.05$  standartklūdu, bet labajā pusē trapeces vidējā brīvkustība ir 0.58 mm, ar 95% ticamību un  $\pm 0.04$  standartklūdu.
2. Samazinot taisnstūra trapeces vertikālo vidējo brīvkustību, attiecīgi palielinās spraugu iestatīšanas precizitāte. Turklāt tas tieši ietekmē sveķu daudzuma uzklāšanu – jo mazāka trapeces brīvkustība, jo precīzāka sveķu uzklāšana pēc normas.
3. Veltņa vidējā radiālā mēšana ir  $0.04 \text{ mm} \cdot \text{apgr}^{-1}$  ar 95% ticamību un  $\pm 0.002$  standartklūdu, būtiski neietekmē uzklātā sveķu slāņa biezumu.
4. Veltņu mehāniska piedziņa ar elektromotoru nodrošina vienmērīgu papīra padeves ātrumu un nodrošina vienmērīgu sveķu kārtas uzklāšanu.

### Izmantotie informācijas avoti

- [1] Cheremisinoff N. P., Rosenfeld P. E. Sources of air emissions from pulp and paper mills. Handbook of Pollution Prevention and Cleaner Production, Vol. 2, 2010, pp. 179-259. DOI: 10.1016/b978-0-08-096446-1.10006-1
- [2] Nordic Paper Åmotfors. iamKraft Surface®, 2022. [online] [11.03.2022] Available at: <https://www.nordic-paper.com/en/our-paper/paper-selector/iamkraft-paper-selector/impregnation-and-saturation/iamkraft-surfacer>
- [3] ГОСТ 9070-75. ГОСТ 9070-75 Вискозиметры для определения условной вязкости лакокрасочных материалов. АО “Кодекс.”, 1994. [online] [11.03.2022] Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200023956>
- [4] Memmert. Kaltēšanas skapis Memmert UF110, 2022. [online] [11.03.2022] Available at: <https://www.memmert.com/products/heating-drying-ovens/universal-oven/UF110/>
- [5] KERN & Sohn GmbH. Precision balances KERN EW-2200-2NM. 2021. [online] [11.03.2022] Available at: <https://www.kern-sohn.com/shop/en/laboratory-balances/precision-balances/EW-N/EG-N/>
- [6] YANTE. YT-DL100 GSM Sample Cutter - Hangzhou Yante Science and Technology Co., 2022. [online] [11.03.2022] Available at: <http://www.yante-tester.com/productshow-120.html>
- [7] MIB MESSZEUGE. Digital caliper with carbide measuring faces DIN 862 Type 618, 2022. [online] [11.03.2022] Available at: <https://www.fwt-gmbh.de/digital-messschieber-hm-messflaechen-618>
- [8] Worm Gear DC Motor 24V, 2022. [online] [11.03.2022] Available at: [https://aliexpress.ru/item/32953079177.html?item\\_id=32953079177&sku\\_id=66471203074&spm=a2g0o.search.0.0.34c36d8c0ad78W](https://aliexpress.ru/item/32953079177.html?item_id=32953079177&sku_id=66471203074&spm=a2g0o.search.0.0.34c36d8c0ad78W)

**KĀRKĻU BIOMASAS PRIEKŠAPSTRĀDE ANAEROBĀS  
FERMENTĀCIJAS UZLABOŠANĀ**  
**PRE-TREATMENT OF WILLOW BIOMASS TO IMPROVE  
ANAEROBIC FERMENTATION**

**Matīss Kļaviņš**

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

**Imants Plūme**

Zinātniskais vadītājs, Enerģētikas institūta lektors, Mg. sc. ing.

**Abstract.** The aim of the study is to improve the anaerobic fermentation (AF) of lignocellulosic biomass by mechanical reprocessing by adding rapeseed oil, the trace element selenium and a low-voltage electric field. The experimental equipment includes 24 bioreactors with a capacity of 0.75 l filled with 0.5 l inoculum and additive biomass and 2 bioreactors filled with 0.5 l inoculums for control purposes only. Approximately 12 g of grind or pelletized willow biomass was added to each of the 22 bioreactors. Willow biomass was divided into 9 groups. Studies were carried out in the biogas laboratory to investigate the improvement or reduction of biogas production. After filling, the bioreactors were placed in incubators and fermented in batch mode at 38 ° C. The gases were collected in a gas bag (Tedder brand) located outside the incubators. The reactors were mixed by regular gentle shaking during the AF process. The volume and composition of the gases were measured regularly during the AF process. The fermentation process was ensured until the end of the gas emission. The minimum biogas content was 0.230 l·g<sup>-1</sup>DOM in the sample (IN + W3) and the maximum 0.790 l·g<sup>-1</sup>DOM in the sample (IN + W3 + O2), the average was 0.502 l·g<sup>-1</sup>DOM. The minimum methane content was 0.107 l·g<sup>-1</sup>DOM in the sample (IN + W3), but the maximum 0.413 l·g<sup>-1</sup>DOM in the sample (IN + W3 + O2), the average was 0.242 l·g<sup>-1</sup>DOM. Comparing pellets (IN + W3P) and grind (IN + W3) samples we obtained 0.442 l·g<sup>-1</sup>DOM or by 70.89% more specific amount of biogas, while methane content increased by 0.197 l·g<sup>-1</sup>DOM by 45.7%

**Atslēgas vārdi:** kārkļu biomasa, anaerobā fermentācija, rapšu eļļa, mikroelements selēns, līdzspriegums.

## Ievads

Mūsdienās viena no svarīgākajām problēmām, ar kuru jāsaskaras, ir energoresursu pārvaldība, ko izraisa pasaules iedzīvotāju skaita pieaugums, pasaules modernizācija un fosilā kurināmā resursu izsīkšana. Resursu izsīkšanas problēma ir ļoti aktuāla, jo ir pieejami ierobežoti resursi un tiek lēsts, ka tas atbilst vairāk nekā 11 miljardiem tonnu naftas fosilā kurināmā, kas tiek patērēts gadā. Šajā gadījumā jēlnaftas rezerves kā stratēģisks energoresurss izzūd ar ātrumu 4 miljardi tonnu gadā. Paredzams, ka visas naftas rezerves beigsies līdz 2052. gadam, pat tad ja iedzīvotāju skaita pieauguma temps būs nemainīgs [1].

Atjaunojamās enerģijas izmantošanai ir daudz potenciālu priekšrocību, tostarp siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanās, enerģijas piegādes dažādošana un atkarības samazināšanās no fosilā kurināmā (jo īpaši naftas un gāzes) tirgiem. Atjaunojamo enerģijas avotu pieaugums var arī stimulēt nodarbinātību ES, radot darbavietas jaunās “zaļās” tehnoloģijās [2].

Šobrīd, lignoceluloze ir viens no bagātīgākajiem atjaunojamajiem organiskajiem resursiem ar pieaugošu gada ražu 200 miljardu tonnu apmērā, ko var ražot no lauksaimniecības, meža zemju un pilsētas atkritumiem [3].

Lignocelulozes struktūra atšķiras starp dažādiem biomasas veidiem, piemēram, kukurūzas kātiem, kokmateriāliem, augu stublājiem un makulatūru, tāpēc biomasu ar līdzīgu lignocelulozes koncentrāciju noārdīšanās spēja var atšķirties atkarībā no lignīna struktūras bioķīmiskās un mikrobu lignocelulozes enzīmu kinētikas. Informācija par degradējošiem enzīmiem ir ļoti svarīga, lai izprastu vielmaiņas regulējumus, kas notiek dažādos apstākļos [4].

Lignīna pārvēršana monocikliskos ogļūdeņražos kā plaša patēriņa ķīmiskās vielas un degviela ir ļoti vēlams biorafinēšanas rūpnīcu mērķis [5].

Lignīna modifikācija ir atzīta par svarīgu aspektu veiksmīgai lignocelulozes biomasas attīrīšanai, un literatūrā liela uzmanība tiek pievērsta lignīna apstrādei un pārstrādei ar fermentu palīdzību [6].

Laktāzes katalizēto fenolu oksidēšanu pavada vienlaicīga dioksīda reducēšana ūdenī, izmantojot vara katalīzi, un tā ietver virkni elektronu pārnese reakciju [7]. Lauksaimniecības darbības radītās piesārņojums veido lielāko daļu fosfora un slāpekļa savienojumu, kas pēc novadīšanas upēs nonāk



Baltijas jūrā un Rīgas jūras līcī. Piesārņojuma risks galvenokārt saistīts ar fermām un biogāzes stacijām, kurās tiek izmantota dažāda veida biomasa, tai skaitā kūtsmēsli, skābbarība, pārtikas rūpniecības atkritumi un notekūdeņu attīrīšanas iekārtu (WTP) dūņas [8].

Meži ir dominējošā globālā oglekļa (C) cikla iezīme, un tiem ir svarīga loma klimata un klimata pārmaiņu regulēšanā [9].

Kārķu biomasa ir daudzsološa alternatīva biorafinēšanas procesu izejviela [10].

Ir nepieciešams veikt pētījumus ar dažādiem Latvijā pieejamiem biomasu resursiem, lai varētu nepieciešamības gadījumā izmantot alternatīvas metodes [11].

## Materiāli un metodes

Sākotnēji tika analizēti neapstrādātas biomasas paraugi, lai izpētītu kopējo cietvielu (TS) un sausās organiskās vielas (DOM) saturu pievienotajā biomasā, lai aprēķinātu optimālo organiskās slodzes ātrumu bioreaktoros. Kopējais cietvielu (TS) saturs paraugos tika noteikts, paraugu žāvējot termostata svaros (tips MOC-120H, svara mērījumu precizitāte  $\pm 0.001$  g) 120 °C temperatūrā. Sausās organiskās vielas (DOM) saturs tika iegūts, izmantojot mufelkrāsni (modelis Naberthem B170) 550 °C temperatūrā izmantojot standarta metodi mitruma un pelnu satura noteikšanai. Paraugu TS un DOM satura aprēķins paraugā tika nodrošināts, izmantojot standarta matemātiskās darbības. Pamatojoties uz iepriekšminētajām analizēm, tika izstrādāts eksperimentu plāns, lai nodrošinātu pareizu sākotnējo substrātu sastāvu, kurus iepilda 0.75 l bioreaktoros veidojot paraugu grupas, lai nodrošinātu statistisko ticamību. Eksperimentālā plāna izstrāde un īstenošana balstās uz vācu pētnieku izstrādāto eksperimentālo metodiku [12]. Paraugi tika sagrupēti pa 10 dažādām grupām. Šajā pētnieciskajā darbā tika izmantota reaktora vienreizējās uzpildes metode. Tas bija nepārtraukts anaerobās fermentācijas tests, kurā organiskie substrāti – (ieraugš (pilnīgi fermentēti liellopu mēsli, pārbaudāmā biomasa – granulēta un negranulēta dažādu malumu kārķu masa ar diametru 3 mm un 9 mm, piedevu biomasa – rapšu eļļa), un papildus mikroelements selēns tika pakļauti fermentācijai arī, zema sprieguma (1V) līdzstrāvas elektriskā lauka iedarbībā anaerobos apstākļos mezofilā temperatūras režīmā. Kopējais cikla ilgums bija 28 dienas. Tika iegūta biogāze un veiktas substrātu analīzes pirms to ievietošanas reaktoros un pēc izņemšanas no tiem.

Visi 24 bioreaktori, kas piepildīti ar substrātiem, tika novietoti termostatā, lai nodrošinātu anaerobās fermentācijas (AF) procesu  $38 \pm 0.5$  °C temperatūrā.

Biogāzes savākšanas maisi ir savienoti ar bioreaktoru izvadiem un novietoti ārpus termostata, nodrošinot regulāras gāzu tilpuma un sastāva analīzes, izmantojot attiecīgi gāzes plūsmas mērītāju (Ritter cilindra tipa) un gāzes analizatoru (modelis Gasboard 3200L).

Substrāta pH vērtība tika mērīta bioreaktorā pirms un pēc AF procesa, izmantojot pH mērītāju (modelis JENCO transmitter 692, precizitāte  $\pm 0.01$ ).

Pēc gāzu emisiju pārtraukšanas no bioreaktoriem tika nosvērti visi substrāti un noteikts kopējās sausnas un sausās organiskās vielas saturs, izmantojot iepriekš minētās metodes un parastās matemātiskās darbības pievienotās biomasas noārdīšanās koeficienta aprēķināšanai AF procesa laikā.

Fermentācijas cikls bija 28 dienas, pēc tam gāzu emisija beidzās. Tika iegūta gāzu raža un veiktas reaktoru analīzes. Aprēķinot iegūtos biogāzes un metāna daudzumu, tika ņemts vērā visu 24 bioreaktoru iegūtais biogāzes un metāna daudzums. Tika aprēķināti vidējie rezultāti. Iegūtie rezultāti tika apkopoti tabulās un parādīti grafikos.

## Rezultāti un diskusija

Eksperiments tika veikts LLU TF biogāzes laboratorijā laika posmā no 17.12.2021, kad tika uzpildīti 24 bioreaktori un ievietoti laboratorijas termostatā, kurā atradās visu eksperimenta laiku. Bioreaktori tika izņemti no termostata 21.01.2022, kad bioreaktoros vairs netika radīta gāze. Substrātu sastāvs, sausās organiskās vielas (DOM) svars un saturs substrātos pirms anaerobās fermentācijas ir parādīts 1. tabulā. Reaktoru sagrupējums redzams 2.attēlā.

Kopējo sausnas (TS) un sausās organiskās vielas svars (DOM) izejvielu paraugiem 1. tabulā sniegts ar precizitāti  $\pm 0.001$  g, bet ieraugā (500 g) ar precizitāti  $\pm 0.02$  g.

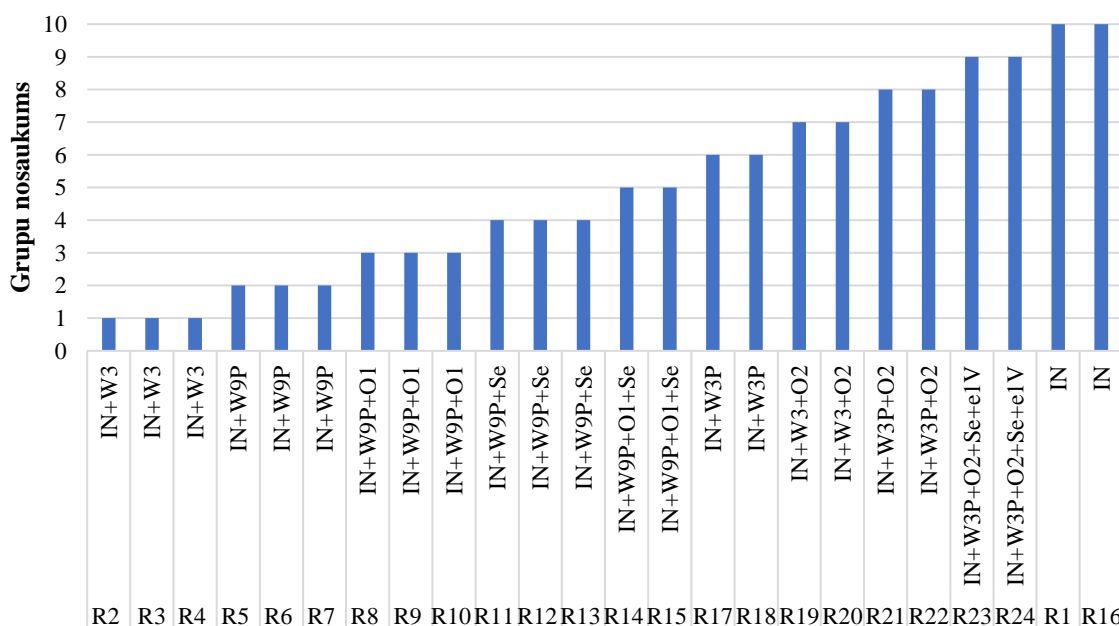
1. tabula

## Reaktoru izejmateriāla sastāvs

Reaktoru numuri	Izejmateriāla apzīmējums	Iesvars, g	TS, %	TS, g	ASH, %	DOM, %	DOM, g
R1; R16	IN	500	2.29	11.45	30.04	69.96	1.60
R2; R3; R4	IN + W3	12	89.05	10.69	1.91	98.09	87.35
R5; R6; R7	IN + W9P	12	67.22	8.07	5.11	94.89	63.79
R8; R9; R10	IN + W9P + O1	12.85	67.22	8.07	5.11	94.89	63.79
R11; R12; R13	IN + W9P + Se	12.024	67.22	8.08	5.11	94.89	63.79
R14; R15	IN + W9P + O1 + Se	12.874	67.22	8.65	5.11	94.89	63.79
R17; R18	IN + W3P	12	70.97	8.52	2.76	97.24	69.01
R19; R20	IN + W3 + O2	13.7	59.22	8.11	1.44	98.56	58.37
R21; R22	IN + W3P + O2	13.7	70.98	9.72	2.76	97.24	69.02
R23; R24	IN + W3P + O2 + Se + e1V	13.724	67.22	9.24	5.11	94.89	63.79

Skaidrojums: IN – inokulāts, kur W3 – Kārkli samalti mitrums 8.33%, malums 3 mm W3P – Kārķu granulas (mitrums 8.93% malums 3 mm); W9P – Kārķu granulas (mitrums = 11,82% malums 9 mm); ASH – pelni; TS – kopējās cietās vielas; DOM – sausā organiskā viela (uz neapstrādātas substrāta bāzes); R1;R16 – bioreaktori tikai ar inokulātiem (kontroles bioreaktori); R2, R3, R4 – bioreaktoru grupa ar līdzīgu substrātu sastāvu. Pievienotās biomasas svars (bez inokulātiem) katrā substrātā bioreaktoru grupā. e1V - zemsprieguma 1 V līdzstrāvas avots, Se -0.024 g selēna eļļa, O1- 0.85g rapšu eļļa , O2 – 1.7 g rapšu eļļa

Kā redzams no 1. tabulas, lielākā daļa sausnas un sausās organiskās vielas atrodas IN + W3 + O2 paraugā, kurā kārķu koksne tika sasmalcināta līdz 3 mm lielām daļiņām un kā piedeva pievienota 2 porcijas rapša eļļa.

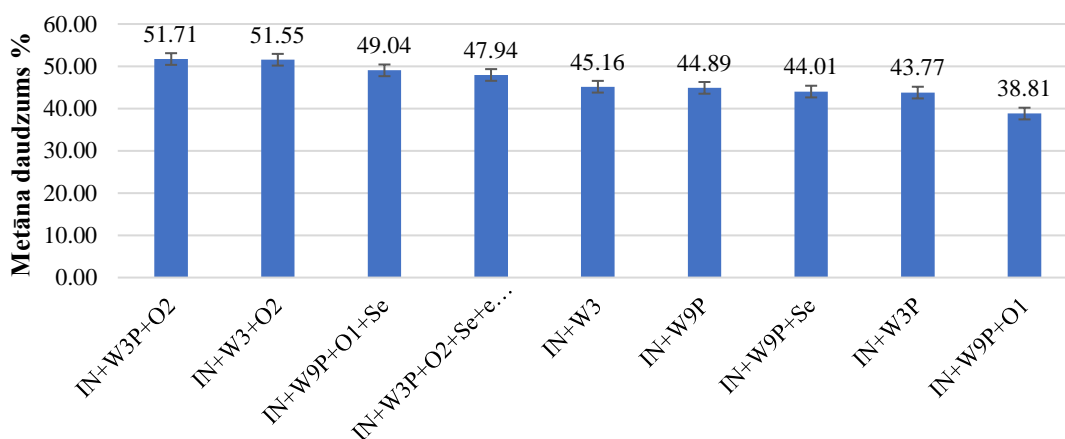


## 1. att. Kārķu biomasas sagrupējums bioreaktoros

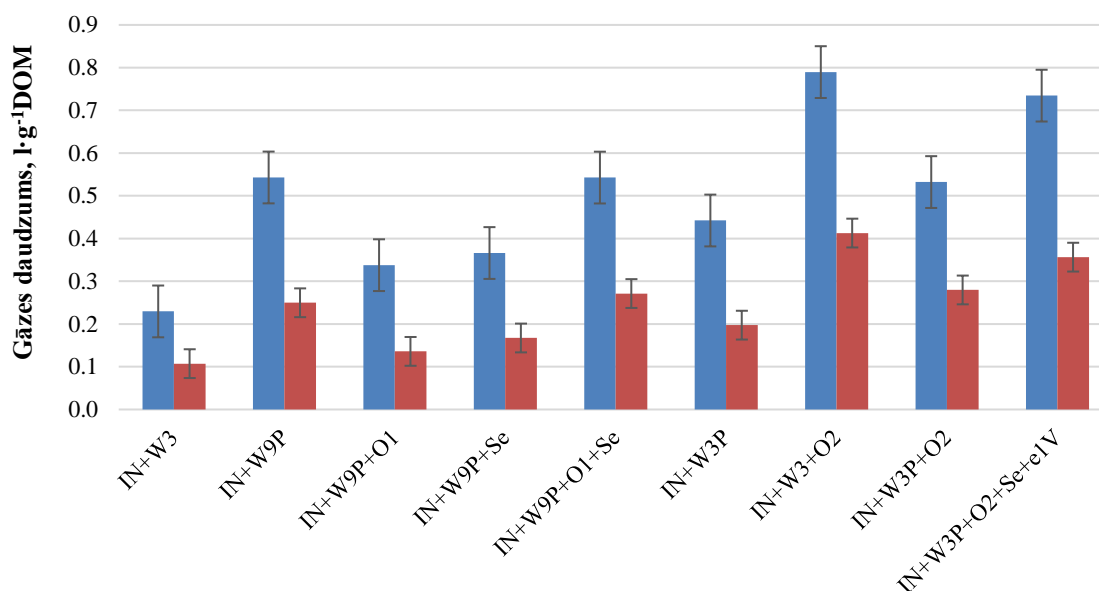
Laboratorijā iegūtais metāna daudzums salīdzinājumā no lielākā uz mazāko parādīts 2.attēlā.

Biogāzes un metāna vērtības bioreaktoriem tiek salīdzinātas granulētām IN + W3P un negranulētām IN + W3 vienāda maluma biomasai ar un bez piedevām un pielietojot zemsprieguma 1 V līdzstrāvas avotu, izveidotajās paraugu grupās ir noteiktas vidējās biogāzes un metāna vērtības, kas redzamas 2. tabulā. Metāna saturs saražotajā biogāzē pārsteidz ar to, ka visaugstākais rezultāts nebija paraugu grupā ar līdzstrāvas avotu, bet rezultāti parādīja, ka tas ir tikai otrais labākais rezultāts, bet vislabākais rezultāts tika iegūts no divas reizes samaltas kārķu masas ar dubulto rapša eļļas piedevu. Pieņemu, ka baktēriju darbības rezultātā tiek šķeltas paraugu sastāvā esošās lignocelulozes ogļūdeņražu ķēdes.

Lignocelulozes šķelšanās rezultātā rodas īsākas ogļūdeņražu ķēdes ar negatīvu lādiņu, atbrīvojot ūdeņraža jonus. Procesu raksturo ūdeņraža jonu izdalīšanās intensitāte, ko parāda pH lielums.



2. att. Metāna daudzums reaktoros izteikts %



3. att. Īpatnējais biogāzes un metāna daudzums reaktoros

2. tabula

Biogāzes un metāna salīdzinājums pa grupām

Izejmateriāla apzīmējums	Biogāze, l·g <sup>-1</sup> DOM ± 0.001 g	Metāns, l·g <sup>-1</sup> DOM ± 0.001 g
IN + W3P	0.442	0.197
IN + W3	0.230	0.107
±	<b>0.212</b>	<b>0.090</b>
IN + W3 + O2	0.790	0.413
IN + W3	0.230	0.107
±	<b>0.560</b>	<b>0.306</b>
IN + W9P	0.543	0.250
IN + W3P	0.442	0.197
±	<b>0.101</b>	<b>0.053</b>
IN + W3 + O2	0.79	0.413
IN + W3P + O2	0.532	0.280
±	<b>0.258</b>	<b>0.133</b>

2. tabula (nobeigums)

Izejmateriāla apzīmējums	Biogāze, l·g <sup>-1</sup> DOM ± 0.001 g	Metāns, l·g <sup>-1</sup> DOM ± 0.001 g
IN + W3P + O2 + Se + e1V	0.734	0.357
IN + W3P + O2	0.532	0.280
±	<b>0.202</b>	<b>0.077</b>
IN + W3P + O2	0.532	0.280
IN + W9P + O1	0.338	0.136
±	<b>0.194</b>	<b>0.144</b>
IN + W9P + O1 + Se	0.543	0.271
IN + W9P + Se	0.366	0.167
±	<b>0.177</b>	<b>0.104</b>
IN + W3 + O2	0.79	0.413
IN + W3P + O2	0.532	0.280
±	<b>0.258</b>	<b>0.133</b>
IN + W3P + O2 + Se + e1V	0.734	0.357
IN + W3P	0.442	0.197
±	<b>0.292</b>	<b>0.160</b>
IN + W9P	0.543	0.250
IN + W9P + Se	0.366	0.167
±	<b>0.177</b>	<b>0.083</b>
IN + W9P + O1 + Se	0.543	0.271
IN + W9P + O1	0.338	0.136
±	<b>0.205</b>	<b>0.135</b>
<i>Min</i>	<b>0.230</b>	<b>0.107</b>
<i>Max</i>	<b>0.790</b>	<b>0.413</b>
<i>Vidēji</i>	<b>0.502</b>	<b>0.242</b>

Minimālais izdalītais biogāzes saturs bija 0.230 l·g<sup>-1</sup>DOM paraugā IN + W3, bet maksimālais 0.790 l·g<sup>-1</sup>DOM paraugā IN + W3 + O2, vidējais daudzums bija 0.502 l·g<sup>-1</sup>DOM.

Minimālais izdalītais metāna saturs bija 0.107 l·g<sup>-1</sup>DOM paraugā IN + W3, bet maksimālais 0.413 l·g<sup>-1</sup>DOM paraugā IN + W3 + O2, vidējais daudzums bija 0.242 l·g<sup>-1</sup>DOM.

Palielinoties vielas īpatnējai pretestībai samazinās elektrovadāmība, samazinoties produkta īpatnējai pretestībai palielinās elektrovadāmība. To mēs varam redzēt salīdzinot paraugu ar līdzstrāvu un bez. IN + W3P + O2 + Se + e1V metāna saturs 0.357 l·g<sup>-1</sup>DOM un IN + W3P + O2 metāna saturs 0.280 l·g<sup>-1</sup>DOM.

Elektrolītiskie procesi notiek paraugos, kuros ir vielas, kas veicina elektrolītisko disociāciju. skat. 3 attēlā, kurā paraugs ar bioloģiski aktīvo selēna savienojumu IN + W9P + Se metāna iznākums ir augstāks kā tajā kurā ir eļļa IN + W9P + O1. Paraugu grupai bez mikroelementa selēna pievienošanas izdalītais īpatnējais biogāzes daudzums bija par 0.177 l·g<sup>-1</sup>DOM lielāks.

Salīdzinot paraugu grupas kurās bija rapša eļļa un paraugu grupas ar mikroelementu selēnu, iegūtie rezultāti parādīja, ka izdalītais īpatnējais biogāzes daudzums bija par 0.028 l·g<sup>-1</sup>DOM mazāks.

Granulētu paraugu grupā īpatnējais biogāzes daudzums bija par 0.101 l·g<sup>-1</sup>DOM lielāks 9 mm samaltām granulām. Īpatnējais biogāzes daudzums bija par 0.212 l·g<sup>-1</sup>DOM lielāks granulētai kārkļu biomasai ar daļiņu izmēru 3 mm salīdzinot ar ngranulētu.

### Secinājumi

- Metāna iznākums bija no 0.107 l·g<sup>-1</sup>DOM paraugu grupā IN + W3 līdz pat 0.413 l·g<sup>-1</sup>DOM paraugu grupā IN + W3 + O2, kas parāda, ka kārkļu biomasu ar vai bez piedevām var izmantot biogāzes ražošanai Latvijā
- Vizzemākais īpatnējais biogāzes 0.230 l·g<sup>-1</sup>DOM un īpatnējais metāna 0.107 l·g<sup>-1</sup>DOM tilpums tika iegūts no kārkļu biomasas ar vidējo daļiņu izmēru 3 mm. Pievienojot substrātam 1.70 gramus rapša

- eļļas, no paraugu grupas (IN + W3 + O2) iegūtais īpatnējais biogāzes un īpatnējais metāna tilpums bija attiecīgi 3.4 un 3.9 reizes lielāks nekā paraugu grupā bez eļļas.
3. Salīdzinot granulētu (IN + W3P) un negranulētu (IN + W3) paraugu grupu iegūstam par 70.89% vairāk īpatnējo biogāzes daudzumu, savukārt īpatnējais metāna tilpums paaugstinājās par 45.7%.
  4. Biogāzes un metāna iznākums ir atkarīgs no biomasas daļiņu izmēra un pievienotās kārkļu masas daudzuma.
  5. Elektriskā lauka ar spriegumu 1 V pielietošanā tika noteikta kavējoša iedarbība uz kombinētā substrāta gāzu iznākumu, kas norāda uz nepieciešamību veikt papildu pētījumus ar atšķirīgiem elektriskā lauka un substrāta parametriem.
  6. Mikroelementa selēna klātbūtne kārkļu biomasas anaerobās fermentācijas procesā parādīja kavējošu iedarbību, bet substrātos ar rapša eļļas piedevu veicināja hidrolīzes procesu.

### Izmantotie informācijas avoti

- [1] Vico A., Artemio N. Biogas : production, applications and global developments, 2017, 340p.
- [2] Eurostat. Renewable energy statistics - Statistics Explained, 2022. [online] [14.05.2022] Available at: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable\\_energy\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics)
- [3] Patinvo R. J., Osadolor O. A., Chandolias K., Sárvári Horváth I., Taherzadeh M. J. Innovative pretreatment strategies for biogas production. In: Bioresource Technology, Elsevier, Vol. 224, 2017, pp. 13-24. DOI: 10.1016/J.BIORTECH.2016.11.083
- [4] Chandra M. R. G. S., Madakka M. Comparative biochemistry and kinetics of microbial lignocellulolytic enzymes. Recent Developments in Applied Microbiology and Biochemistry, 2018, pp. 147-159. DOI: 10.1016/B978-0-12-816328-3.00011-8
- [5] Dong L., Lin L., Han X., Si X., Liu X., Guo Y., Lu F., Rudić S., Parker S. F., Yang S., Wang Y. Breaking the Limit of Lignin Monomer Production via Cleavage of Interunit Carbon–Carbon Linkages. In: Chem Vol. 5, Issue 6, 2019, pp. 1521-1536. DOI: 10.1016/j.chempr.2019.03.007
- [6] Munk L., Sitarz A. K., Kalyani D. C., Mikkelsen J. D., Meyer A. S. Can laccases catalyze bond cleavage in lignin? Biotechnology Advances, Vol. 33 (1), 2015, pp. 13-24. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2014.12.008
- [7] Sitarz A. K., Mikkelsen J. D., Meyer A. S. Structure, functionality and tuning up of laccases for lignocellulose and other industrial applications. Critical Reviews in Biotechnology, Vol. 36 (1), 2016, pp. 70-86. DOI: 10.3109/07388551.2014.949617
- [8] Verbelis H. Nutrient management at biogas plants in Latvia D.2.1.1. LSES, Vol. 1, 2021, pp. 1-23.
- [9] Covey K. R., Megonigal J. P. Tansley review Methane production and emissions in trees and forests, 2018. pp. 1-17. DOI: 10.1111/nph.15624
- [10] Dietlin N. Isolation and Purification of Lignin from Willow Wood Bioremediation : Willow Ash Analysis, 2018. 49401 p.
- [11] Dubrovskis V., Putnins K. Biochemical methane potential of fast growing energy forest. Engineering for Rural Development, Vol. 13, 2014, pp. 450-454.
- [12] Thrän D., Pfeiffer D. Methodenhandbuch - Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagasereffekte. Methoden zur Bestimmung von Technologieeffizienzen, Gestehungskosten und Klimagasereffekten von Vorhaben im Rahmen des BMWi-Forschungsnetzwerkes Bioenergie/BMWi-Förderbereich „Energet“. In: Energetische Biomassenutzung (Issue 04), 2021, 119 p. [online] [14.05.2022] Available at: <https://www.energetische-biomassenutzung.de/publikationen/schriftenreihe/04-methodenhandbuch>

## KOMERCIĀLO ENERĢIJAS AVOTU SALĪDZINĀJUMS COMPARISON OF COMMERCIAL ENERGY SOURCES

Vladislavs Žeinis

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

Aigars Laizāns

Zinātniskais vadītājs, profesors, Dr. sc. ing.

**Abstract.** This research gives a theoretical survey to compare the alternative power sources for low-power portable consumer electronics. In this study, the following power sources were compared: photovoltaic cells, high-power micro combustion-engines, thermo-electric generators, piezoelectric generators, Direct Methanol Fuel cell (DMFC), Proton-Exchange Membrane Fuel Cell (PEM FC), and electro-mechanical devices (dynamo). The following parameters were used for the alternative power sources comparison: power density ( $W \cdot dm^{-3}$ ), specific power ( $W \cdot kg^{-1}$ ) and specific cost ( $EUR \cdot W^{-1}$ ). The aim of this study is to write a short overview of alternative power source-specific parameters based on commercially available power sources. Several of the alternative power sources, like high-power micro combustion-engines and photovoltaic cells, can be used in low-power portable consumer electronics more cost-effectively, but there are many technologically open problems that don't allow to fully realize the potential of these alternative power sources.

**Atslēgas vārdi:** enerģijas avots, mazjaudas portatīvā ierīce, specifiskā izmaksu jauda.

### Ievads

Attīstoties jaunām tehnoloģijām, pieaug arī mazjaudas pārnēsājamo elektronisku ierīču skaits. Rezultātā palielinās pieprasījums pēc alternatīvas enerģijas avotu un enerģijas uzglabāšanas sistēmu risinājumiem. Viens no sarežģītākajiem uzdevumiem, projektējot portatīvo elektroniku – ir izvēlēties barošanas avotu atbilstoši ierīces dizainam, jo jāmeklē atrast kompromisu, lai samazinātu shēmu laukumu, vienlaikus nezaudējot veiktspēju [1; 2].

Elektroniskā shēma vai sistēma var patērēt enerģiju no stacionārā enerģijas avota vai pārnēsājama barošanas avota. Enerģijas patēriņš dažām shēmām var būt liels, tāpēc jebkurš ķēdes enerģijas patēriņa samazinājums ir izdevīgs. Saistībā ar to, ka mazjaudas pārnēsājamo elektronisko ierīču ekspluatācijas noteikumi var atšķirties atkarībā no paredzētā pielietojuma: komerciāls, rūpniecisks vai militārs, pielietotu enerģijas avotu veidi netiek standartizēti [3]. Portatīvās elektronikas projektētājiem paveras plašas iespējas dažādot enerģijas avotu un enerģijas uzglabāšanas sistēmu izmantošanu mazjaudas pārnēsājamās elektroniskās ierīcēs.

Mūsdienās pārsvarā tiek pielietoti standartizēti enerģijas avoti un enerģijas uzglabāšanas sistēmas komerciālās mazjaudas portatīvās ierīcēs. Pārējo enerģijas avotu efektivitāte un potenciāls nav pilnībā novērtēti, jo ir grūti atrast kvalitatīvu komerciālo enerģijas avotu salīdzinājuma pētījumu.

Apskatot zinātnisko darbu datubāzes kā *Wiley Online Library*, *ScienceDirect* un *IEEE Xplore*, tika atrasts tikai viens zinātniskais raksts (2005. gads), kas raksturotu enerģijas avotu un enerģijas uzglabāšanas sistēmu galvenos specifiskācijas rādītājus, lai varētu spriest par to pielietojuma efektivitāti mazjaudas pārnēsājamās elektroniskās ierīcēs. Saistībā ar to, ka tehnoloģijas nemitīgi attīstās un parādās jauni atklājumi, kādreiz pētījumā iegūtos datus vairs nevar uzskatīt par aktuāliem [4].

Pētījuma mērķis ir izveidot īsu informatīvu pārskatu par mūsdienās pieejamiem komerciāliem enerģijas avotiem, kurus potenciāli varētu pielietot mazjaudas pārnēsājamās elektroniskās ierīcēs, izmantojot tehniskās specifiskācijas datus.

### Materiāli un metodes

Katram enerģijas avotam piemīt noteikti tehniskie raksturlielumi, kas to raksturo. Izanalizējot enerģijas avotu tehnisko dokumentāciju, tika noteikti galvenie enerģijas avotu specifiskācijas rādītāji: izejas jauda, nominālais spriegums, svars, izmērs un cena par vienu vienību.

Nepieciešamie dati tika iegūti trīs veidos. Sākumā tika veikta informācijas meklēšana internetā, lai atrastu tehniskās dokumentācijas lapas no ražotājiem. Gadījumos, kad tehniskajā specifiskācijā netika norādīts kāds no nepieciešamajiem rādītājiem, tas tika pieprasīts no ražotājiem ar elektroniskā pasta starpniecību. Atsevišķos gadījumos nepieciešamie specifiskācijas dati tika iegūti no zinātniskiem informācijas avotiem.

Enerģijas avoti savā starpā tiek salīdzināti, izmantojot galvenos parametrus: jaudas blīvums  $\rho_P$  ( $W \cdot dm^{-3}$ ), īpatnējā jauda  $SP$  ( $W \cdot kg^{-1}$ ), specifiskā izmaksu jauda  $SC_P$  (1) [4].

Specifiskā izmaksu jauda  $SC_P$  tiek aprēķināta saskaņā ar formulu [4]:

$$SC_P = \frac{EUR_{retail}}{P_{output}} \quad (1)$$

kur  $SC_P$  – specifiskā izmaksu jauda,  $EUR \cdot W^{-1}$ ;  
 $EUR_{retail}$  – cena par vienu vienību, EUR;  
 $P_{output}$  – nominālā izejas jauda, W.

Vairāki enerģijas avoti ir izgatavoti ar sarežģītu neregulāru formu, līdz ar to tilpuma aprēķins tiek vienkāršots, pārejot uz vienkāršām ģeometriskām figūrām kā kvadrāts, cilindrs un taisnstūra paralēlskaldnis. Īpatnējās jaudas aprēķinā tiek ņemta vērā tieši komerciāli pieejama enerģijas avota darba masa attiecībā uz preces cenu – neapskatot papildus palīgierīces sistēmas un to komponentes. Dažos gadījumos enerģijas avotu nominālā izejas jauda tehniskajā specifikācijā tiek norādīta noteiktos diapazonos – atkarībā no ekspluatācijas apstākļiem vai darba režīmiem, līdz ar to aprēķinos tiek izmantota augstāka nominālā vērtība. Dažādās internetveikalu platformās enerģijas avotu cenas var atšķirties pēc vairākiem kritērijiem, līdz ar to aprēķinos tiek izmantota vidējā cena, neiekļaujot piegādes, atmuitošanas un palīgierīces sistēmu izmaksas.

## Rezultāti un diskusija

Saistībā ar to, ka enerģijas avotu salīdzinošās parametru vērtības veido noteiktu diapazonu, iegūtie parametri tiks atspoguļoti sekojošā veidā: iekavās tiek uzrādīts minimālais un maksimālais iegūtā parametra diapazons; pirms iekavām tiek uzrādīta iegūto datu mediāna. Pēc katrā enerģijas avota veida iekavās tiek uzrakstīts apskatīto paraugu skaits  $N$ . 1. tabulā tiek atspoguļotas jaudas blīvuma, īpatnējās jaudas un specifisko izmaksu jaudas mediānas.

1. tabula

**Enerģijas avotu salīdzinājums pēc jaudas blīvuma ( $\rho_P$ ), īpatnējās jaudas ( $SP$ ) un specifiskās izmaksu jaudas ( $SC_P$ ) mediānas**

Enerģijas avota veids	Mediāna $\rho_P$ , $W \cdot dm^{-3}$	Mediāna $SP$ , $W \cdot kg^{-1}$	Mediāna $SC_P$ , $EUR \cdot W^{-1}$
Termoelektriskais ( $N = 23$ ) <sup>1</sup>	1099 (454-1650)	370 (155-857)	4.91 (1.41-8.11)
Pjezoelektrisks ( $N = 21$ ) <sup>2</sup>	18.6 (0.4-85.5)	2.4 (0.1-11)	14737 (5943-561375)
Elektromagnētiskais ( $N = 8$ ) <sup>3</sup>	306 (13-806)	27 (5-163)	7.90 (0.33-68.11)
Fotoelektriskais ( $N = 85$ ) <sup>4</sup>	6 (1-59)	18 (5-55)	0.66 (0.31-18.00)
DMFC ( $N = 8$ ) <sup>5</sup>	3 (1.6-5.7)	7.4 (4-16)	76.76 (67.60-119.90)
PEM FC ( $N = 32$ ) <sup>6</sup>	83.9 (1.5-523.2)	86.5 (2.8-793.7)	32.64 (8.21-293.98)
4 taktu ID ( $N = 16$ ) <sup>7</sup>	1170 (312-3570)	1647 (982-2502)	0.44 (0.20-0.65)
2 taktu ID ( $N = 25$ ) <sup>7</sup>	1840 (932-3593)	3231 (1301-3879)	0.09 (0.04-1.34)

<sup>1</sup> Hi-Z Inc., Custom Thermoelectric LLT, GMelectronic LC.

<sup>2</sup> Piezo Systems Inc.

<sup>3</sup> PedalCell, SON, AXA, Shutter Precision, Shimano, Unite Motor, Solbat.

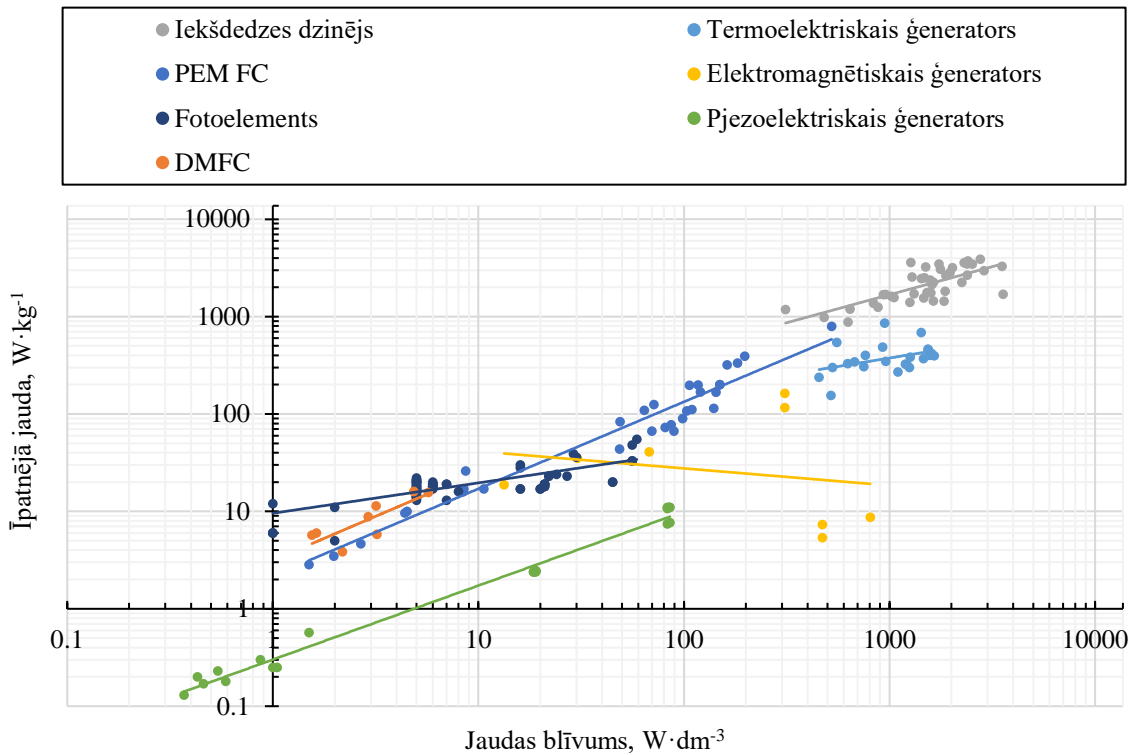
<sup>4</sup> Suntech, Longi, CanadianSolar, REC, Axitec, Hanwha, JA, LG, Sundaya, Sunware, Phaesun, TSC, Luxor, Phono, Solaredge, Trinasolar.

<sup>5</sup> SFC ENERGY.

<sup>6</sup> Fuelcellstore, Horizon, BCH, SPECTRONIK.

<sup>7</sup> NGH, Turnigy, OS, FEETECH, TOYAN, CISON, SAITO, DLE, Evolution.

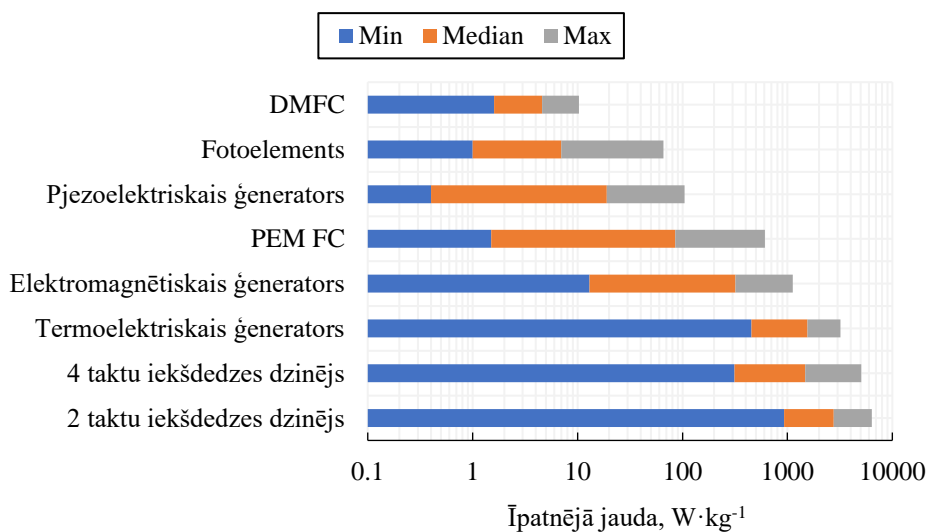
1. attēlā salīdzināti dažādu enerģijas avotu jaudas blīvuma ( $\rho_P$ ) un īpatnējās jaudas ( $SP$ ) parametru rādītāji, izmantojot  $log-log$  diagrammu.



1. att. Dažādu enerģijas avotu salīdzinājums pēc jaudas parametru rādītājiem

Apskatot pētījumā iegūtos datus (skat. 1. tabulu un 1. att.), var novērtēt dažādu enerģijas avotu izmantošanas potenciālu mazjaudas pārnēsājamās elektroniskās ierīcēs, kā arī noteikt to stiprās un vājās puses.

Pjezoelektriskos ģeneratorus varētu izmantot elektroniskās ierīces kā enerģijas avotu, tiem ir ļoti neliels svars un izmērs, bet viena saražota vata izmaksas ir ļoti lielas – vairāk nekā 5900 EUR. Salīdzinot iegūtos enerģijas avotu parametrus ar iepriekš veikto pētījumu [4], var secināt, ka  $\rho_P$  un  $SP$  mediānas palika nemainīgas, bet to diapazoni pieauga gandrīz trīs reizes. Specifiskās izmaksu jaudas ( $SC_P$ ) mediāna samazinājās 1.6 reizes un sasniedza 14737 EUR·W<sup>-1</sup>, tomēr joprojām nav pietiekami maza, lai pjezoelektriskos ģeneratorus varētu ekonomiski pamatoti izmantot mazjaudas pārnēsājamās elektroniskās ierīcēs.



2. att. Dažādu enerģijas avotu īpatnējās jaudas datu diapazons

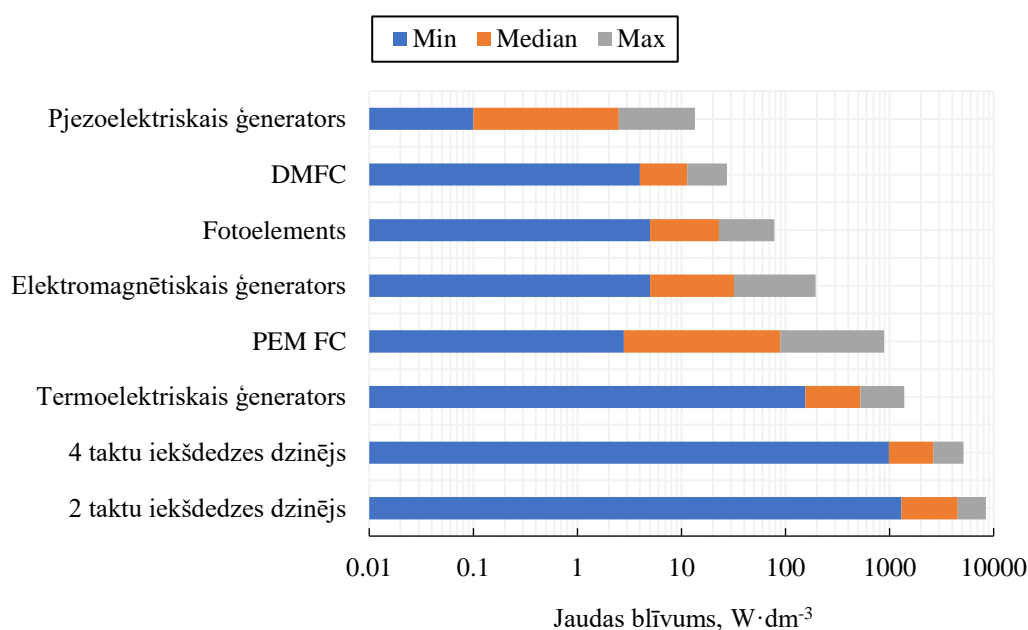


2. attēlā atspoguļots pētījumā iegūtais īpatnējās jaudas datu diapazons dažādiem enerģijas avotiem.

Protonu apmaiņas membrānas degšūnas (PEM FC) izmantošanas potenciāls mazjaudas pārnēsājamās elektroniskās ierīcēs ir ļoti augsts – neliels svars un izmērs attiecībā uz izejas jaudu, bet to apgrūtina ūdeņraža uzglabāšanas nosacījumi. Izmantojot tiešā metanola degšūnas (DMFC), tiešā metanola uzglabāšanas problēmas nav novērojamas, bet enerģijas avota lielais svars un izmērs attiecībā uz izejas jaudu to padara par nepievilcīgu, pielietojot to elektroniskās ierīcēs. Salīdzinot savā starpā svāra attiecību uz izejas jaudu vieniem no pieejamiem komerciāliem enerģijas avotiem (PEM FC un DMFC), tika secināts, ka DMFC ir gandrīz 12 reizes smagāks nekā PEM FC. SFC ENERGY kompānijas ražots DMFC ar izejas jaudu 25 W sver 4.3 kg, bet SPECTRONIK kompānijas ražots PEM FC ar izejas jaudu 25/30 W sver 0.36 kg. Apskatot vairākas internetveikalu platformas, tika secināts, ka DMFC nav plaši komercializēts enerģijas avots, bet tas tiek plaši pētīts un apskatīts vairākos zinātniskos darbos ar vairākiem DMFC sistēmu prototipiem. DMFC pārsvarā tiek izmantots rūpnieciskā un militārajā jomā.

Salīdzinot iegūtos PEM FC parametrus ar iepriekš veikto pētījumu [4], var secināt, ka  $\rho_P$  un  $SP$  mediānas un diapazoni būtiski palielinājās – it īpaši īpatnējās jaudas rādītāji (20 (1.3-122) → 86.5 (2.8-793.7)). Specifiskās izmaksu jaudas ( $SC_P$ ) mediāna samazinājās 1.6 reizes un sasniedza 32.64 EUR·W<sup>-1</sup>, līdz ar to apsteidzot tikai DMFC un pjezoelektrisko ģeneratoru mediānu rādītājus.

3. attēlā atspoguļots pētījumā iegūtais jaudas blīvuma datu diapazons dažādiem enerģijas avotiem.



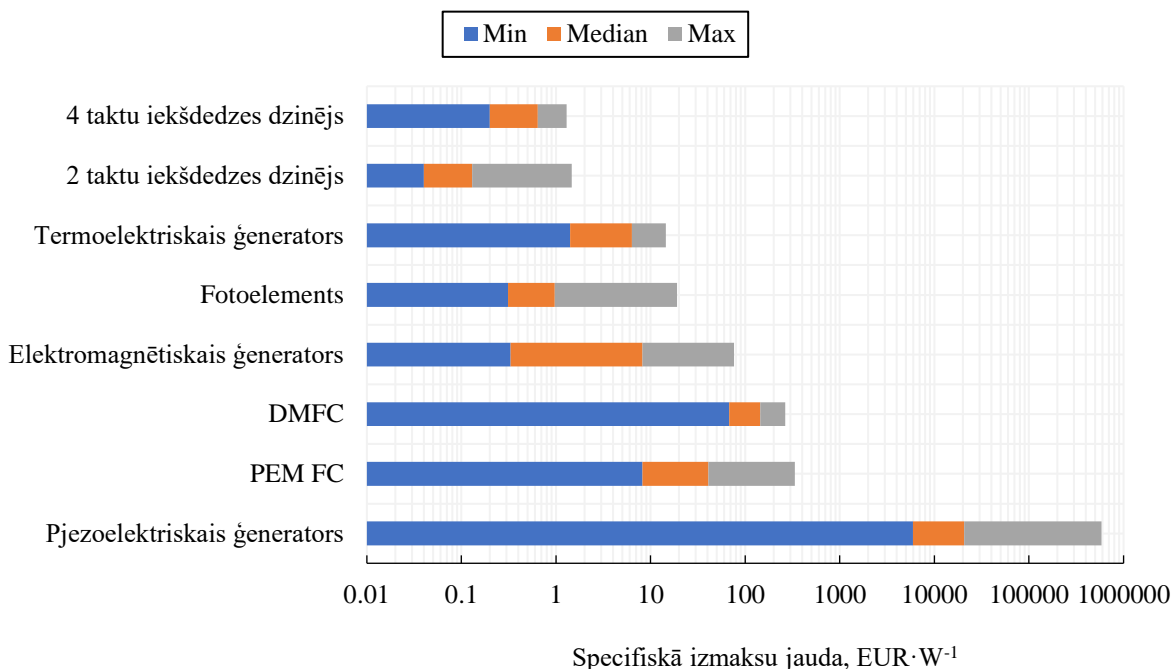
### 3. att. Dažādu enerģijas avotu jaudas blīvuma datu diapazons

Apskatot 2. un 3. attēlu, var redzēt, ka termoelektriskiem ģeneratoriem ir ļoti augsts potenciāls, lai tos varētu izmantot kā primāros enerģijas avotus mazjaudas pārnēsājamās elektroniskās ierīcēs. Neskatoties uz augstiem  $\rho_P$  un  $SP$  parametru rādītājiem – ir tehniski grūti, uzturēt lielu temperatūras starpību starp karsto un auksto termoelektriskā ģeneratora pusēm, ievietojot to pārnēsājamā elektroniskā ierīcē.

Dinamo ģenerators ir praktisks un rentabls jaudas pārveidotājs, bet to plašu izmantošanu aizkavē neērta enerģijas pārveidošanas process – mehāniskā jauda tiek pārveidota elektrībā, ģenerējot nelielu izejas jaudu. Dinamo var izmantot kā neatkarīgu elektriskās jaudas ģenerējošu sistēmu no elektroniskās ierīces, piemēram, lai uzlādētu akumulatoru.

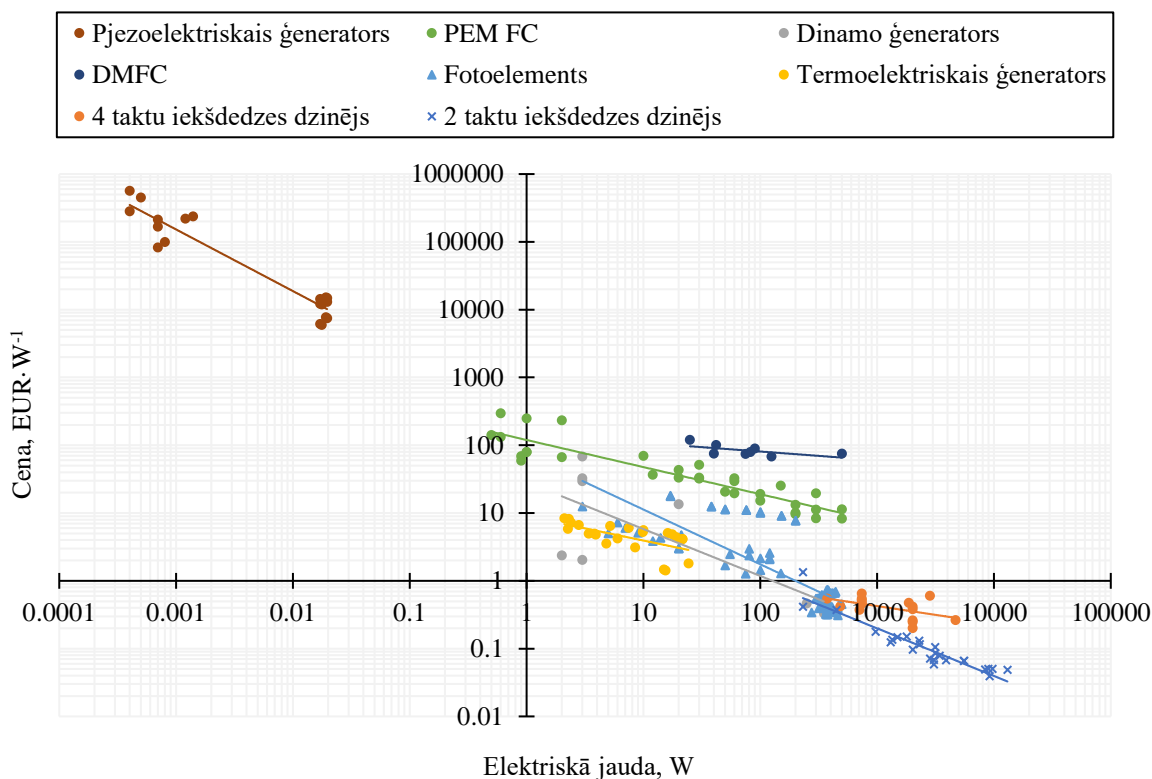
Mūsdienās saules bateriju izmantošanas potenciāls mazjaudas pārnēsājamās elektroniskās ierīcēs izskatās daudz reālāks no realizācijas aspekta, nekā izmantojot pārējos pētījumā apskatītos enerģijas avotus. Neskatoties uz zemiem  $\rho_P$  un  $SP$  parametru rādītājiem, viena saražota vata izmaksas ir ļoti nelielas – 0.31 EUR. Elektroniskās ierīces korpusu var tikt aizvietots ar fotoelementiem, bet pastāv zināma problēma ar elektriskās jaudas ģenerāciju. Pirmkārt, ir nepieciešami tiešie saules stari. Otrkārt, neliels darba laukums, ko varētu izmantot uz elektroniskām ierīcēm, kā arī neliels  $\rho_P$  parametra rādītājs.

4. attēlā atspoguļots pētījumā iegūtais specifiskās izmaksu jaudas ( $SC_P$ ) datu diapazons dažādiem enerģijas avotiem.



4. att. Dažādu enerģijas avotu specifiskās izmaksu jaudas datu diapazons

5. attēlā salīdzināti dažādi enerģijas avoti, pamatojoties uz to pārdošanas cenām internetveikalu platformās, izmantojot *log-log* diagrammu.



5. att. Dažādu enerģijas avotu salīdzinājums pēc to pārdošanas cenām

Apskatot 4. attēlu, var secināt, ka visrentablākais enerģijas avots ir komerciāli pieejami mazie un viegie lieljaudas iekšdedzes dzinēji, ko izmanto nelielos lidmašīnu modeļos. Divtaktu dzinējiem jaudas

blīvums ir lielāks par  $1.8 \text{ kW} \cdot \text{dm}^{-3}$ , bet īpatnējā jauda  $> 3.2 \text{ kW} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Viena saražota vata izmaksas ir ļoti zemas – 0.09 EUR. Enerģijas avota raksturojošu parametru vērtības ir ļoti augstas, bet tā izmantošanu mazjaudas pārnēsājamās elektroniskās ierīcēs aizkavē vairāki faktori: augstā trokšņa izvade, vibrācija, izmēri, toksiskās izplūdes gāzes, nepieciešamā gaisa ieplūde, nepieciešamā dzesēšana un elektriskās sistēmas nestabilitāte [4]. Dzinējs – rotējoša masa pie lieliem leņķiskajiem ātrumiem, un tas ir pakļauts leņķiskā ātruma izmaiņām, mainoties slodzei [6].

Cilvēka ķermeni arī var uzskatīt par potenciālu enerģijas avotu, kurš var radīt mehānisko jaudu, kas pēc tam tiek pārveidota elektrībā. Autora pētījumā [4] tiek apskatīts riteņbraukšanas tests (10 minūtes) ar cikla efektivitāti 25%, bet viena saražota vata izmaksas tiek aprēķinātas pēc maizes klaipa cenas –  $0.04 \text{ EUR} \cdot \text{W}^{-1}$ .

### Secinājumi

1. Visrentablākais enerģijas avots  $SC_P = 0.09 \text{ EUR} \cdot \text{W}^{-1}$ , ko varētu izmantot mazjaudas pārnēsājamās elektroniskās ierīcēs, ir komerciāli pieejamie mazie un viegie lieljaudas iekšdedzes dzinēji, ko izmanto nelielos lidmašīnu modeļos.
2. Vieni no būtiskajiem iemesliem, kāpēc daži no potenciāliem enerģijas avotiem nevar būt izmantoti mazjaudas pārnēsājamās elektroniskās ierīcēs, ir gan speciālo apstākļu nodrošināšana, kādos tiek ģenerēta elektroenerģija, gan enerģijas avotu konstrukciju īpatnības un to izmaksas.
3. Precīzāku jaudas blīvuma datu iegūšanai iekšdedzes dzinējiem, PEM FC, DMFC un dinamo ģeneratoriem būtu nepieciešams veikt tilpuma aprēķinu, neveicot vienkāršošanu.

### Izmantotie informācijas avoti

- [1] Xue F., Ling Z., Yang Y., Miao X. (2017) Design and Implementation of Novel Smart Battery Management System for FPGA Based Portable Electronic Device. International journal of energies, No.10, 1-14. DOI: 10.3390/en10030264
- [2] Design guide for portable electronic device (2021) [online] [14.12.2021] Available: <https://blog.seco-usa.com/design-guide-for-portable-electronic-devices/#>
- [3] Grout I. (2008) Digital System Design with FPGAs and CPLDs. In: Electronic Systems Design, pp. 43-121. DOI: 10.1016/B978-0-7506-8397-5.00002-7
- [4] Flipsen S.F.J. (2005) Power sources compared: The ultimate truth?. Journal of Power Sources, No.162, pp. 927-934. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2005.07.007
- [5] Burhan H., Cellat K., Yilmaz G., Şen F. (2020) Direct Liquid Fuel Cells. In: Direct methanol fuel cells (DMFCs), pp. 71-94. DOI: 10.1016/B978-0-12-818624-4.00003-0
- [6] Power Sources for Small Robots (1997) [online] [04.02.2022] Available: [https://www.cs.cmu.edu/~motionplanning/papers/sbp\\_papers/integrated1/dowling\\_power\\_sources.pdf](https://www.cs.cmu.edu/~motionplanning/papers/sbp_papers/integrated1/dowling_power_sources.pdf)

## SKAŅAS AVOTA VIRZIENA NOTEIKŠANA IZMANTOJOT DIGITĀLĀ SIGNĀLA IZVADI

### DETERMINING THE DIRECTION OF THE SOUND SOURCE USING DIGITAL SIGNAL OUTPUT

**Edgars Žulpa**

Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants

**Guntis Gailums**

Zinātniskais vadītājs, Mg. sc. ing.

**Aivars Kaķītis**

Konsultants Dr. sc. ing.

**Abstract.** The development of unmanned aerial vehicles takes place daily, and the development of anti-drone facilities is also taking place. Drones are able to gather different information about the area, take videos, and track us every day. The purpose of the study is to check whether it is possible to determine on which side the drone is located using analog microphones with digital signal output. The purpose of the study is to check whether it is possible to determine drone location using analog microphones with digital signal output. If the sound source is on the left side of the microphones, then a phase shift occurs - the left-hand microphone feels sound more strongly than the right-hand sound receiver. If the sound source is placed in the middle of the platform, the phases match because both microphones capture equal sound levels. When placing the sound source on the right side of the platform, a phase shift of the right microphone responds more quickly than the left microphone. Comparing the two microphone phases, it is possible to determine which receiver has a stronger signal, or a closer signal. Digital signal processing makes it possible to determine on which side the sound of the drone is located.

**Atslēgas vārdi:** dronu detektēšana, fāžu nobīde, digitāla signāla izvade, drona skaņas.

#### Ievads

Bezpilota lidaparātu attīstība notiek katru dienu, tāpēc arī notiek pretedronu iekārtu attīstība [1]. Droni spēj ievākt dažādu informāciju par apvidu, veikt video uzņemšanu, kā arī izsekot mūs ikdienā. Mazticams, ka katrs drona pilotētājs ievēro valstī noteiktos ierobežojumus [4], un nepārkāpj aizliegtās lidojuma zonas. Ik pa laikam tiek uzsāktas administratīvās lietas par neatļautu drona lidojumu aizliegtu vietu, piemēram, lidostu tuvumā [3].

Pamatojoties uz likumu pārkāpējiem ir nepieciešama iekārta, kura spēj noteikt drona klātbūtni. Viens no variantiem ir izveidot platformu (skat. 4. attēlu) ar 4 mikrofoniem, kuri attiecībā pret skaņas avotu, spēs dot signālu, lai platforma noteiktu kurā pusē atrodas drons, kā arī pozicionēs sevi pret to.

Pēc dronu skaņas virziena [2] ir iespējams noteikt, kur tieši tas atrodas, lai pozicionētu iekārtu ir nepieciešams salīdzināt skaņu starpību starp mikrofoniem.

**TĒZE:** Iespējams izmantot mikrofonu skaņas digitālo signālu dronu detektēšanas iekārtas pozicionēšanai.

Pētījuma mērķis ir pārbaudīt vai ir iespējams noteikt, kurā pusē atrodas drons, izmantojot analogos mikrofonus ar digitālo signālu izvadi.

Lai sasniegtu darba mērķi izvirzīti šādi darba uzdevumi:

- konstruēt sekošanas platformu ar mikrofoniem;
- veikt eksperimentus ar platformas mikrofoniem.

#### Materiāli un metodes

Eksperimentiem un pētījumiem izmantotie materiāli:

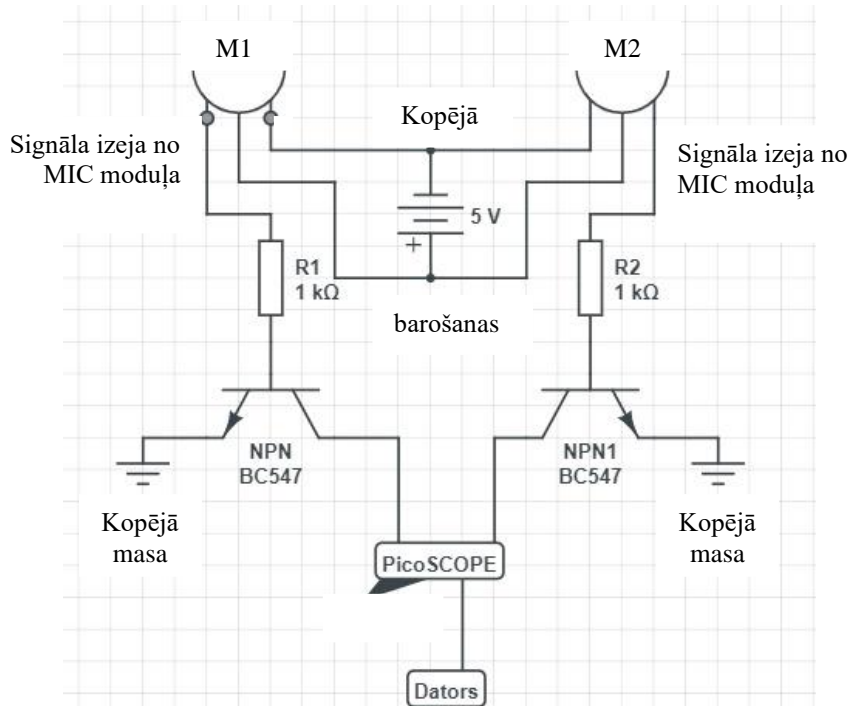
- platforma (eksperiments veiks ar autora paša konstruētu platformas prototipu, skatīt 3. attēlu);
- mikroфона moduļi OKY3131;
- savienotājvadi;
- maketplate;
- PicoTechnology osciloskops PicoScope (PicoScope 4424 4 kanālu 20MHz);
- dators;
- PicoScope programmatūra 2204A;
- ierakstīta drona skaņa (skaņas avots).

Kad iekštelpās uz platformas saslēgti mikrofonu moduļi ar osciloskopu un datoru, PicoScope programmatūrā pārļiecinās par mikrofonu darbību, skaņas avotu ar roku laideni pārvietojot 2 metru attālumā pāri šiem mikrofoniem ekrānā tiek fiksētas digitāla signāla fāzes (skat. 5. attēlā).

Pirmajā eksperimentā skaņas avots atrodas 2 metru attālumā platformas kreisajā pusē 45° leņķī no platformas kreisās puses mikroфона. Otrajā gadījumā skaņas avots novietots starp mikrofoniem 2 metru attālumā. Trešajā eksperimentā skaņas avots atrodas labajā pusē 45° leņķī no labās puses mikroфона.

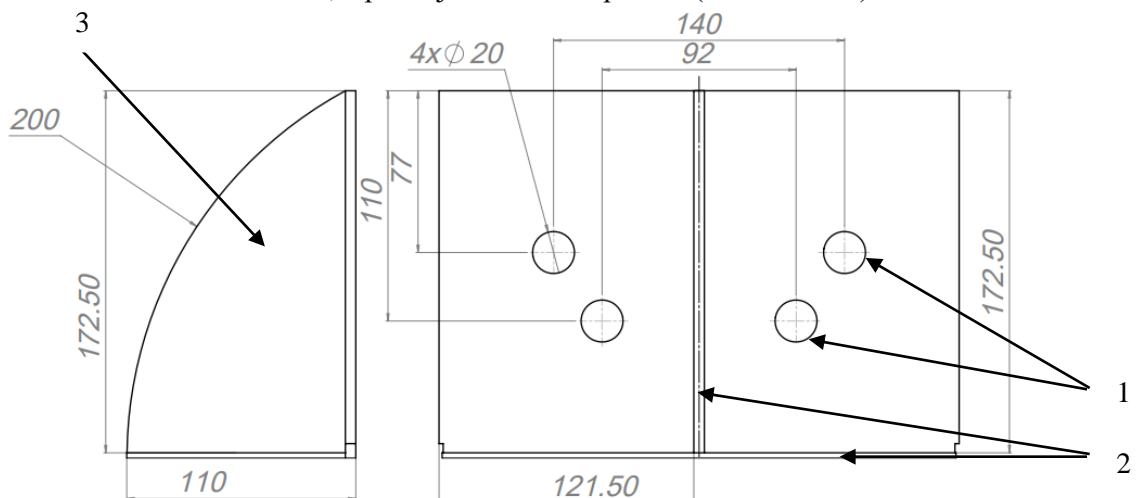
## Rezultāti un diskusija

Detektora shēmu skatīt 1. attēlā. Mikrofonu ir noregulēti tā, lai tie izvadītu digitālo izeju, pēc slēdža principa, signāls ir vai signāla nav.



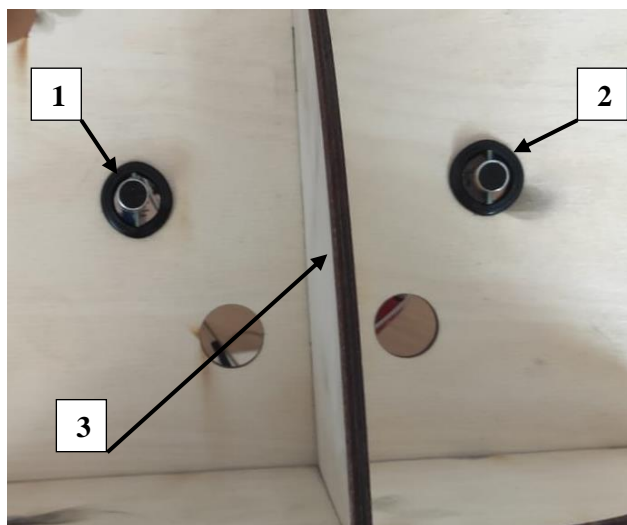
1. att. **Elektriskā shēma datu ieguvei:** M1, M2 – mikrofonu moduļi LM393 (3.3-5V);  
R1, R2 – pretestības (1000 Ω); NPN – bipolārie tranzistori (BC547/  $V_{BE}$  6V)

Pēc metodes apraksta gaitas veikti eksperimenti izmantojot elektrisko shēmu skaņas vizualizācijai datora programmatūrā. Lai precīzāk noteiktu kurā pusē atrodas skaņas avots, abus mikrofonus uz platformas ir iāatdala vienu no otra, tāpēc ir jāizmanto starpsiens. (skat. 2. attēlu).



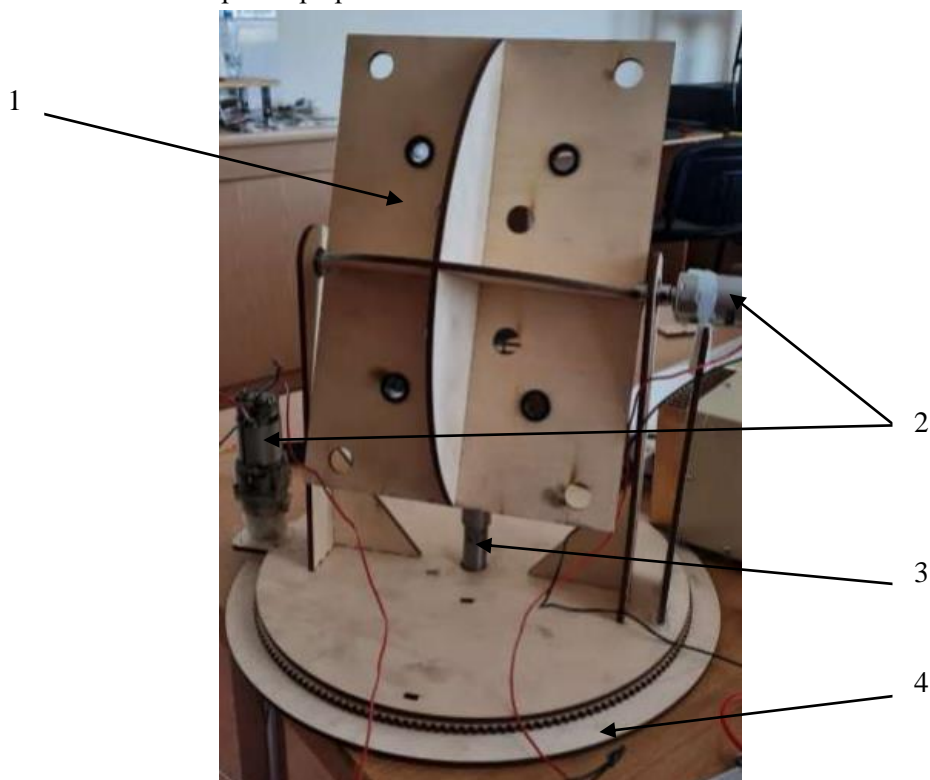
2. att. **Mikrofonu platforma ar starpsienu:** 1 – mikrofonu stiprinājumu vietas (kopā 4);  
2 – starpsienu stiprinājuma vietas; 3 – starpsiens

Eksperimenti veikti, kad mikrofoni atrodas 140 mm attālumā viens no otra ar atdalošu starpsienu (skat. 3. attēlā) starp tiem.



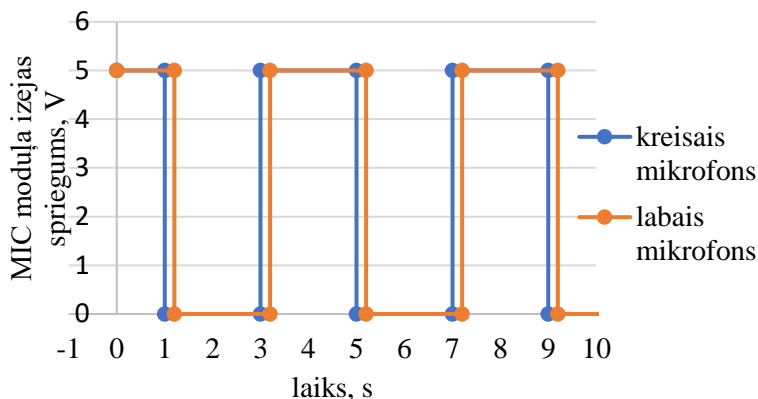
3. att. **Mikrofonu platforma ar starpsienu:** 1 – kreisās puses mikrofons;  
2 – labās puses mikrofons; 3 – starpsienu

Izmantojot platformu ar starpsienu, kuras augstums ir 10 cm var veikt testēšanu pārvietojot skaņas avotu pāri mikrofoniem. Iekārtas prototipa pilno uzbūvi skatīt 4. attēlā.



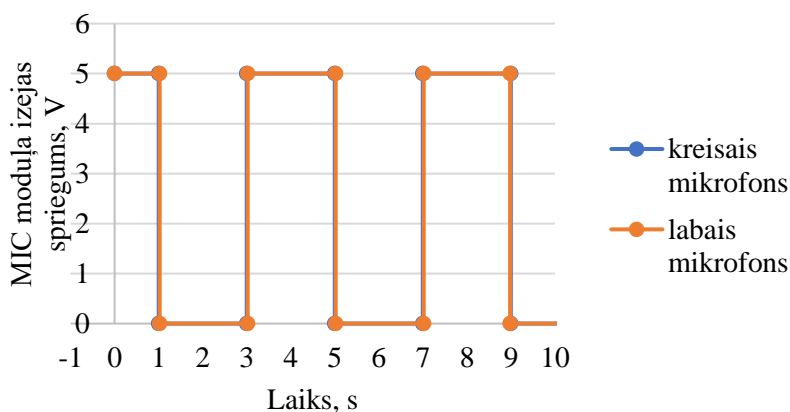
4. att. **Dronu detektēšanas izsekošanas prototips:** 1 – mikrofonu platforma; 2 – motori;  
3 – rotācijas ass, vertikālā; 4 – pēda ar rotācijas planetāro mehānismu

Pirmkārt, apskatīsim arējas skaņas esamību, kad skaņa tiek pievadīta kreisajam mikrofonam uz platformas (skat. 5. attēlā).



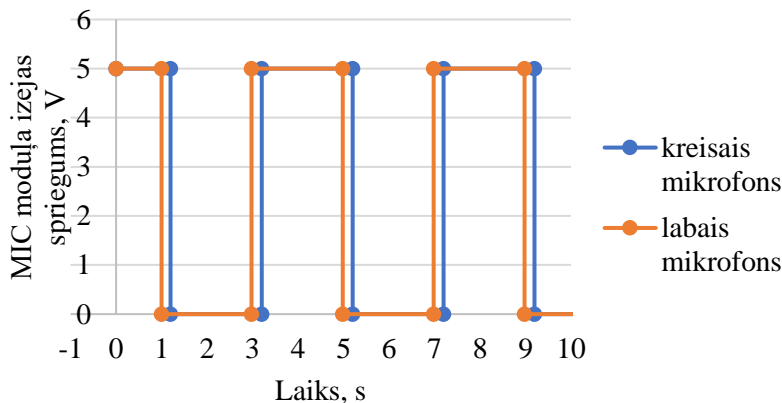
5. att. Mikrofonu digitālās izejas nostrādes līmenis, skaņas avots kreisajā pusē

Pēc iegūtajiem datiem var novērot, ja skaņas avots atrodas kreisajā pusē mikrofoniem, tad notiek fāžu nobīde, kreisais mikrofons jūt skaņu stiprāk, nekā labās puses mikrofons. Straujš sprieguma pieaugums notiek, jo mikrofonu ir noregulēti, tā lai dotu digitāla signāla izeju, līdz ar to var teikt šeit darbojas slēdža princips – signāls ir vai signāla nav. Ja skaņas nav mikroфона izeja ir 5V, sasniedzot ieregulēto sliekšņa signāla stiprumu spriegums tiek nomests uz 0V. Nākamajā eksperimentā pārbaudīts, vai fāzes ir vienādas, ja skaņas avots, tiek novietots tieši pa vidu platformai (skat. 6. attēlā).



6. att. Mikrofonu digitālās izejas nostrādes līmenis, skaņas avots starp mikrofoniem

Ja skaņas avotu novieto platformai pa vidu tad fāzes sakrīt, jo abi mikrofonu uztver vienādu skaņas līmeni. Lai pārliecinātos par to pārvietojot skaņas avots labajā pusē mikrofoniem (skat. 7. attēlā).



7. att. Mikrofonu digitālās izejas nostrādes līmenis, skaņas avots labajā pusē

Novietojot skaņas avotu mikrofonu platformai labajā pusē, notiek fāžu nobīde labais mikrofons ātrāk reaģē uz skaņas signālu nekā kreisais. Atkārtoti veicot iepriekšējās darbības tiek secināts, ka fāžu nobīde notiek uz to pusi, kur atrodas skaņas avots, bet kad skaņas avots atrodas mikrofoniem vidū tad fāzes pārklājas, jo mikrofoli uztver skaņu vienmērīgi vienādi.

Apskatot dažādus zinātniskos avotus [5], secināts, ka pētījumos analizējot dronu skaņu ir veikta tieši bezpilota lidaparātu frekvences analīze, netika atrasti avoti, kur veikta fāžu nobīdes salīdzināšana atkarībā no skaņas avota atrašanās vietas, iespējams šādi pētījumi netika veikti, jo analizējot drona frekvences izmantojot filtru var noteikt, kas ir skaņas avots, kā arī cik tālu tas atrodas [6].

Izvēlētajai metodei viena no priekšrocībām ir ātrāka darbība, nav nepieciešami sarežģīti aprēķini, komplicēti skaņas filtri u.c. Viens no risinājuma trūkumiem varētu būt, ka pie vairāku dronu lidošanas būs problemātiski noteikt, cik ir šo skaņu avotu. Šādā gadījumā nepieciešams papildināt sākotnējo konstrukciju ar citiem risinājumiem, lai novērstu šo trūkumu.

### Secinājumi

1. Salīdzinot divu mikrofonu fāzes, var noteikt, kuram uztvērējam ir ātrāks reaģēšanas laiks, jeb signāla avots atrodas tuvāk.
2. Ar digitālo signāla apstrādi ir iespējams noteikt, kurā pusē iekārtai atrodas signāla (drona) skaņa.

### Izmantotie informācijas avoti

1. Anti-air systems. [online] [08.03.22]. Pieejams: <https://www.zevs.lv/auds/>
2. Al-Emadi S., Al-Ali A. Audio-Based Drone Detection and Identification Using Deep Learning Techniques with Dataset Enhancement through Generative Adversarial Networks. *Sensors*, Vol. 21 (15), 2021, pp. 1-26. DOI: 10.3390/s21154953
3. Drons apdraudējis drošību Liepājas lidostas apkārtnē. [online] [12.03.2022]. Pieejams: <https://nra.lv/latvija/kriminalzinas/305749-drons-apdraudejis-drosibu-liepajas-lidostas-apkartne.htm>
4. Ierobežojumi un nosacījumi gaisa telpā. [online] [15.03.2022]. Pieejams: <https://uas.caa.lv/ierobejojumi-un-nosacijumi-gaisa-telpa/>
5. Aledhari M., Razzak R., Parizi R. M., Srivastava G. Sensor Fusion for Drone Detection. 2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring), Vol. 2021-April, 2021, pp. 1-7. DOI: 10.1109/VTC2021-Spring51267.2021.9448699
6. Sedunov A., Salloum H., Sutin A., Sedunov N. UAV Passive Acoustic Detection. 2018 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security, HST 2018, October. DOI: 10.1109/THS.2018.8574129