Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Tehniskā fakultāte

LLU TF studentu un maģistrantu zinātniskā conference 2020

Inženierzinātņu sekcija

2020. gada 17. aprīlī

Jelgava 2020

Programmas komiteja
Dainis Berjoza
Ilmārs Dukulis
Vitālijs Osadčuks

Attālinātas konferences vadītāji
Vadītājs: Ilmārs Dukulis
Vadītāja vietnieks: Dainis Berjoza
Tehniskais redaktors: Vitālijs Osadčuks

Recenzenti
Ilmārs Dukulis; Aldis Pecka; Dainis Berjoza; Vilnis Pīrs; Mārtiņš Ziemelis; Aivars Birkavs; Ainārs Galiņš; Liene Kanceviča; Gints Birzietis; Jānis Lāceklis-Bertmanis

SATURS - *CONTENT*

Artūrs Zaķis, Ruslans Šmigins
DIETILĒTERA IETEKME UZ AUGU EĻĻAS FIZIKĀLI – ĶĪMISKAJĀM ĪPAŠĪBĀM
EFFECT OF DIETHYL ETHER ON VEGETABLE OIL PHYSICAL – CHEMICAL PROPERTIES.....4

Dainis Bergšpics, Dainis Berjoza
TRĪSRITEŅU ELEKTROVELOSIPĒDA RĀMJA KONSTRUKCIJAS ANALĪZE
ANALYSIS OF THREE – WHEEL ELECTRIC BICYCLE FRAME DESIGN.....10

Jānis Saule, Dainis Berjoza
UZŅĒMUMA AUTOPARKA IZMAKSU ANALĪZE PĀREJAI UZ ELEKTROTRANSPORTU
ANALYSIS OF CAR FLEET CHARGES FOR THE COMPANY'S TRANSITION TO ELECTRIC TRANSPORT.....16

Aivis Jaškovskis, Aivars Birkavs
RŪPNIECISKI KONSTRUĒTIE PĀRVIETOJAMIE RUĻĻU BREMŽU STENDI UN TO SALĪZINĀJUMS
INDUSTRIALLY MANUFACTURED MOBILE ROLLER BRAKE STANDS AND COMPARISON OF THEM.....24

Pēteris Ālītis, Mārtiņš Ziemelis
PLASTMASAS DETAĻU REMONTA TEHNOLOĢIJAS
REPAIR TECHNOLOGIES OF PLASTIC PARTS.....30

Jānis Krastiņš, Imants Nulle
PLASTMASAS RECIKLĒŠANA
PLASTIC RECYCLING.....35

Jānis Ozols, Dainis Berjoza
PNEIMATISKĀ MOTORA RAKSTURLĪKŅU KONSTRUĒŠANA
DESIGNING OF CHARACTERISTIC CURVES FOR PNEUMATIC MOTOR.....39

Agate Kļaviņa, Jānis Bērziņš
SILTUMENERĢIJAS PATĒRIŅA LIETDERĪBA OZOLNIEKU NOVADA PIRMSSKOLAS IZGLĪTĪBAS IESTĀDĒS
USEFUL HEAT CONSUMPTION AT OZOLNIEKI MUNICIPALITY PRESCHOOL EDUCATIONAL INSTITUTIONS.....43

Lauris Vaits, Aleksejs Gedzurs
NAFTAS PRODUKTU CAURUĻVADA "POLOCKA-VENTSPILS" MAĢISTRĀLO SŪKŅU STACIJU ELEKTROPIEDZIŅAS UN ENERGOEFEKTIVITĀTES RISINĀJUMI
ELECTRIC DRIVE AND EFFICIENCY SOLUTIONS OF OIL PRODUCT PIPELINE "POLOCKA – VENTSPILS" MAIN PUMP STATION.....49

Guntis Gailums, Aivars Kaķītis
SUPERKONDENSATORS KĀ ALTERNATĪVA TRADICIONĀLAJAM AKUMULATORAM
SUPERCAPACITOR AS ALTERNATIVE TO TRADITIONAL BATTERY.....55

Reinis Palēvics, Aivars Birkavs
ELEKTRISKĀ STŪRES PASTIPRINĀTĀJA DARBSPĒJAS ANALĪZE
THE ANALYSIS OF THE WORKING CAPACITY OF ELECTRIC POWER STEERING.....62

DIETILĒTERA IETEKME UZ AUGU EĻĻAS FIZIKĀLI – ĶĪMISKAJĀM ĪPAŠĪBĀM
EFFECT OF DIETHYL ETHER ON VEGETABLE OIL PHYSICAL – CHEMICAL PROPERTIES

Artūrs Zaķis
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants
Ruslans Šmigins
Zinātniskais vadītājs, asoc. prof., Dr.sc.ing.

Abstract. The article provides information on an experimental study aimed at studying the physico-chemical properties of vegetable oil blends. Under laboratory conditions, the main physico-chemical properties of linseed oil (LE), linseed oil in three different mixtures with 10 %, 20 % and 30 % diethyl ether (LE10, LE20, LE30), diesel (DD) and diethyl ether (DEE) are determined. These properties are cross-checked with another study that identifies the main physico-chemical properties of rapeseed oil and diethyl ether mixtures (RE10, RE20, RE30). The study identifies the potential impact of these properties on diesel combustion processes. For a 30 % blend of linseed oil, the cold filter plugging point of -24 ºC, which means that the diesel car is operated in the winter season at lower air temperatures than other vegetable oil blends included in the study.

Atslēgas vārdi: dietilēteris, rapša eļļa, linsēklu eļļa, fizikāli – ķīmiskās īpašības.

Ievads

Mūsdienās lielākā daļa transportlīdzekļu kā enerģijas veidu izmanto fosilo degvielu. Šis degvielas veids tiek ražots no naftas produktiem, kuri atrodas zemes dzīlēs. Pats par sevi vārds "fosilā degviela" liek aizdomāties par to, ka šis degvielas veids gadu gaitā neatjaunojas, bet tieši pretēji – naftas rezerves tiek izsmeltas. Šāda iemesla dēļ tiek plaši meklētas alternatīvās jeb atjaunojamās enerģijas avoti. Plašus panākumus ir guvusi elektroenerģija, kuru kā enerģijas veidu pēdējo gadu laikā plaši sāk pielietot elektroautomobiļos. Tas savukārt nozīmē, ka visu autoparku nāksies nomainīt uz tādu, kas spēs kā degvielu izmantot elektroenerģiju un, lai tas realizētos, būs nepieciešams ilgs laika posms un lieli finansiāli ieguldījumi. Vienas no atjaunojamajiem resursiem ir augu eļļas, ar kurām spēj darboties dīzeļmotoru automobiļi. Atpazīstamākās augu eļļas, kuras tiek iegūtas Latvijas teritorijā, ir rapšu un linsēklu eļļas. Šo eļļu galvenā problēma ir tās augstā viskozitāte, kas neļauj tās tīrā veidā lietot kā degvielu dīzeļmotoros pie zemākām gaisa temperatūrām. Protams, ir iespējams aprīkot automobiļus ar speciālām palīgiekārtām, ar kuru palīdzību var šīs augu eļļas izmantot tīrā veidā, bet tas prasa automobiļa pārbūvi, un, līdz ar to, lielas investīcijas. Lai nesaskartos ar šādām problēmām, ir iespējams iepriekš minētajām augu eļļām zināmās proporcijās pievienot dietilēteri. Šāds maisījums samazina augu eļļas viskozitāti un nodrošina dīzeļmotoru darbību arī pie zemākām apkārtējās vides temperatūrām gan Latvijā, gan citur pasaulē.

Ēteris (dietilēteris) ir ēteru klases organiski ķīmiskais savienojums. Tas ir īpaši viegli uzliesmojošs šķidrums ar pašaizdegšanās temperatūru 180 ºC. To iegūst etilspirta dehidrācijas procesā. Galvenā dietilētera kā degvielas piedevas priekšrocība ir lielais cetānskaitlis, laba sajaukšanās spēja ar dīzeļdegvielu, etanolu un augu eļļām, kā arī maisījuma stabilitāte [1].

Pētījumā analizējamās linsēklu un rapša eļļas ir nerafinētas, tās iegūst ar auksto spiešanas tehnoloģiju, kā rezultātā tiek saglabātas visas bioloģiski aktīvās vielas. Tās tiek izmantotas gan kulinārijā, gan medicīnā un pat krāsu, laku ražošanā.

Pētījuma mērķis ir raksturot rapša, linsēklu eļļas un to dietilētera maisījumu pamatīpašība, un šo īpašību ietekmi uz degvielas iesmidzināšanas procesu.

Lai sasniegtu mērķi, tika izvirzīti sekojošie uzdevumi:

1. iepazīties ar fizikāli – ķīmisko īpašību noteikšanas aprīkojumu un mērījumu veikšanas procedūras standartiem;
2. analizēt citu zinātnieku pētījumus saistībā ar augu eļļas fizikāli – ķīmiskajām īpašībām;
3. eksperimentāli izpētīt linsēklu eļļas un dietilētera maisījumu fizikāli – ķīmiskās īpašības;
4. analizēt šo īpašību ietekmi uz degvielas iesmidzināšanas procesu.

Materiāli un metodes

Praktiskajā pētījumā noskaidro fizikāli – ķīmiskās īpašības linsēklu eļļai, linsēklu eļļas maisījumiem, dietilēterim un dīzeļdegvielai. Iepriekš minētajām vielām nosaka kinemātisko viskozitāti pie 40 ºC gaisa temperatūras, kā arī blīvumu pie 15 ºC temperatūras. Eksperimentāli nosaka auksta filtra nosprostošanās punktu, pie kādas temperatūras "degviela" pārstāj plūst caur filtru, kā arī tiek noteikts virsmas spraigums. Iepriekš minētajiem šķidrumiem noskaidro uzliesmošanas punktu un siltumietilpību.

Kinemātisko viskozitāti nosaka, izmantojot Anton Paar SVM 3000 mēriekārtu (skat. 1. att.). Standartizētā procedūra EN ISO 3104 tiek ņemta vērā, izpildot mērījumus.

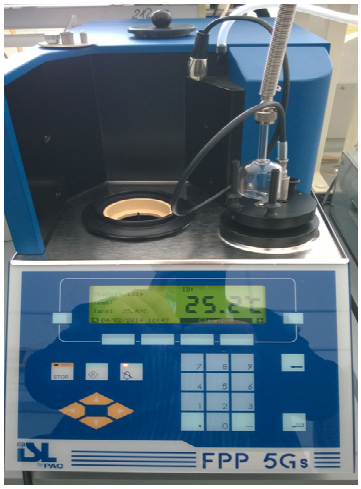
Šķidrumu blīvuma pārbaudi veic, izmantojot iepriekš minēto ierīci Anton Paar SVM 3000. Nepieciešamos mērījumus izpilda saskaņā ar aprakstīto procedūru standartā EN ISO 3838:2005.

Linsēklu eļļai, dietilētera maisījumiem, dietilēterim un dīzeļdegvielai siltumietilpību nosaka, pamatojoties uz degšanas siltuma mērījumiem, kas tiek noteikti izmantojot automātisko KL-10 kalorimetru, kas parādīts 2. attēlā. Šim nolūkam tiek izmantota izpildes procedūra, kas aprakstīta ASTM D240-02:2007 standartā.

1. att. ***Anton Paar SVM 3000*** **kinemātiskās viskozitātes un blīvuma mēriekārta**

2. att. **Kalorimetrs *KL-10* siltuma daudzuma mērīšanai**

Auksta filtra nosprostošanās punkta temperatūru nosaka saskaņā ar NE 116:2015 standartu. Šim nolūkam izmanto mērīšanas iekārtu *FPP 5Gs*, kas ir aprīkota ar iebūvēto dzesēšanas sistēmu (skat. 3. att.).

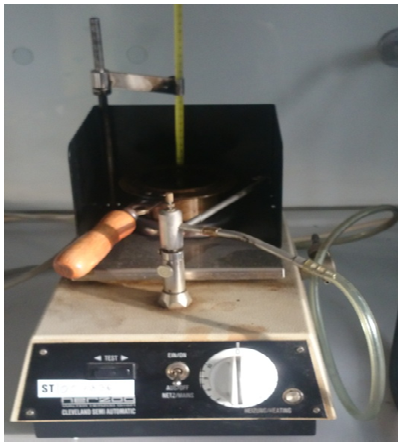


3. att. **Mērīšanas iekārta *FPP 5Gs***

4. att. **Tensiometrs *LAUDA TD1C* [2]**

Virsmas spraigums tiek noteikts izmantojot *LAUDA TD1C* tensiometru. Eksperimentālajiem paraugiem saskaņā ar metodoloģiju, kas aprakstīta standartā ISO 304, nosaka virsmas spraigumu (skat. 4. att.).

Uzliesmošanas temperatūru nosaka saskaņā ar EN ISO 2719 standartizēto metodiku atklātā tīģelī, izmantojot Klīvlendas atklātā kausa (COC) metodi. Eksperimentālais aprīkojums ir attēlots 5. attēlā.



5. att. **Aprīkojums, kas paredzēts uzliesmošanas temperatūras noteikšanai**

Eksperimentālajā daļā nosaka fizikāli – ķīmiskās īpašības vasaras dīzeļdegvielai, kuru saīsinātā formā apzīmē ar (DD). Šī plaši pazīstamā un pielietotā degviela visā pasaulē tiek lietota dīzeļmotoros, tādēļ eksperimentālajā pētījumā šī degviela kalpo kā salīdzinošā degviela, pēc kuras fizikāli – ķīmiskajiem parametriem iespējams salīdzināt pārējos pētāmos degvielas veidus. Pētījumā pielieto vasaras dīzeļdegvielu, jo eksperimenta norises laikā DUS bija pieejama tikai šāda tipa dīzeļdegviela. Linsēklu eļļu (LE) ir iespējams lietot kā degvielu dīzeļmotoros tīrā veidā. Tā kā linsēklu eļļa nespēj kalpot kā degviela dīzeļmotoros pie zemām gaisa temperatūrām augstās viskozitātes dēļ, tad augu eļļai tiek pievienots dietilēteris (DEE) trīs dažādās proporcijās.

Laboratorijas apstākļos dietilēterim nosaka fizikāli – ķīmiskās īpašības. Visus iepriekš minētos maisījumus ar stikla nūjiņas palīdzību pirms eksperimenta veikšanas samaisa, līdz iegūst viendabīgu šķidrumu. Linsēklu eļļai pievienojot dietilēteri iegūst 10 % maisījumu (LE10), kas sastāv no 90 % linsēklu eļļas un 10 % dietilētera piejaukuma, 20 % maisījumu (LE20), kas attiecīgi sastāda 80 % LE un 20 % DEE un 30 % linsēklu eļļas maisījums (LE30), kura sastāvā ir 70 % linsēklu eļļa un 30 % dietilēteris.

Rezultāti un diskusijas

Fizikāli – ķīmisko īpašību rezultāti linsēklu eļļai, dietilētera maisījumiem, dietilēterim un dīzeļdegvielai atspoguļoti 1. tabulā.

1. tabula

Fizikāli – ķīmisko īpašību rezultāti linsēklu eļļai, dietilētera maisījumiem, dīzeļdegvielai un dietilēterim

Rādītāji	Vērtības					
	LE	LE10	LE20	LE30	DD	DEE
Viskozitāte pie 40 ºC, $mm^2 \cdot s^{-1}$	24.994	11.793	7.392	4.457	2.426	0.230
Blīvums pie 15 ºC, $g \cdot cm^{-3}$	0.932	0.911	0.894	0.876	0.830	0.710
Auksta filtra nosprostošanās punkts, ºC	16	-8	-16	-24	-15	-
Virsmas spraigums, $mN \cdot m^{-1}$	31.5	29.9	27.1	23.6	28.0	16.9
Uzliesmošanas punkts, ºC	> 220	< 25	< 25	< 25	65	-40
Siltumietilpība, $MJ \cdot kg^{-1}$	37.9	37.4	37.0	36.6	42.5	33.9

Vislielāko viskozitāti pie 40 ºC temperatūras konstatē nerafinētai linsēklu eļļai (LE), toties pievienojot linsēklu eļļai 10 % dietilēteri, tās viskozitāte samazinās jau par 52.82 % (skat. 1. tab.). Dietilēterim ir pārāk zems auksta filtra nosprostošanās punkts, tādēļ šis parametrs netiek noteikts. Kā novērojams, pievienojot linsēklu eļļai lielākos apjomos dietilēteri, tās viskozitāte samazinās un, jau pie linsēklu eļļas 30 % maisījuma (LE30), tā ir jau par 82.17 % samazinājusies, salīdzinājumā ar linsēklu eļļu. Šāda linsēklu eļļas priekšrocība atstāj būtisku iespaidu uz degvielas izsmidzinājuma kvalitāti. Tāpat tā ļauj izvairīties no eļļas priekšsildīšanas sistēmu izmantošanas iekšdedzes motoriem, kas parasti ir būtiska problēma, pielietojot lielākās koncentrācijās eļļas maisījumus vai arī tīru eļļu pie zemākām apkārtējās vides temperatūrām.

Visaugstākais blīvums pie 15 ºC novērojams linsēklu eļļai, bet pievienojot linsēklu eļļai 30 % dietilēteri, tās blīvums samazinās par 0.056 $g \cdot cm^{-3}$. Viszemākais blīvums novērojams dietilēterim un tas ir par 23.82 % mazāks nekā linsēklu eļļai.

Kā redzams 1. tabulā, sasalšanas jeb auksta filtra nosprostošanās temperatūra linsēklu eļļas 30 % maisījumam ir zemāka par vasaras dīzeļdegvielas vērtību (DD). Tā pārsniedz arktiskās dīzeļdegvielas A0 klasi, kura temperatūra ir no -20 ºC, un gandrīz sasniedz A1 klases arktisko dīzeļdegvielas temperatūru (no -26 ºC). Pie šādas temperatūras degvielas pārstāj plūst caur automobiļa degvielas filtru, kā rezultātā tiek aizsprostota degvielas sistēma un apturēta motora darbība.

Virsmas spraigumam ir tendence samazināties, palielinot dietilētera procentuālo piejaukumu linsēklu eļļai. Viszemākais virsmas spraigums maisījumos novērojamas linsēklu eļļas 30 % maisījumam (LE30) (skat. 1. tabulu). Bez viskozitātes un blīvuma, arī virsmas spraigumam ir būtiska ietekme uz degvielas pilienu veidošanos, jo gala rezultātā tas atstāj būtisku ietekmi uz degvielas iztvaikošanas procesu. Šeit gan būtisku ietekmi atstāj tieši nepiesātināto saišu skaits un taukskābju ogļūdeņražu ķēžu garums [3].

Veicot literatūras izpēti atrasts līdzīgi veikts eksperimentālais pētījums. Šajā pētījumā noteiktas rapša eļļas un dietilētera maisījumu fizikāli – ķīmiskās īpašības (skat. 2. tabulu) [4].

2. tabula

Fizikāli – ķīmiskās īpašības rapša eļļas maisījumiem

Rādītāji	Vērtības		
	RE10	**RE20**	**RE30**
Viskozitāte pie 40 ºC, $mm^2 \cdot s^{-1}$	17.5	10.2	6.3
Blīvums pie 15 ºC, $g \cdot cm^{-3}$	0.904	0.887	0.869
Auksta filtra nosprostošanās punkts, ºC	13	-4	-19
Virsmas spraigums, $mN \cdot m^{-1}$	40.9	36.9	30.6
Uzliesmošanas punkts, ºC	20	-2	-11
Siltumietilpība, $MJ \cdot kg^{-1}$	36.5	36.2	36.0

Rapša eļļai ir raksturīga lielāka viskozitāte salīdzinājumā ar dīzeļdegvielu. Pie 40 ºC temperatūras rapša eļļas viskozitāte ir 34 $mm^2 \cdot s^{-1}$. Šādai viskozitātei ir negatīva ietekme uz degvielas atomizācijas kvalitāti un, līdz ar to, degvielas sadegšanas procesa pasliktināšanos [1].

Pievienojot rapša eļļai 10 % dietilēteri, tās viskozitāte samazinās jau par 48.53 % un pie rapša eļļas 30 % maisījuma tā ir samazinājusies par 81.47 %, salīdzinājumā ar nerafinētu rapša eļļu. Pievienojot rapša eļļai, samazinās viskozitāte, tādejādi uzlabojas iesmidzināšanas procesa kvalitāte un uzlabojas degvielas sadegšanas process degkamerā.

Salīdzinot rapša eļļas maisījumus, var redzēt, ka viszemākais auksta filtra nosprostošanās punkts ir rapša eļļas 30 % maisījumam un tie ir -19 ºC (skat. 2. tabulu). Attiecīgi, jo lielākās proporcijās tiek pievienots dietilēteris, jo zemāka ir auksta filtra nosprostošanās temperatūra. Linsēklu eļļas 30 % maisījumam auksta filtra nosprostošanās punkts ir -24 ºC, kas nozīmē, ka dīzeļautomobiļa ekspluatācija ziemas sezonā tiek nodrošināta pie zemākām gaisa temperatūrām, nekā ar pārējiem pētījumā iekļautajiem augu eļļas maisījumiem.

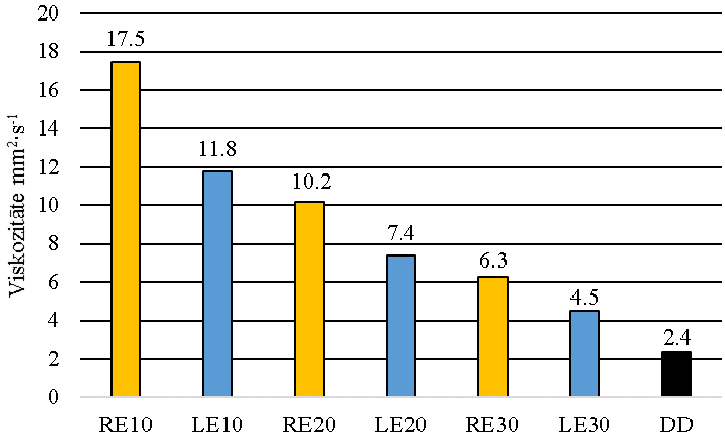
Degvielas siltumietilpība arī ir viens no parametriem, kas tiek fiksēts visiem iepriekš pieminētajiem degvielas maisījumiem. Lai gan linsēklu eļļas gadījumā siltumietilpība ir augstāka nekā rapšu eļļai pie mazākas koncentrācijas maisījumiem, tad pieaugot dietilētera sastāvam maisījumā, siltumietilpības vērtības praktiski izlīdzinās.

Apkopojot iepriekš redzamos datus no 1. un 2. tabulas par linsēklu un rapšu eļļas maisījumiem, kā arī dīzeļdegvielu, veic rezultātu salīdzināšanu šādiem fizikāli – ķīmiskajiem rādītājiem:

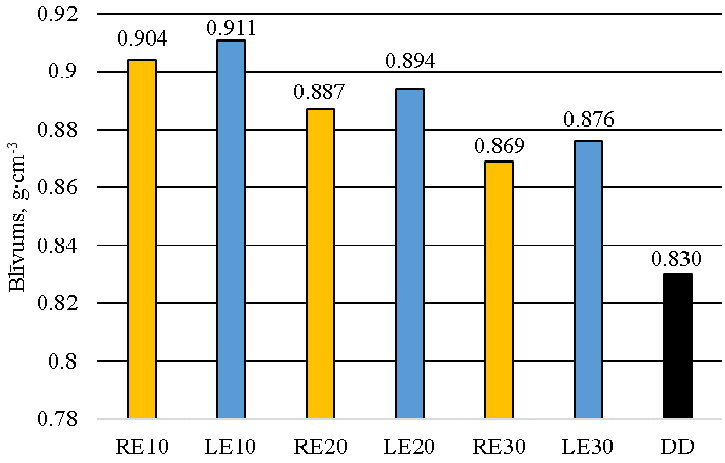
1. viskozitātei pie 40 ºC temperatūras;
2. blīvumam pie 15 ºC temperatūras;
3. siltumietilpībai.

Kā redzams 6. attēlā, lielākā viskozitāte pie 40 ºC noteikta rapša eļļas 10 % maisījumam (RE10), toties zemākā viskozitāte eksperimentāli noteikta dīzeļdegvielai (DD). Var novērot, ka, augu eļļām

pievienojot lielākos apjomos dietilēteri, tās viskozitāte attiecīgi samazinās. Dīzeļdegvielas viskozitāte, salīdzinot ar linsēklu eļļas 30 % maisījuma viskozitāti, ir par 46.67 % mazāka.

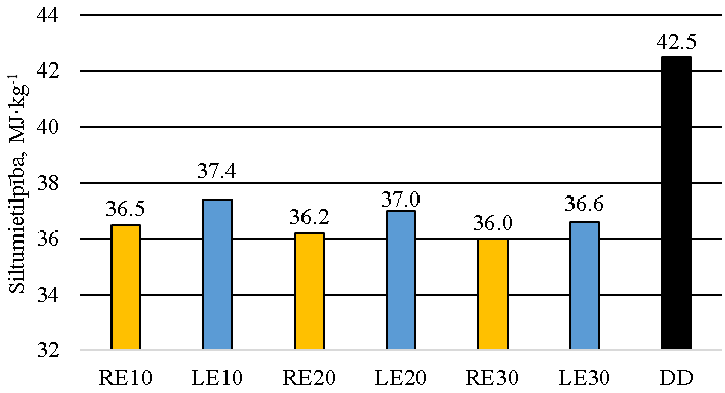


6. att. **Viskozitāte degvielas paraugiem pie 40 ºC temperatūras**



7. att. **Blīvums degvielas paraugiem pie 15 ºC temperatūras**

Degvielas blīvums laboratorijas apstākļos noteikts pie 15 ºC temperatūras (skat. 7. att.). Augu eļļām ir novērojama tendence pie lielākas dietilētera koncentrācijas attiecīgi samazināt blīvumu, tas attiecas gan uz rapša eļļas maisījumiem, gan linsēklu eļļas maisījumiem. Rapša eļļas 30 % maisījuma blīvums, salīdzinājumā ar dīzeļdegvielas blīvumu pie 15 ºC temperatūras, ir par 4.7 % lielāks un veido vismazāko blīvuma starpību starp visiem eksperimentā pielietotajiem augu eļļas maisījumiem.



8. att. **Siltumietilpība degvielas paraugiem**

Nosakot degvielas paraugiem siltumietilpību un, iegūstot rezultātus, var novērot, ka vislielākā siltumietilpība ir dīzeļdegvielai, salīdzinājumā ar augu eļļas maisījumiem (skat. 8. att.). Aplūkojot rapša eļļas un linsēklu eļļas maisījumu rezultātus, var secināt, ka, palielinot dietilētera koncentrāciju attiecīgi, samazinās siltumietilpība gan rapša eļļas maisījumiem, gan linsēklu eļļas maisījumiem.

Secinājumi

1. Augu eļļas maisījumu degvielu analīzei ir nepieciešams precīzs aprīkojums, kas ļauj nepieciešamo īpašību analīzi veikt plašā diapazonā.
2. Dietilētera pievienošana linsēklu un rapšu eļļām atstāj nenozīmīgu ietekmi uz degvielas siltumietilpību, jo īpaši pie zemas koncentrācijas maisījumiem.
3. Dietilētera pievienošana linsēklu eļļai augstākā koncentrācijā sekmē maisījuma viskozitātes samazinājumu, tā pie LE30 jau ir samazinājusies par 82.17 %, salīdzinājumā ar LE.
4. Dietilētera pievienošana rapša eļļai 30 % apmērā nodrošina blīvuma vērtības starpību ar DD tikai 4.7 %, taču siltumietilpības atšķirība starp degvielām sastāda 15.29 %.
5. Dietilētera pievienošana rapša eļļai samazina maisījuma viskozitāti, tādejādi uzlabojot iesmidzināšanas procesa kvalitāti.
6. Pētījumi apstiprina, ka pietiekami zemais linsēklu eļļas 30 % maisījuma aukstā filtra nosprostošanās punkts (-24ºC) varētu sekmēt dīzeļautomobiļa ekspluatāciju ziemas sezonā pie zemākām gaisa temperatūrām, nekā ar citiem pētījumā iekļautajiem augu eļļas maisījumiem.

Izmantotie informācijas avoti

[1] Gorski K., Smigins R. Selected Physicochemical Properties of Diethyl Ether/Rapeseed Oil Blends and Their Impact on Diesel Engine Smoke Opacity, Energy Fuels, 32 (2), 2018, pp. 1796-1803.
[2] Lotko W., Hernik A., Stobiecki J., Kosmanis T., Gorska M. Smoke Emission of AD3.152 Engine Fuelled With Rapeseed Oil/Diethyl Ether Blends. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji, No. 2, 2018, pp. 65-76. doi: 10.14669/AM.VOL80.ART5
[3] Shu Q., Wang J., Peng B., Wang D., Wang G. Predicting the surface tension of biodiesel fuels by a mixture topological index method, at 313 K. Fuel 87, 2008, pp. 3586-3590.
[4] Tensiometer Lauda TD1C (S.a.) [online] [16.01.2020]. Available: https://www.lfm.uni-rostock.de/en/equipment/analyse/tensiometer/

TRĪSRITEŅU ELEKTROVELOSIPĒDA RĀMJA KONSTRUKCIJAS ANALĪZE
ANALYSIS OF THREE – WHEEL ELECTRIC BICYCLE FRAME DESIGN

Dainis Bergšpics
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants
Dainis Berjoza
Zinātniskais vadītājs, profesors, Dr. sc. ing.

Abstract. In nowdays renewable resources play an increasingly important role in everyday life as fossil fuel resources decreases. An electric vehicle with a solar cell is a good solution for the transport mode to ensure mobility. Such vehicles can ensure environmentally friendly movement. The aim of this study is to analyse the most popular three – wheel bicicyle design types on the market, their advantages and disadvantages and develop a three-wheel solar electric bicycle frame design.

Atslēgas vārdi: elektromobilis,elektromotors, akumulators, saules baterija, rāmis.

Ievads

Šī pētījuma mērķis ir izanalizēt tirgū pieejamos trīsriteņu konstruktīvos veidus, to priekšrocības un trūkumus, lai izstrādātu 3D CAD trīsriteņa elektrovelosipēda un saules baterijas rāmi.

Pašlaik ir iespējams iegādāties trīsriteņus ar guļus sēdpozīciju (*recumbent tricycles*), kas paredzēti atpūtai, ikdienai un sporta vajadzībām. Tirgū pieejami vairāki trīsriteņu elektrovelosipēdi, taču patlaban nav pieejami trīsriteņu elektrovelosipēdi ar saules bateriju.

Pētījumā apzināti trīsriteņu konstruktīvie veidi, lai izvērtētu un izstrādātu piemērotu trīsriteņu elektrovelosipēda un saules baterijas rāmi. Izmantojot dažādus pieejamos informatīvos resursus, apkopota šāda informācija:

- konstruktīvo veidu priekšrocības un trūkumi;
- pieejamo analogu tehniskie dati.

Pēc šīs analīzes tiek izstrādāts trīsriteņu solārā elektrovelosipēda rāmja 3D CAD modelis un veiktas stiprības simulācijas pārbaudes pie noteiktām slodzēm.

Materiāli un metodes

Solārā elektrovelosipēda rāmja 3D CAD modelis un rāmja stiprības pārbaude veikta *Solidworks* vidē. *Solidworks Simulation* izmanto galīgo elementu metodi (GEM) dažādu sarežģītu uzdevumu risināšanai [1]. Stiprības simulācijas mērķis ir pārbaudīt trīsriteņa rāmja izturību pie ārējām slodzēm, lai noteiktu vai rāmis spēs izturēt pieliktos spēkus. Stiprības simulācijas rezultātu precizitāte ir atkarīga no vairākiem faktoriem:

- materiāla veida;
- pieliktajām slodzēm;
- atbalsta punktiem.

Solārājam elektrovelosipēdam rāmim izvirsītās šādas prasības:

- velosipēdu rāmim jāiztur 100 kg braucēja svars;
- velosipēdu kostrukcijai jāiztur 40 kg saules baterijas paneļa un tā rāmja svars;
- velosipēdu konstrukcijai jābūt vieglai, rāmja svars nedrīkst pārniegt 10 kg;
- velosipēdu konstrukcijai jābūt stabilai pagriezienos;
- saules baterijai jābūt viegli uzstādāmai un atdalāmai no velosipēdu rāmja;
- velosipēdā rāmja izgatavošanai jābūt pēc iespējams vienkāršākai.

Rezultāti un diskusija

Trīsriteņu velosipēdus ar guļus sēdpozīciju pēc konstrukcijas veida iedala 2 grupās:

- *delta* – velosipēdu konstrukcija, kam viens ritenis ir uz priekšējās ass un divi riteņi uz pakaļējās ass;

- *tadpole* – velosipēdu konstrukcija, kam divi riteņi ir uz priekšējās ass, un viens ritenis uz pakaļējās ass.

Trīsriteņu konstrukcijas veidi parādīti 1. attēlā [2;3].

1. att. **Trīsriteņu konstrukcijas veidi**

Guļošo trīsriteņu velosipēdu sniegtās priekšrocības attiecībā pret klasiskajiem velosipēdiem:

- komforts – sniedz muguras, sēžamvietas un kakla atbalstu, kas īpaši svarīgi cilvēkiem ar muguras un kakla problēmām;
- aerodinamika – guļošie velosipēdi ir zemāki par klasiskajiem velosipēdiem. Kā rezultātā braucējiem jāpatērē mazāk enerģijas, pārvarot gaisa pretestību.
- stabilitāte – atšķirībā no klasiskajiem velosipēdiem, guļošie trīsriteņu velosipēdi ir stabili. Nav nepieciešams balansēt līdzsvaru uz velosipēda, arī braucot ļoti lēni vai pat stāvot, padara šo velosipēda veidu par ideālu transportlīdzekli visiem, ieskaitot cilvēkus ar apgrūtinātām pārvietošanās spējām;
- ātrums – guļošie velosipēdi ir ātrāki par klasiskajiem velosipēdiem un šobrīd glabā pasaules ātruma rekordu velosipēdu grupā [4].

Tirgū pieejami vairāki rūpnieciski ražoti guļošie trīsriteņu velosipēdi. Katram velosipēdu konstrukcijas veidam ir savas priekšrocības un trūkumi. Dažu tadpole trīsriteņu velosipēdu tehniskie parametri parādīti 1. tabulā.

1. tabula

Tadpole trīsriteņu tehniskie parametri

Parametri	***Catrike 700***	***Azub Ti-FLY***	***Bacchetta Carbon trike***	***Ice Adventure 26***	***TerraTrike Gran Tourismo***
Garenbāze, mm	1168	1238	1194	1125	1118
Šķērsbāze, mm	699	755	699	750	750
Platums, mm	787	835	737	825	840
Garums, mm	2083	2230	1930	2130	1930
Augstums, mm	679	820	686	800	-
Sēdpozīcijas leņķis, °	25°	34° - 52°	-	38° - 51°	40° - 65°
Sēdpozīcijas augstums, mm	216	260	-	310	381
Sēdpozīcijas platums, mm	356	-	-	380	-
Klīrenss, mm	102	95	76	150	-
Apgriešanās rādiuss, m	3.0	-	2.9	2.6	2.6
Pašmasa, kg	15.4	-	-	16.5	19.0
MAX braucēja svars, kg	125	125	125	125	135
Cena, EUR	3623	4485	5500	3311	2292

Tadpole trīsriteņi ir zemāki, mazāki, vieglāki, ātrāki un sportiskāki par Delta trīsriteņiem. Tiem ir zems smaguma centrs. Trīsriteņu konstrukcija nodrošina labāku stabilitāti pagriezienos un bremzēšanas īpašības. Būdami zemāki par Delta trīsriteņiem, tajos ir grūtāk iesēsties. Parasti Tadpole trīsriteņiem ir lielāks apgriešanās rādiuss par Delta trīsriteņiem. Tadpole trīsriteņiem ir vienkāršāk uzstādīt papildu piedziņu nekā Delta trīsriteņiem.

Tadpole trīsriteņi ir lieliska izvēle, kad ātrums un stabilitāte ir prioritāte salīdzinājumā ar manevrēšanas spējām un apgrūtināto iesēšanos.

Daži delta trīsriteņu velosipēdu tehniskie parametri parādīti 2. tabulā.

Delta trīsriteņi ir augstāki, lielāki, smagāki, lēnāki un mazāk sportiskāki par Tadpole trīsriteņiem. Tie ir daudzpusīgāki un manevrētspējīgāki par tadpole trīsriteņiem. Apgriešanās rādiuss ir nedaudz lielāks par trīsriteņa garumu.

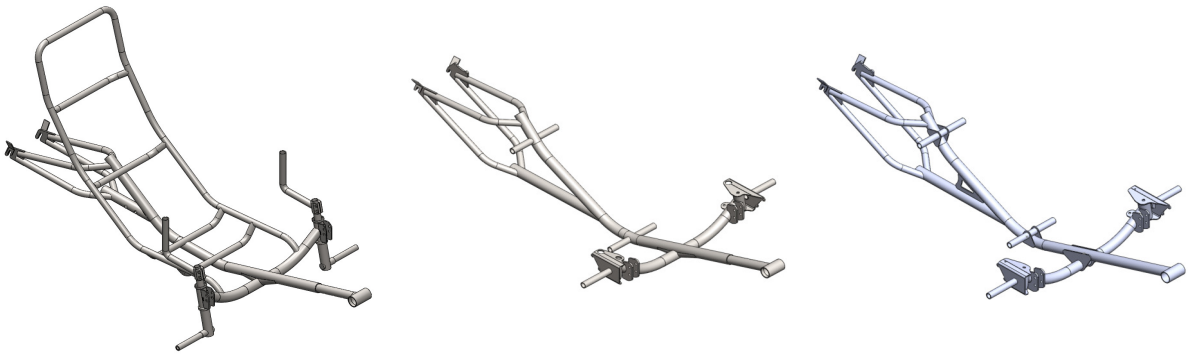
Delta trīsriteņi ir laba izvēle, ja manevrēšana ir prioritāte. Tie ir pateicīgāki braucējiem ar ierobežotām pārvietošanās spējām, jo tajos ir vieglāk iesēsties.

2. tabula

***Delta* trīsriteņu tehniskie parametri**

Parametri	***GreenSpeed ANURA***	***Hase TRIGO***	***Trindent JOUTA DELTA***	***SunSeeker ECO-DELTA SX***
Garenbāze, mm	1900	1600	1800	1600
Šķērsbāze, mm	670	-	690	-
Platums, mm	720	830	762	775
Garums, mm	2170	2100	2300	2090
Augstums, mm	960	1065	-	800
Sēdpozīcijas leņķis, º	39º - 63º	-	38º - 45º	38º - 51º
Sēdpozīcijas augstums, mm	450	665	406	580
Sēdpozīcijas platums, mm	-	-	-	-
Klīrenss, mm	160	-	-	-
Apgriešanas rādiuss, m	2.3	-	-	-
Pašmasa, kg	18	21.5	26.7	26
MAX braucēja svars, kg	135	140	160	135
Cena, EUR	2742	2375	1076	979

Velosipēda rāmja modeļi izstrādāti un rāmja stiprības pārbaudes veiktas SolidWorks vidē. Rāmja izstrādes procesa konstruēti, vairāki iespējamie velosipēda rāmja varianti. Velosipēda rāmja konstrukcijas veidi parādīti 2. attēlā.



1 2 3

2. att. **Velosipēda rāmja konstrukcijas veidi:** 1 – prototips Nr. 1;
2 – prototips Nr. 2; 3 – prototips Nr. 3

Salīdzinātie velosipēda rāmji ir viens otram līdzīgi pēc dizaina, taču atšķirīgi pēc konstruktīvajiem risinājumiem, kas nodrošina atšķirīgas velosipēda rāmim izvirzītās prasības. Piemērām, prototips Nr. 3, nodrošina visas izvirzītās prasības, taču ir atšķirīgs no prototipa Nr. 2, ar vienkāršo velosipēda rāmja izgatavošanu un montāžu. Savukārt, prototips Nr.1 ir atšķirīgs ar braucēja sēdekļā konstrukciju, kas nodrošina labāku stabilitāti braucējam pagriezienos, toties ieverojami palielina velosipēda pašmasu.

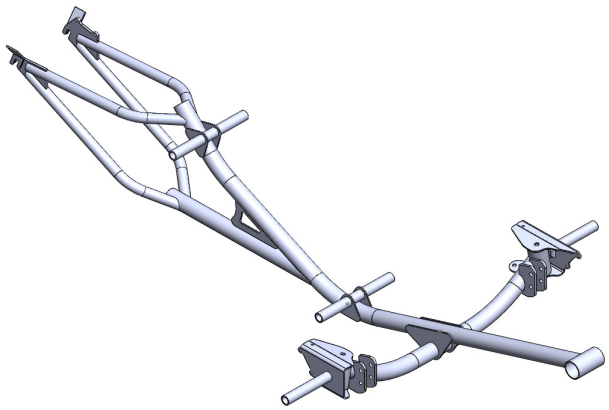
Tālākai velosipēda rāmja analizei tiek izmantots prototips Nr.3, jo tā rāmis atbilst izvirzītajām solārā elektrovelosipēda rāmja prasībām. Trīsriteņa rāmis projektēts pēc standartizētajiem materiālu izmēriem, tādā veidā atvieglojot tā izgatavošanu un materiāla iegādi. Velosipēda rāmim izmantoto materiālu saraksts parādīts 3. tabulā.

3. tabula

Velosipēdu rāmim izmantoto materiālu saraksts

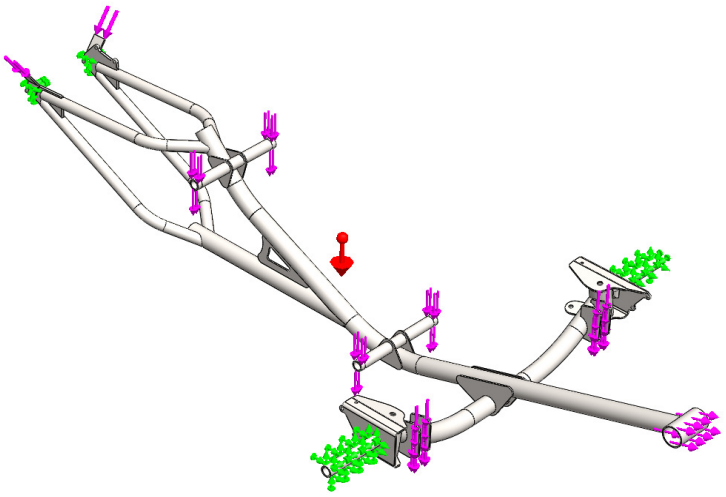
Nr. p.k.	Apzīmējums	Izmērs, mm	Materiāls
1	Caurule	33.7 × 3.2	EN10255
2	Caurule	21.3 × 2.6	EN10255
3	Loksne	2	S235
4	Loksne	3	S355
5	Loksne	5	S355

Stiprības simulācijas pārbaudē izmantotais 3D CAD modelis parādīts 3. attēlā.



3. att. **Stiprības simulācijas pārbaudē izmantotais 3D CAD modelis**

Stiprības simulācijas pārbaudei velosipēdā rāmja materiāli definēti atbilstoši pēc 1.tabulas, slodzes un atbalsta punkti definētas reālai situācijai. Slodzes un atbalsta punkti parādīti 4. attēlā.



4. att. **Slodzes un atbalsta punkti**

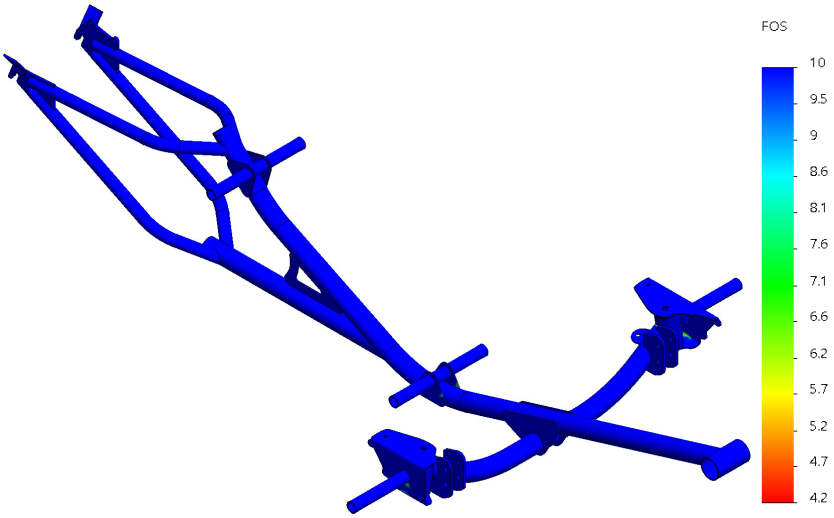
Stiprības pārbaudē ievērtas šādas slodzes:

- 100 kg braucēja svars uz sēdekļa balstiem;
- 40 kg saules baterijas paneļa un to rāmja svara slodzē uz velosipēda rāmi;
- 300 N liels spēks uz pedalizācijas asi;
- zemes pievilšanās spēks.

Spēku darbības virzieni attēloti 4. attēlā ar bultu violētā un sarkanā krāsā, savukārt atbalsta punkti zaļā krāsā.

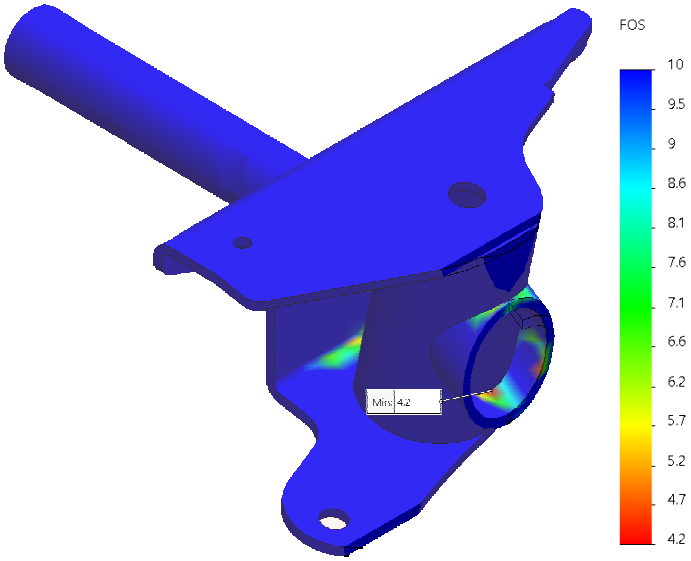
Solārā elektrovelosipēda rāmja drošības koeficients parādīts 5. attēlā. Drošības koeficients rāda maksimālā sprieguma attiecību, ko konstrukcija vai konstrukcijas kopā var izturēt pret maksimālo

spriegumu, kādam tas pakļauts [5]. Drošības koeficients tiek reizināts ar 1. Velosipēda rāmja konstrukcijai drošības koeficientam būtu jāpārsniedz 3, lai nodrošinātu konstrukcijas izturību arī pie dinamiskām slodzēm. Piemēram, braucot pa nelīdzenu ceļu vai iebraucot bedrē, kas palielina ārējās slodzes iedarbību uz konstrukciju 2 līdz 3 reizes vairāk nekā, kad konstukcija atrodas miera stāvoklī.



5. att. **Velosipēda rāmja drošības koeficients**

Velosipēda minimālais drošības koeficients parādīts 6. attēlā. Minimālais drošības koeficients atrodas šķērsčaurules un velosipēda grozāmās ass korpusa savienojumā vietā, kur minimālais drošības koeficients ir vismaz 4.2.



6. att. **Rāmja minimālais drošības koeficients**

Pēc iegūtajiem rezultātiem, var secināt, ka solārā elektrovelosipēda rāmis ir drošs un nav nepieciešams veikt izmaiņas velosipēdu rāmja konstrukcijā. Kopējā rāmja drošības koeficients ir vismaz 10, atsevišķās vietās mazāks, kas ir vairāk kā nepieciešams šāda veida velosipēda rāmim. Šāda velosipēda kopējā rāmja masa ir 8.5 kg, ko iespējams samazināt, izmantojot caurules ar samazinātu sienas biezumu. Toties samazinot caurules sienas biezumu, samazināsies velosipēda rāmja kopējā izturība.

Secinājumi

1. Piemērotākais trīsriteņu velosipēdu konstrukcijas veids priekš solārā elektrovelosipēda rāmja ir Tadpole trīsriteņu konstrukcija.

2. Prototips Nr. 3 vislabāk atbilst izvirzīto solāro elektrovelosipēda rāmja prasībām, to tam ir vienkārša konstrukcija un neliels materiālu daudzums.
3. Solārā elektrovelosipēda rāmja masa būs 8.5 kg.
4. Simulācijas rezultātā iegūtais velosipēda rāmja drošības koeficients ir vismaz 4.2.

Izmantotie informācijas avoti

[1] Kurowski P. M. Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2015. SDC Publications, 2015.
[2] "Catrike 700." [online][16.01.2020]. Available at: https://www.catrike.com/700
[3] "Hase Bikes Kettwiesel Performance Trike - RAD-Innovations." [online] [16.01.2020]. Available at: https://www.rad-innovations.com/hase-bikes-kettwiesel.html
[4] "Queensland Recumbent Trikes benefits: comfort and stability on wheels." [online] [11.02.2020]. Available at: https://recumbent.co/recumbent-benefits/.
[5] "SOLIDWORKS Simulation Factor of Safety | SOLIDWORKS." [online] [16.03.2020]. Available at: https://www.solidworks.com/sw/resources/videos/solidworks-simulation-factor-of-safety.htm

UZŅĒMUMA AUTOPARKA IZMAKSU ANALĪZE PĀREJAI UZ ELEKTROTRANSPORTU
ANALYSIS OF CAR FLEET CHARGES FOR THE COMPANY'S TRANSITION TO ELECTRIC TRANSPORT

Jānis Saule
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants
Dainis Berjoza
Zinātniskais vadītājs, profesors, Dr. sc.ing.

Abstract. Today, increasing attention is being paid to the reduction of greenhouse gases (GHG) in all areas of the economy, including transport. Statistics show that transport is one of the largest contributors to GHG emissions. As the number of transport increases, the amount of GHG they generate also increases. Although vehicles with lower fuel consumption are currently being manufactured, they have a significant impact on GHG production, but as the number of vehicles and their distances traveled, the amount of GHG released into the atmosphere remains practically unchanged. The author has carried out a study on the possible transition of fossil fuels to electric vehicle (EV) for vehicles used by Latvenergo AS. Based on the TCO analysis, calculations have been made for the company's transition to EV.

Atslēgas vārdi: transporta parks, elektrotransports, transporta izmeši, elektrospēkrati, siltumnīcefekta gāzes.

Ievads

Šobrīd arvien lielāka uzmanība tiek pievērsta siltumnīcefekta gāzu (SEG) samazināšanai visās tautsaimniecības jomās, tajā skaitā transporta jomā. Statistikas dati liecina, ka transports ir viens no lielākajiem SEG emisiju veidotājiem. Palielinoties transporta skaitam, palielinās arī to radīto SEG daudzums. Lai arī šobrīd tiek ražoti transportlīdzekļi ar mazāku degvielas patēriņu, kas būtiski ietekmē SEG rašanos, tomēr palielinoties transportlīdzekļu skaitam un to nobrauktajiem attālumiem, SEG daudzums, kas nonāk atmosfērā, paliek praktiski nemainīgs.

Uz Latviju, līdzīgi kā uz pārējām Eiropas savienības dalībvalstīm, attiecas Eiropas Parlamenta un Padomes 2014. gada 22. oktobra Direktīva 2014/94/ES par alternatīvo degvielu ieviešanu [1]. Tas nozīmē, ka Latvijai ir jāizstrādā alternatīvo degvielu ieviešanas ilgtermiņa plāns transportlīdzekļiem.

Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģija līdz 2030. gadam [2] nosaka, ka Latvijā ir jāievieš videi draudzīgs transports un jāveicina gan sabiedriskā, gan privātā transporta pāreja uz alternatīviem degvielas veidiem. Lai samazinātu vides piesārņojumu un fosilo degvielu patēriņu, ir piedāvājums pāriet uz tādiem transportlīdzekļu viediem, kas tiek darbināti ar elektrisko piedziņu, hibrīd sistēmu, biogāzi vai biodegvielu. Ir piedāvājums pilsētās ierobežot privātā transporta izmantošanu un, izmantojot fiskālas metodes, ierobežot neracionālu kravas transporta izmantošanu.

Šobrīd AS "Latvenergo" piesaka sevi nozarē, kas strauji attīstās un klientiem tiek piedāvātas elektrotransportlīdzekļu (ETL) ātrās uzlādes stacijas. Uzņēmums norāda [3], ka šajās uzlādes stacijās tiks piedāvāta tikai zaļā enerģija, kas tiek saražota Daugavas HES kaskādēs. Paralēli uzlādes staciju pakalpojuma piedāvāšanai, AS "Latvenergo" izskata veidus, kā uzņēmumā atteikties no fosilās degvielas transportlīdzekļiem un pāriet uz elektrotransportu, kas uzņēmuma vajadzībām izmantotu tikai zaļo enerģiju. Kā norādīts pētījumā [4], publiskā sektora uzņēmumiem ir jārāda piemērs privātajam sektoram, kā attīstīt pāreju uz alternatīvās degvielas izmantošanu.

Pētījuma mērķis: noteikt ekonomisko lietderīgumu uzņēmuma pārejai uz ETL.

Materiāli un metodes

Tika izanalizēta šī brīža situācija Latvijā ETL jomā, transportlīdzekļu skaits, pieauguma prognozes, kā arī ETL uzlādes punktu skaits un pieauguma prognozes.

Lai salīdzinātu ETL un fosilās degvielas transporta izmaksas, tika izanalizēti uzņēmumā uzkrātie dati par transporta parka izmaksām ieskaitot remonta izmaksas, regulāro tehnisko apkopju izmaksas, degvielas izmaksas, nodokļu un nodevu izmaksas. Tika analizēti tikai tie transportlīdzekļi, kas tiek lietoti Rīgā un Rīgas reģionā. Šāda prakse izvēlēta pamatojoties uz transportlīdzekļu ikdienā nobrauktajiem attālumiem un elektrotransporta uzlādes infrastruktūras pieejamību.

Lai prognozētu ETL pilna dzīves cikla izmaksas (TCO) tika pētīta literatūra par ETL dzīvescikla izmaksu aprēķinu un reflektēta personīgā pieredze veicot aprēķinus par transportlīdzekļu uzturēšanu

un apkalpošanu. Tika analizēti pētījumi [5], kuros TCO izmaksu aprēķinā tiek ietvertas vides ietekmes izmaksas un fosilā transporta nodarītais kaitējums uz cilvēku veselību. Analizējot literatūru, kurā veikts pētījums [6], kas analizē lietotāju datus par trīs dažādu segmentu ETL un fosilās degviela transportlīdzekļu salīdzinājumu, tika izvēlēts modelis, ar kādu autors veiks savu datu analīzi. Tika analizēta ETL dīleru sniegtā informācija par transportlīdzekļu regulārajām un obligātajām apkopēm un to izmaksām, kas jāveic transportlīdzekļa garantijas ietvaros. Tā rezultātā tika iegūti dati par ETL TCO, ko bija iespējams salīdzināt ar esošā transporta parka TCO datiem un veikt analīzi izmaksu salīdzināšanā.

Uzņēmuma ekonomiskais lietderīgums pārejai uz ETL tiks noteikts salīdzinot iegūtos TCO datus fosilās degvielas transportlīdzekļiem un ETL. Šajā darbā autors pieņem, ka ekonomiski lietderīgāk ir ekspluatēt tādu transportlīdzekli, kuram ir mazākas TCO izmaksas.

Rezultāti un diskusija

Šobrīd Latvijā reģistrēto ETL skaits ir salīdzinoši neliels. Kā redzams no 1. tabulā esošajiem VAS "Ceļu satiksmes drošības direkcijas" (CSDD) datiem, tad uz 01.01.2020. Latvijā bija reģistrēti 658 ETL, kas uz kopējā vieglo transportlīdzekļu fona ir tikai 0.1 %.

1. tabula

Reģistrēto transportlīdzekļu skaits uz 01.01.2020.

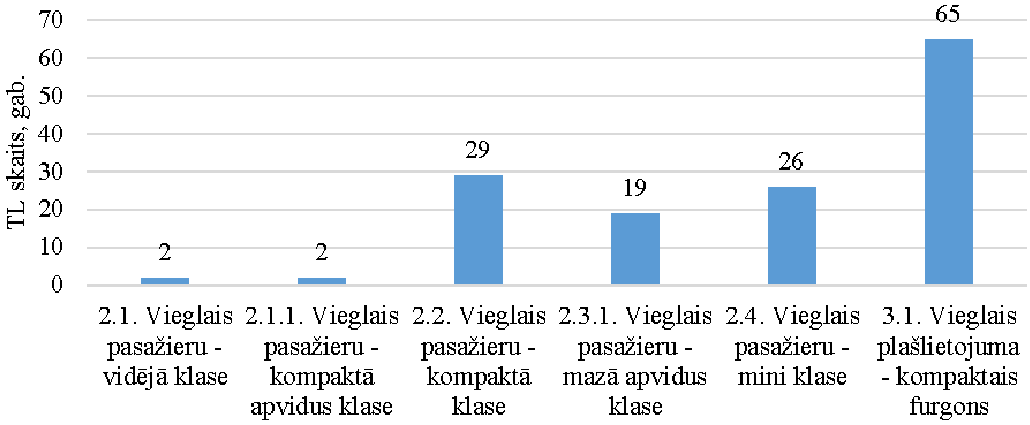
Degvielas veids	Vieglais transports	
	skaits, gab.	% no kopējā skaita
Benzīns	230506	31.7 %
Dīzeļdegviela	447468	61.5 %
Gāze	6	0.0 %
Elektrība un benzīns	111	0.0 %
Elektrība un dīzeļdegviela	23	0.0 %
Elektrība	658	0.1 %
Gāzģenerators	0	0.0 %
Benzīns un gāze	27828	3.8 %
Dīzeļdegviela un gāze	5	0.0 %
Benzīns un naftas gāze	20323	2.8 %
Benzīns un dabas gāze	157	0.0 %
Dīzeļdegviela un naftas gāze	1	0.0 %
Dīzeļdegviela un dabas gāze	0	0.0 %
Naftas gāze	15	0.0 %
Dabas gāze	50	0.0 %
Dabas gāze un naftas gāze	13	0.0 %
Kopā	**727164**	**100.0 %**

Kopš 2011. gada, kad AS "Latvenergo" reģistrēja Latvijā pirmos divus ETL *Fiat Fiorino Electrico* ir pagājuši deviņi gadi un kopējais ETL skaits Latvijā ir audzis. Lielākais pieaugums sākās 2015. gadā, kad uzņēmumiem ETL iegādei tika piešķirts līdzfinansējums 80 % apmērā. Kopš šī brīža ETL skaits Latvijā turpina palielināties, un, kā prognozēts pētījumā [4], tad līdz 2050. gadam optimistiskākā scenārija gadījumā tam būtu jāsasniedz 28.8 % no kopējā transportlīdzekļu īpatsvara. Straujš ETL pieaugums novērojams pēdējā gada laikā, jo to skaits pieaudzis par 198 vienībām un sasniedzis 658 vienības. Pēc AS "Latvenergo" prognozēm [3] tuvāko desmit gadu laikā ETL skaits varētu sasniegt 30 tūkstošus vienības, kas, saglabājoties nemainīgam transportlīdzekļu pieaugumam, varētu sasniegt aptuveni 3 % no kopējā vieglo transportlīdzekļu skaita.

Palielinoties ETL skaitam ir palielājies arī uzlādes punktu skaits. Kā liecina nacionālais elektrouzlādes tīkls e-mobi [7], tad pašlaik Latvijā šajā tīklā darbojas 72 ātrās uzlādes stacijas, kas nodrošina ETL pārvietošanos visā Latvijas teritorijā. Šo uzlādes staciju tīklu uztur CSDD. Līdz 2021. gadam ir plānota uzlādes tīkla paplašināšana, izveidojot ātrās uzlādes staciju tīklu, kas sastāvēs no 150 ātrās uzlādes punktiem. Prognozēts, ka palielinoties ETL skaitam, uzlādes stacijas nodrošinās ne tikai CSDD, bet arī citi pakalpojumu sniedzēji un tādējādi kopējas uzlādes staciju skaits varētu būt vēl

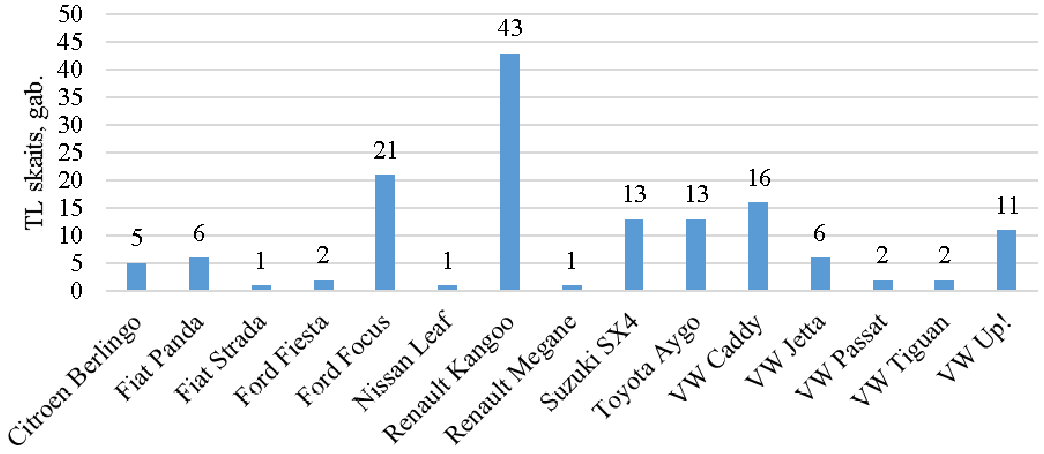
lielāks. Līdz ar to tiks nodrošināta ETL mobilitāte visā Latvijas teritorijā un varētu tikt samazinātas rindas uz ETL uzlādi, kas reizēm ir novērojams šobrīd.

Analizējot datus par uzņēmuma transportlīdzekļiem, tika apkopoti dati par 143 vieglajiem transportlīdzekļiem, kuru bāzes vietas ir Rīgā. Analīze veikta tikai par tiem transportlīdzekļiem, kuru izmantošana ir tikai darba vajadzībām. Kopumā šajā kategorijā ir sešu dažādu specifikāciju transportlīdzekļi, kuru sadalījums parādīts 1. attēlā.



1. att. **Transportlīdzekļu sadalījums pa specifikācijām**

Kā redzams, tad lielākais transportlīdzekļu īpatsvars ir specifikācijā *3.1 Vieglais plašlietojuma – kompaktais furgons*, kas kopā sastāda 65 vienības. Šajā specifikācijā pamatā ietilps *Renault Kangoo* un *VW Caddy* transportlīdzekļi. 2. attēlā ir redzams kopējais transportlīdzekļu sadalījums pa transportlīdzekļu markām un modeļiem.



2. att. **Transportlīdzekļu dalījums pa markām un modeļiem**

Var secināt, ka kopā tiek izmantoti astoņu dažādu marku transportlīdzekļi ar piecpadsmit dažādiem modeļiem. No transportlīdzekļu apkalpošanas viedokļa šāds autoparka modelis ir ļoti nepraktisks, uz ko ir norādījuši arī auditori, un prasa lielu administratīvo resursu to apkalpošanā, jo ir daudz atšķirīgu servisu katrai markai un modelim, kas tos apkalpo.

Transporta parka vienādošanai lietderīga būtu darba vajadzībām izmantojamo transportlīdzekļu specifikāciju apvienošana. Sešas esošās specifikācijas aizstāt ar trim un turpmākās transportlīdzekļu iegādes veikt tikai šajās specifikācijās. Piedāvātais specifikāciju apvienojums un jaunais dalījums redzams 2. tabulā.

Turpmākā pētījuma gaitā datu analīze un salīdzinājums ar potenciālajiem ETL tiks veikts šādā dalījumā. Visiem transportlīdzekļiem ir veikta maksājumu rēķinu datu analīze par 2019. gadu, kas parāda vidējās remonta izmaksas katram transportlīdzeklim gada griezumā. Šajā gadījumā pie remonta izmaksām tiek pieskaitītas visas transportlīdzekļa plānoto regulāro tehnisko apkopju izmaksas un neplānoto bojājumu vai normāla nolietojuma remonta izmaksas. Visi izmaksu dati tiks atspoguļoti summās bez PVN. Analizējamie transportlīdzekļi ir dažāda vecuma un ar dažādiem nobraukumiem,

tāpēc iegūtos datus var izmantot pilnvērtīgai analīzei, neveidojot datu analīzes par katru gadu. 3. tabulā redzamas gada kopējās remonta izmaksas katrai no apvienotajām transportlīdzekļu specifikācijām, kā arī vidējās remonta izmaksas uz 100 nobrauktajiem kilometriem.

2. tabula

Jaunais specifikāciju dalījums

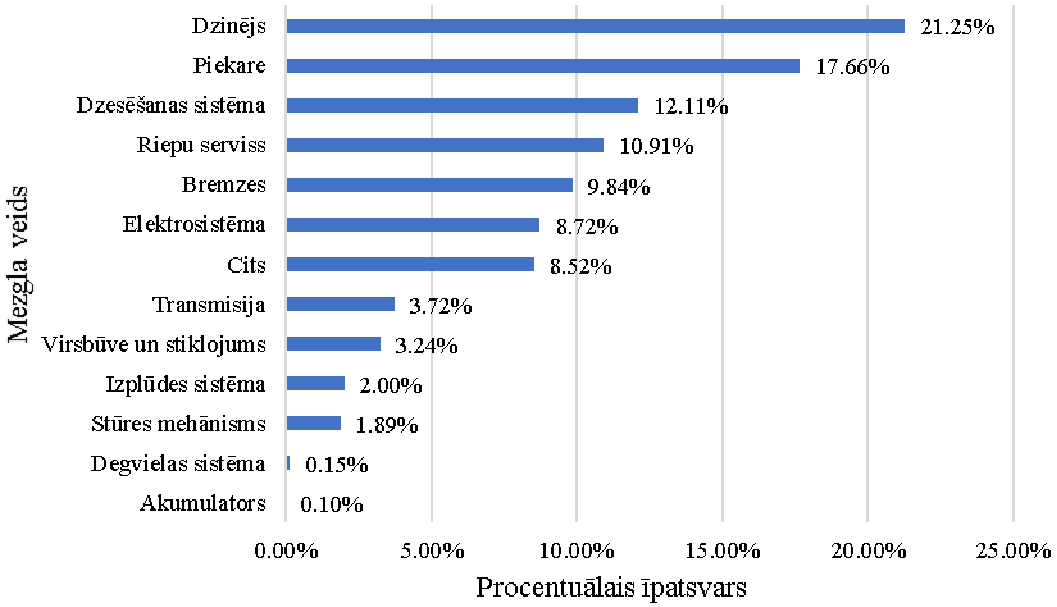
Esošās specifikācijas	Jaunā apvienotā specifikācija
2.1. Vieglais pasažieru – vidējā klase	Vieglais pasažieru – kompaktā klase
2.1.1. Vieglais pasažieru – kompaktā apvidus klase	
2.2. Vieglais pasažieru – kompaktā klase	
2.3.1. Vieglais pasažieru – mazā apvidus klase	Vieglais pasažieru – mini klase
2.4. Vieglais pasažieru – mini klase	
3.1. Vieglais plašlietojuma – kompaktais furgons	Vieglais plašlietojuma – kompaktais furgons

3. tabula

Vidējās remonta izmaksas

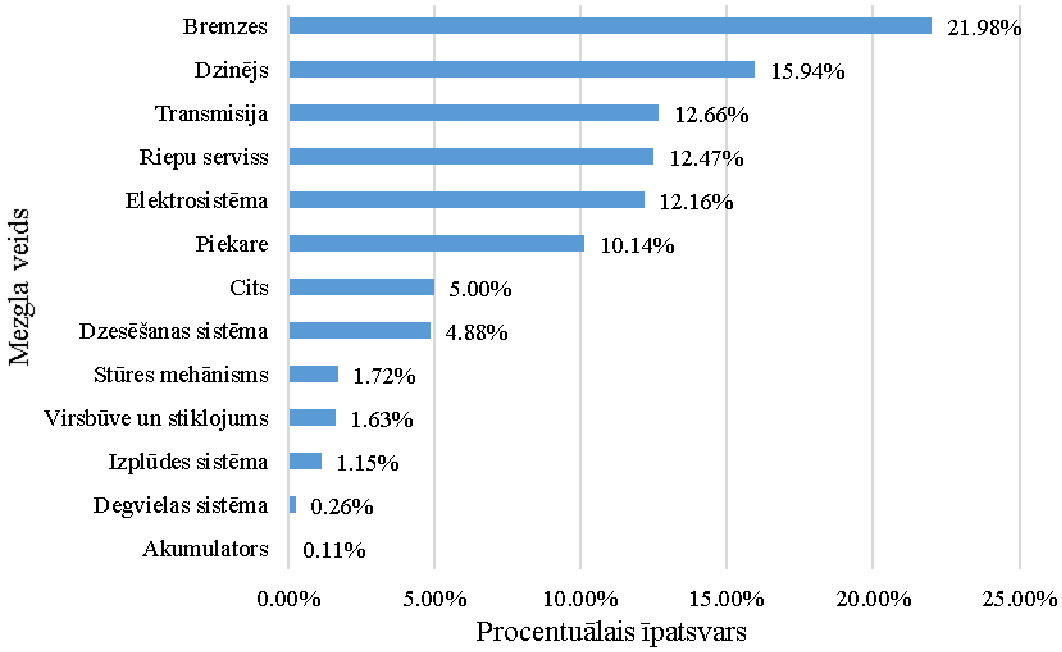
Specifikācija	2019. gada vidējās remontizmaksas, EUR	2019. gada vidējais nobraukums, km	2019. gada vidējas remontizmkasas EUR·100km^{-1}
Vieglais pasažieru – kompaktā klase	451.00	9 112.00	4.95
Vieglais pasažieru – mini klase	379.00	7 077.00	5.35
Vieglais plašlietojuma – kompaktais furgons	574.00	9 454.00	6.07

Kā redzams, tad izmaksas katrā specifikācijā atšķiras, bet nav redzama tieša sakarība starp vidējā nobraukuma un remontizmaksu palielināšanos. Mazākās izmaksas ir *Vieglais pasažieru – kompaktā klase*, tas varētu būt skaidrojams, ka šos transportlīdzekļus izmanto administrācijas vajadzībām un ar tiem netiek pārvadātas darba iekārtas un instrumenti. Lai korekti salīdzinātu esošās remontizmaksas ar potenciālajām ETL remontizmaksām, ir nepieciešams izmaksu atšifrējums pa remontu mezgliem, jo ETL motora mezgli atšķiras no fosilā kurināmā motora mezgliem. 3. attēlā ir atšifrētas specifikācijas *Vieglais pasažieru – kompaktā klase* remontizmaksas un to sadalījums pa mezgliem.



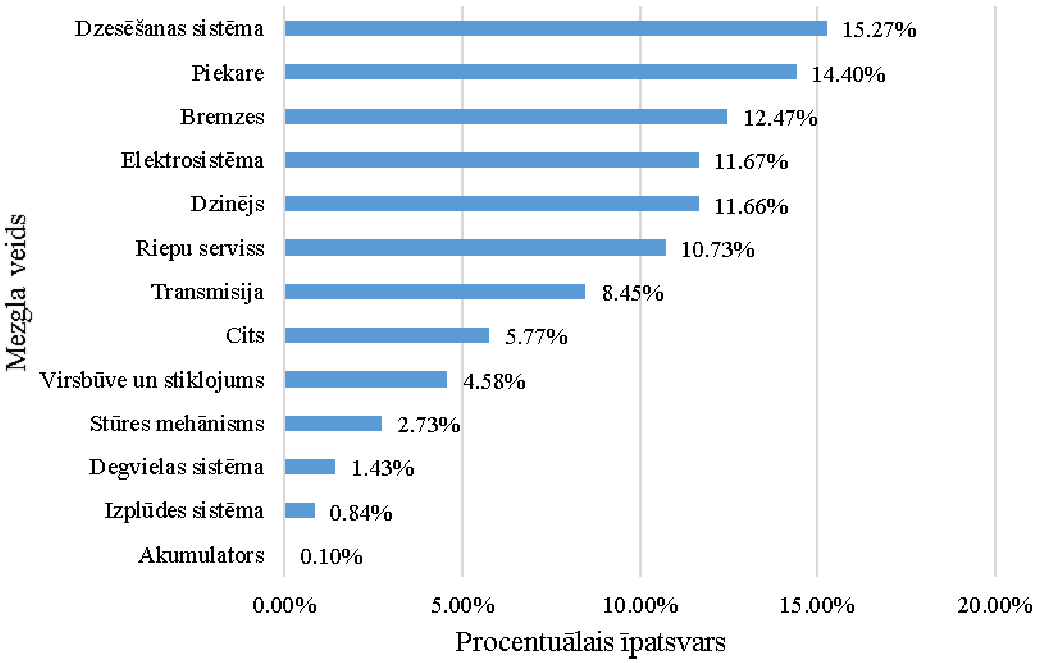
3. att. **Remontu un apkopju īpatsvars 2019. gadā pēc mezglu veida specifikācijai *Vieglais pasažieru – kompaktā klase***

Ir redzams, ka šīs specifikācijas lielākas remontizmaksas veidojas sadaļā dzinējs, kas ir saistīts ar dzinēja regulārajam tehniskajām apkopēm un remontiem. Šīs izmaksas sastāda 21.25 % no kopējām transportlīdzekļa remontu izmaksām, kas ir ievērojams lielums. Kā norāda ražotāji, tad ETL dzinēja apkopes nav jāveic, bet mans pieņēmums ir, ka ilgtermiņā lietojot transportlīdzekli, arī elektromotoram var rasties bojājumi, kas būs jānovērš par uzņēmuma līdzekļiem. 4. attēlā ir remontizmaksu atšifrējums specifikācijai *Vieglais pasažieru – mini klase*.



4. att. **Remontu un apkopju īpatsvars 2019. gadā pēc mezglu veida specifikācijai *Vieglais pasažieru – mini klase***

No attēla redzams, ka remontu specifika atšķiras un lielākais remontu īpatsvars ir sadaļā bremzes, kas šai specifikācijai sastāda 21.98 % no kopējām izmaksām. ETL ir aprīkoti ar reģeneratīvo bremzēšanas iekārtu, kas samazina darba bremžu dilšanu un to remontizmaksas. 5. attēlā ir datu apkopojums *Vieglais plašlietojuma – kompaktais furgons* specifikācijas transportlīdzekļiem.



5. att. **Remontu un apkopju īpatsvars 2019. gadā pēc mezglu veida specifikācijai *Vieglais plašlietojuma - kompaktais furgons***

Šajā specifikācijā lielākās izmaksas 2019. gadā ir veidojušās, remontējot dzesēšanas sistēmu, kopējais šo izmaksu īpatsvars ir bijis 15.27 %.

Ņemot vērā ETL uzbūvi un ekstrapolējot iegūtos datus, var pieņemt, ka kopējās ETL remontizmaksas samazināsies par 20 % no kopējām remontizmaksām. ETL iztrūkst tāda galvenā mezgla kā iekšdedzes motors, tam ir citādāka dzesēšanas sistēma, nav sajūga un mazāk dilst bremzes, bet ir krietni vairāk elektrisko ķēžu un augstsprieguma mezglu, kas ilgtermiņa lietošanā var radīt salīdzināmas izmaksas. Viens no dārgākajiem ETL mezgliem ir tā akumulatoru baterija, kas regulāri tiek lādēta un izlādēta. Ja transportlīdzekļi tiek lietoti ilgāk nekā tiem ir garantijas termiņš, tad baterijas nomaiņa var radīt ļoti būtiskas izmaksas. Uzņēmumam ir bijusi šāda pieredze, kurā tika veikta akumulatoru baterijas nomaiņa *Fiat Fiorino Electrico* – baterijas cena pārsniedza tehniskā kārtībā esoša transportlīdzekļa tirgus cenu.

Pamatojoties uz 3. tabulā redzamajiem vidējiem gada nobraukumiem, var secināt, ka jebkuru no esošajām specifikācijām ir iespējams aizstāt ar ETL, jo nevienā specifikācijā transportlīdzekļa vidējais dienas nobraukums nav lielāks par 40 kilometriem. Lai aizstātu šobrīd parkā esošos fosilās degvielas transportlīdzekļus ar ETL, ir izvēlēti trīs dažādu specifikāciju ETL, kas pēc tehniskajiem parametriem un aprīkojuma atbilst šobrīd AS "Latvenergo" transporta parkā esošajiem transportlīdzekļiem. Izvēlēto ETL galvenie parametri ir parādīti 4. tabulā.

4. tabula

ETL galvenie parametri

Parametrs	VW e-up!	Nissan Leaf	Nissan e-NV200
Cena, EUR bez PVN	16 987.60	33 742.69	34 150.00
Ar vienu uzlādi nobraucamais attālums, km	260.00	385.00	301.00
Elektrības patēriņš, $kWh \cdot 100km^{-1}$	12.70	18.50	25.90
Dzinēja jauda, kW	61.00	160.00	80.00

Kā redzams, tad piedāvātajiem transportlīdzekļiem nobraucamais attālums ar vienu uzlādi pilnībā apmierina un pat pārsniedz nepieciešamās prasības, tādēļ izvēlētie transportlīdzekļi ikdienā neradītu papildus neērtības ar to uzlādes biežumu.

Turpmāk tiks veikta parkā esošo transportlīdzekļu salīdzinājums ar eventuālajiem ETL. No šobrīd parkā esošajiem transportlīdzekļiem, izmaksu salīdzināšanai, ir izvēlēti pēdējos iepirkumos iegādātie *VW UP!*, *Ford Focus* un *Renault Kangoo*. 5. tabulā redzamas parkā esošo transportlīdzekļu iegādes vērtības, par kādām AS "Latvenergo" ir iegādājies minētos transportlīdzekļus, un to patreizējā tirgus vērtība pieņemot, ka transportlīdzekļi tiks ekspluatēti piecus gadus un to vidējais nobraukums būs tāds, kā redzams 3. tabulas datos. Šobrīd piecu gadu vecumu ir sasnieguši visi uzņēmumā esošie *VW UP!*, jo tie tika iepirkti 2014. gadā.

5. tabula

Esošo transportlīdzekļu iegādes cenas un vērtības kritums

TL marka, modelis	Jauna TL cena, EUR	5 gadus lietota TL tirgus cena, EUR	Vērtības kritums, EUR
VW UP!	8 480.00	5 200.00	3 280.00
Ford Focus	11 340.00	8 100.00	3 240.00
Renault Kangoo	12 410.00	9 500.00	2 910.00

Lietoto transportlīdzekļu cenas iegūtas tirgus analīzes rezultātā, kur dati tika apkopoti no dažādiem interneta resursiem, kuros tiek piedāvāti lietoti transportlīdzekļi. Tika analizēti vietējie portāli un tajos piedāvātie transportlīdzekļi [8] un lielākie ārvalstu portāli [9] un to piedāvājums. Datu atlasē tika izmantoti transportlīdzekļu vecuma, nobraukuma un aprīkojuma līmeņa kritēriji, kas atbilst šobrīd parkā esošajiem transportlīdzekļiem.

Identisks salīdzinājums veikts eventuālajiem ETL, pieņemot, ka tos ekspluatēs piecus gadus un nobraukumi būs līdzīgi. Šie dati redzami 6. tabulā. Kā redzams, tad vērtības kritums ir krietni ievērojamāks un turpmākajos aprēķinos atsauksies uz viena kilometra izmaksām.

6. tabula

ETL transportlīdzekļu iegādes cenas un vērtības kritums

TL marka, modelis	Jauna TL cena, EUR	5 gadus lietota TL tirgus cena, EUR	Vērtības kritums, EUR
VW e-UP!	16 988.00	10 300.00	6 688.00
Nissan Leaf 60kWh	33 743.00	12 300.00	21 443.00
Nissan Leaf 40kWh	30 479.00	10 744.00	19 735.00
Nissan E-NV200	34 150.00	14 400.00	19 750.00

Degvielas izmaksu aprēķini ir balstīti uz faktiskajiem degvielas patēriņiem un salīdzināti ar teorētiskajām degvielas izmaksām, kādas varētu būt ETL. Aprēķinos pieņemtā degvielas cena ir 1.028 EUR·l^{-1} bez PVN. Degvielas cena fiksēta SIA "Virši A", kas ir pašreizējais AS "Latvenergo" degvielas piegādātājs, degvielas uzpildes stacijā Sauriešos, Stopiņu novadā, kur tā bija viszemākā 27.02.2020. Aprēķiniem pieņemtā elektrības cena ir 0,115 EUR/kWh bez PVN.

Ekspluatācijas izmaksu kopsavilkums dots 7. tabulā, apkopojot transportlīdzekļu fiksētās un mainīgās izmaksas 5 gadu periodā. Lai uzskatāmāk redzētu izmaksu struktūru, tās attēlotas uz simts nobrauktajiem kilometriem.

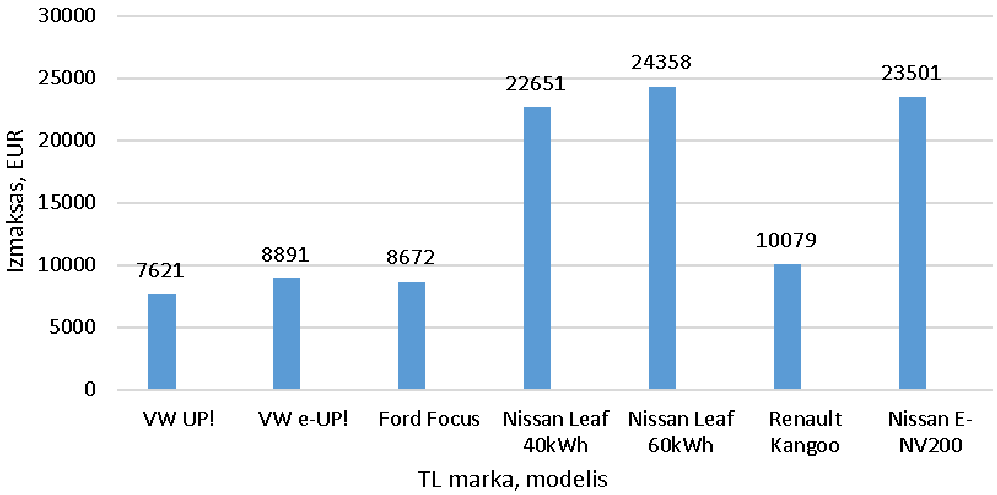
7. tabula

Ekspluatācijas izmaksu kopsavilkums

Izmaksu veids	VW UP!	VW e-UP!	Ford Focus	Nissan Leaf 40kWh	Nissan Leaf 60kWh	Renault Kangoo	Nissan E-NV200
TL izmaksas, EUR·100km^{-1}	9.37	19.11	7.20	43.86	47.65	6.47	43.89
Nodokļi, EUR·100km^{-1}	0.18	0.00	0.53	0.00	0.00	1.33	0.00
Tehniskās apskates, EUR·100km^{-1}	0.32	0.32	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Fiksētās izmaksas kopā, EUR·100km^{-1}	**9.87**	**19.43**	**7.99**	**44.11**	**47.90**	**8.05**	**44.14**
Apkopju un remontu izmaksas, EUR·100km^{-1}	5.40	4.50	4.90	4.08	4.08	6.10	5.08
Degvielas izmaksas, EUR·100km^{-1}	6.51	1.47	6.38	2.14	2.14	8.25	3.00
Mainīgās izmaksas kopā, EUR·100km^{-1}	**11.91**	**5.97**	**11.28**	**6.23**	**6.23**	**14.35**	**8.08**
Kopējās izmaksas, EUR·100km^{-1}	**21.78**	**25.40**	**19.27**	**50.33**	**54.13**	**22.40**	**52.23**

Kā redzams, tad vislielākās izmaksas uz nobrauktajiem simts kilometriem ir *Nissa Leaf 60kWh*. Tas izskaidrojams ar visaugstāko iegādes cenu, no kā arī veidojas lielas kopējās izmaksas. Salīdzinājumam tika veikts arī aprēķins *Nissa Leaf 40kWh*. No iegūtajiem datiem redzams, ka šī transportlīdzekļa izmaksas uz simts kilometriem ir tikai par 10 % zemākas, kas atbilst iegādes cenas procentuālajai starpībai. Šobrīd pastāv regulējums, ka ETL īpašnieki ir atbrīvoti no transportlīdzekļu ekspluatācijas nodokļa maksāšanas, bet tas nedod būtisku efektu uz izmaksu samazinājumu.

Piecu gadu TCO ir redzamas 6. attēlā. No attēla redzams, ka ekspluatācijā ekonomiski lietderīgākais transportlīdzeklis ir *VW UP!*, bet visnelietderīgākais ir *Nissan Leaf 60kWh*. Salīdzinājumam *Nissan Leaf 40kWh* ir ekspluatācijā nedaudz lētāks, bet tas ir ekonomiski neizdevīgāks par savas specifikācijas tuvāko konkurentu *Ford Focus*, kas tiek darbināts fosilo degvielu. Izņemot specifikāciju *Vieglais pasažieru – mini klase,* pārējās divās transportlīdzekļu specifikācijās ETL ekonomiskais lietderīgums nav saskatāms.



6. att. **Transportlīdzekļu piecu gadu TCO**

Secinājumi

1. Uzņēmuma pāreju uz ETL ieteiktu sākt specifikācijā *Vieglais pasažieru - mini klase,* jo šīs klases ETL TCO izmaksas ir salīdzināmas ar fosilās degvielas transportlīdzekļu TCO izmaksām.
2. Transporta parkā, pārejot uz piedāvāto ETL scenāriju, vienkāršotos to apkalpošana, jo samazinātos izmantojamo marku un modeļu skaits, kas nākotnē varētu samazināt administratīvās izmaksas transportlīdzekļu apkalpošanā.
3. Pārejot uz ETL, uzņēmumam rastos papildus izmaksas, kas saistītas ar ETL uzlādes vietu izbūvi. Ņemot vērā to, ka transportlīdzekļi tiek izmantoti tikai darba laikā un darba vajadzībām, tad to uzlādi var veikt pie parastas rozetes ar lēno lādēšanu, jo transportlīdzekļi var atrasties pie lādēšanas iekārtām no 17:00 līdz nākamās dienas 8:00, tas ir 15 stundas. Uzlādei nav nepieciešams izbūvēt ātrās uzlādes stacijas.
4. Šobrīd visa transporta parka nomaiņai uz ETL ir nepieciešamas lielas investīcijas, jo transportlīdzekļi ir salīdzinoši dārgi.

Izmantotie informācijas avoti

[1] Eiropas Padome. EP un ES direktīva 2014/94/ES par alternatīvo degvielu infrastruktūras ieviešanu. Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis L 307/1, 28.novembris, 2014. 20. lpp.
[2] Latvijas Republikas Saeima. Latvijas ilgtspējīgas attīstības stratēģija līdz 2030. gadam. Rīga, 2010. [online] [20.02.2020]. Available at: http://polsis.mk.gov.lv/documents/3323
[3] Žaime I. Latvenergo atklāj 3 jaunas elektroauto uzlādes stacijas, 2019. [online] [20.02.2020]. Available at: https://www.db.lv/zinas/latvenergo-atklaj-3-jaunas-elektroauto-uzlades-stacijas-490414
[4] Reķis J., Šmigins R., Gailis M., Klāvs G. Pētījums par Eiropas Parlamenta un Padomes 2014. gada 22. oktobra Direktīvas 2014/94/ES par alternatīvo degvielu ieviešanu scenārijiem autotransporta sektorā. Rīga, PricewaterhouseCoopers SIA, 2018.
[5] Messagie M., Lebeau K., Coosemans T., Macharis C., van Mierlo J. Environmental and financial evaluation of passenger vehicle technologies in Belgium. Sustainability (Switzerland), 5(12), 2013, pp. 5020-5033. DOI: 10.3390/su5125020
[6] De Clerck Q., van Lier T., Messagie M., Macharis C., Van Mierlo J., Vanhaverbeke L. Total Cost for Society: A persona-based analysis of electric and conventional vehicles. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 64(February), 2018, pp. 90-110. DOI: 10.1016/j.trd.2018.02.017
[7] E-mobi uzlādes staciju tīkls. [online] [20.02.2020]. Available at: http://www.e-transports.org/index.php/features-mainmenu-47/team/95-uzlades-punkti
[8] Latvijas sludinājumu portāls. [online] [20.02.2020]. Available at: https://www.ss.lv/lv/transport/cars/
[9] Vācijas lielākais transportlīdzekļu sludinājumu portāls. [online] [20.02.2020]. Available at: https://suchen.mobile.de/fahrzeuge/search.html?lang = en

RŪPNIECISKI KONSTRUĒTIE PĀRVIETOJAMIE RULĻU BREMŽU STENDI UN TO SALĪZINĀJUMS
INDUSTRIALLY MANUFACTURED MOBILE ROLLER BRAKE STANDS AND COMPARISON OF THEM

Aivis Jaškovskis
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants
Aivars Birkavs
asociētais profesors, Dr.sc.ing.

Abstract. Nowadays, when driving safety is such a topical matter vehicle tests are carried out even outside of workshops and inspection stations. For that vehicles testing equipment manufacturers are producing special, compact and easy to transport equipment which you can use even on roadside. In this study there is a comparison of three industrially manufactured mobile roller brake stands' construction, measurements range and accuracy and options of controlling. Study was done by comparing information in manufacturer's data sheets. Most mobile roller brake stands are intended for heavy trucks. Main problem for this equipment is that there is need for outer power source and that makes it difficult to transport them.

Atslēgas vārdi: ruļļi, bremžu pārbaude, bremzēšana, ruļļu stends, pārvietojamie, rūpnieciski konstruēti.

Ievads

Automobiļu darbnīcu un tehniskā stāvokļa novērtēšanas posteņu ierīkošanā mūsdienās izmantotas dažādas iekārtas, kas atvieglo veicamo darbu. Gandrīz katrs automobiļu darbnīcu aprīkojuma ražotājs tirgū piedāvā savus ruļļu bremžu stendus. Tos var iedalīt divās grupās – grīdā iebūvējamie un pārvietojamie stendi. Visbiežāk šādus stendus izmanto autoremontdarbnīcās, kurās tie iebūvēti grīdā. Bet gadās situācijas, kad stendu nepieciešams izmantot vietās, kur tā izmantošana nav ierasta. Šajos gadījumos izmanto pārvietojamos bremžu stendus, piemēram, veicot ārpuskārtas automobiļa tehniskā stāvokļa novērtējumus uz ceļa. Pētījuma mērķis ir apzināt tirgū pieejamos pārvietojamos bremžu stendus. Izvēlēties trīs un salīdzināt dažādus to parametrus.

Pētījumā apzināti vairāki tirgū pieejamie, lielo ražotāju konstruētie stendi. Sīkāk izpētīti trīs ražotāju piedāvājumi – *"BM Test Equipment BM20200", "Hartex engineering MBT 5251" un "Sherpa BPS Mobile"*, 1. attēls. Izmantojot pieejamo iekārtu specifikāciju, tika apkopota sekojoša informācija:

- iekārtas konstrukcija;
- mērījuma diapazons un precizitāte;
- kontroles iespējas.

1. att. **Ruļļu bremžu stendi "BM Test Equipment BM20200", "Hartex engineering MBT 5251" un "Sherpa BPS Mobile"**

Bremzēšanas parametru noteikšanai izmanto dažādas metodes – mērot automobiļa bremzēšanas ceļa garumu, palēninājumu izmantojot deselerometrus, kā arī bremzēšanas spēku izmantojot plākšņu tipa bremžu stendus vai biežāk ruļļu tipa bremžu stendus. Ruļļu tipa bremžu stendu izvēle izskaidrojama ar to kompaktumu un lietošanas ērtību.

Materiāli un metodes

BM Test Equipment BM20200 ir transportējams ruļļu bremžu stends vieglo un smago automobiļu bremžu sistēmas pārbaudei. Šajā stendā iebūvēta asu slogošanas sistēma, kura dod iespēju noslogot

mērāmo transportlīdzekļa asi ar slodzi, kas atbilst līdz pat 20 tūkst. kg. Starp šiem trim stendiem šim tiek piedāvāts vislielākais kopējais ruļļu garums, kas nodrošina ērtu uzbraukšanu uz tiem. Kā arī ruļļu augstums no zemes ir tikai 160 mm, kas dod iespēju pārbaudīt transportlīdzekļu ar mazu klīrensu, piemēram, pilsētu satiksmes autobusus, kam ir zema grīda. Šis stends piedāvā plašu modifikāciju klāstu, kurā mainās ruļļu garumi, motoru jaudas, ātrums, ar kādu tiek iegriezti ruļļi.

Hartex engeneering piedāvātais mobilais ruļļu bremžu stends *MBT 5251* šo stendu starpā izceļas ar to, ka jau standarta stenda versijā tajā ir iebūvēti hidrocilindri stenda nocelšanai no platformas, uz kuras to transportē. Līdzīgu risinājumu piedāvā arī *BM Test Equipment BM20200* stendam, bet tas jau ir papildaprīkojums. Vēl viens liels pluss šai iekārtai ir tas, ka tajā ir iebūvētas platformas riteņu spēles noteikšanai. Bet pati galvenā un nozīmīgākā priekšrocība ir tā, ka tajā jau ir iebūvēts elektroģenerators.

Sherpa BPS Mobile stendā arī ir iebūvēta asu slogošanas sistēma, kas slogo testējamo asi ar slodzi, kas atbilst 18 tūkst. kg. Aplūkoto stendu starpā šis ir kompaktākais stends. Taču jāņem vērā, ka tas nepiedāvā tādas funkcijas kā citi aplūkotie bremžu stendi.

Izmantojot analoģisko salīdzināšanas metodi, pētījumā salīdzināti bremžu stendu gabarīti, ruļļu pārklājumi, piedziņa, mērapjoms un mērīšanas precizitāte, kā arī kontroles un mērījumu atspoguļošanas iespējas. Šo iepriekš minēto parametru iegūšanai izmantota pieejamā informācija, gan ražotāja, gan izplatītāju mājaslapās un piedāvātajos bukletos. Apkopotā informācija atspoguļota tabulu veidā. Lai veiktu analīzi, tabulās esošo informāciju salīdzina un nosaka, kuram bremžu stendam ir kādas priekšrocības.

a) b)

2. att. **Bremžu stendu vadības aplikācijas:** a – BM Test Equipment BM20200; b – Sherpa BPS Mobile

Rezultāti un diskusija

Izvēlēto ruļļu bremžu stendu dokumentācijas izpētes rezultātā tika sastādītas tabulas, kurās uzskaitīti dažādi stendu parametri. Katrā tabulā apkopoti noteikti parametri, analizēti tie un dots vērtējums, kurš, no šiem stendiem, dod plašākās iespējas transportlīdzekļu tehniskā stāvokļa novērtēšanai reidu laikā.

Pārvietojamo ruļļu bremžu stendu rāmji izgatavoti no tērauda kvadrātcaurulēm un pēc izgatavošanas cinkots vai krāsots. Lai nodrošinātu transportlīdzekļu uzbraukšanu un nobraukšanu no ruļļiem, izmanto rampas, kas izgatavotas no nerūsējošā tērauda. Atkarībā no stenda šīs rampas ir pievienotas rāmim ar eņģes starpniecību vai arī tiek vienkārši pieliktas, vai pieskrūvētas rāmim.

Automobiļu tehniskās apkalpošanas aprīkojuma ražotāja *BM Autoteknik A/S* ruļļu bremžu stendam *BM Test Equipment BM20200* tiek piedāvāti trīs varianti ar dažādiem gabarītizmēriem, kas doti 1. tabulā. Ražotājs piedāvā trīs dažādus ruļļu garumus, līdz ar to klientam ir iespēja izvēlēties viņam piemērotāko stendu atkarībā no transportlīdzekļu, kuri tiks testēti, platuma. Izvēloties garākus ruļļus attiecīgi, pieaug arī stenda platums. Pārējie no šiem ražotājiem piedāvā vienu variantu katram stendam. Palielinoties ruļļa garumam, tiek atvieglota uzbraukšana uz tiem, taču jāņem vērā, ka tas palielina kopējos gabarītus, kā rezultātā transportēšana paliek sarežģītāka. Aplūkojot ruļļu diametrus redzams, ka *BM Autoteknik A/S* un *Sherpa* ražotajiem stendiem ruļļu diametrs ir 150 mm, bet *Hartex engeneering* – 130 mm [1]. Lielāks ruļļu diametrs nodrošina lielāku saķeres laukumu ar automobiļa riteni. Ruļļu augstums no zemes ir svarīgs parametrs, ja uz stenda plānots pārbaudīt transportlīdzekļus

ar zemu klīrensu. Pieaugot ruļļu starp centru attālumam, pieaug spēks, kāds nepieciešams, lai nobremzētu ruļļus [2]. Līdz ar to var secināt, ka *Hartex engineering MBT 5251* dod iespēju nomērīt lielāko bremzēšanas spēku.

Aplūkojamo iekārtu konstrukciju parametri aplūkojami 1. tabulā.

1. tabula

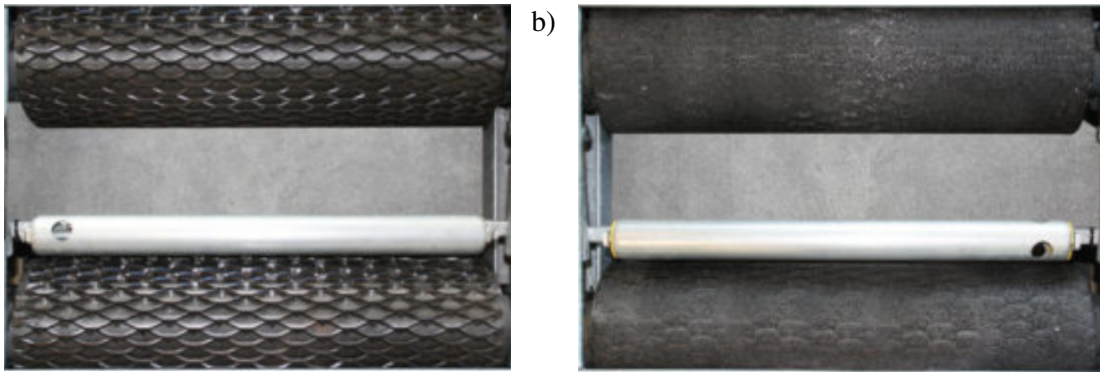
Iekārtu konstrukciju tehniskie parametri

Stends	Stenda gabarīti (G×P×A), mm	Ruļļu garums, mm	Ruļļu diametrs, mm	Ruļļu augstums no zemes, mm	Ruļļu starp centru attālums, mm	Masa, kg
BM Test Equipment BM20200	3465×4240×505	1000	150	160	430	1250
	3465×4740×505	1250				
	3465×5440×505	1600				
Hartex engineering MBT 5251	3400×4850×170	1200	130	170	450	3000
Sherpa BPS Mobile	2720×4650×150	1000	150	-	410	-

Ruļļi ir viena no svarīgākajām šo stendu sastāvdaļām, jo nodrošina ceļa imitāciju, pārnes bremzēšanas spēku no automobiļa riteņiem uz mērierīcēm. Parasti ruļļi izgatavoti no tērauda caurules, kurā iemetinātas pastiprinājuma ribas.

BM Test Equipment BM 20200 stenda ruļļi ir izgatavoti no augstas kvalitātes tērauda, kas pēc izgatavošanas karsti cinkots. Ruļļiem pa aploci piestiprināts tērauda siets. Šādi ruļļi paredzēti radžotu un vasaras riepu testēšanai. Otrā ruļļu variantā siets pārklāts ar krama akmeņu bauksīta maisījumu, lai testētu vasaras riepas, 3. attēls. Ruļļu virsmas berzes koeficients 0.7 sausam rullim un 0.6 slapjam rullim. Šāds berzes koeficients atbilst mitram asfalta segumam [3;4].

a) b)



3. att. **"BM Test Equipment BM20200" ruļļi:** a – ruļļi ar tērauda sietu, b – ruļļi ar tērauda sietu un krama akmeņu bauksīta pārklājumu

Hartex engineering MBT 5251 stenda ruļļi izgatavoti no tērauda, kas pēc izgatavošanas cinkoti. Standarta variantā ruļļi pārklāti ar pulverkrāsu, bet iespējama ruļļu pārklāšana ar plastmasu. Ražotāja specifikācijās netiek dota informācija par ruļļu berzes koeficientu.

Sherpa BPS Mobile ruļļi izgatavoti no cinkota tērauda. Lai nodrošinātu riepu neizslīdēšanu, ruļļi pārklāti ar granulētu materiālu, 4. attēls. Ruļļu berzes koeficients atbilst sausam asfalta un betona segumam, 0.9 sausam rullim un 0.8 slapjam rullim [3;5].

Aplūkojot iekārtu masas, redzams, ka tās ir lielākas par 1000 kg. Hartex engineering MBT 5251 masa ir visaugstākā, taču jāņem vērā, ka tajā jau standarta variantā ir iekļautas opcijas, kas nav citiem aplūkotajiem stendiem. Viena no tām, kas pārvietojamam stendam ir ļoti nozīmīga, tajā jau ir iebūvēts elektroģenerators. Pateicoties tam, nav nepieciešams vest līdzi papildu ģeneratoru, ja stends tiek izmantots izbraukuma pārbaudēs.

4. att. **"Sherpa BPS Mobile" ruļļi**

Iekārtas aprīkotas ar diviem trīsfāzu motoriem, kas dažādās iekārtu komplektācijās pieejami ar jaudu no 2.2 līdz 15 kW. Jaudas pārvadīšanai izmantoti planetārie vai zobratu pārvadi. Šāda piedziņa nodrošina bremzēšanas spēka pārbaudi no 36 līdz 60 kN. Informācija par aplūkojamo stendu elektropiedziņu un izmantoto pārvadu tipu un stendu precizitāti skatīt 2. tabulā.

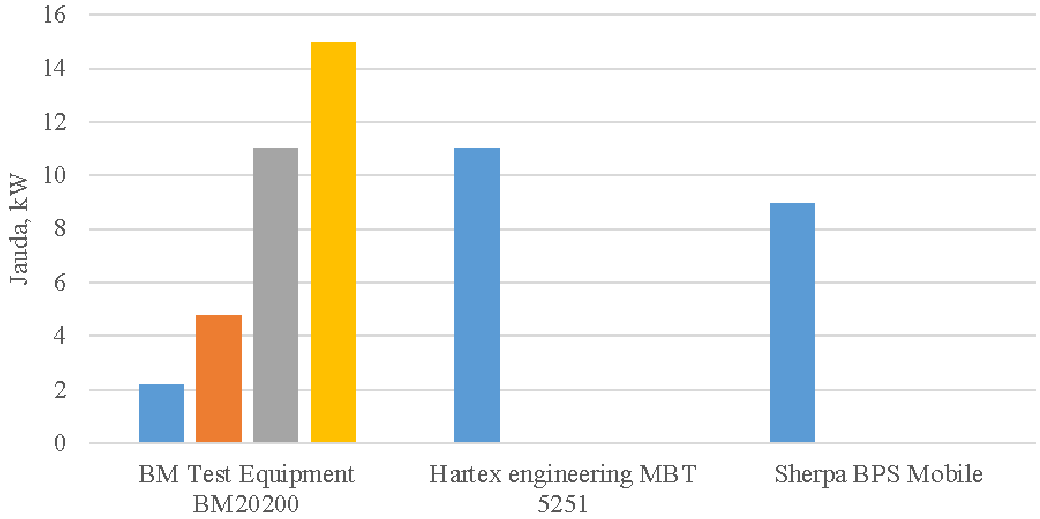
2. tabula

Stendu elektropiedziņa un mērāmo spēku robežas

Stends	Nepieciešamais elektropieslēgums	Pārvada tips	Precizitāte, % no mērapjoma
BM Test Equipment BM20200	3 x 400 Vac + N + PE, Min. 16/25/50/80 A vai 3 x 230 Vac + PE, Min. 20/50/80/125 A	Zobratu	2
Hartex engineering MBT 5251	3 x 400V/N/PE 50/60 Hz, 63 A	-	2
Sherpa BPS Mobile	3 x 400V/N/PE 50/60 Hz, 63 A	Planetārais	2

Aplūkojot 2. tabulu redzams, ka bremžu stendi tiek aprīkoti ar trīsfāzu elektromotoriem. Tas izskaidrojams ar to, ka tie attīsta lielāku griezes momentu. To lietderības koeficients ir ļoti augsts, elektromotoriem ar lielu jaudu tas sasniedz pat 0.95 [6]. BM Test Equipment BM20200 stendu iespējams lietot arī 230V elektroapgādes tīklā, pateicoties tam, ka tiek izmainīts elektromotora tinumu slēgums.

Izmantotie pārvadu tipi ir ar ļoti augstu lietderības koeficientu – 0.98, kas nodrošina mazus jaudas zudumus pārvados [7]. Planetārie zobratu pārvadi dod iespēju iegūt lielas pārnesumu attiecības, tajā pašā laikā nodrošinot mazus gabarītus un masu [8]. No šāda viedokļa planetārie pārvadi ir piemērotākie pārvietojamiem bremžu stendiem.



5. att. **Bremžu stendu pārvadu jaudas**

No 5. attēla var pieņemt, ka šādu bremžu stendu, kas pamatā paredzēti smagās tehnikas testēšanai, pārvadu jauda ir 11 kW. Taču *BM Autoteknik A/S* ražotajam stendam iespējamas konfigurācijas, līdz ar to iespējams izvēlēties pārvadu jaudu, pielāgojoties vajadzībām.

Pārvada jauda ietekmē maksimālo nomērāmo bremzēšanas spēku. Taču jāņem vērā tas, ka palielinot maksimālo bremzēšanas spēku pieaug stenda gabarīti un masa. Maksimālie bremzēšanas spēki salīdzināti 6. attēlā. Lai arī redzams, ka bremzēšanas spēki var sasniegt pat 60 kN, šādi bremzēšanas spēki tiek sasniegti reti, kas nozīmē, ka pilnīgi pietiekoši, būtu aprīkot stendus ar mazākas jaudas elektromotoriem, kā arī pārvadiem ar ne tik lielu pārnesumu.

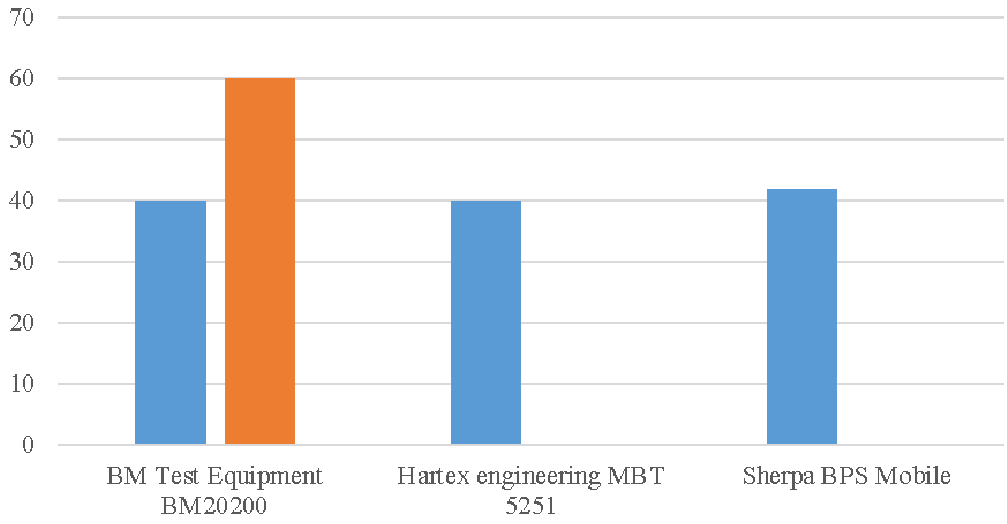
Visi šie stendi nodrošina pietiekoši augstu precizitāti priekš bremzēšanas spēka noteikšanas.

Pārvietojamo bremžu stendu vadība norit ar speciālām aplikācijām viedierīcē vai portatīvajā datorā 1. attēls. Šajās aplikācijās izvēlas bremžu tipu, pārbaudāmo asi. Aktivizējot testu, pēc laika aplikācija pieprasa spiest bremžu pedāli un ierīces ekrānā uzrādīti rezultāti.

Bremžu sistēmas darbību raksturojoši parametri ir tikai daļa no parametriem, kas svarīgi, lai novērtētu automobiļa tehnisko stāvokli. Līdz ar to svarīga ir šo stendu savietojamība ar citām ierīcēm tehniskā stāvokļa noteikšanai. *BM Autoteknik A/S* piedāvā viņu ražoto stendu BM Test Equipment BM20200 papildināt ar moduli priekš riteņu spēles pārbaudes un moduli priekš spidometra pārbaudes.

Hartex engineering kompānijas inženieri ir domājuši, kā palielināt stenda sniegtās iespējas un jau tajā pašā bremžu stenda korpusā piedāvā iespēju iemontēt, kustīgas platformas riteņu spēles noteikšanai. Tas nozīmē, ka nepalielinot pārvietojamo mezglu daudzumu, kā arī uzstādīšanas laiku ir iespējams veikt labāku automobiļa diagnostiku ceļa apstākļos.

Sherpa BPS Mobile nav pieejami papildaprīkojuma moduļi.



6. att. **Maksimālā bremzēšanas spēka robežas**

Secinājumi

1. Sakarā ar mūsdienās pieaugošajām prasībām uz satiksmes drošību, pārbaudes iekārtu ražotāji ir ieinteresēti kvalitatīva un ērti izmantojama inventāra izstrādē un tas būtu izmantojams ārpus speciāli paredzētām vietām.
2. *BM Autoteknik A/S* piedāvātais bremžu stends BM Test Equipment BM20200 pieejams ar dažādām jaudām un ruļļu izmēriem, kas nodrošina iespēju labāk pielāgoties stenda pielietojumam. Kā arī stendam iespējams pievienot papildu moduļus pilnvērtīgākai automobiļa testēšanai.
3. Hartex engineering MBT 5251 stenda priekšrocība ir tā, ka tajā iebūvēts elektroģenerators stenda darbības nodrošināšanai. Kā arī, nepalielinot pārvietojamo mezglu skaitu stendā, iespējams iemontēt riteņu spēles noteikšanas platformas. Bet šis stends nenodrošina asu slogošanas iespēju.
4. Sherpa BPS Mobile bremžu stendu nav paredzēts aprīkot vai kombinēt ar citiem testēšanas moduļiem.

Izmantotie informācijas avoti

[1] MOBILE BRAKE TESTER - MBT 5251. [online] [11.02.2020]. Available at: https://www.hartexengineering.com.au/vehicle-diagnostics/mobile-brake-tester.html
[2] Surblys V., Sokolovskij E. Research of the Vehicle Brake Testing Efficiency. Procedia Engineering, 134, 2016, pp. 452-458. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.067
[3] Berjoza D. Automobļu teorija. Jelgava, LLU, 2008.
[4] BM20200 Mobile Roller Brake Tester – BM Test Equipment. (n.d.). Retrieved from http://www.bmtest.dk/products/bm20200-roller-brake-tester/
[5] BPS-Mobil-18. [online] [11.02.2020]. Available at: https://www.sherpa.de/bps-mobil-18.0-rse-1.5
[6] Straume I., Šnīders A. Atomātiskā elektriskā piedziņa, 2008.
[7] Comparison of Gear Efficiencies – Spur, Helical, Bevel, Worm, Hypoid, Cycloid. [online] [20.02.2020]. Available at: https://www.meadinfo.org/2008/11/gear-efficiency-spur-helical-bevel-worm.html
[8] Kronbergs Ē., Svētiņš J. Planetāro pārvadu sintēze. Jelgava, 2009.

PLASTMASAS DETAĻU REMONTA TEHNOLOĢIJAS
REPAIR TECHNOLOGIES OF PLASTIC PARTS

Pēteris Ālītis
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants
Mārtiņš Ziemelis
Zinātniskais vadītājs, vieslektors, Mg.sc.ing

Abstract. The plastic is increasingly used and is already capable of replacing various metals. Plastic alloys are formed to achieve the desired chemical and mechanical properties of plastics. Each group of plastics has different repair capabilities depending on its alloy. Plastic technology has low costs and is therefore quicker and cheaper to buy a new detail than to repair it. So the world is contaminated with plastic that doesn't recycle for thousands of years. The work looks at the more familiar plastic repair technologies compared in tensile and bending. The results will be compared with the benchmark to see which repair technology provides the best suitability and quality. A polypropylene, which is thermoplastic, is selected for the sample.

Atslēgas vārdi: elastomērs, plastmasa, plastmasas detaļu remonta tehnoloģijas, plastmasu metināšana.

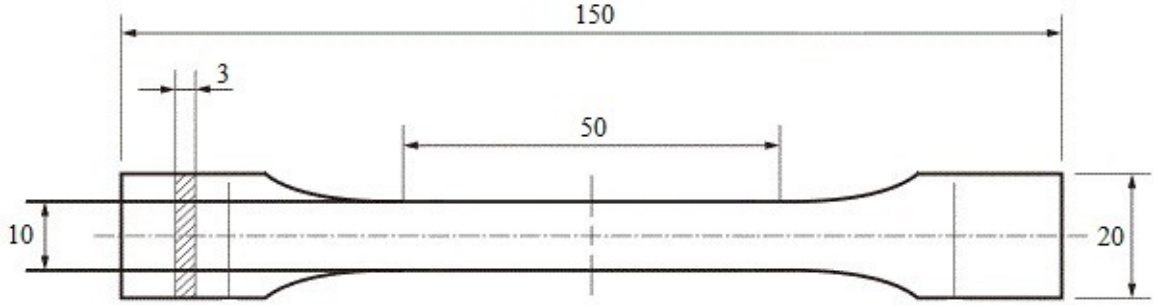
Ievads

Automobiļu dizains un drošība ir liels izaicinājums mašīnbūvē [1]. Arvien vairāk automobiļu virsbūves detaļas tiek izgatavotas no plastmasas, jo detaļu izgatavošanas tehnoloģija ir vienkāršota un spēj aizvietot tādus materiālus kā bronzu, misiņu, alumīniju. Plastmasām ir liela izturība pret agresīvām vidēm un atmosfēras iedarbību, zems blīvums, maza siltumvadītspēja, labas elektroizolācijas īpašības un pietiekami liela īpatnējā stiprība, kā arī liela nodilumizturība. Plastmasas viens no trūkumiem ir zema siltumnoturība, neliels elastības modulis un stīgrība [2]. Pasaulē ir pazīstamas ļoti daudz un dažādas plastmasu remonta tehnoloģijas, bet nav īsti noteikta īstā un vienīgā [3].

Katru dienu notiek aptuveni 120 ceļu satiksmes negadījumi Latvijā, 2020. gadā. Tajos tiek bojātas automobiļa plastiskās daļas un virsbūve. Mūsdienu autobūvē vislielākā uzmanība tiek pievērsta cilvēka drošībai, tāpēc autors vēlas izpētīt, kura no piedāvātajām plastmasas remonta tehnoloģijām ir piemērotākā, lai nodrošinātu pēc iespējas kvalitatīvāku remonta rezultātu.

Materiāli un metodes

Eksperimentam tiks izmantota polipropilēna plastmasa loksne, no kuras ar lāzera griešanas mašīnas BODOR BCL1309X tiks izgriezti eksperimenta sagatave (skat. 1. att.). Katram remonta tehnoloģijas paņēmienam tiks izgatavotas 40 sagataves, kuras pārbaudītas stiepē un liecē. Eksperimenta paraugus stiepē un liecē pārbauda iekārtā ZWICK Roell (2.5kN).



1.att. **Sagatave**

Plastmasu remonta tehnoloģiju pārbaudei tiks izmantotas plašāk pazīstamākās metodes (skat. 1. tabulā). Lai varētu salīdzināt savā starpā visas metodes, tika izvēlēts viens pamatmateriāls – termoplastiskais polimērs, polipropilēns [4]. Katrs paraugs tiks pārzāģēts ar dzels zāģīti uz pusēm. Tiks simulēts reālās plastmasas remonts. Tika izvēlēta automašīnas plastmasas, bampera remonta tehnoloģijas simulācija. Katrai remonta tehnoloģijai ir sava specifika un paņēmiens. Automašīnas bamperi no vienas puses tiek apstrādāti, bet no otras nē.

Eksperimenta metodika DIN EN ISO 527:2005 [5].

1. tabula

Remonta tehnoloģijas

Tehnoloģija	Izpildītājs
Plastmasu līmēšana	Epoksīda līme (Bison Epoxy)
Plastmasu līmēšana ar saistvielu	AUTO CARE Repair box
Karsto skavu tehnoloģija	Hot Stapler T7P4
Sieta iekausēšana	Lodāmurs ar plakano galvu (ixell) ISOPON alumīnija siets
Plastmasu metināšana mājas apstākļos	Celtniecības fēns (Sthor 1500 W), Plastmasas saistvielas elektrods (PP)
Plastmasu metināšana ar ekstrūderi	MUNSCH MM plastic welder
Plastmasu metināšana ar autors metodi	Gāzes lodāmurs ar speciālo uzgali

Profesionālas plastmasas metināšanas iekārtas ir ļoti dārgas, tāpēc šo remonta tehnoloģiju uzticēju veikt firmai, kas sniedz šādus pakalpojumus. Latvijā ir ļoti neliels firmu skaits, kas sniedz šāda tipa pakalpojumu. Visi pārējie eksperimenti ir veikti autora ZS "Jaunkalēji". Zemnieku saimniecības īpašumā ir pieejamas visas iekārtas, lai veiktu nepieciešamos eksperimentus.

Parauga sagataves līmēšanai izmantoju Bison Epoxy universālo divu komponentu līmi (skat. 2.att.). Līmes komplektā ietilpst jaucam trauks un instruments līmes uzklāšanai. Ieteicams izmantot vienreizlietojamos cimdus un respiratoru, jo no līmes izdalās specifiska smarža. Pirms līmēšanas remonta virsma ir jāapstrādā ar P100 smilšpapīru, lai rodas nepieciešamais virsmas raupjums, un līme varētu pieķerties pamatmateriālam. Pirms līmes uzklāšanas ir nepieciešama virsmas attaukošana, izmantojot benzīnu un lupatiņu. Līmi uzklāju paraugam tikai no vienas puses. Lai sagatavotu 40 paraugus, tika patērētas 85 minūtes. Paraugi gatavi lietošanai bija tikai pēc 24 stundām.

Parauga sagataves līmēšanai ar saistvielu izmantoju AUTO CARE Repair box komplektu (skat. 3.att.), kurā ietilpst matu tipa stikla šķiedras audums un epoksīda sveķi ar cietinātāju. Papildus nepieciešams iegādāties vienreizējos cimdus, otiņu, ar ko uzklāt sveķus, jaucamo trauku, kur tiks sajaukti epoksīda sveķi ar cietinātāju, šķēres, lai sagatavotu nepieciešamos stikla šķiedras auduma gabalus. Procesa laikā tika izdalīta specifiski kodīga smarža, ieteicams lietot respiratoru, lai nerastos elpošanas ceļu bojājumi. Pirms remonta nepieciešams veikt virsmas slīpēšanu ar P100 smilšpapīru, lai iegūtu nepieciešamo virsmas raupjumu un epoksīda sveķi labāk pieķertos pamatmateriālam. Nepieciešams virsmu attaukot, lai virsmu attīrītu no netīrumiem. Izmantoju benzīnu un lupatiņu. Epoksīda sveķus ar stikla šķiedras auduma saistvielu uzklāju trīs kārtās un tikai no parauga vienas puses. Lai sagatavotu 40 paraugus tika patērēts 90 minūtes, un paraugs lietošanai bija gatavi pēc 12 stundām.

2. att. **Epoksīda līme**

3. att. **Epoksīda sveķu un stikla šķiedras auduma komplekts**

Karsto skavu remontam izmantoju Hot Staper T7P4 iekārtu (skat. 4.att.), kurai nepieciešams ir 220 V strāvas avots. Izmantoju S formas, platās 0.8 mm skavas. Skava uzsilst līdz sarkankvēlei 10 sekunžu laikā un ir gatava tikt iekausēta materiālā. Metāla skavu iekausēju aptuveni paraugam līdz

vidum. Šim paņēmienam nav nepieciešama virsmas apstrāde. Lai sagatavotu 40 paraugus tika patērētas 30 minūtes, un paraugi gatavi lietošanai bija pēc 1 minūtes.

4. att. **Karsto skavu pistole**

5. att. **Lodāmurs ar plakano galvu**

Alumīnija sieta iekausēšanai izmantoju lodāmuru ar plakano galvu (skat. 5.att.) no ixell, plastmasas remonta komplekta, kuram ir nepieciešams 220 V strāvas avots. Lai sagatavotu nepieciešamos izmērus, alumīnija sietam izmantoju šķēres, jo sieta biezums bija tikai 0.4 mm. Sietu iekausēju no vienas puses. Šai metodei nav nepieciešama virsmas sagatavošana. Lai sagatavotu 40 paraugus tika patērēts 70 minūtes un paraugi gatavi lietošanai bija pēc 2 minūtēm. Tika novērota neliela detaļu deformācija.

Plastmasu metināšanai mājas apstākļos izmantojot celtniecības fēnu Sthor 1500W (skat. 6.att.) un veikalā nopirktu polipropilēnā saistvielu. Fēnam nepieciešams 220 V strāvas avots un speciāls uzgalis, kas novirza silto gaisu koncentrēti vienā punktā. Pirms metināšanas pamatvirsmā tika ar pneimatisko frēzi TOPEX, izveidota fāzīte, kur tiks veikts metināšanas process. Vispirms tika uzsildīta parauga pamatne, jo tā virsma bija biezāka nekā piedevu materiālam. Pēc metinājuma tika izmantots piespiedēja rullītis, lai piedevu materiāls labāk saķertos ar pamatmateriālu. Šo metodi veicu no parauga abām pusēm, lai veidotos caurmetinājums. Lai sagatavotu 40 paraugus tika patērētas 80 minūtes un paraugs gatavs lietošanai bija pēc 1 minūtes. Piespiedēja rullītis palīdzēja metinājumam ātrāk atdzist. Tika novērota palielināta detaļu deformācija, ja pamatmateriāls tika pārāk daudz pārkarsēts.

6. att. **Celtniecības fēns**

7. att. **Plastmasa metināšanas ekstrūderis**

Plastmasu metināšanai ar ekstrūderi tika izmantota MUNSCH MM metināšanas pistole (skat. 7.att.), kurai nepieciešams 220 V strāvas avots. Tika izmantots polipropilēnā stieple. Sīkāka informācija netika sniegta, jo tā ir konfidenciāla. Lai sagatavotu 40 paraugus tika patērētas 60 minūtes un paraugs gatavs lietošanai ir pēc 3 minūtēm. Tika novērota neliela deformācija.

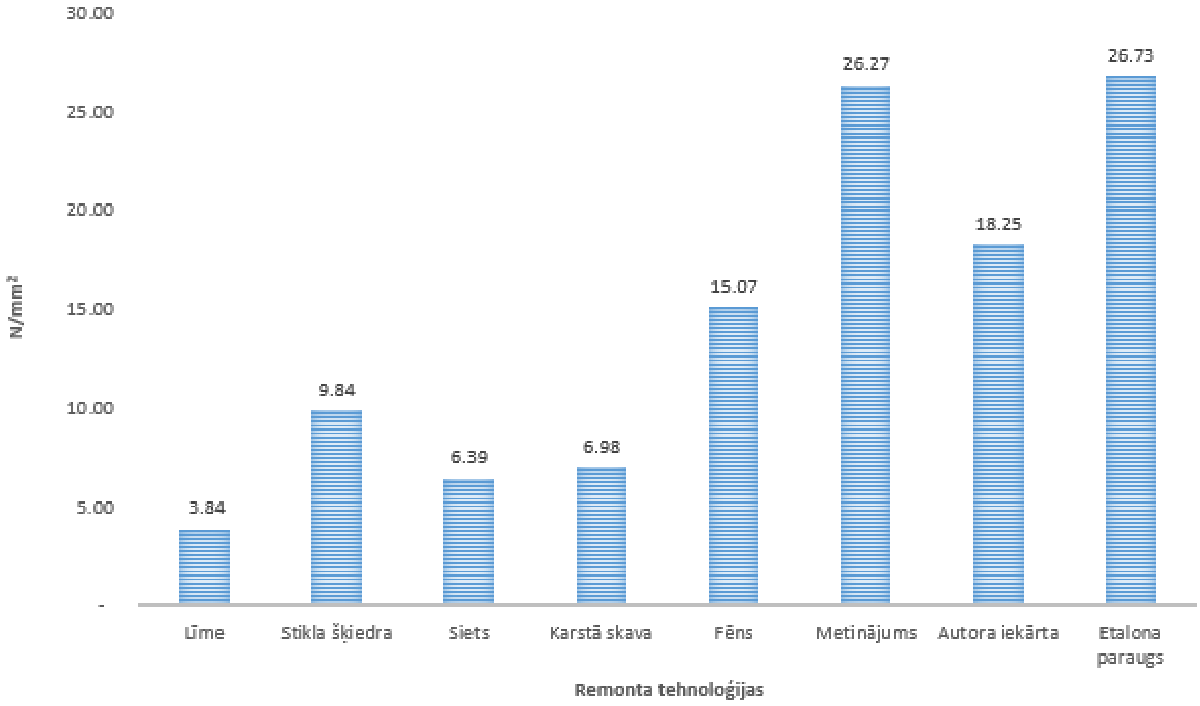
Visām iepriekš minētajām iekārtām ir nepieciešams 220 V strāvas avots un tās var izmantot tikai tur, kur ir pieejama elektrība. Tāpēc izstrādāju iekārtu, kurai nav nepieciešama elektrība. Autora iekārta darbojas ar propāna un butāna gāzes maisījumu. Iekārtu var izmantot jebkurā vietā un jebkādos laika apstākļos. Autora iekārta darbojas ar atklātu liesmu. Tā sastāv no mini gāzes degļa un speciāli izstrādāta uzgaļa (skat. 8.att.). Iekārtai ir nepieciešams papildus plastmasas piedevmateriāls. Izmantoju polipropilēnā loksnes atgriezumus kā piedevmateriālu. Pirms metināšana procesa ar pneimatisko frēzi TOPEX, tikai veikta pamatmateriāla sagatavošana ar fāzi. Pamatmateriāls un piedevmateriāls bija

gatavs darbam nekavējoties, pateicoties atklātajai liesmai un augstajai temperatūrai. Šo metodi veicu paraugam no abām pusēm, lai veidotos caurmetinājums. Lai sagatavotu 40 paraugus tika patērētas 60 minūtes un paraugs gatavs lietošanai bija pēc 3 minūtēm. Tika novērota neliela deformācija.

8. att. **Autora iekārta**

Rezultāti un diskusija

Stiepes rezultāti (skat. 9.att.) un lieces rezultāti (skat. 10.att.). Stiepes pārbaudē, salīdzinot ar parauga etalonu, labākos rezultātus uzrādīja metinājums, kas tika veikts ar MUNSCH MM ekstrūdera metināšanas pistoli. Apmierinošus rezultātus uzrādīja autora iekārta ar atklātu liesmu un fēna metode. Sliktu rezultātu uzrādīja līmējums ar epoksīda līmi Bison Epoxy.

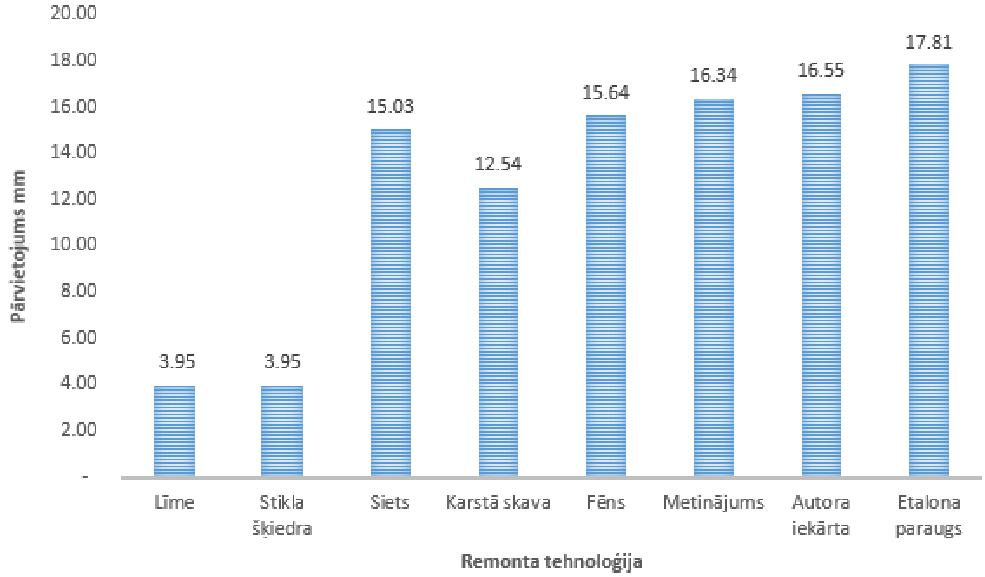


9. att. **Stiepes rezultāti**

Lieces pārbaudē, salīdzinot ar parauga etalonu, labākos rezultātus uzrādīja autora iekārta ar atklāto liesmu. Sliktākos rezultātus uzrādīja līmējums ar epoksīda līmi Bison Epoxy un epoksīda sveķi ar stikla šķiedras auduma piedevas materiālu. Visi metinājuma paraugi liecē, uzrādīja labu pārvietojumu plaknē. Autora iekārtai un fēna metodei tika novēroti daži brāķi, kas ieplaisāja un neizturēja lieces spēku. Visi metinājumi, ar MUNSCH MM ekstrūdera metināšanas pistoli, izturēja lieces spēkus un nepārlūza. To var izskaidrot, jo metinājuma šuve bija paplašināta un liece darbojās uz lielāku laukumu. Pārsteidzošus rezultātus uzrādīja iekausētais alumīnija siets, bet daži no paraugiem neizturēja lieci un pārlūza.

Plastmasu veidi ir daudz un dažādi un visus no tiem nav iespējams savstarpēji sametināt un ir jāizmanto sakausēšanas metodes vai līmes. Atmetot metināšanas tehnoloģiskos paņēmienus, stiepē labākos rezultātus uzrādīja epoksīda sveķi ar stikla šķiedras auduma saistvielu. Apmierinošus rezultātus uzrādīja iekausētais alumīnija siets un karstās skavas tehnoloģija. Sliktāko rezultātu uzrādīja epoksīda līme Bison Epoxy. Rezultāti liecē parāda to, ka labākais pārvietojums plaknē ir iekausētā

alumīnija sieta paņēmienam. Apmierinošus rezultātus uzrādīja karstās skavas metode. Sliktākos rezultātus uzrādīja epoksīda līme un epoksīda sveķi ar stikla šķiedras auduma saistvielu.



10. att. **Lieces rezultāti**

Pēc veiktajiem pētījumiem un eksperimentiem var secināt – šīs pārbaudītās remonta tehnoloģijas nebija vienīgās, ar kurām ir iespējams veikt plastmasu remontus. Ir vēl daudz un dažādas tehnoloģijas, bet tika apskatītas populārākās no tām. Ir iespējams šīs metodes apvienot un remonta vieta var kļūt izturīgāka. Ja tiek veikts remonts, tad kopējā konstrukcijas masa tiek izmainīta.

Plastmasu līmēšanai ar Epoksīda līmi un epoksīda sveķiem ar stikla šķiedras auduma saistvielu nav nepieciešamas papildu iekārtas, jānopērk ir remonta komplekts un var uzsākt remonta darbus, bet remonta laiks ir ļoti garš, līdz pat 24h, un remonta kvalitāte būs ļoti zema. Ja ir pieejams parastais lodāmurs, tad ir iespēja iekausēt sietu, bet vēlams būtu lodāmurs ar plakano galvu, tas atvieglotu darbus.

Nav nepieciešams iegādāties dārgas un profesionālas, plastmasas metināšanas iekārtas. Ir iespējams veikt kvalitatīvu plastmasas remontu, ar mājās atrodamiem instrumentiem. Tāpēc profesionāla plastmasu metināšana Latvijā nav tik izplatīta un populāra. Ja instrumenti tomēr nav pieejami, tad pastāv dažādas alternatīvas. Piemēram, karsto skavu remonta tehnoloģiju var aizvietot ar papīra saspraudes iekausēšanu, kuru var uzkarsēt ar šķiltavām. Kā arī izmantojot turbo liesmas šķiltavas ir iespējams metināt plastmasu, nepieciešama ir saistviela kuru var nopirkt veikalā, jeb izmantot tā paša materiāla nelielus atgriezumus.

Secinājumi

1. Plastmasas detaļas metinājums ir efektīvāks par līmējumu.
2. Ir iespējams veikt apmierinošu plastmasas metinājumu mājas apstākļos.
3. Sieta un skavas remonta tehnoloģijās nav nepieciešama veikt virsmas priekšapstrādi.
4. Ar epoksīda sveķiem un stikla šķiedras audumu ir iespējams apstrādāt lielas virsmas laukumu.

Izmantotie informācijas avoti

[1] Wang C. Y., Wang W. W., Zhao W. Z., Wang Y., Zhou G. Structure design and multi-objective optimization of a novel NPR bumper system. Composites Part B: Engineering, 153(April), 2018, pp. 78-96. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.07.024
[2] Vērdiņš G., Dukulis I. Materiālu mācība, LLU, Jelgava, 2008.
[3] Marsh G. Carbon composite car body panels gain traction with Gurit Automotive. Reinforced Plastics, 55(5), 2011, pp. 24-27. DOI: 10.1016/S0034-3617(11)70141-2
[4] AGRU product manual, 2010, 102 p.
[5] IOLITEC. Technical data sheet Technical data sheet [C4MIM][NTf2]. Cell (Vol. 123), 2005.

PLASTMASAS RECIKLĒŠANA
PLASTIC RECYCLING

Jānis Krastiņš
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants
Imants Nulle
Zinātniskais vadītājs Dr.sc.ing., Imants Nulle

Abstract. The research is topical because there is still an insufficient plastic recycling process. Shredding plastics is essential for recycling. Designed and built plastic shredder. The sieve scattering method determines the particle size scattering of the crushed material.

Atslēgas vārdi: plastmasa, reciklēšana, smalcinātājs, daļiņu lieluma izkliede.

Ievads

Vairāk nekā 50 gadus plastmasas ražošana un patēriņš pasaulē turpina pieaugt. Tiek lēsts, ka 2013. gadā tika saražoti 297.5 miljoni tonnu plastmasas, kas ir par 4 % vairāk nekā 2012. gadā, un turpinās procentuāli pieaugt. Saskaņā ar "*Global Industry Analytts",* 2019. gada ziņojumā, plastmasas patēriņš 2018. gadā sasniedza 311 miljonus tonnu [1].

Tā kā sintētisko polimēru ražošana pieaug, un sakarā ar to vājo biodegradāciju, piesārņojums ar dažādiem plastikātiem ir kļuvis par nopietnu vides apdraudējumu. Īpašas bažas izraisa dažāda izmēra plastmasas atkritumu piesārņojuma izplatīšanās jūras vidē. Liela daļa no mums internetā redzējuši visai šausminošas bildes gan ar dzīvniekiem un putniem, kas aizgājuši bojā, jo cilvēka izmesto plastmasas maisiņu noturējuši par barību, gan fotogrāfijas ar piesārņotām pludmalēm un plastmasas maisiņu "upi" Filipīnās Ir vērts atcerēties, ka dabā nonākusī plastmasa sadalās ļoti ilgā – pat vairāku simtu gadu – laikā. Taču saules, vēja un citu dabas apstākļu ietekmē vidē mikroplastmasas daļiņas nonāk daudz ātrāk, atstājot negatīvu iespaidu uz mūsu veselību. "Var likties, ka izmests plastmasas maisiņš – kas tad tur liels! Taču nupat notiek tas, par ko zinātnieki jau ir brīdinājuši, proti, bumerangs atgriežas, un tas atstās ietekmi arī uz mūsu veselību – visdārgāko, kas mums ir un kuras dēļ bieži esam gatavi kaut ko mainīt [2].

Ir pamats uzskatīt, ka PET pudeles, kas piesārņo apkārtējo vidi, ir lielisks materiāls, lai īstenotu dažādus projektus dažādās jomās, taču ir nepieciešams spert vajadzīgos soļus šī materiāla reciklēšanai. 3D printēšana ir moderna tehnoloģija, kas ļauj izgatavot detaļas ar augstu sarežģītības pakāpi. Taču, lai savāktās plastikāta pudeles varētu izmantot šai tehnoloģijai, tās nepieciešams speciāli sagatavot. Ir nepieciešama pudeļu smalcināšana, iegūtās masas mazgāšana, žāvēšana un printējamā diega izgatavošana ar ekstrūzijas paņēmienu, plastikāta daļiņas izkausējot [3].

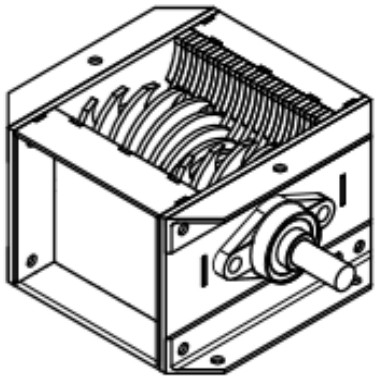
Šī pētījuma mērķis ir noteikt plastmasas smalcināšanas procesā iegūtās masas parametrus, kas ļaus tālākos pētījumos, ekstrūzijas procesā iegūtā diega kvalitāti attiecināt pret daļiņu lielumu izkliedi.

Uzdevumi:

1. veikt PET pudeļu smalcināšanu;
2. attīrīt smalcināto masu no netīrumiem un piemaisījumiem;
3. izkaltēt iegūto attīrīto masu;
4. noteikt daļiņu lielumu sadalījumu ar sietu metodi;
5. analizēt rezultātus.

Materiāli un metodes

Plastmasas smalcinātāja iekārta redzma 1.att. ar elektro motora jaudu 3kW. Motora rotācijas ātrums ir 1500 apgr·min^{-1}, kas ar reduktora palīdzību tiek samazaninăti uz 90 apgr·min^{-1} un padoti uz smalcinātāja darba vārpstu. Smalcinātāja gabarītizmēri: L – 318 mm (garums), W – 210 mm (platums), H – 135 mm (augstums). Padeves piltuves atveres lielums 148 x 161mm. Diski ar diametru 120 mm un biezumu 5 mm, redzams 1.attēlā. Sieta urbumu diametrs 5 mm [4].



1. att. **Smalcinātājs**

Sākotnējos diega ekstrūzijas pētījumos tika konstatēts, ka process norisinās veiksmīgāk, ja daļiņu lielums ir mazāks, tāpēc smalcināšanas eksperimenta ietvaros tiks salīdzināta vienreiz smalcināta masa un masa ar divkāršu smalcinājumu.

Pirmais posms ir pudeļu smalcināšana. Pirms smalcināšanas PET pudelēm jānoņem korķi un korķu gredzeni. Smalcināšanas procesā iegūtās skaidiņas ir jāattīra no dažādiem netīrumiem: satura paliekas, netīrumi kas radušies glabāšanas/transportēšanas procesā, etiķetes un līme. To panāk ievietojot aptuveni 80 ºC karstā un sāļā (3-5 % sāls) ūdenī. Masu šajā šķidrumā iztur 1h, vienlaikus nodrošinot tā maisīšanu. Galarezultātā līme no etiķetēm kopā ar netīrumiem nosēdīsies trauka dibenā bet PET skaidiņas uzpeldēs augšā. Tās nepieciešams pilnībā izkaltēt. Kaltēšanas iekārta ir ar iestatāmu temperatūru (0...100 ºC) un laika periodu līdz 24h. Daļiņas tiek ieliktas kaltēšanas kamerā, un 12h izturētas 60 ºC temperatūrā [5].

Šī pētījuma ietvaros tika noskaidrots viens no smalcinātāja raksturlielumiem, t.i. smalcinātās masas daļiņu lielumu sadalījums.

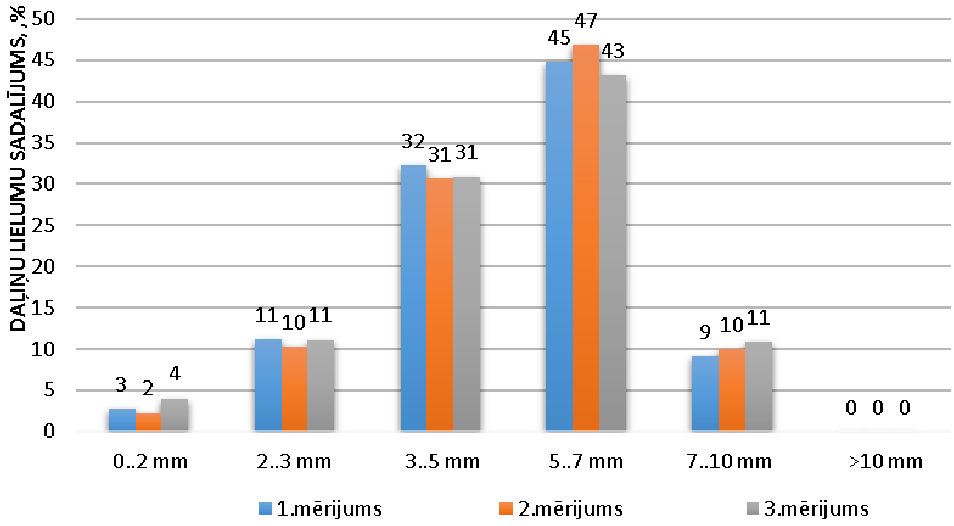
Tas tika noteikts izmantoju sietu metodi. Tika izmantoti sieti ar acs diametru: > 10, 7, 5, 3, 2, 0 mm. Daļiņu lielumu sadalījums tika noteikts vienreiz un divreiz smalcinātai masai. Tika veikti 3 atkārtojumi. Iekārta daļiņu lieluma sadalījuma noteikšanai, redzama 2. attēlā.

2. att. **Izkliedes sieti [6]**

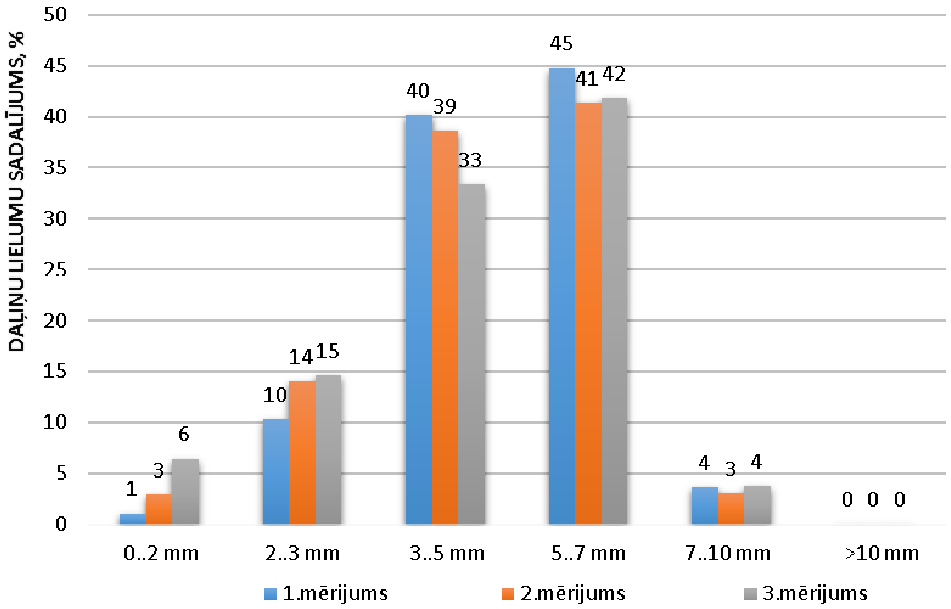
Rezultāti un diskusija

Veicot eksperimentu ar vienreiz smalcinātām daļiņām, procentuāli vairāk, jeb 45 % no kopējās masas, tika iegūtas daļiņas , kuru izmērs bija starp 5 un 7 mm. Taču vismazāk bija daļiņas ar lielumu no 0 līdz 2 mm, tie bija 3 %. Daļiņas, kas > 5mm ir 55 % no kopējās masas. Eksperimenta rezultāti redzami 3. attēlā.

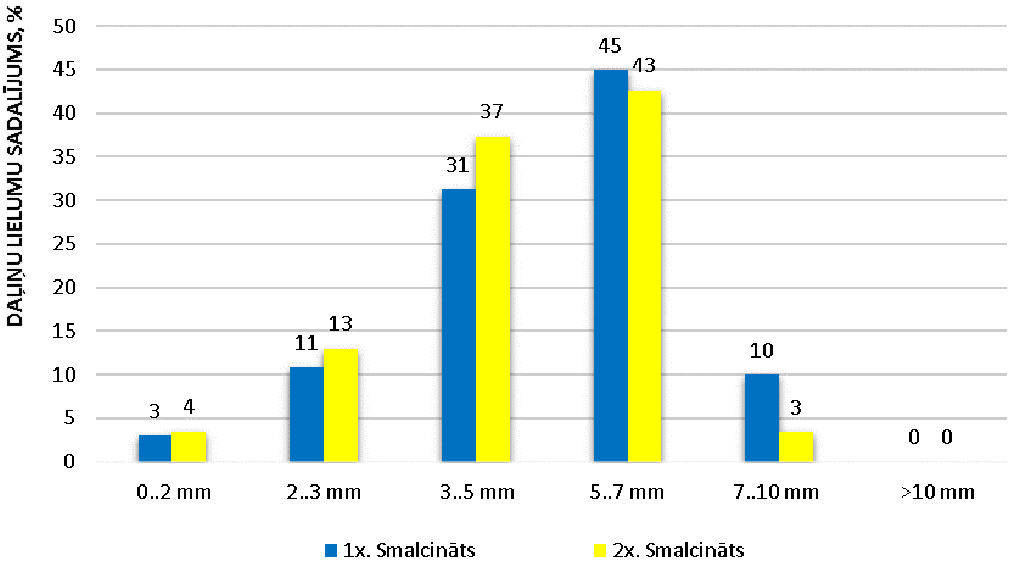
Veicot divreizējo smalcināšanu relatīvi lielāko daļiņu (> 5 mm) masa samazinās par 10 % (4. un 5. attēls), savukārt par 6 % palielinās 3...5 mm daļiņu masa, un par 2 % palielinājās 3..2mm daļiņu masa, bet daļiņu, kas bija mazākas par 2 mm masa, palielinājās tikai par 1 %.



3. att. **Smalcinātās masas daļiņu lielumu izkliede**



4. att. **Divkāršotās sasmalcinātās masas daļiņu lielumu izkliede**



5. att. **Divkāršotās smalcināšanas salīdzinājums ar vienreizējo smalcināšanu**

Secinājumi

1. Veicot plastmasas pudeļu reciklēšanu arī lokālā mērogā, tiek samazināts plastmasas rūpniecības radītais ekoloģiskās pēdas nospiedums un veicināta dabas un sabiedrības ilgtspējība.
2. Smalcinot reciklējamās PET pudeles vienu reizi, tiek iegūta masa, kurai 55 % daļiņas ir lielākas par 5 mm.
3. Smalcinot masu divas reizes, daļiņas, kas ir lielākas par 5 mm sastāda 45 % no kopējās masas. Ņemot vērā literatūras avotos minētās rekomendācijas, šāda masa ir piemērotāka ekstrūzijas procesam, salīdzinot ar to, kas tiek smalcināta tikai vienu reizi.

Izmantotie informācijas avoti

[1] "The Life Cycle of a Plastic Bottle" [online] [11.03.2019] Available at: https://www.montgomeryschoolsmd.org/uploadedFiles/curriculum/outdoored/programs/waterbottlefactpages.pdf
[2] "Development of Plastic Bottle Shredding Machine" [online] [14.04.2019] Available at: https://www.longdom.org/open-access/development-of-plastic-bottle-shredding-machine-2252-5211-1000336.pdf
[3] "Design and Construction of a Plastic Shredder Machine for Recycling and Management of Plastic Wastes" [online] [20.02.2020] Available at: https://www.researchgate.net/publication/325660962_Design_and_Construction_of_a_Plastic_Shredder_Machine_for_Recycling_and_Management_of_Plastic_Wastes
[4] "Development of a Plastic Shredder" [online] [25.02.2020] Available at: http://lup.lub.lu.se/luur/download?func = downloadFile&recordOId = 8938831&fileOId = 8938833
[5] "Design and Fabrication of Plastic Shredder Machine for Clean Environment" [online] [10.03.2010] Available at: http://ijamtes.org/gallery/523-dec.pdf
[6] "Derox Laboratorijas un testēšanas iekārta " [online] [0.3.04.2020] Available at: https://www.derox.eu/lv/sietu-krat %C4 %ABt %C4 %81ji-l %C4 %ABdz-300-mm-diam

PNEIMATISKĀ MOTORA RAKSTURLĪKŅU KONSTRUĒŠANA
DESIGNING OF CHARACTERISTIC CURVES FOR PNEUMATIC MOTOR

Jānis Ozols
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants
Dainis Berjoza
Zinātniskais vadītājs, profesors, Dr.sc.ing.

Abstract. Pneumatic motor is the main power source for the pneumatic vehicle, which is used for the research. To determine optimal gear ratio for the gearbox, designing of characteristic curves for motor is needed. The theoretical maximum power of the researched pneumatic motor is 560 W. The theoretical maximum torque of 122.5 Nm is reached shortly after motor output shaft starts turning. Keywords: pneumatic motor characteristic curves, pneumatic motor power, pneumatic motor torque.

Atslēgas vārdi: pneimatiskā motora raksturlīknes, pneimatiskā motora jauda, pneimatiskā motora griezes moments.

Ievads

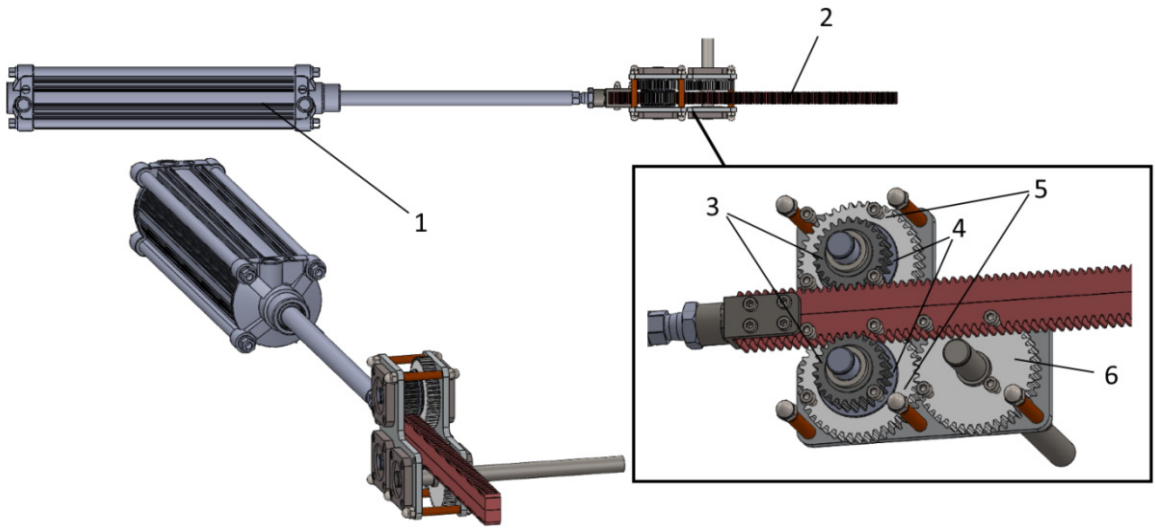
Pneimatiskos motorus iedala šādās grupās: 1) aksiālie virzuļmotori; 2) radiālie virzuļmotori; 3) plāksnīšu tipa rotormotori; 4) gerotora motori; 5) turbīnas tipa motori [1]. Motora izvēle ir atkarīga no tā, kādam pielietojumam tas tiks izmantots, kādi ir nepieciešamie jaudas un griezes momenta parametri, kā arī izmēru ierobežojumi.

Pneimatisko motoru jaudas raksturlīknes ir līdzīgas līdzstrāvas elektromotoru raksturlīknēm. Motors sasniedz maksimālo jaudu pie aptuveni 50 % no motora vārpstas apgriezieniem. Motora maksimālais griezes moments tiek sasniegts nedaudz pēc 0 min^{-1} apgriezieniem. Palielinoties apgriezieniem, griezes moments sāk strauji samazināties [1].

Lai aprēķinātu nepieciešamo transmisijas pārnesumu skaitli, nepieciešams konstruēt pneimatiskā motora ātrumraksturojuma līknes.

Materiāli un metodes

Pneimatiskais motors (skat. 1. att.) sastāv no pneimatiskā cilindra (1), kura kātam piestiprināts zobstienis (2), un zobratu mehānisma, kas ļauj turp-atpakaļ kustību pārveidot rotācijas kustībā. Zobratu mehānisms sastāv no uz vārpstas nostiprinātām brīvrumbām (3), kas darbojas pretējos virzienos un ir sazobē ar zobstieni (2). Tāpat uz vārpstas ir nostiprināti zobrati (5), kas ir savstarpējā sazobē un no brīvrumbām ir atdalīti ar distances starplikām (4). Viens no zobratiem (5) ir sazobē ar pārnesumkārbas zobratu (6), kas ir nostiprināts uz pārnesumkārbas primārās ass.



1. att. **Pneimatiskais motors:** 1 – pneimatiskais cilindrs; 2 – zobstienis; 3 – brīvrumba; 4 – starplika; 5 – zobrats; 6 – pārnesumkārbas zobrats

Gaisa spiediena radīto spēku uz virzuli aprēķina pēc sakarības:

$$F_c = p \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4}, \quad (1)$$

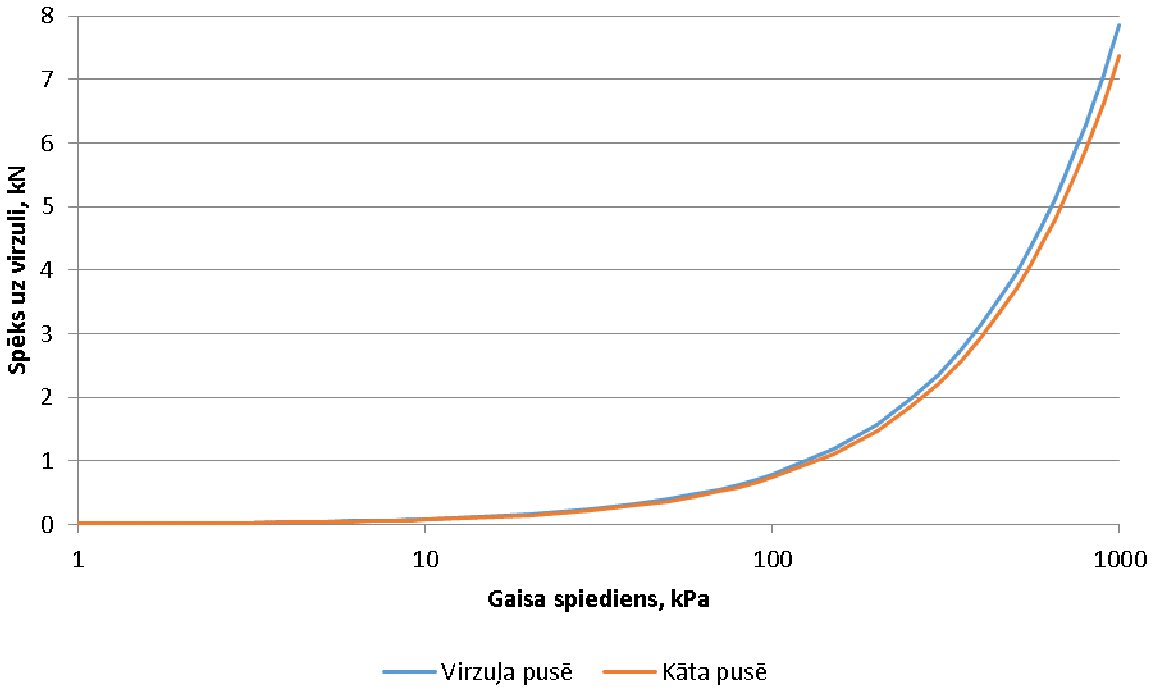
kur F_c – pneimatiskā cilindra attīstītais spēks, N;
p – gaisa spiediens, Pa;
d – virzuļa diametrs, m [2].

Tā kā pneimatiskais cilindrs darbojas divos virzienos, tad ir jāievērtē virzuļa kāta radītie zudumi:

$$F_c = p \cdot \pi \cdot \frac{d_1^2 - d_2^2}{4}, \quad (2)$$

kur F_c – pneimatiskā cilindra attīstītais spēks, N;
p – gaisa spiediens, Pa;
d_1 – virzuļa diametrs, m;
d_2 – virzuļa kāta diametrs m [2].

Palielinot gaisa spiedienu, spēks, kas tiek attīstīts uz virzuli, palielinās eksponenciāli (skat. 2.att.). Lai vienkāršotu aprēķinus, pieņem uz virzuli attīstīto spēku kā abu vizuļa pušu attīstīto spēku vidējo vērtību. Gaisa spiedienu aprēķiniem pieņem ražotāja noteikto nominālo spiedienu 6.3 Bar.



2. att. **Pneimatiskā cilindra attīstītais spēks atkarībā no gaisa spiediena**

Izmantojot teorētiskās mehānikas sakarību, atrod motora attīstīto griezes momentu:

$$M = F_c \cdot r_z, \quad (3)$$

kur M – motora attīstītais griezes moments Nm;
F_c – pneimatiskā cilindra attīstītais spēks, N;
r_z – uz motora vārpstas esošā zobrata rādiuss, m [3].

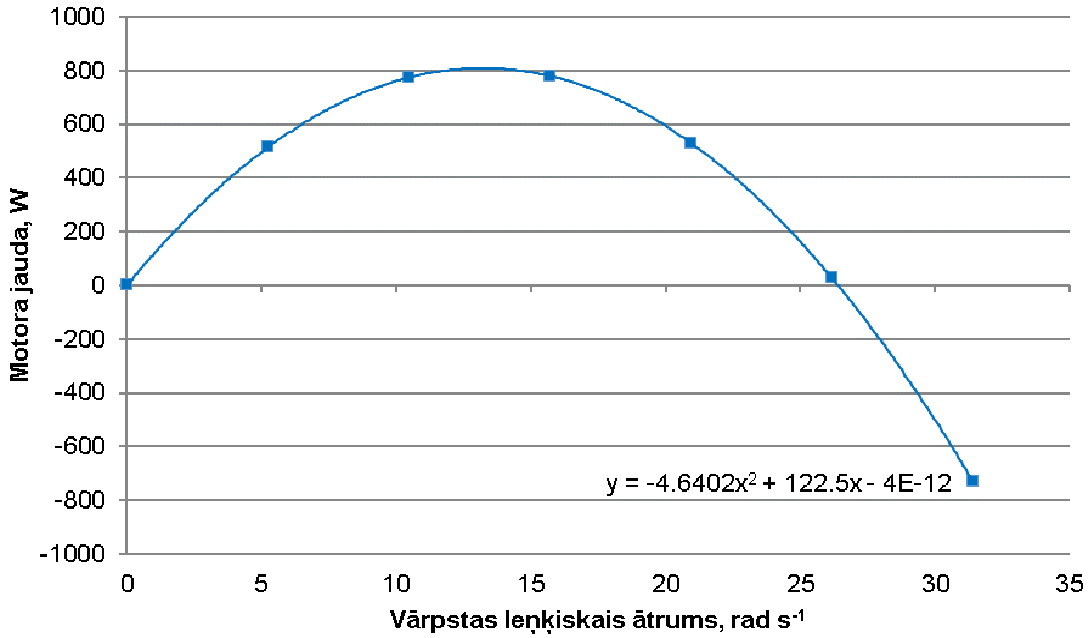
Motora nominālos apgriezienus pieņem kā pusi no maksimālajiem apgriezieniem. Motora jaudas līknei nepieciešamos datus iegūst pēc sakarības:

$$P = M \cdot \omega - \frac{M}{\omega_n} \cdot \omega^2, \quad (4)$$

kur P – motora jauda W;
M – motora attīstītais griezes moments Nm;
ω_n – motora vārpstas nominālais leņķiskais ātrums, rad·s^{-1};
ω – motora vārpstas leņķiskais ātrums, rad·s^{-1} [3].

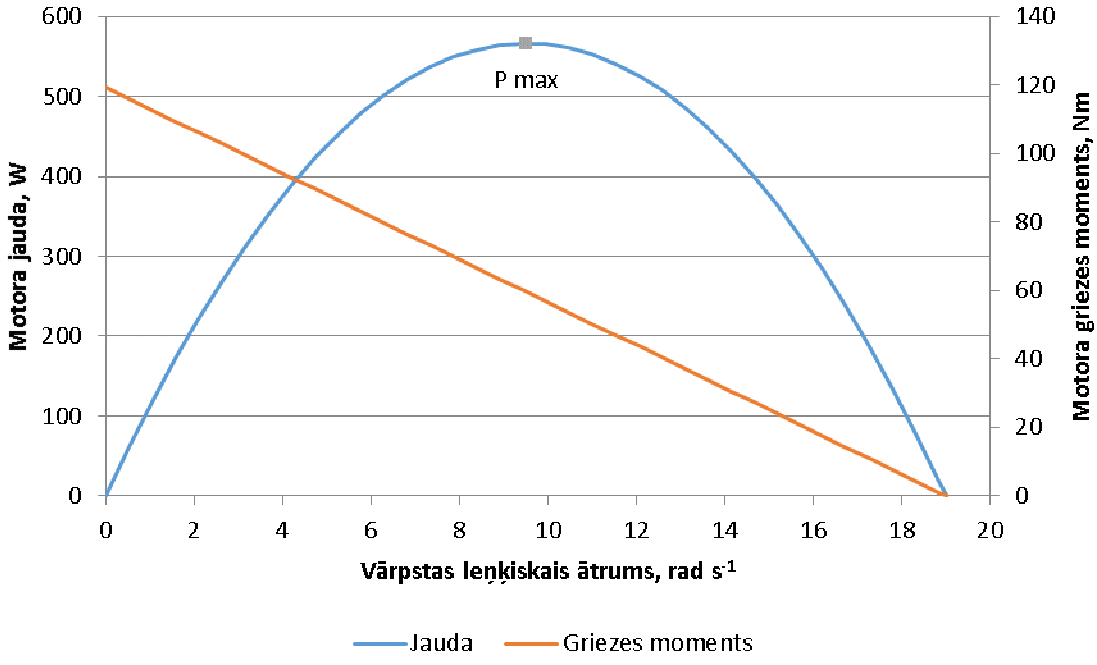
Rezultāti un diskusija

Lai iegūtu motora vārpstas maksimālo leņķisko ātrumu konstruē jaudas līkni. Ar izklājlapu lietones *Excel* palīdzību atrod līknes funkciju (skat. 3. att.).



3. att. **Motora jaudas raksturlīkne**

Izmantojot programmu *Mathcad*, aprēķina motora maksimālo rotācijas ātrumu punktā, kur jaudas līkne sasniedz vērtību 0W. No vienādojuma iegūst, ka pētāmo spēkratu pneimatiskā motora vārpstas maksimālais leņķiskais ātrums ir 19 rad·s^{-1}. Maksimālo jaudu motors attīsta pie nominālā ātruma 9.4 rad·s^{-1}. Ar iegūtajiem rezultātiem konstruē motora raksturlīknes (skat. 4.att.).



4. att. **Pneimatiskā motora raksturlīknes**

Kā redzams 4.attēlā, pneimatiskā motora maksimālā jauda tiek sasniegta pie aptuveni ½ no tā maksimālajiem apgiezieniem. Motora darbināšana virs minētajiem apgriezieniem ir neefektīva, jo samazinās gan jauda, gan griezes moments.

Motora attīstīto jaudu ir iespējams palielināt vai samazināt attiecīgi palielinot vai samazinot gaisa spiedienu sistēmā. Spēkratu riteņiem pievadītā griezes momenta izmaiņu var panākt, izmantojot pārnesumkārbu, bet ir jāņem vērā, ka šādā gadījumā arī tiek samazināts lietderības koeficients.

Iegūtās motora raksturlīknes ir teorētiskas, kas nozīmē, ka praksē to raksturs var mainīties. To var ietekmēt vairāki faktori, piemēram, noplūdes sistēmā vai saspiestā gaisa reduktoru aizsalšana.

Secinājumi

1. Pētāmo spēkratu teorētiski iespējamā maksimālā jauda P_{max} tiek sasniegta pie vārpstas rotācijas frekvences 9.4 $rad \cdot s^{-1}$. Motora maksimālais griezes moments ir 122.5 Nm, kas, motora ātrumam palielinoties, strauji krīt. Pie nominālajiem apgriezieniem motora griezes moments ir 61.3 Nm.
2. Lai palielinātu pneimatiskā motora jaudu, nepieciešams palielināt gaisa spiedienu sistēmā.
3. Izmantojot iegūtās pneimatiskā motora ātrumraksturojuma līknes, ir iespējams aprēķināt optimālu pētāmo spēkratu transmisijas pārnesumskaitli.
4. Dažādiem slodzes apstākļiem, piemēram, dinamiskai kustības uzsākšanai vai ceļa seguma maiņas gadījumā, nepieciešams izmantot pārnesumkārbu, ar kuras palīdzību iespējams izmainīt uz spēkratu riteņiem attīstīto griezes momentu.
5. Praktiskam pielietojumam racionāli ir izmantot rotortipa motorus, kas konstruktīvi jau ir paredzēti rotācijas kustības veidošanai un ir kompaktāki.
6. Pneimatiskos spēkratus ieteicams izmantot kā alternatīvās enerģijas iekārtas neliela nobraukuma lēngaitas tehnikā, ko iespējams darbināt arī iekštelpās.

Izmantotie informācijas avoti

[1] Pneumatic motor air motor pneumatic driver electric motor [online][13.01.2020] Available at: //www.deprag.com/en/company/press-release/presse201411a/
[2] Pneumatic Cylinders – Force Exerted. [online][13.01.2020] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/pneumatic-cylinder-force-d_1273.html
[3] D.C. Motor Torque Speed Curve Tutorial Understanding Motor Characteristics. [online][13.01.2020] Available at: http://lancet.mit.edu/motors/motors3

SILTUMENERĢIJAS PATĒRIŅA LIETDERĪBA OZOLNIEKU NOVADA PIRMSSKOLAS IZGLĪTĪBAS IESTĀDĒS
USEFUL HEAT CONSUMPTION AT OZOLNIEKI MUNICIPALITY PRESCHOOL EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Agate Kļaviņa
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrante
Jānis Bērziņš
Zinātniskais vadītājs, lektors, Mg.sc.ing

Abstract. As the production of heat plays significant role in generation of greenhouse gases, there is need to reduce the consumption of heat where possible. The aim of study was to find the ways how to save heat in preschool educational institutions providing an appropriate microclimate for children's health at the same time. The study was done in two preschool educational institutions "Zilite" and "Bitite" at Ozolnieki district, Latvia. Temperature, CO_2 and humidity measuring sensors were put for 7 days in 2 different premises of the institutions – group room and assembly hall. Staff were interviewed to find out about children activities and clothing in each premise. There were significant CO_2 level abnormalities found in "Zilite" and wasteful usage of heat detected in both institutions.

Atslēgas vārdi: energoefektivitāte, siltumenerģijas taupīšana, telpu mikroklimats, pirmsskolas izglītības iestādes, CO_2 koncentrācija.

Ievads

Palielinoties siltumnīcas efekta gāzu izraisītajām sekām, kas nu jau novērojamas arī Latvijā, kur pēdējo septiņu gadu laikā decembra mēneša temperatūra ir siltāka par normu [1], ir nepieciešams strauji plānot SEG emisiju samazināšanas iespējas visās enerģētikas apakšnozarēs. Būtisku daudzumu SEG emisiju Latvijā rada siltumenerģijas ražošana. Lai pietuvotos Eiropas klimata mērķu sasniegšanai, nepieciešamas ne vien izstrādāt risinājumus inovatīvu tehnoloģiju ieviešanai, bet arī rast veidus, kā ietaupīt siltumenerģiju, kur tas iespējams.

Viens no lielākajiem siltumenerģijas patērētājiem starp Ozolnieku novada pašvaldības iestādēm ir pirmsskolas izglītības iestādes (PII). Pētījums veikts, lai noskaidrotu siltumenerģijas taupīšanas iespējas PII, vienlaikus ņemot vērā iekštelpu mikroklimata prasības bērnu veselībai. Attiecībā uz iekštelpu mikroklimatu, tā konkrētus parametrus Latvijas Republikas normatīvie akti regulē daļēji. Pastāv Latvijas Republikas Veselības ministrijas izdotas Higiēnas prasības izglītības iestādēs, kas nosaka minimālo pieļaujamo gaisa temperatūru bērnudārza telpās un vēdināšanas režīmu. Ministru kabineta noteikumi neparedz maksimālās gaisa temperatūras ierobežojumus pirmsskolas izglītības iestāžu telpās, taču normatīvajos aktos ir definēts, ka apkures periodā standarta apģērba siltumizolācijas spējas vērtībai jābūt ap 1.0 clo, kas atbilst apģērbam ar garām piedurknēm, nosegtām kājām, papildus valkājot žaketi vai džemperi, turklāt nav pieļaujama paaugstinātas iekštelpu temperatūras uzturēšana pie pģērba siltumizolācijas spējas vērtības, kas ir zemāka par standartos norādīto [2].

Pētījumā tiek izvērtēti telpu ekspluatācijas paradumi un tehniskais nodrošinājums Ozolnieku novada PII "Bitīte" un "Zīlīte". Pētījuma ietvaros paredzēts apkopot datus par PII siltumenerģijas patēriņu uz m^2 gadā, kā arī veikt eksperimentālus mērījumus un noskaidrot, vai esošie PII iekštelpu klimata parametri apkures sezonā ir atbilstoši bērnu veselības nodrošināšanas prasībām. Iegūstot datus par iekštelpu klimatu dažāda pielietojuma telpās, kā arī, salīdzinot siltumenerģijas patēriņa datus, izstrādāt rekomendācijas siltumenerģijas taupīšanai, kā arī bērnu veselībai atbilstošu iekštelpu klimata parametru uzturēšanai.

Ozolnieku novada pirmsskolas izglītības iestādes ir renovētas un siltinātas, lai pēc iespējas samazinātu siltumenerģijas patēriņu. Taču siltumapgādes un ventilācijas tehniskie risinājumi katrā no iestādēm ir atšķirīgi, līdz ar to atšķiras arī iekštelpu klimata kvalitāte apkures sezonā. Iekštelpu klimata parametru vērtības PII regulē Ministru kabineta noteikumi Nr.596 "Higiēnas prasības izglītības iestādēm, kas īsteno pirmsskolas izglītības programmas", kā arī Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 231-03 "Dzīvojamo un publisko ēku apkure un ventilācija". Būtisks iekštelpu klimata parametrs ir CO_2 koncentrācija, kas cilvēku piepildītās telpās ir augstāks, nekā ārā, jo CO_2 ir dabisks cilvēka metabolisma blakusprodukts [3]. Pasaules veselības organizācijas rekomendētais CO_2 līmenis mācību

telpā ir līdz 1000 ppm (daļu skaits uz miljonu). Palielināta CO_2 koncentrācija iekštelpās var atstāt tiešu, nelabvēlīgu ietekmi uz cilvēku labsajūtu, emocionāli/psiholoģisko labklājību, kā arī sekmību. Ja CO_2 līmenis pārsniedz 2500 ppm, var pasliktināties uzmanība, uztvere un citi kognitīvie procesi [4]. Ministru kabineta noteikumi Nr. 596 nosaka, ka minimālā pieļaujamā gaisa temperatūra telpās, kurās uzturas bērni līdz 3 gadu vecumam, ir vismaz 20 ºC, savukārt telpās, kurās uzturas bērni virs 3 gadu vecumam ir vismaz 18 ºC [5]. Ministru kabineta noteikumi neparedz maksimālās gaisa temperatūras ierobežojumus pirmsskolas izglītības iestāžu telpās, kā arī nenosaka CO_2 koncentrācijas un relatīvā gaisa mitruma vērtību robežas. Rekomendācijas iekštelpu mitrumam pēc EN ISO 7730 ir robežās no 30 % līdz 70 % [6].

Materiāli un metodes

Lai noteiktu mikroklimatu PII un iegūtie dati būtu savstarpēji salīdzināmi, nolemts mērījumus veikt šādās telpās:

- Grupas telpā;
- aktu zālē.

PII grupas telpās bērni uzturas lielāko dienas daļu (parasti arī guļ diendusu), līdz ar to šeit iekštelpu mikroklimats tieši saistās ar bērnu veselību. Aktu zāles vairumā PII netiek noslogotas cauru dienu, tāpēc dati par šo telpu mikroklimatu ir būtiski, lai noskaidrotu iespējas ietaupīt siltumenerģijas patēriņu.

Mērāmie lielumi:

- gaisa relatīvais mitrums;
- gaisa temperatūra;
- CO2 koncentrācija.

Datu ieguvei tik lietots sensors ar nosaukumu "Aranet4 HOME" ar sekojošu mērapjomu un mērījuma kļūdu:

- CO2 0-9999 (ppm) ar precizitāti – mērījumam no 0-2000 ppm (3 %); mērījumam no 2000-9999 ppm (10 %);
- temperatūrai 0-50 (ºC); 32-122 (ºC) ar precizitāti 0.4 (ºC); 0.72 (ºF);
- relatīvajam mitrumam 0-85(%) ar precizitāti ± 3 %.

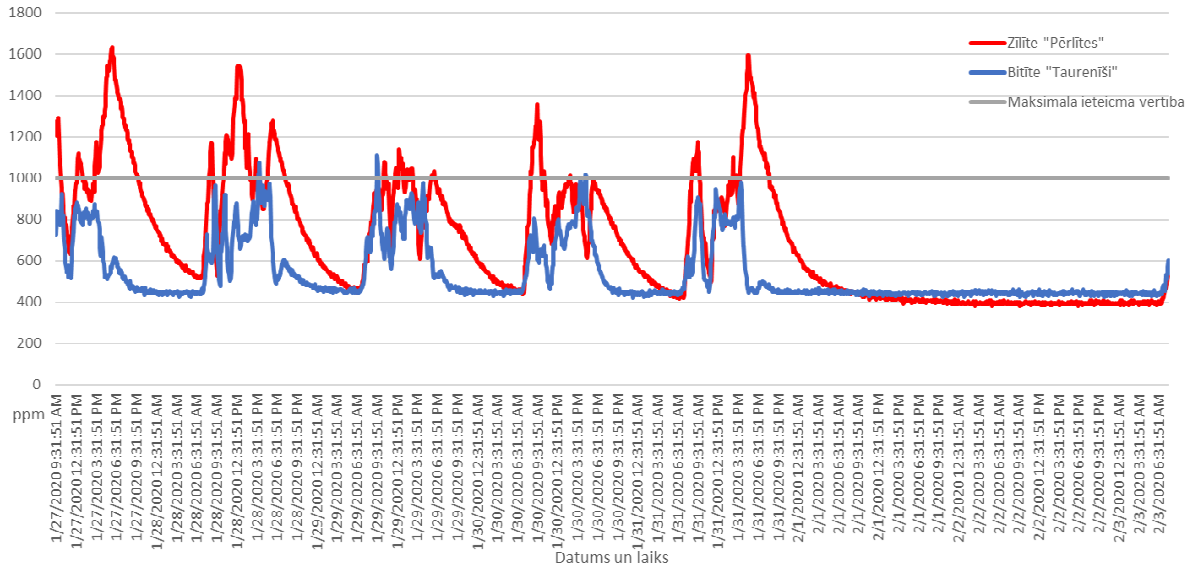
Mērīšanas periods izvēlēts 7 diennaktis, jo PII režīms ir periodisks un atkārtojas ik pēc nedēļas. 7 diennakšu periods ietver gan darba dienas, gan brīvdienas. Sensors "Aranet4 HOME" telpā tiek novietots 1,5 m augstumā no grīdas līmeņa vietā, kur tas nav pakļauts tiešiem saules stariem, tvaikam, pastiprinātam mitrumam, vienlaikus pielāgojot tā novietojumu telpas daļai, kur bērni uzturas visbiežāk. Sensoru nenovieto uz palodzēm, telpas stūros, kā arī pie telpas ieejas durvīm. Sensors uzkrāj datus par 7 diennakšu periodu, tāpēc dati par pētāmo objektu tiek savākti katru pirmdienas rītu, pirms sensoru pārvieto uz nākamo telpu. Mērījumi tiek veikti ik pēc 5 minūtēm.

Lai noskaidrotu apģērba siltumizolācijas spējas vērtības sakarību ar iekštelpu temperatūru un uzzinātu, vai siltumenerģijas daudzums tiek tērēts atbilstoši nepieciešamībai, pētījumā tiek izmantota anketēšana, aptaujājot PII vadību, audzinātājas un auklītes par bērnu aktivitātēm katrā konkrētā telpā attiecīgajās nedēļas dienās un laikos, kad notiek mērījumu veikšana, kā arī apģērbu atbilstoši aktivitāšu raksturam. Siltumenerģijas patēriņa dati PII "Zīlīte" tiek apkopoti pēc faktiskajiem siltumenerģijas skaitītāja rādījumiem, jo objekts pieslēgts centralizētajai siltumapgādes sistēmai. PII "Bitīte" siltumenerģijas nodrošināšanai uzstādīts gāzes apkures katls, tāpēc siltumenerģijas patēriņu aprēķina, reizinot izlietotā šķidrā kurināmā daudzumu ar tā augstāko siltumspēju un apkures katla lietderības koeficientu, kas noteikts pēc kurināmā augstākās siltumspējas. Abu PII karstā ūdens patēriņš (lai aplēstu, cik MWh tiek patērētas apkurei) aprēķināts kā vidējais siltumenerģijas patēriņš vasaras mēnešos, kad apkure atslēgta.

Rezultāti un diskusija

Pēc anketēšanas rezultātiem, 70 % no bērnudārzos pavadītā laika bērni uzturas iekštelpās. PII "Bitīte" pagājušā gada vasarā tika izbūvēta piespiedu ventilācija, kas būtiski atrisinājusi bērnudārza

personāla komforta līmeni, uzturoties telpā. Ventilācijas sistēma darbojas automātiski, ieslēdzoties, kad CO_2 līmenis telpā pārsniedzis 800 ppm. Temperatūra telpā svārstās no 21 līdz 23 ºC. Gaisa mitrums telpā ir robežās no 26 līdz 36 %. Ieviešot piespiedu ventilācijas sistēmu, elektroenerģijas patēriņš bērnudārzā pieaudzis par 53.26 kWh dienā (darba dienās), kopējo elektroenerģijas patēriņu PII palielinot vidēji par 1060 kWh mēnesī. Par bērniem piemērotu mikroklimatu liecina temperatūras, CO_2 un mitruma mērījumu rezultāti PII grupas telpā "Taurenīši", kur ikdienā uzturas bērni vecumā no 3 līdz 4 gadiem. Iegūtie rezultāti CO_2 koncentrācijai PII "Bitīte" un "Zīlīte" grupu telpās attēloti 1. attēlā.



1. att. **CO_2 līmenis PII "Bitīte" grupā "Taurenīši" un PII "Zīlīte" grupā "Pērlītes"**

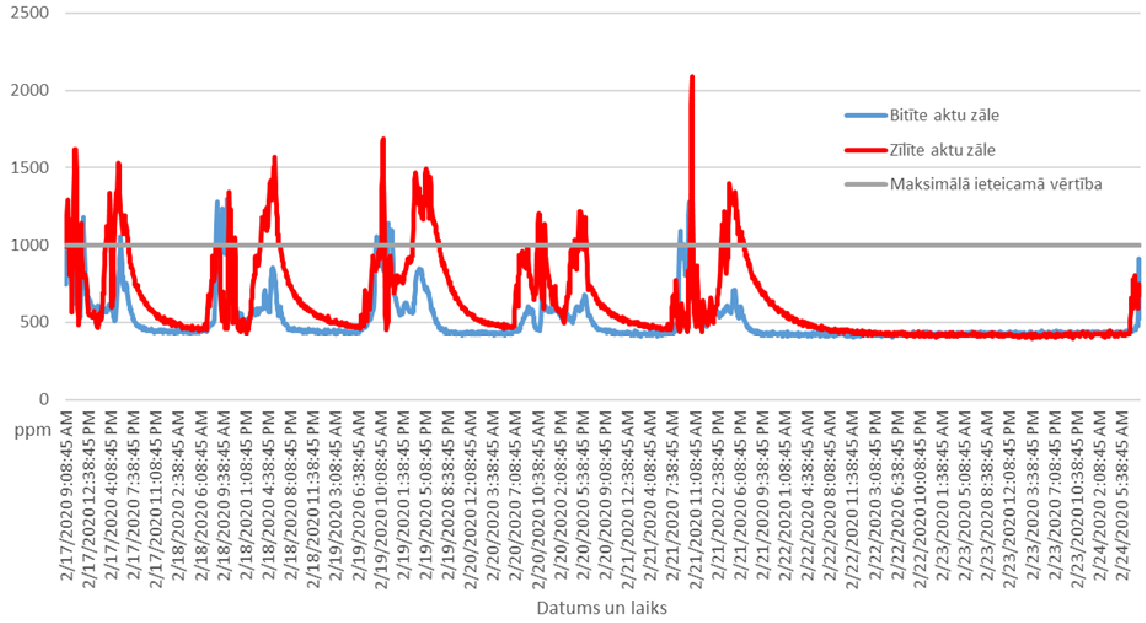
PII "Bitīte" grupas telpa darba dienās tiek papildus vēdināta caur logu, augšējā atvēruma pozīcijā, kas rada siltumenerģijas zudumus. Darbinieki veic šādu vēdināšanu, jo to paredz Higiēnas prasības. Praktiska pamatojuma šai darbībai nav, jo piespiedu ventilācija pilnībā nodrošina un uztur iekštelpu mikroklimata kvalitāti. Radiatoru termogalvas telpas vēdināšanas laikā netiek regulētas, kas rada siltumenerģijas zudumus.

Salīdzinoši augsti CO_2 mērījumu rezultāti atklājas PII "Zīlīte" grupā "Pērlītes", kur darba dienās uzturas bērni vecumā no 4 līdz 5 gadiem. Pētījuma rezultāti liecina, ka laikos, kad bērniem notiek aktivitātes grupas telpā, CO_2 koncentrācija ir 1000-1600 ppm. Mitruma līmenis telpā svārstās 23-39 % robežās. Brīdī, kad tika veikti mērījumi, dabīgo ventilācijas kanālu tīrīšana nebija veikta vismaz divus gadus. Precīzu informāciju par dabīgās ventilācijas kanālu stāvokli neizdevās noskaidrot. Lai uzlabotu svaiga gaisa pieplūdi telpā, jāveic ventilācijas kanālu tīrīšana. Pēc darbu veikšanas, CO_2 mērījumi jāveic atkārtoti.

Bērnu veselībai nelabvēlīgi CO_2 mērījumu rezultāti iegūti abās PII aktu zālēs, taču lielākas vērtības fiksētas PII "Zīlīte" aktu zālē, kur nav izbūvēta piespiedu ventilācija. No 2. attēlā atspoguļotajiem CO_2 koncentrācijas mērījumu rezultātiem un informācijas par telpu noslodzi, secināms, ka būtiski virs normas palielināta CO_2 koncentrācija veidojas, kad bērniem sākas nodarbības, turklāt rādījumi ir virs normas visu nodarbību laiku. Kā ilgākais periods ar paaugstinātu CO_2 koncentrāciju PII "Zīlīte" aktu zālē fiksēts 2 stundas un 20 minūtes. Augstākais rādījums 2088 ppm fiksēts darba dienā plkst. 10:43, kad bērniem ir mūzikas nodarbība. Mitruma līmenis zālē ir 26-39 % robežās. Iegūtie rezultāti liecina, ka svaiga gaisa pieplūde telpā ir nepietiekama. Ja atkārtoti veikti CO_2 mērījumu rezultāti pēc dabīgo ventilācijas kanālu tīrīšanas nesamazinās, jāplāno mehāniskās piespiedu ventilācijas izbūve PII "Zīlīte" aktu zālē, kā arī grupas telpā "Pērlītes".

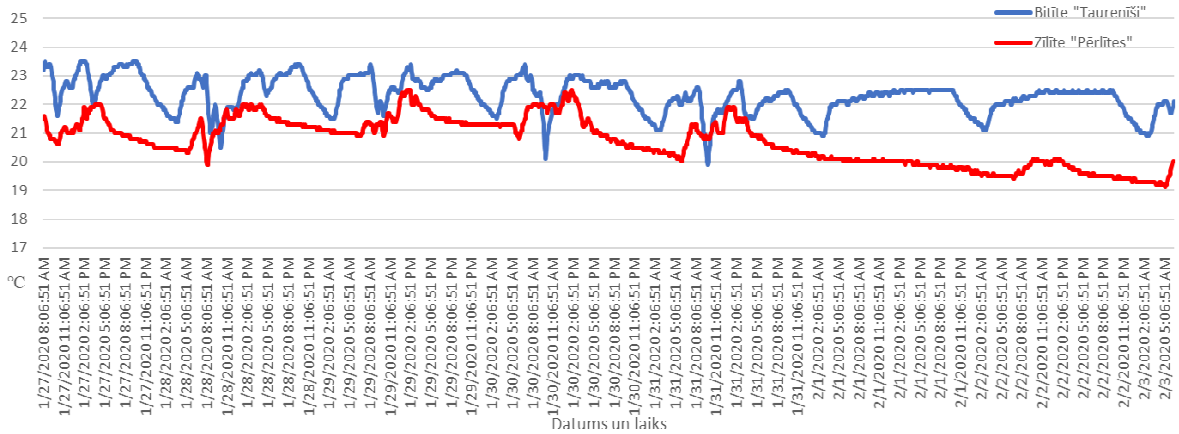
PII "Bitīte" aktu zālē maksimālā fiksētā CO_2 vērtība ir 1298 ppm. Būtiski, ka ilgākais paaugstinātas koncentrācijas periods ir 30 minūtes. Aktu zālē automātiskā režīmā darbojas piespiedu ventilācija, kurai ieslēgšanās vērtība tāpat kā "Taurenīšu" grupā ir 800 ppm. Mitruma līmenis zālē ir robežās no 20-45 %. Laikos, kad nodarbības nenotiek, zālē augšējā atvēruma pozīcijā tiek turēti vaļā logi. Vēdinot telpu ar logu palīdzību, netiek regulēti radiatoru termoregulācijas vārsti, jo tie ir bojāti.

Tas rada papildus siltumenerģijas zudumus. Pēc iegūtajiem datiem, telpu caur logu nepieciešams vēdināt pilna atvēruma pozīcijā starp nodarbībām tikai, ja viena pēc otras paredzētas vairākas nodarbības. Pārējo laiku logu turēšana ilgstoši vedināšanas režīmā rada papildus siltumenerģijas zudumus. Telpā nepieciešams pārtraukt vēdināšanu caur logu nodarbību starplaikos, kas ilgāki par 15 minūtēm, un veikt atkārtotus mērījumus. Iegūtos datus par temperatūru izvērtēt, lai rastu risinājumu siltumenerģijas taupīšanai.



2. att. **CO_2 līmenis PII "Bitīte" un PII "Zīlīte" aktu zālēs**

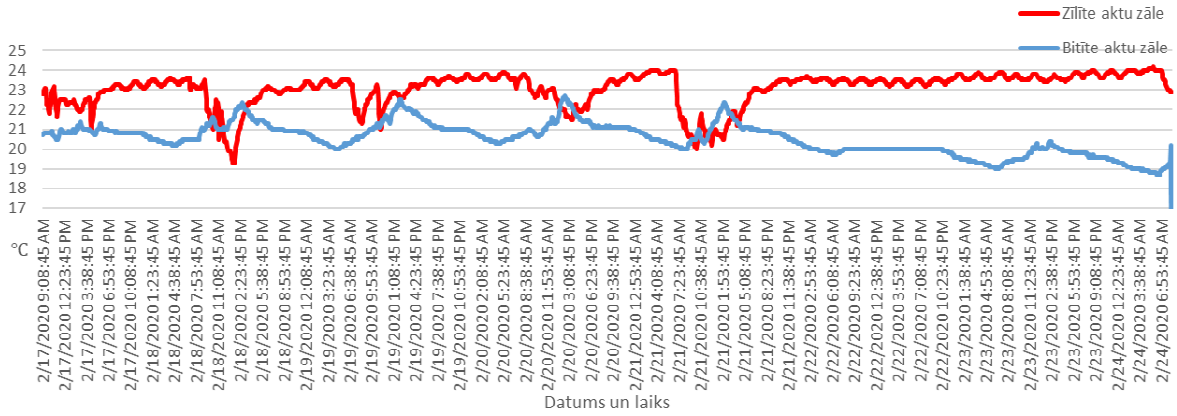
Pēc interviju datiem, "Taurenīšu" grupā bērni tiek ģērbti plānā apģērbā, kas atbilst 0.5 clo. Temperatūra grupā darba dienās vidēji ir 22.40 ºC. Vidējā temperatūra brīvdienās ir 22.07 ºC. Temperatūras mērījumi PII "Bitīte" grupā "Taurenīši" un PII "Zīlīte" grupā "Pērlītes" redzami 3. attēlā. Lai sasniegtu tādu telpas temperatūru, kurā bērni un personāls justos komfortabli, valkājot apģērbu, kas atbilst apkures sezonai atbilstošai apģērba siltumizolācijas spējai, telpas temperatūra būtu jāsamazina par 2 ºC. Turpretī "Pērlītes" grupā, lai justos komfortabli telpas temperatūrā, bērni tiek ģērbti apģērbā, kas atbilst 0.8 clo. Vidējā temperatūra grupas telpā darba dienās ir 21.18 ºC. Vidējā temperatūra brīvdienās ir 19.84 ºC. PII "Bitīte" siltummezglā nav veikti iestatījumi temperatūras samazināšanai brīvdienās, arī PII "Zīlīte" temperatūra brīvdienās ar nolūku samazināta netiek.



3. att. **Temperatūra PII "Bitīte" grupā "Taurenīši" un PII "Zīlīte" grupā "Pērlītes"**

PII aktu zāles temperatūras mērījumi redzami 4 attēlā. Lai gan PII "Bitīte" grupas telpā vidējā temperatūra ir augstāka, nekā PII "Zīlīte" grupas telpā, mērījumu dati aktu zālēs rāda pretēju ainu. PII "Zīlīte" aktu zālē vidējā temperatūra darba dienās ir 22.77 ºC, savukārt PII "Bitīte" aktu zālē 20.97 ºC. Brīvdienās vidējā temperatūra PII "Zīlīte" aktu zālē paaugstinās uz 23.57 ºC, savukārt PII "Bitīte"

samazinās uz 19.77 ºC. Pētījumā atklājas, ka abās zālēs bērni ģērbjas atbilstoši 0.5 cl, jo tieši nodarbības aktu zālē ir vairāk aktīvas un saistītas ar fizisku slodzi.



4. att. **Temperatūra PII "Bitīte" un PII "Zīlīte" aktu zālēs**

Pēc faktiskajiem siltumenerģijas patēriņa datiem, ņemot vērā karstā ūdens vidējo mēneša patēriņu (PII "Bitīte" 0.81 MWh un PII "Zīlīte" 2.27 MWh), PII "Bitīte" siltumenerģijas patēriņš apkures sezonā ir 100.9 MWh (pēc 2018./2019. gada apkures sezonas datiem, kas apskatāmi 1. tabulā), veidojot 0.147 MWh patēriņu uz 1 m^2, ņemot vērā PII kopējo apkurināmo platību 685.1 m^2.

1. tabula

Dati par 2018./2019. gada apkures sezonu PII "Bitīte"

Gads	**2018**				**2019**				
Mēnesis	**Sept.**	**Okt.**	**Nov.**	**Dec.**	**Janv.**	**Feb.**	**Mar.**	**Apr.**	**Mai.**
Augstākā siltumspēja, kWh m^{-3}	10.699	10.498	10.474	10.477	10.483	10.464	10.481	10.517	10.762
Gāzes patēriņš, m^3	159	1015	1207	1373	2594	1773	1678	1071	220
Patērētā siltumenerģija, MWh	0.77	9.1	10.95	12.56	24.48	16.44	15.55	9.66	1.39

Siltumenerģijas patēriņa dati par PII "Zīlīte" 2018./2019. apkures sezonu atspoguļoti 2. tabulā. Ar 1630 m^2 apkurināmās platības apkures sezonā PII siltumenerģijas patēriņš ir 169.22 MWh, kas veido 0.104 MWh·m^{-2}.

2. tabula

Siltumenerģijas patēriņš PII "Zīlīte"

Gads	**2018**				**2019**				
Mēnesis	**Sept.**	**Okt.**	**Nov.**	**Dec.**	**Janv.**	**Feb.**	**Mar.**	**Apr.**	**Mai.**
Patērētā siltumenerģija, MWh	1.01	9.53	23.02	30.26	38.34	26.4	24.96	11.85	3.85

Secinājumi

1. Pēc veiktajiem pētījumiem un aprēķiniem, vislielākais siltumenerģijas patēriņš uz 1 m^2 gadā ir PII "Bitīte" (0.147 MWh·m^{-2} apkures sezonā), kam seko PII "Zīlīte" (0.104 MWh·m^{-2} gadā)
2. Tā kā PII "Zīlīte" iegūtās CO_2 vērtības grupas telpā un aktu zālē laikos, kad telpās uzturas bērni un audzinātājas, pārsniedz vēlamo maksimālo vērtību par līdz pat 60 %, nepieciešams plānot mehāniskās ventilācijas ierīkošanu, ja mērījumu rezultāti neuzlabojas pēc ventilācijas kanālu tīrīšanas.
3. Visās telpās, kur tika veikti mērījumi, abās PII tiek izpildīts nosacījums par minimālo iekštelpu temperatūru apkures sezonā.

4. PII "Bitīte" novērojama paaugstināta grupas telpas temperatūra pie bērnu apģērba siltumizolācijas spējai, kas mazāka par 1 clo, savukārt PII "Zīlīte" novērojama paaugstināta aktu zāles temperatūra.
5. Datu analīze parāda, ka PII "Bitīte" grupas telpā "Taurenīši ir iespējams samazināt telpu temperatūru par 2 ºC darba dienās un 3 ºC brīvdienās, tādā veidā, saglabājot komforta līmeni, bet samazinot siltumenerģijas patēriņu.
6. Abās PII papildus siltumenerģijas zudumus rada telpu vēdināšanas ieradums, ilgstoši atstājot logus augšējā atvēruma pozīcijā, vienlaikus ekspluatējot zem tiem atrodošos sildelementus maksimālajā režīmā.
7. Pēc iegūtajiem datiem, PII "Zīlīte" aktu zālē iespējams samazināt temperatūru par vismaz 2 ºC darba dienās un 4 ºC brīvdienās, tādējādi saglabājot komforta līmeni, bet ietaupot siltumenerģiju.
8. Lai nodrošinātu bērnu veselībai atbilstošu mikroklimatu, nepieciešams rast risinājumus gaisa mitrināšanai, jo visās četrās telpās, kurās tika veikti mērījumi, mitruma līmenis laikos, kad bērni atrodas telpā, bieži ir zemāks par vēlamajiem 30 %.

Izmantotie informācijas avoti

[1] Septīto gadu pēc kērtas decembra laikapstākļiatklāj interesantu tendenci, 2019. [online] [01.02.2020]. Available at: https://www.la.lv/septito-gadu-pec-kartas-decembra-laikapstakli-atklaj-interesantu-tendenci
[2] Vulāns A. Ieteikumi ēku energoefektīvai apsaimniekošanai, 2011. [online] [03.03.2020]. Available at: http://kpfi.lv/uploads/files/KPFI/01/20111129_pps_Ieteikumi.pdf
[3] Fisk W.J., Wargocki P., Zhang X. Do Indoor CO2 Levels Directly Affect Perceived Air Quality, Health, or Work Performance? ASHRAE Journal, No 61, 2019, pp. 70-77.
[4] Izglītības iestāžu vides kvalitātes un drošuma pētījuma 1. posma rezultāti, 2018. [online] [08.03.2020]. Available at: http://www.vi.gov.lv/lv/sakums/izglitibas-iestazu-vides-kvalitates-un-drosuma-petijuma-1-posma-rezultati
[5] Ministru kabineta noteikumi Nr.890 "Higiēnas prasības bērnu uzraudzības pakalpojuma sniedzējiem un izglītības iestādēm, kas īsteno pirmsskolas izglītības programmu", 2013. [online] [09.03.2020]. Available at: https://likumi.lv/doc.php?id = 260057
[6] Olsen B.W., Parsons K.C. Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. Energy and Buildings, No 34, 2002, pp. 537-548.

NAFTAS PRODUKTU CAURUĻVADA "POLOCKA-VENTSPILS" MAĢISTRĀLO SŪKŅU STACIJU ELEKTROPIEDZIŅAS UN ENERGOEFEKTIVITĀTES RISINĀJUMI
ELECTRIC DRIVE AND EFFICIENCY SOLUTIONS OF OIL PRODUCT PIPELINE "POLOCKA – VENTSPILS" MAIN PUMP STATION

Lauris Vaits
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants
Aleksejs Gedzurs
Zinātniskais vadītājs, Mg.ing.sc.

Abstract. Pumps at transfer stations are unable to adapt to changing flow rates. The electric drives of the pumps have no possibility to change the shaft speed. The pumps run outside the nominal operating point. Flow pulsations occur in the oil product to be pumped, which interferes with accurate flow monitoring along the entire length of the pipeline. The vibrations of each electric drive and their pump bearings at different pumping modes are measured experimentally. Flow ripple is measured at these pumping modes. The electrical parameters of the electric drives are measured. A single-pump frequency-controlled electric drive must be installed to reduce flow ripple and improve energy efficiency.

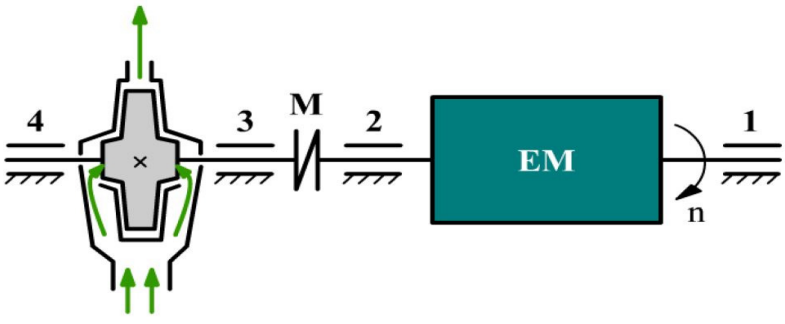
Atslēgas vārdi: centrbēdzes sūknis, vibrācija, plūsmas pulsācija, elektropiedziņa.

Ievads

Maģistrālais cauruļvads "Polocka-Ventspils" pa kuru tiek transportēts naftas produkts ar divu pārsūknēšanas staciju palīdzību: Ilūkste un Džūkste. Sūkņu stacijas ir projektētas nominālām jaudām, bet bieži vien, saistībā ar ģeopolitisko attiecību saasināšanos, ir strauji jāmaina pārsūknēšanas apjoms, kurš ir zem nominālajiem parametriem. Šāda pārsūknēšana rada sūkņos recirkulācijas un kavitācijas procesus, kuri cauruļvadā rada plūsmas pulsāciju. Plūsmas pulsācija bez tiešās ietekmes uz tehnoloģisko sistēmu slikti iespaido pārsūknējamās plūsmas parametru precīzu uzraudzību visā cauruļvada garumā un ierobežo iespējas savlaicīgi konstatēt nelielas noplūdes no tā. Šīs noplūdes no cauruļvada var būt defektu izraisītas un tad tiek piesārņota ar naftas produktu apkārtējā vide, vai, un tas ir vis biežāk – pie cauruļvada tiek veikti nelikumīgi pieslēgumi ar mērķi zagt pārsūknējamo dīzeļdegvielu, kas savukārt rada lielus materiālos zaudējumus. Tāpēc ir svarīgi izpētīt iespējamos variantus un rast risinājumus naftas produktu plūsmas regulēšanai pārsūknēšanas stacijā "Džūkste", iegūstot plašāku pārsūknēšanas jaudas regulēšanas diapazonu saglabājot augstu lietderības koeficientu, uzlabojot energoefektivitātes rādītājus.

Materiāli un metodes

Pētījumu veikšanai uzstāda vibrācijas devējus pa diviem uz katru gultni (skat. 1. att.) vienu vertikālajā otru horizontālajā plaknē.



1. att. **Devēju uzstādīšanas vietas uz sūkņu agregātu gultņu virsmām:** 1 – elektro motora aizmugurējais gultnis; 2 – elektromotora priekšējais gultnis; 3 – sūkņa aizmugurējais gultnis; 4 – sūkņa priekšējais gultnis

Darbā ir pētīta pārsūknēšanas zem nomināliem parametriem ietekme uz elektropiedziņas un to sūkņu gultņu vibrācijām, plūsmas pulsāciju un tehnoloģisko sistēmu kopumā.

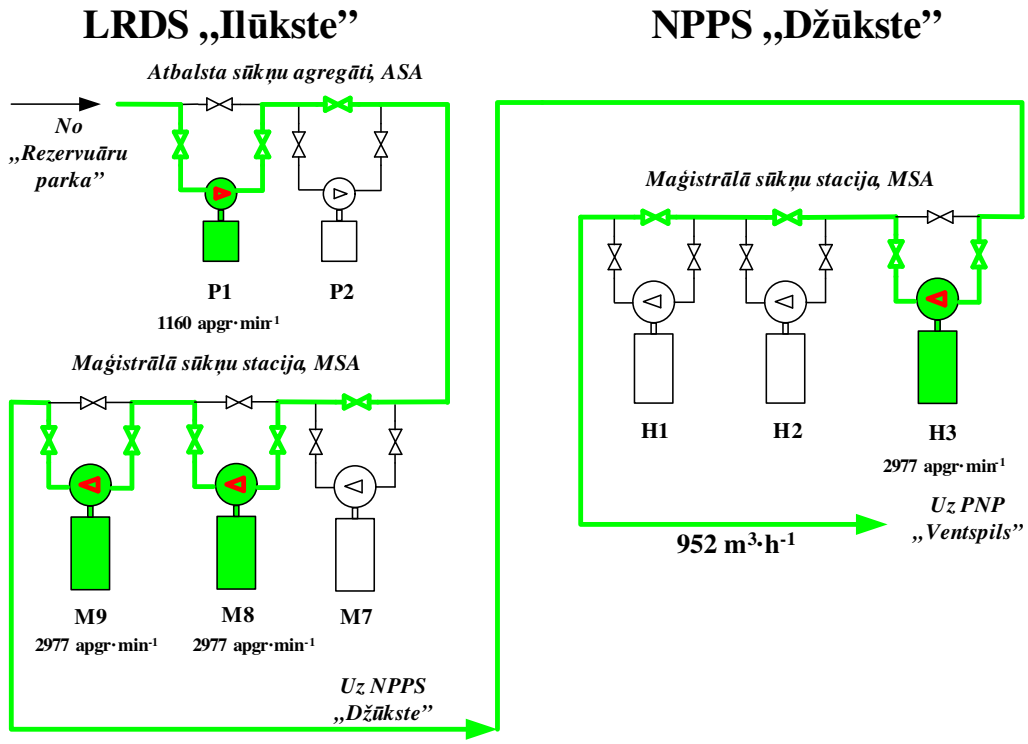
Mērījumus veic pie dažādiem (skat.1.tabula.) pārsūknēšanas režīmiem (dažāds iesaistīto sūkņu skaits gan Ilūkstes, gan Džūkstes stacijās), kuri nav nominālie sūkņu pārsūknēšanas darba režīmi. 2. attēlā ir apskatāms pārsūknēšanas režīms "4" kur Ilūkstes sūkņu stacijā strādā atbalsta sūkņu agregāts (ASA) – P1, tā sūkni piedzen 0.4 kV frekvenču vadīta elektropiedziņa ar 1100 apgr·min^{-1} (4 polu el.dz.) vārpstas rotācijas ātrumu un maģistrālie sūkņu agregāti ar tiešās palaišanas (6 kV, 1120 kW) elektropiedziņu katrs, kuri griež sūkņu vārpstas ar 2977 apgr·min^{-1}.

1. tabula

Pētījuma pārsūknēšanas režīmu apkopojums

Režīms	**Ilūkstes sūkņu stacija, ASA-atbalsta sūkņu agregāti , M7;M8;M9-maģistrālie sūkņu agregāti, apr·min^{-1}**				**Džūkstes pārsūknēšanas stacija, H1;H2;H3, maģistrālie sūkņu agregāti, apr·min^{-1}**		
	ASA, 1P	M7	M8	M9	H1	H2	H3
1.	1350	-	-	2977	2977	-	-
2.	1150	2977	-	2977	2977	-	-
3.	1150	2977	-	2977	-	2977	-
4.	1150	2977	-	2977	-	-	2977
5.	1260	-	-	-	-	-	-
6.	1450	-	-	-	-	-	-

Šie sūkņi tehnoloģiski ir slēgti virknē (M8 un M9) un tie ir identiski pēc saviem hidrauliskajiem un elektriskajiem parametriem gan savstarpēji, gan ar Džūkstes stacijas (H2 un H3) un tiem ir uzstādīts standarta sūkņa darba rats (449 mm).



2. att. **Tehnoloģiskā pārsūknēšanas shēma "4" režīmam**

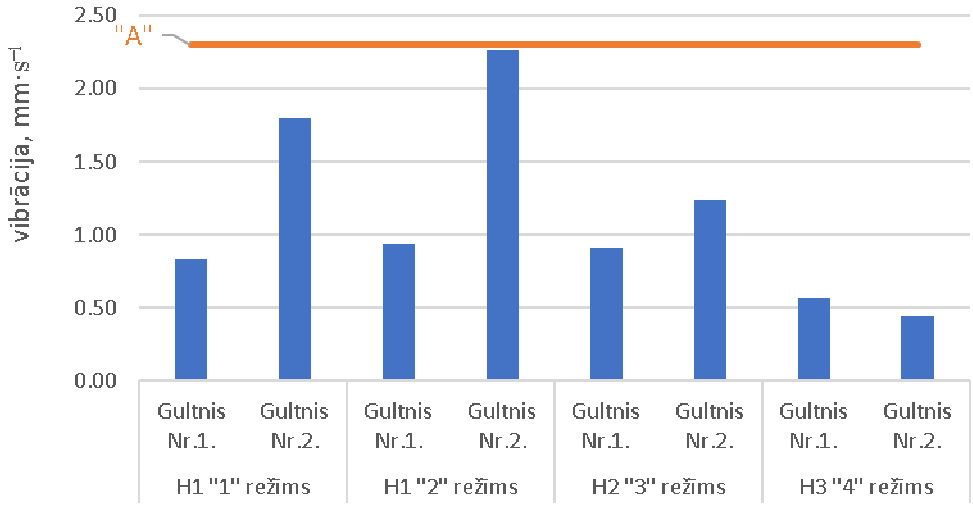
Savukārt Ilūkstes sūknis M7 un Džūkstes sūknis H1 ir ar samazinātiem pārsūknēšanas parametriem, jo tiem ir uzstādīts samazinātais sūkņa darba rats (432 mm) pie identiskas elektropiedziņas (M7;M8;M9; = H1;H2;H3 no elektropiedziņas viedokļa). Visiem maģistrālajiem sūkņiem ir tiešā elektropiedziņa, bez iespējas mainīt vārpstas griešanās ātrumu.

Ar enerģijas vadības sistēmas palīdzību (SCADA) izmēra un analizē elektropiedziņas elektriskos parametrus.

Pētījuma gaitā tiek izmērīta katra sūkņa un elektropiedziņas gultņu vibrācijas spektri un amplitūda Ar iebūvētajiem spiediena devējiem, katra sūkņa izplūdē, izmēra sūkņa spiedienu, tā pulsāciju maģistrālā cauruļvada ieplūdē.

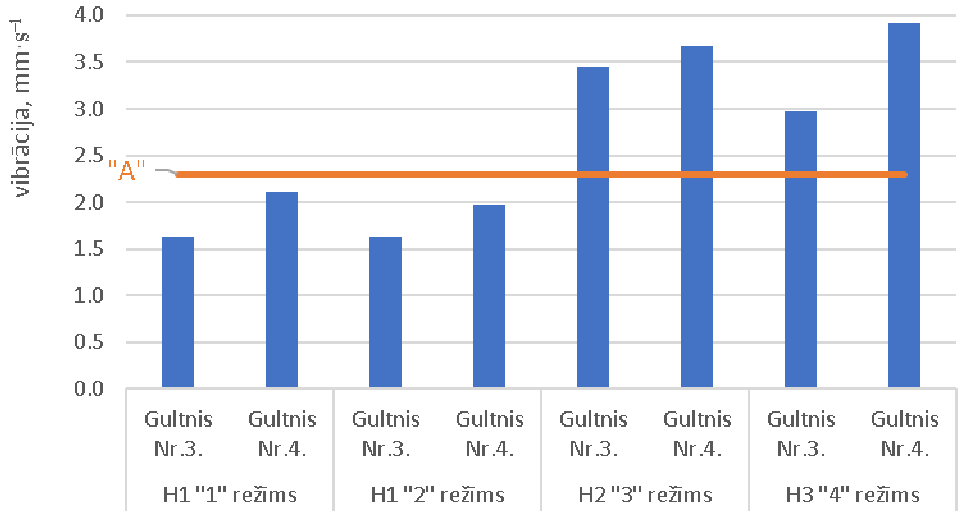
Rezultāti un diskusija

Elektropiedziņu gultņu izmērītie vibrācijas lielumi (skat. 3.att.) visi atbilst ISO 10816-3 standarta "A" apgabalam (līdz 2.3 $mm \cdot s^{-1}$), kurš ir raksturīgs jaunām (labām) mehāniskajām sistēmām. Augstākais izmērītais lielums ir "2" režīma H1 gultnim 2H (otrā gultņa horizontās plaknes mērījums) 2.26 $mm \cdot s^{-1}$.



3. att. **Elektropiedziņas gultņu izmērītie lielumi**

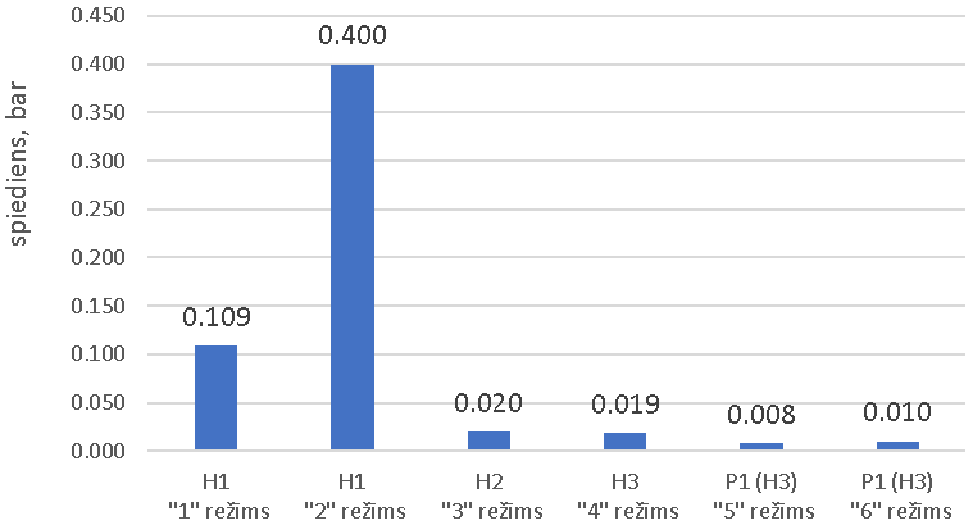
Lielākā izmērītā sūkņu gultņu vibrācijas lieluma vērtība ir 3.91 $mm \cdot s^{-1}$ H3 sūkņa 4. gultnim (skat. 4. att.) vertikālais mērījums (4V) ceturtajā režīmā.



4. att. **Sūkņu gultņu izmērītie lielumi**

Šāds intensitātes apgabals atbilst ISO 10816-3 standarta "B" apgabalam, (skat. 3. att.) kas ir raksturīgs mehāniskajām sistēmām ar labu (zemu) vibrācijas līmeni, bet pēc sūkņu ražotāja Ruhrpumpen tehniskās pases šim sūknim nominālos darba apstākļos vibrācijas līmenim ir jābūt 2.7 $mm \cdot s^{-1}$, vibrācijas līmenis ir augstāks par ražotāja noteikto par 30.9 %.

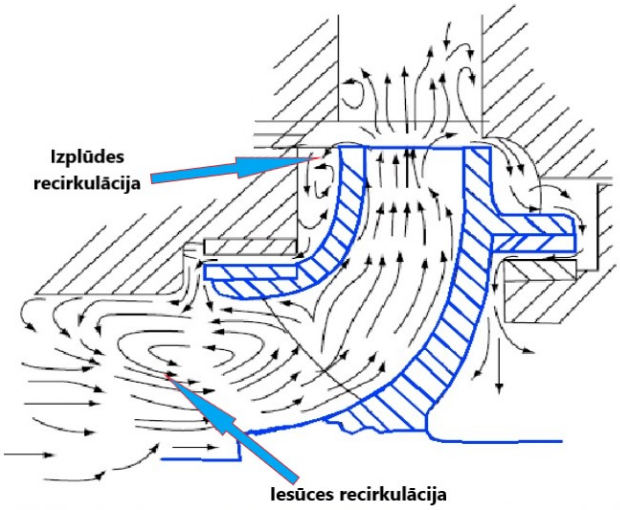
Tātad, šādā režīmā sūknis rada paaugstinātu vibrāciju, kas izraisa paaugstinātu plūsmas pulsāciju pārsūknējamā naftas produktā.



5. att. **Izmērītās plūsmas pulsācijas**

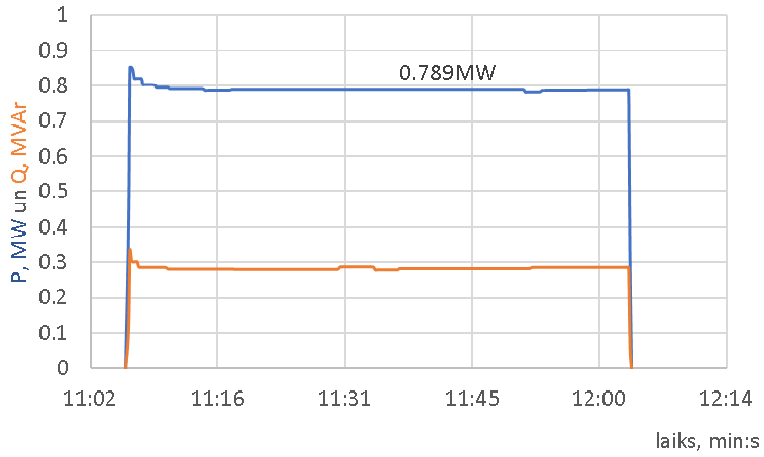
Pēc plūsmas pulsācijas izmērītajiem datiem, var redzēt, kad lielākā spiediena pulsācija pārsūknējamajā dīzeļdegvielā ir sūknim H1 (skat. 5. att.) un spiediena pulsācijas starpība sasniedza 0.4 bar otrajā pārsūknēšanas režīmā. Šis sūknis ir ar samazināto darba ratu 432 mm, standarta darba rats ir 449 mm, kāds tas ir H2 un H3 sūkņiem. Šis samazinātais darba rats ir uzstādīts ar mērķi pārsūknēt mazāku dīzeļdegvielas apjomu būtiski nesamazinot sūkņa lietderības koeficientu un līdz ar to samazināt elektroenerģijas patēriņu. Bet, kā var secināt, spiediena pulsāciju tas nesamazina, sūknim nestrādājot ar nominālajiem parametriem.

Vismazākā plūsmas pulsācija ir izmērīta režīmos "5" un "6", kad eksperimentālā kārtā tika izmērīts spiediens Džūkstes stacijas izejā pie H3 agregāta kādu pulsāciju rada cauruļvadā pārsūknēšanas procesā strādājot tikai Ilūkstes stacijas atbalsta sūkņu agregāts P1 (skat. 2. att. "P1") bez maģistrālajiem sūkņu agregātiem. Plūsmas pulsācijas gandrīz nav (0.008 bar "5" režīmā), bet pārsūknēšanas apjoms arī ir ļoti mazs, tikai 380 $m^3 \cdot h^{-1}$. Šāds pārsūknēšanas režīms ir tīri eksperimentāls un pielietot praksē nav paredzēts.



6. att. **Recirkulācijas process centrbēdzes sūknī**

Sūkņiem strādājot pie ne nominālajiem parametriem samazinās to lietderības koeficients, palielinās plūsmas pulsācija izplūdē jo rodas sūknī recirkulācijas process (skat. 6. att.) un ir iespēja sasniegt pārsūknēšanas parametrus kuri izraisa kavitāciju, kura ir bīstama jebkuram pārsūknēšanas procesam. Visus šos negatīvos procesus var novērst izmainot vārpstas griešanās ātrumu, pielāgojot to nepieciešamajam pārsūknēšanas režīmam un saglabājot augstu lietderības koeficientu gan elektropiedziņai, gan tā piedzītajam sūknim [1].



7. att. **Aktīvās jaudas *P* un reaktīvās jaudas *Q* mērījumu grafiks režīmā "4"**

Kā redzams 7.attēlā elektropiedziņa (H3, pārsūknēšanas režīms "4") nav strādājusi ar savu nominālo jaudu (P_{nom} = 1120 kW), šādā pārsūknēšanas režīmā pēc elektrodzinēja palaišanas un tehnoloģiskās sistēmas nostabilizēšanās $P_{rež.4}$ = 789 kW, kas ir 0.70 % no nominālās jaudas, līdz ar to elektrodzinēja lietderības koeficients η ir samazinājies no nominālajiem 0.96 % uz 0.95 %. Sūkņa lietderības koeficients, šādā pārsūknēšanas režīmā, ir 0.80 (η_{nom} = 0.81). Elektropiedziņas jaudas zudumus, ņemot vērā tās mainīgo lietderības koeficientu, kurš ir nolasāms no piedziņas tehniskās pases un raksturlīknēm, var aprēķināt pēc sekojošas izteiksmes:

$$\Delta P_{z0.70} = P_{nom} \cdot 0.70 \frac{1-\eta_{0.70}}{\eta_{0.70}} = 1120 \cdot 0.70 \cdot \frac{1-0.95}{0.95} = 412.63 \text{ W}, \quad (1)$$

kur $\Delta P_{z0.70}$ – aprēķināmā zudumu jauda pie 70 % noslodzes, kW;
P_{nom} – nominālā jauda, kW;
0.70 – noslodzes koeficients;
$\eta_{0.70}$ – elektrodzinēja lietderības koeficients pies 85 % noslodzes.

Pārsūknēšanas procesa galvenais ekonomiskais rādītājs ir patērētās elektroenerģijas attiecība pret pārsūknēšanas apjomu (MW uz $m^3 \cdot h^{-1}$). Eksperimentālajā veidā pattērētā elektroenerģija (H3, pārsūknēšanas režīms "4") ir aprēķināma analītiski pēc sekojošas izteiksmes:

$$W = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \frac{P_{sukn.}}{\eta_{sukn.} \eta_{el.piedz.} \eta_{fr.parv.}}, \quad (2)$$

kur W – elektro enerģija, kWh;
ρ – pārsūknējamā produkta blīvums, $kg \cdot m^{-3}$;
g – brīvās krišanas paātrinājums, $m \cdot s^{-2}$;
Q – sūkņa ražība, $m^3 \cdot s^{-1}$;
$P_{sukn.}$ – sūkņa radītais spiediens, m;
$\eta_{sukn.}$ – sūkņa lietderības koeficients;
$\eta_{el.piedz.}$ – elektropiedziņas lietderības koeficients;
$\eta_{fr.parv.}$ – frekvenču pārveidotāja lietderības koeficients, ja ir uzstādīts.

Analītiski (H3, pārsūknēšanas režīms "4") patērētā elektroenerģija ir nosakāma pēc izteiksmes:

$$W = 832.5 \cdot 9.81 \cdot 0.2644 \cdot \frac{278.14}{0.80 \cdot 0.95} = 790.25 \text{ kWh}. \quad (3)$$

Šādu pašu pārsūknēšanas apjomu 952 $m^3 \cdot h^{-1}$ kāds ir H3, pārsūknēšanas režīmā "4" var iegūt (vadoties pēc sūkņa raksturlīknēm) sūkņa vārpstai griežoties ar 2829 $apgr \cdot min^{-1}$ un radot celšanas 240 m (ūdens staba), strādājot ar 0.807 lietderības koeficientu. Elektropiedziņa saglabā nominālo lietderības koeficientu 0.96. Pieņemot, kad elektropiedziņa ir ar frekvenču izmainītas vārpstas griešanās ātrumu, aprēķinot patērēto elektroenerģiju ir jāņem vērā arī frekvenču regulātora iekārtas lietderības koeficients. Izvēlos aprēķiniem SIEMENS "Perfect Harmony" iekārtu, kura atbilst šīs

elektropiedziņas parametriem un tās lietderības koeficients 0.95. Šādu, vārpstas griešanās ātruma izmainītu pārsūknēšanas procesā patērēto elektroenerģiju aprēķina pēc izteiksmes:

$$W = 832.5 \cdot 9.81 \cdot 0.2644 \cdot \frac{240}{0.807 \cdot 0.96 \cdot 0.95} = 704.13 \text{ kWh} \cdot \quad (4)$$

Kā var redzēt izteiksmēs (3) un (4) ar vārpstas izmainītu griešanās ātrumu patērētās elektroenerģijas daudzums ir mazāks (par 86kW) kā strādājot elektropiedziņai un tās sūknim ārpus nominālā darba punkta. Ja pieņem kad šādu režīmu izmantotu 365 dienas gadā 24 stundas diennaktī, tad ekonomija uz elektroenerģijas rēķina būtu 753 MWh. Samazinātais patēriņš ir dēļ sūkņa un elektropiedziņas augstākiem lietderības koeficientiem. Lai sasniegtu nepieciešamo pārsūknēšanas apjomu (ja tas ir zemāks par nominālo) var samazināt vārpstas rotācijas ātrumu faktiski saglabājot nominālos lietderības koeficientus un sūknis rada zemāku spiedienu, salīdzinājumā ar neregulētu vārpstas griešanās ātrumu (240 m izteiksmē (4) un 278 m izteiksmē (3)), kas samazina tehnoloģisko iekārtu ekspluatācijas izdevumus [2].

Vienu no sūkņiem aprīkojot ar frekvenču vadītu, maināmu vārpstas griešanās ātruma elektropiedziņu, būs iespējams regulēt pārsūknēšanas plūsmas apjomu hidraulisko un mehāniko procesu vajadzīgajā režīmā un saglabājot augstu lietderības koeficientu gan elektropiedziņai, gan spārsūknēšanas sistēmai kopumā [3].

Secinājumi

1. Maģistrālajiem sūkņiem ir paaugstināta vibrācija (3.91 $mm \cdot s^{-1}$ H3 sūkņa 4. gultnim), sūkņi rada plūsmas pulsāciju pārsūknējamā naftas produktā (H1 0.4bar), šie hidrauliskie un mehāniskie faktori ir saistīti ar sūkņu agregātu ekspluatāciju ārpus nominālajiem darba punktiem.
2. Plūsmas regulēšana notiek ar droselēšanas metodi, kas ir energoneefektīva un izraisa tehnoloģisko iekārtu pastiprinātu nodilumu, sūkņiem strādājot ārpus nominālajiem darba punktiem, tajos rodas recirkulācijas process, iespējama kavitācija un rada cauruļvadā spiediena pulsāciju.
3. Efektīvāka plūsmas regulēšana ir mainīt vārpstas griešanās ātrumu saglabājot augstus lietderības koeficientus un samazinot sūkņa radīto spiedienu pie tās pašas pārsūknējamās jaudas. Samazinās elektroenerģijas patēriņš uz to pašu transportēšanas apjomu, kā tas tika pierādīts H3 pārsūknēšanas režīmam "4" – gada griezumā par 753 MWh. Samazinās zudumi elektriskajos tīklos.
4. Pie tās pašas elektropiedziņas jaudas pie tā paša sprieguma kuru patērē tiešā elektropiedziņa, strāva neregulētai elektropiedziņai būs lielāka kā regulētai. Tamdēļ, kad regulētai elektropiedziņai ir augstāks lietderības koeficients un jaudas koeficients un mazāka patērētā jauda.
5. Ir jārada elektrotehniskie risinājumi efektīvai plūsmas regulēšanai – blokshēma frekvenču pārveidotāja vadības pieslēgšanai vienai no maģistrālo sūkņu elektropiedziņai, saglabājot iespēju elektropiedziņai strādāt arī bez frekvenču pārveidotāja iekārtas.

Izmantotie informācijas avoti'

[1] Rusa I., Marin C., Baidoc M. Experimental Results of Vibroacoustic Diagnosis Performed with Vibro-Expert System. Scientific Bulletin of Valahia University – Materials and Mechanics, 16(14), 2018, pp. 38-51. DOI: 10.1515/bsmm-2018-0007

[2] Grosel J., Pakos W., Sawicki W. Experimental measurements as the basis for determination of the source of pumps' excessive vibration. Procedia Engineering, 111 (TFoCE), 2015, pp. 269-276. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.088

[3] Shabanov O.V., Kabargina Z. H. P. Evaluating the efectiveness of adjustable-frekuency electric drives of main pumps. Electronic Scientific Journal" Neftegazovoe Delo-Oil and Gas Business, (6), 2011, pp. 24-30.

SUPERKONDENSATORS KĀ ALTERNATĪVA TRADICIONĀLAJAM AKUMULATORAM
SUPERCAPACITOR AS ALTERNATIVE TO TRADITIONAL BATTERY

Guntis Gailums
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants
Aivars Kaķītis
Zinātniskais vadītājs, profesors, Dr.sc.ing.

Abstract. Over the past decade, great progress has been made in the development of supercapacitors. Current progress is the development of economical, portable, and stable supercapacitor devices using various synthesis methods to increase their energy storage ability. With environmental caution and rising fuel prices, supercapacitors can become more exciting, becoming ideal energy sources in the future.

Atslēgas vārdi: superkondensators, enerģija, uzlādes cikls, akumulators.

Ievads

Pēdējā desmitgadē ir panākts liels progress superkondensatoru attīstībā. Pašreizējais progress ir saistīts ar rentablu, pārnēsājamu un ilgtspējīgu superkondensatoru ierīču attīstību, izmantojot dažādas izgatavošanas metodes, lai uzlabotu to enerģijas uzkrāšanas spēju. Ņemot vērā vides aizsardzību un pieaugošās degvielas cenas, superkondensatori nākotnē var izrādīties ideāli enerģijas avoti [1].

Lai labāk izprastu superkondensatoru veiktspēju, ir veikti eksperimentāli un teorētiski pētījumi, lai noteiktu uzlādēšanas un izlādes ciklu īpatnības [2-4].

No enerģijas blīvuma vienādojuma (1) ir redzams, ka šūnas sprieguma palielināšana, lai palielinātu enerģijas blīvumu, ir daudz efektīvāka nekā kapacitātes palielināšana, jo spriegums formulā ir kvadrātā.

$$E = \frac{CV^2}{2} \tag{1}$$

kur E – kondensatorā uzkrātā enerģija, J;
C – kapacitāte, F;
V – spriegums, V.

Tomēr, ja šūnas spriegums superkondensatorā ir pārāk augsts, var notikt tajā esošā šķīdinātāja elektroķīmiskā sadalīšanās. Tas var radīt gāzveida produktus, izraisot spiediena palielināšanos superkondensatora iekšpusē, ietekmējot drošību un palielinot iekšējās pašizlādes. Vēl viens superkondensatoru trūkums ir paralēlas noplūdes, kas paātrina pašizlādes procesus [5].

1. tabulā dota salīdzinošā informācija, kas apkopota no dažādiem avotiem [6]. Vērtības tiek dotas kā aptuvenie 2017-2018. gada tirgus rādītāji.

1. tabula

Superkondensatoru salīdzinājums ar litija jonu akumulatoriem

Parametrs	Superkondensators	Litija jonu akumulators
Uzlādes laiks, s	1-10	600-3600
Uzlādes cikli	500000-1000000	500-5000
Šūnas spriegums, V	2.3 līdz 3.0	3.7 (nomināli)
Īpatnējā enerģija, $Wh \cdot kg^{-1}$	5-15	120-240
Īpatnējā jauda, $W \cdot kg^{-1}$	maks. ap 40000	maks. ap 1000-3000
Izmaksas, EUR par kW·h	7200-9000 (ja liela sistēma)	225-900 (ja liela sistēma)
Izmaksas, EUR par $kW \cdot kg^{-1}$	7.2-10.8	90-180
Izmaksas, EUR par kg	~90 (ja liela sistēma)	~90 (ja liela sistēma)

Piemēram, salīdzinošajā literatūrā aprakstītais pārveidotais *DeWalt* akumulatora skrūvgriezis darbojas tikai apmēram trīs minūtes. Tas ir pietiekami, lai ieskrūvētu aptuveni 30 koka skrūves. Bet tas uzlādējas aptuveni vienas minūtes laikā [7].

2. tabulā apkopotas būtiskākās superkondensatoru priekšrocības un ierobežojumi [5].

2. tabula

Superkondensatoru priekšrocības un ierobežojumi [5]

Priekšrocības	Ierobežojumi
• Ļoti liels dzīves cikls; var uzlādēt līdz pat 1000000 reizēm un vairāk • Augsta īpatnējā jauda; nodrošina lielas slodzes strāvas • Īss uzlādes laiks, sekundes līdz dažas minūtes; nav nepieciešama uzlādes cikla pārtraukšana • Vienkārša uzlāde; nekritisks uz pārlādēšanu • Relatīvi droša ekspluatācija • Lieliska zemas temperatūras uzlādes un izlādes veiktspēja	• Zema īpatnējā enerģija • Lineārais izlādes spriegums neļauj izmantot pilnu enerģijas spektru • Augsta pašizlāde; augstāka nekā lielākajai daļai bateriju vai akumulatoru • Zems šūnas spriegums; nepieciešami virknes slēgumi ar sprieguma līdzsvarošanu • Augstas izmaksas par vatstundu.

Pētījuma mērķis ir eksperimentāli noskaidrot superkondensatoru veiktspējas raksturlielumus darbā ar akumulatora skrūvgriezi.

Materiāli un metodes

Superkondensatoriem ir zems šūnas darba spriegums (piemēram, 2.7 V), tādēļ tie ir jāsaslēdz virknē, lai iegūtu nepieciešamo iekārtas darba spriegumu, kas parasti ir lielāks nekā superkondensatoru nominālais darba spriegums. Piemēram, lai izmantotu superkondensatoru 16 V sistēmā, būtu nepieciešami vismaz seši superkondensatori. Kondensatoru virknes slēgumā kopējo kapacitāti aprēķina pēc formulas (2). Jāņem vērā, ja superkondensatori ir saslēgti virknē, ir nepieciešama līdzsvarošanas shēma, lai nodrošinātu, ka spriegums uz katru kondensatoru nepārsniegtu pieļaujamo. Tas ir saistīts ar nelielām atšķirībām ekvivalentās sērijas pretestības (ESR) un strāvas noplūdēm [8-10].

$$C = \frac{1}{\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+\frac{1}{C_4}+\frac{1}{C_5}+\frac{1}{C_6}\right)} \quad (2)$$

kur C – kondensatoru virknes slēguma kopējā kapacitāte, F;
C_1-C_6 – katra kondensatora individuālā kapacitāte, F.

Parasti superkondensatoru uzlādēšanai un izlādēšanai ir divas galvenās pieejas. Viena no tām ir uzlādēšana vai izlāde pie pastāvīga šūnas sprieguma, lai reģistrētu šūnas strāvas izmaiņas laika gaitā, bet otra ir uzlādēšana vai izlādēšana ar pastāvīgu strāvu, lai reģistrētu šīs šūnas sprieguma izmaiņas laika gaitā. Šajā pētījumā akcents ir vērsts uz tieši uz šūnas un kopējā slēguma sprieguma izmaiņām laika gaitā.

Superkondensatora kapacitāte ir ļoti atkarīga no mērīšanas frekvences, kas ir saistīta ar elektrodu poraino struktūru un ierobežoto elektrolīta jonu mobilitāti. Pat pie zemas frekvences 10 Hz izmērītā kapacitāte samazinās no 100 līdz 20 % no līdzstrāvas kapacitātes vērtības, tāpēc šis elektriskais parametrs jāmēra ar īpašu pastāvīgas strāvas lādiņa un izlādes metodi, kas noteikts IEC standartos 62391-1 un 62391-2 [11].

Mērīšana sākas ar kondensatora uzlādi. Ir jāpieliek spriegums, un pēc tam, kad pastāvīgā strāva vai pastāvīgā sprieguma barošanas avots ir sasniedzis nominālo spriegumu, kondensators ir jāuzlādē 30 minūtes. Tālāk kondensators jāizlādē ar pastāvīgu izlādes strāvu. Tad mēra laiku t_1 un t_2, lai spriegums pazeminātos no 80 % (V_1) līdz 40 % (V_2) no nominālā sprieguma [12]. Metodes piemērs 1. attēlā.

Izlādes strāvas vērtību IEC standarts nosaka četrās klasēs. Kapacitātes vērtību klasēm aprēķina pēc šādām formulām - atmiņa (3), enerģijas uzkrāšana (4), jauda (5) un momentānā jauda (6):

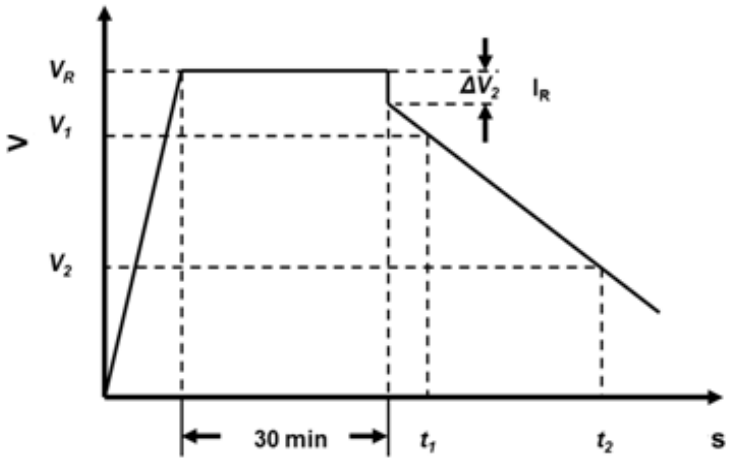
$$I_{izlādes} = 1 \cdot C \quad (3)$$

$$I_{izlādes} = 0.4 \cdot C \cdot V \quad (4)$$

$$I_{izlādes} = 4 \cdot C \cdot V \quad (5)$$

$$I_{izlādes} = 40 \cdot C \cdot V \quad (6)$$

kur $I_{izlādes}$ – izlādes strāva, mA;
C – kapacitāte, F;
V – spriegums, V.



1. att. **IEC standarta superkondensatora testēšanas metode**

Atsevišķu ražotāju izmantotās mērīšanas metodes galvenokārt ir salīdzināmas ar standartizētajām metodēm.

Pētījumā tika izmantoti 6 2.7 V 500 F superkondensatori (Green-Cap EDLC(DB), 2.7 V 500 F), kas tika saslēgti virknē modificējot superkondensatoru 2.7 V uzlādes balansēšanas sistēmu (BMS – *Boost Management System*) (CSD-033-V-1.0), teorētiski iegūstot 16.2 V 83.3 F superkondesatoru akumulatoru.

Pētījumā tika izmantots standarta metodes princips, bet atšķirīgais ir tas, ka no superkondensatora netika atslēgta BMS.

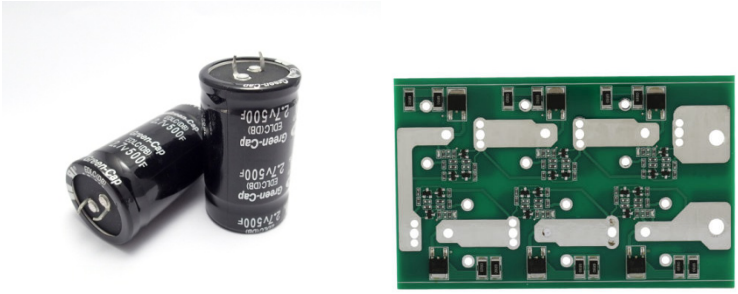
3. tabulā apkopoti svarīgākie izmantoto superkondensatoru parametri un 2. attēlā parādīti izmantotie superkondensatori un BMS sistēma pirms modificēšanas. Izmantotajai BMS sistēmai praktiski nav pieejami papildus tehniskie parametri, kā arī ražotājs ir iznīcinājis jebkādu marķējumu uz izmantotajām komponentēm, kas ļautu izmantot aprēķinos precizētus shēmas parametrus.

3. tabula

Izmantoto superkondensatoru parametri

Parametrs	**Superkondensators (Green-Cap EDLC(DB), 2.7 V 500 F)**
Nominālais spriegums, V	2.7
Kapacitāte, F	500
ESR, mΩ (pie $1 \cdot 10^3$ Hz)	2.9
ESR, mΩ (pie DC)	3.1
Nominālā strāva, A (pie t = 40º C)	40
Maksimālā strāva, A	264.7
$Wh \cdot kg^{-1}$	5.69

3. attēlā parādīts eksperimentu nolūkiem izmantotais akumulatora skrūvgriezis, kuram ir nolietoti oriģinālie akumulatori, bet jaunu iegāde objektīvi vērtējot nav finansiāli izdevīgi, ņemot vērā modeļa vecumu un to, ka tas nav specinstruments, kuru nevar aizstāt ar citu instrumentu.



2. att. **Izmantotie superkondensatori un uzlādēšanas līdzsvarošanas shēmas plate pirms modifikācijas**

3. att. **Akumulatora skrūvgriezis, nolietots akumulators pirms pārbūves un superkondensatori testa slēgumos**

Ņemot vērā, ka superkondensators ir lielāks par oriģinālā akumulatora individuālajiem elementiem, bet to skaits ir mazāks, nepieciešama izvietošanas pārplānošana, lai tos ievietoto oriģinālajā korpusā Šajā gadījuma to ir iespējams veikt praktiski neizmantot sākotnējo instrumenta ergonomiku.

Rezultāti un diskusija

Eksperimentu nolūkiem tika modificēta BMS un izveidots sistēmas slēgums, kas parādīts 4. attēlā.

Sprieguma datu iegūšanai tika izmantots daudzkanālu datu rakstītājs, bet ņemot vērā tā specifiku, sistēmā ir ieviests sprieguma dalītājs R1, R2, lai nepārsniegtu datu rakstītāja ieejas kanāla maksimālo jutību.

Eksperimentu galvenais akcents ir likts uz izveidotā akumulatora uzlādes un izlādes parametru noskaidrošanu instrumenta tipiskākajos darba apstākļos.

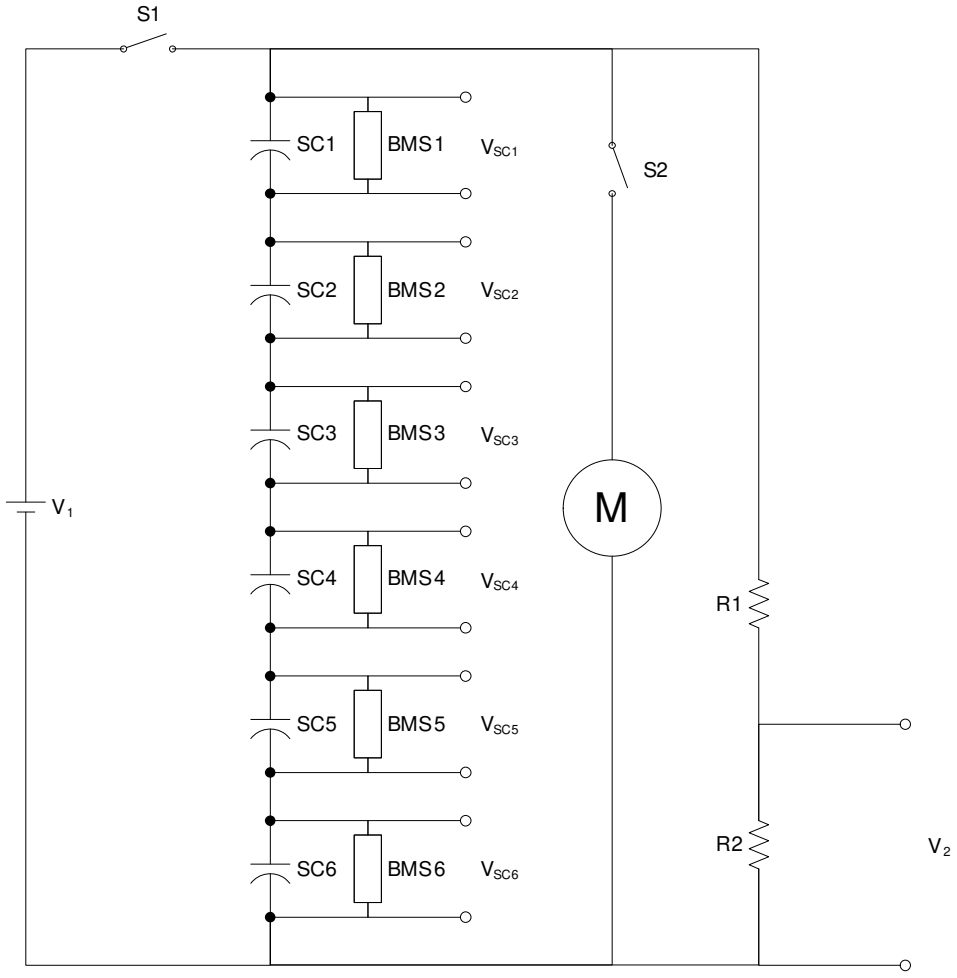
Veicot sistēmas testēšanu dažādos režīmos tika iegūti dažāda veida rezultāti, kas atsevišķos parametros uzrādīja atšķirības no teorētiskajiem rezultātiem.

5. attēlā redzami iegūtie dati no uzlādes cikliem. Visos gadījumos tika izmantots konstantas strāvas (3.23 A) uzlādes bloks ar iestatīto maksimālo spriegumu 30 V. Maksimālais spriegums nekad netiek sasniegts, jo to ierobežo BMS un summāri, atkarībā no uzlādes ilguma, tas svārstās 16 V robežās. Atšķirības skaidrojamas ar to, ka individuāli vērtējot katru superkondensatora maksimālo uzlādes spriegumu, tas praktiski atšķīrās no nominālā 2.7 V, bet nepārsniedza ± 10 % robežu.

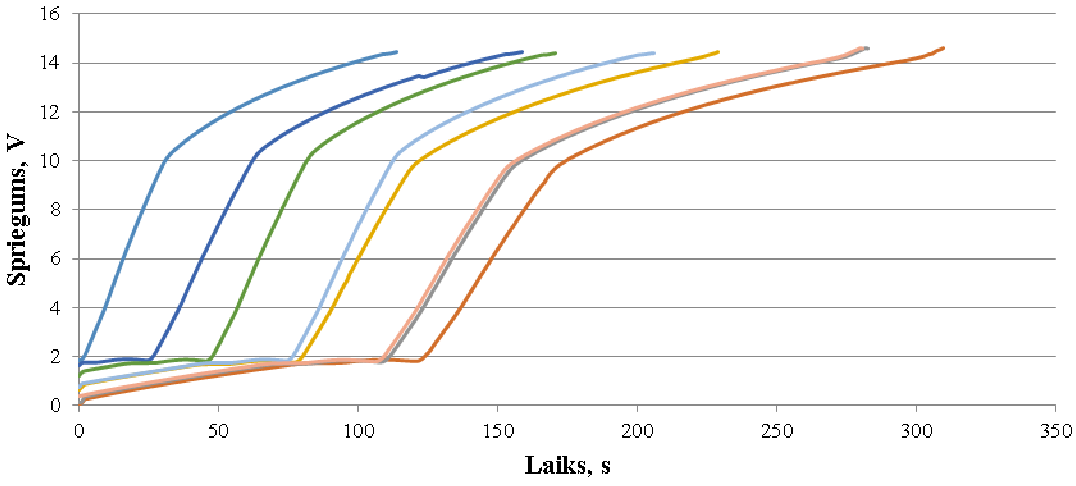
Superkondensatoru pilnīgai uzlādei ir nepieciešamas tikai ~100-300 sekundes (~1.6-5 minūtes). No tabulas datiem ir redzams, ka būtiskākais faktors, kas nosaka uzlādes ātrumu ir izlādes dziļums. Ja sistēma netiek izlādēta zem 2 V robežas, tad pilna uzlāde ir ~100 sekundes. Dotajai sistēmai pārsniedzot šo 2 V līmeni, būtiski pieaug lādēšanas ilgums. Viennozīmīgi nevar teikt, ka tas ir saistīts ar pašu superkondensatoru, jo to var ietekmēt arī pieejamo BMS uzbūves īpatnības, bet šī pētījuma ietvaros to nav iespējams analizēt, jo trūkst pilnvērtīgi dati par izmantoto BMS.

6. attēlā redzami iegūtie dati no dinamiskas izlādes cikliem. Dotajā piemērā ir izmantots akumulatora skrūvgriezis, kuram oriģinālais akumulators ir aizstāts ar superkondensatoru akumulatoru. Dinamiskā slodze tika testēta reālos apstākļos, kad ar pilnībā uzlādētu superkondensatoru akumulatoru intensīvi tika skrūvētas 40x3.2 mm kokskrūves sausā priedes brusā.

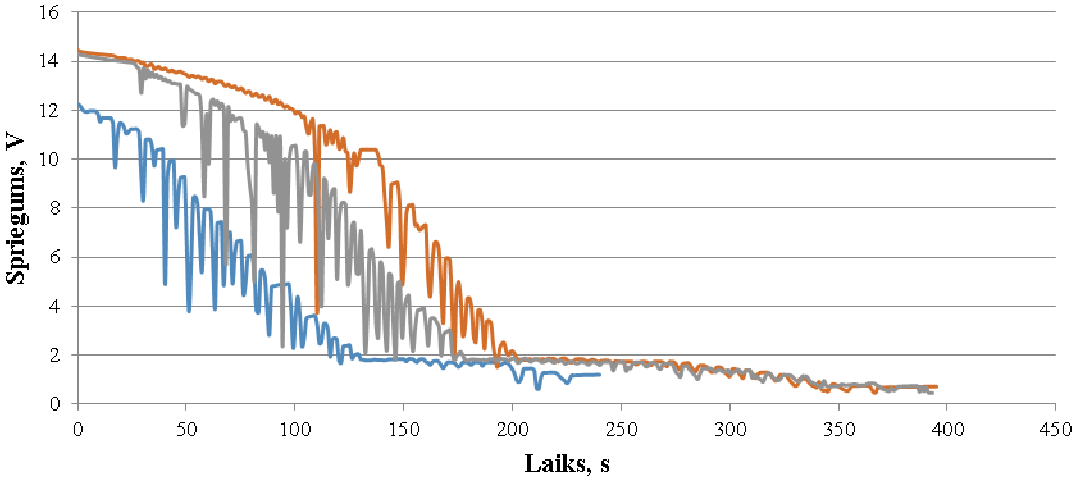
Skrūves vispirms tika izskrūvētas un tad ieskrūvētas atpakaļ jaunā pozīcijā. Slodzes mērītāji šajā posmā netika izmantoti.



4. att. **Eksperimenta sistēmas slēgums:** V_1 – barošanas avots; S1 – uzlādes slēdzis; S2 – izlādes slēdzis; SC1-SC6 – superkondensatori; BMS1-BMS6 – superkondensatoru uzlādes balansēšanas sistēma; M – akumulatora skrūvgriezis; V_{SC1}-V_{SC6}, V_2 – superkondensatoru un sistēmas sprieguma mērīšanas pieslēgvietas; R1, R2 – sprieguma dalītājs



5. att. **Uzlādes laiks, atkarībā no superkondensatoru izlādes dziļuma**



6. att. **Izlādes laiks pie dinamiskas slodzes izlādes**

Pēc iegūtajiem datiem ir redzams, ka intensīvas slodzes gadījumā, instruments saglabā darbaspējas ~250-400 sekundes (~4-6.7 minūtes). Dotajai sistēmai ar to pietika, lai izskrūvētu un ieskrūvētu jaunā pozīcijā vidēji 35 ± 5 kokskrūves. Dotā sistēma saglabā savu darbaspēju arī pie 2 V sasniegšanas. Darbība paliek lēnāka, bet joprojām ir izpildāma. Līdzīga situācija ar oriģinālajiem akumulatoriem radās jau pie ~6 V robežas sasniegšanas.

Secinājumi

1. Iegūtie rezultāti sakrīt vai ir pat labāki ar salīdzinošajā literatūra aprakstītajiem. Dotās sistēmas intensīva darbspēja pārsniedz 6 minūtes, kuru laikā var izskrūvēt un ieskrūvēt vairāk par 30 kokskrūvēm, bet pilns uzlādes laiks ir līdz 5 minūtēm, ja sistēma ir bijusi pilnībā izlādēta.
2. Priekšrocības izmantojot superkondensatorus ir ātrs uzlādes laiks jebkurā akumulatora izlādes stadijā. Dotās sistēmas uzlādes laiks normālā darba režīmā ir aptuveni 100 sekundes.
3. Superkondensatoru mazo energoietilpību kompensē arī iespēja veikt uzlādi ar spriegumu, kas ir mazāks par sistēmas nominālo, ko panāk ar lādēšanas shēmas pārslēgšanu. Doto sistēmu ir iespējams uzlādēt līdz maksimālajam 16 V spriegumam ar spriegumu, kas ir līdzvērtīgs vai lielāks par superkondensatora nominālo 2.7 V spriegumu.
4. Superkondensatori, salīdzinot ar litija jonu akumulatoriem, pēc uzlādes ciklu skaita pārsniedz to īpašības vismaz 1000 reizes un viennozīmīgi ir ilgtspējīga enerģijas uzkrāšanas ierīce. Tomēr, jāņem vērā superkondensatoru īpašības, lai izvairītos no zaudējumiem, kas rodas strāvas noplūdes dēļ un nodrošinātu optimālu instrumenta darbības ilgumu pēc pilnas vai daļējas uzlādes cikla.

Izmantotie informācijas avoti

[1] Muzaffar A., Ahamed M. B., Deshmukh K., Thirumalai J. A review on recent advances in hybrid supercapacitors: Design, fabrication and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 101 (July 2018), pp. 123-145. DOI: 10.1016/j.rser.2018.10.026

[2] Ban S., Zhang J., Zhang L., Tsay K., Song D., Zou X. Charging and discharging electrochemical supercapacitors in the presence of both parallel leakage process and electrochemical decomposition of solvent. Electrochimica Acta, 90, 2013, pp. 542-549. DOI: 10.1016/j.electacta.2012.12.056

[3] Barbosa V., Nogueira T., Carati E., Felgueiras C. Supercapacitor in battery charges of photovoltaic panel: Analysis of the technical feasibility. Energy Procedia, 153, 2018, pp. 80–85. DOI: 10.1016/j.egypro.2018.10.019

[4] Ceraolo M., Lutzemberger G., Poli D. State-Of-Charge Evaluation Of Supercapacitors. Journal of Energy Storage, 11, 2017, pp. 211-218. DOI: 10.1016/j.est.2017.03.001

[5] Conway B.E. Electrochemical Supercapacitors Scientific Fundamentals and Technological Applications. Ottawa, Ontario, Canada: Springer, 1999.

[6] Horn M., MacLeod J., Liu M., Webb J., Motta N. Supercapacitors: A new source of power for electric cars? Economic Analysis and Policy, 61, 2019, pp. 93-103. DOI: 10.1016/j.eap.2018.08.003
[7] Ultracapacitors: The Next Source For Powerful Cordless Tools? (S.a.). [online] [01.04.2020] Available at: https://toolmonger.com/2007/11/05/ultracapacitors-the-next-source-for-powerful-cordless-tools/
[8] Burke A., Miller M. The power capability of ultracapacitors and lithium batteries for electric and hybrid vehicle applications. Journal of Power Sources, 196(1), 2011, pp. 514-522. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2010.06.092
[9] Liu C., Wang Y., Chen Z., Ling Q. A variable capacitance based modeling and power capability predicting method for ultracapacitor. Journal of Power Sources, 374 (September 2017), pp. 121-133. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2017.11.033
[10] Pedrayes J. F., Melero M. G., Norniella J. G., Cano J. M., Cabanas M. F., Orcajo G. A., Rojas C. H. A novel analytical solution for the calculation of temperature in supercapacitors operating at constant power. Energy, 188, 2019. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116047
[11] Nesscap. Ultracapacitor - Technical guide 2008.
[12] Maxwell Technologies. Product Guide: BOOSTCAP Ultracapacitors. Doc. No. 1014627.1, 2009.

ELEKTRISKĀ STŪRES PASTIPRINĀTĀJA DARBSPĒJAS ANALĪZE
THE ANALYSIS OF THE WORKING CAPACITY OF ELECTRIC POWER STEERING

Reinis Palēvics
Tehniskās fakultātes 2. kursa maģistrants
Aivars Birkavs
Zinātniskais vadītājs, asociētais profesors, Dr.sc.ing.

Abstract. Integrating an electric power steering in a car changes its technical characteristics one of them is to easier turn the steering wheel and the power consumption under different conditions. The car's technical calculations do not include the additional power consumer – the electric power steering, which may cause concern that the car's alternator parameters may be insufficient to ensure the full power of the electric power steering.

Atslēgas vārdi: electric power steering, steering system, steering conversion, car electric power consumption.

Ievads

Elektrisko stūres pastiprinātāju integrēšanu automobiļos plaši izmanto Amerikas Savienotajās Valstīs, kur vēsturiskus transportlīdzekļus aprīko ar elektriskajiem stūres pastiprinātājiem, kā arī stūres sistēmas izmaiņas un dalība ceļu satiksmē ir atļauta. Tur pastāv kompānijas, kas piedāvā komplektus konkrētam automobilim [1]. Latvijā ir aizliegts piedalīties ceļu satiksmē, veicot stūres sistēmas izmaiņas, izņemot, ja tas ir sporta automobilis vai, ja par tās atbilstību ceļu satiksmes drošības tehnisko normatīvu prasībām saņemts transportlīdzekļa izgatavotāja vai tehniskā dienesta atzinums. Transportlīdzeklim atļauts veikt otrās kategorijas pārbūvi, saskaņojot to Ceļu satiksmes drošības direkcijā, pēc atzinuma saņemšanas [2].

Automobilim, aprīkojot ar elektrisko stūres pastiprinātāju, samazinās griezes moments uz stūres ratu, kas uzlabo tā vadāmības parametru, uzlabojas stūrēšanas komforts, kā arī stūrēšanas vadību var aprīkot ar inovatīvām sistēmām izmantojot mikrokontrolierus un sensorus. Iespējams pielāgot stūrēšanu cilvēkiem ar invaliditāti.

Automobili integrējot ar elektrisko stūres pastiprinātāju, mainās tā tehniskie parametri, viens no tiem ir elektriskās jaudas patēriņš pie dažādiem stūrēšanas apstākļiem. Automobiļa tehniskajos aprēķinos nav iekļauts papildus elektrisks patērētājs – elektriskā stūres pastiprinātāja patērētā jauda, ko automobiļa ģenerators var nenodrošināt, lai elektriskais stūres pastiprinātājs un automobiļa darbība būtu pilnīga.

Eksperimentālā pētījuma mērķis ir novērtēt integrētā elektriskā stūres pastiprinātāja darbspēju automobiļa *VAZ-21051* stūres sistēmā, veicot mērījumus stūres rata pagriešanas laikā, nosakot tā patērēto jaudu. Lai veiktu šo pētījumu, nepieciešams:

- noteikt stūres sistēmas darbspēju *VAZ-21051*, kam uzstādīts elektriskais stūres pastiprinātājs, un veikt mērījumus ar neuzstādītu stūres pastiprinātāju;
- noteikt patērēto jaudu, izmantojot elektrisko stūres pastiprinātāju automobilim *VAZ-21051*, un salīdzināt iegūtos rezultātus.

Materiāli un metodes

Pētāmais objekts ir automobilis *VAZ-21051* (skat. 1. att.) bez stūres pastiprinātāja, kas tiek aprīkots ar elektrisku stūres sistēmas stūrēšanas spēka pastiprinošu elementu. Lai salīdzinātu un izdarītu secinājumus par automobili *VAZ-21051* ar stūres pastiprinātāju un bez tā, eksperimentālie mērījumi ir jāiegūst abiem stūres sistēmu veidiem – griezes momentu uz stūres rata, kā arī elektriskā stūres pastiprinātāja patērētā elektriskā jauda.

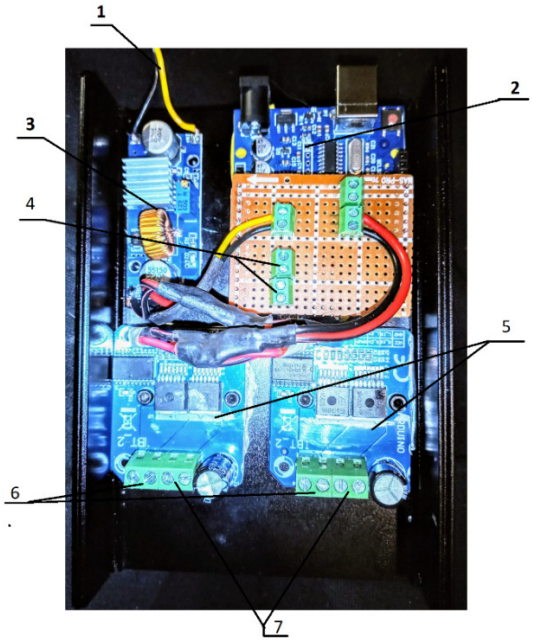
Eksperimentā izmantotais automobilis un iekārtas:

Lai aprīkotu automobili *VAZ-2105* ar elektrisko stūres pastiprinātāju ir nepieciešams pārveidots un pielāgots *Opel Corsa* elektriskā stūres pastiprinātāja elements, kas aizstāj oriģinālās automobiļa stūres sistēmas daļu no stūres līdz stūres reduktoram (skat. 3. att.). Kā arī pārveidotajam un pielāgotajam *Opel Corsa* elektriskās stūres pastiprinātāja elementam ir izveidots vadības modulis (skat. 2. att.), lai pielāgotu vadību tieši automobilim *VAZ-2105*. Griezes momenta noteikšanai uz stūres

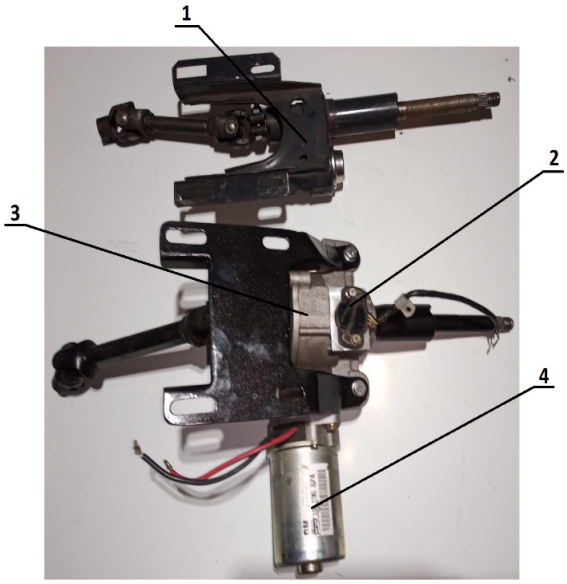
ratu, tiek izmantota pašizgatavota ierīce (skat. 5. att.), kas mēra gan griezes momentu, gan arī pagriešanas leņķi izmantojot *ADXL345* sensoru [3].

1. att. **Eksperimentā izmantotais automobilis, *VAZ – 21051***

- ražošanas gads – 1991;
- dzinējs – 1.2 l, maksimālā jauda 47.2 kW pie motora rotācijas frekvences 5600 min^{-1};
- pašmasa – 995 kg;
- priekšējo riteņu parametri – R13, 175/70, 2.3 Bar;
- stūres reduktora pārnesuma skaitlis – 16.4.

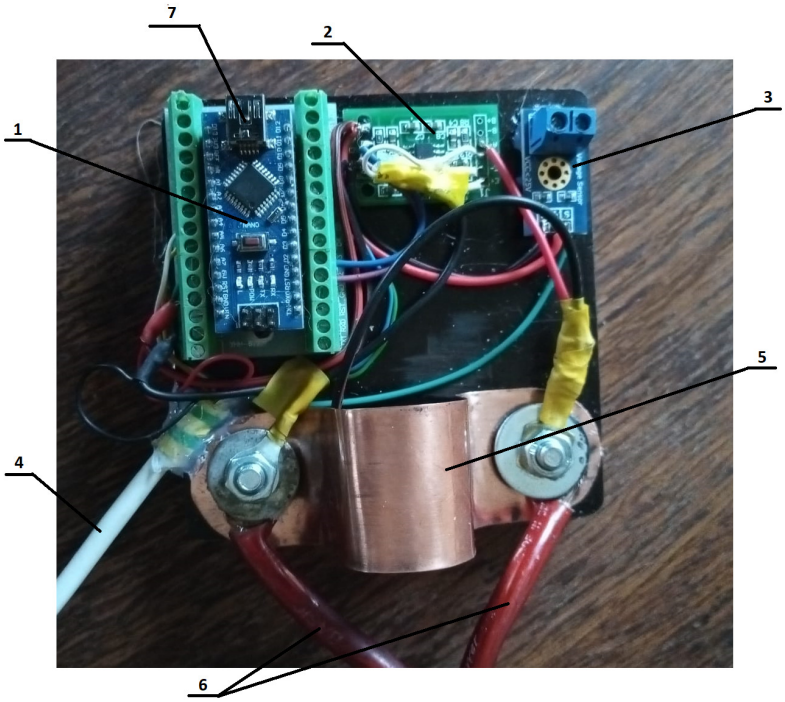


2. att. **Elektriskā stūres pastiprinātāja vadības modulis:** 1 – Strāvas pieslēguma vieta no automobiļa aizdedzes slēdža; 2 – mikrokontrolieris, *Arduino Uno*; 3 – sprieguma pārveidotājs, no 12 uz 5 voltiem; 4 – pieslēguma vietas mikrokontrolierim no elektriskā stūres pastiprinātāja griezes momenta sensora *P5JPHBV;* 5 – elektriskā stūres pastiprinātāja motora vadītāji, *IBT – 2;* 6 – pieslēguma vietas ar elektromotoru; 7 – strāvas pieslēguma vietas

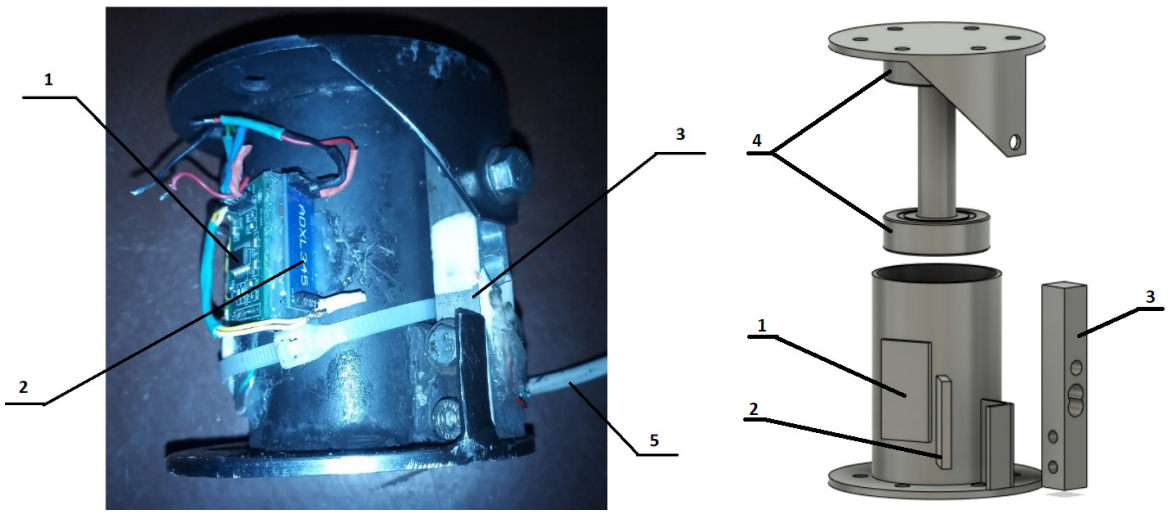


3. att. **Oriģināla *VAZ – 21051* stūres sistēmas un elektriskā stūres pastiprinātāja elements:** 1 – oriģināls *VAZ – 21051* stūres sistēmas elements; 2 – elektriskā stūres pastiprinātāja sensors, *P5JPHBV*; 3 – elektriskā stūres pastiprinātāja sistēmas elements; 4 – elektriskā stūres pastiprinātāja elektromotors

Elektriskā pastiprinātāja elektriskās jaudas un datu apraides funkciju nodrošina sensoru, datu apraides un procesu modulis (skat. 4. att.), kur datu apraidi nodrošina mikrokontrolieri saslēdzot ar datoru izmantojot USB kabeli. Mikrokontrolierim arī ir pieslēgts ar signāla kabeli stūres rata griezes momenta iekārta.



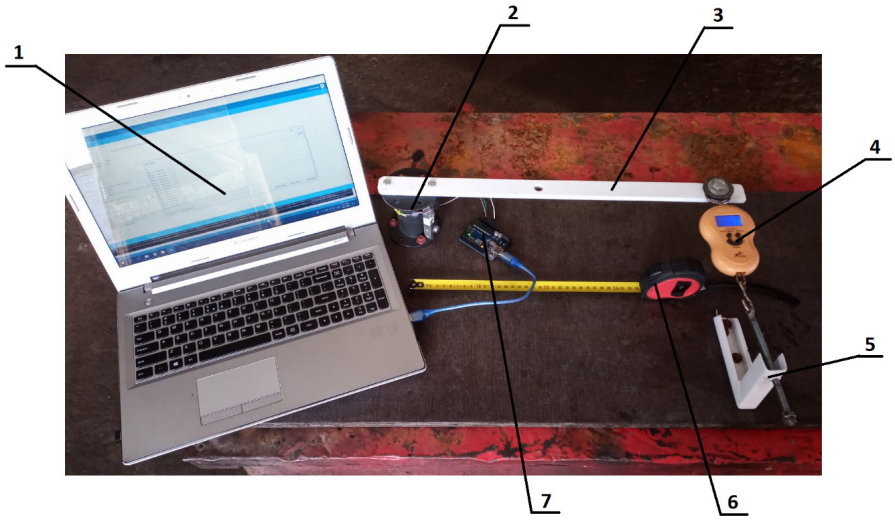
4. att. **Sensoru, datu apraides un procesu modulis:** 1 – mikrokontrolieris, *Arduino Nano*; 2 – strāvas stipruma modulis, *HX711*; 3 – sprieguma sensors; 4 – signāla kabelis; 5 – strāvas stipruma sensors, šunta rezistors; 6 – strāvas stipruma pieslēgšanas vadi; 7 – datu apraides, ierakstīšanas pieslēgšanās vieta izmantojot USB savienojumu ar datoru



5. att. **Stūres rata griezes momenta iekārta:** 1 – slodzes sensora vadības modulis, *HX711*; 2 – pagrieziena leņķa sensors, *ADXL345*; 3 – slodzes sensors; 4 – gultņi; 5 – signāla kabelis, kas savieno ar sensora, datu apraides un procesu moduļa mikrokontrolieri *Arduino Nano*

Eksperimenti tiek sākti ar pētāmo objektu, mēriekārtu, nepieciešamo materiālu un izmantojamo palīglīdzekļu sagatavošanu darbam. Pirms mērījumu veikšanas pētāmais objekts, izmantojamās iekārtas un automobilis tiek sagatavoti eksperimentiem. Pētāmā objekta sagatavošana tiek veikta sekojoši:

1. automobilim *VAZ-21051* pārskata, un fiksē faktiskos tehniskos parametrus – riepu spiedienu un izmēru, akumulatora spriegumu, nepieciešamības gadījumā tos izmana, piemēram, riepās spiedienu;
2. sagatavo telpu, kurā tiks veikts pētījums, uzsilda vajadzīgajā temperatūrā +20 ºC;
3. sagatavo nepieciešamos instrumentus stūres sistēmas nomaiņai;
4. sagatavo elektriskā stūres pastiprinātāja sistēmu, pārbauda vai ir visi nepieciešamie elementi, nokalibrē griezes momenta sensoru, (skat 6. att.);
5. sagatavo nepieciešamās ierīces un sensorus pētījuma veikšanai.



6. att. **Griezes momenta sensora kalibrēšana:** 1 – dators, savienots ar mikrokontrolieri *Arduino Uno*; 2 – griezes momenta sensors; 3 – griezes momenta svira, spēka pleca garums 44.2 cm; 4 – elektriskie svari, kas savienoti ar griezes momenta sviru; 5 – mehānisms, kas savienots ar elektriskiem svariem un maina pielikto spēku; 6 – mērlente, spēka pleca noteikšanai; 7 – mikrokontrolieris *Arduino Uno*

Mērījumu veikšana tiek uzsākta, kad pētāmais objekts, izmantojamās iekārtas un automobilis ir sagatavots.

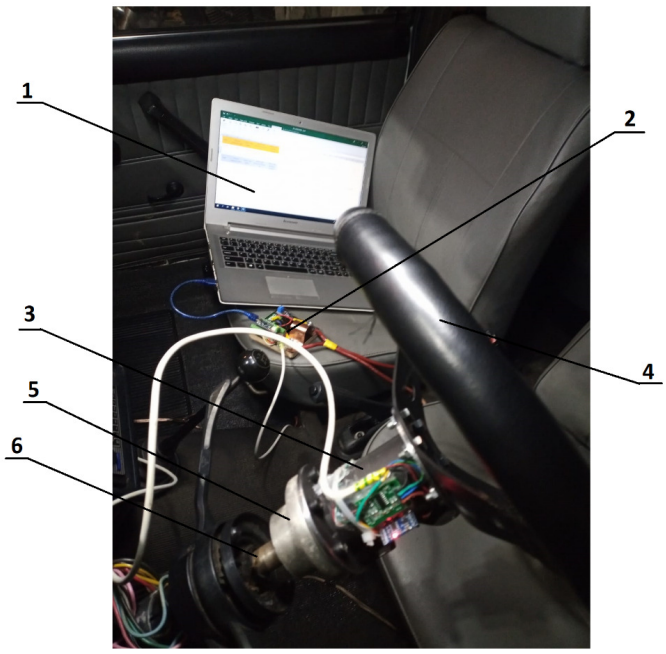
Mērījumu veikšanas process:

1. automobili *VAZ-21051* novieto telpā, kur tiks veikti mērījumi;
2. uz automobiļa *VAZ-21051* tiek uzstādīti nepieciešamie sensori – stūres leņķa sensors, kā arī ierīce stūres rata griezes momenta noteikšanai;
3. tiek veikta sensoru un ierīces kalibrēšana, kā arī to pievienošana datu reģistratoram;
4. tiek veikta stūres rata pagriešana atbilstoši reāliem braukšanas apstākļiem un tiek iegūti mērījuma procesa dati (skat. 7. att.) [4];
5. tiek uzstādīts elektriskais stūres pastiprinātājs;
6. tiek veikta sensoru atkārtota uzstādīšana un to nepieciešamā kalibrēšana, kā arī to pievienošana datu reģistratoram;
7. automobiļa *VAZ-21051* dzinējs tiek uzsildīts līdz darba temperatūrai, motora brīvgaitas rotācijas frekvence – 900 min^{-1};
8. dzinējam darbojoties, tiek veikti mērījumi un datu ierakstīšana stūres rata pagriešanai ar elektrisko pastiprinātāju un pagriešanai atbilstoši reāliem stūrēšanas apstākļiem automobilim neatrodoties kustībā;
9. tiek apstrādāti iegūtie dati;
10. tiek noteikta elektriskā stūres pastiprinātāja patērētā jauda.

Pētījuma apjoms tiek veikts četros etapos:

1. eksperimentālie pētījumi bez stūres pastiprinātāja;
2. eksperimentālie pētījumi ar stūres pastiprinātāju;
3. eksperimentālie pētījumi nosakot elektriskā stūres pastiprinātāja patērēto elektrisko jaudu;
4. pētījuma analīze un salīdzinājums stūres sistēmai ar pastiprinātāju un bez.

Pētījumi tiek veikti iekštelpā uz nemainīga grīdas seguma virsmas pie vienādiem automobiļa tehniskajiem parametriem, kur tiek uzturēta konstanta gaisa temperatūra +20ºC. Veicot mērījumus, tos saglabā datu reģistratorā ar intervālu 0.02 s.



7. att. **Mērījuma veikšanas process:** 1 – dators; 2 – sensoru, datu apraides un procesu modulis; 3 – stūres rata griezes momenta iekārta; 4 – stūres rats; 5 – stūres vārpstas pāreja; 6 – stūres vārpsta

Rezultāti un diskusija

Pieliktais griezes moments uz stūres ratu ir atkarīgs no stūres ratu mehānismos radītās pretestības, stūres sistēmas pārnesumu attiecības, riteņu radītās berzes pretestības, kā arī stūres rata griešanas ātruma un paātrinājuma. Mērījumu veikšanas procesā stūres rats netika griezts ar konstantu griešanas ātrumu, kā arī paātrinājumu, kas izpaužas grafikus (skatīt 8. un 9. att.) padara viļņainus vai raustītus. Tas pats arī atspoguļojas uz jaudas mērījuma veikšanu, kur viļņains ir arī patērētā jaudas grafiks (skatīt. 10. att.)

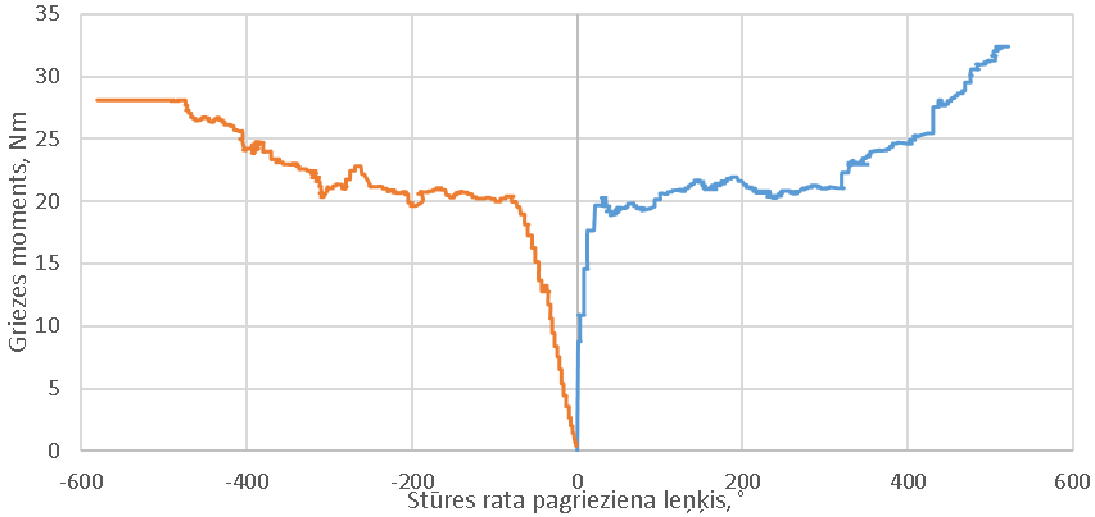
Elektriskā stūres pastiprinātāja jaudas parametri ir atkarīgi arī no pieliktā stūres rata griezes momenta, kuru attiecību var koriģēt elektriskā stūres pastiprinātāja vadības moduļa mikrokontrolierī.

Pieliktais griezes moments stūres ratam bez pastiprinātāja, stūres ratu griežot pa kreisi no 0º līdz -78.2º tā griezes moments strauji pieaug no 0 līdz 19.8 Nm, stūres ratu aizgriežot līdz -472º tika sasniegts maksimālais pieliktais griezes moments stūres ratam – 27.7 Nm. Stūres ratu griežot pa labi no 0º līdz 33.6º tā griezes moments strauji pieaug no 0 līdz 20.3 Nm, stūres ratu aizgriežot līdz 520º tika sasniegts maksimālais pieliktais griezes moments stūres ratam – 32.4 Nm (skat 8. att.).

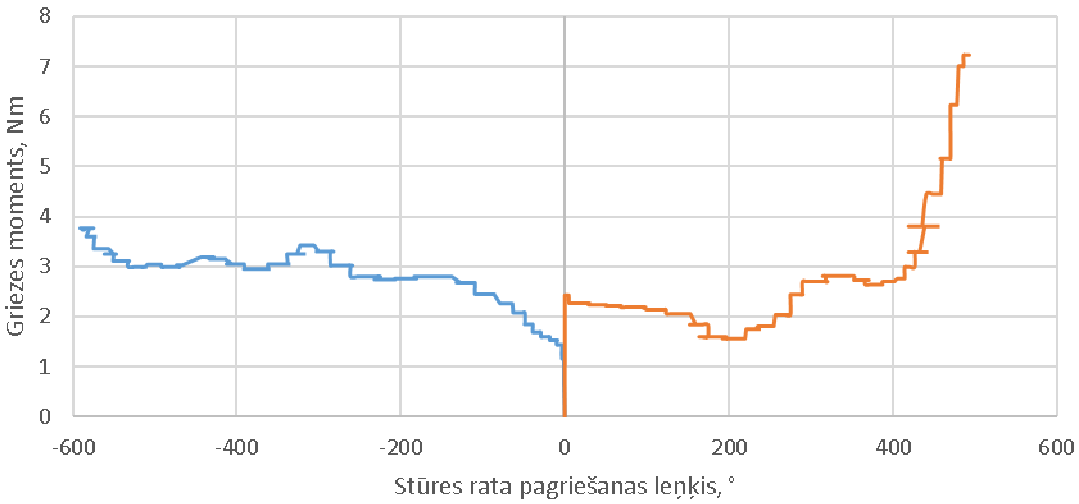
Griezes moments uz stūres ratu ar elektrisko stūres pastiprinātāju ir no 2.43 līdz 3.77 Nm, izņemot stūres ratu griežot pa labi no 427º līdz 493º leņķa ir straujš griezes momenta pieaugums no 2.99 līdz 7.23 Nm (skat. 9. att.). Šādu strauju pieaugumu var radīt kāds tehnisks defekts vai nepilnība elektriskā stūres pastiprinātāja elementā, jo mērot stūres sistēmu bez pastiprinātāja šāds pieaugums netika fiksēts.

Automobilim, veicot stūres rata griezes momenta mērījumus ar pastiprinātāja, var noteikt tā pastiprinājumu, kā arī salīdzināt mērījuma datus ar iegūtajiem datiem bez elektriskā pastiprinātāja.

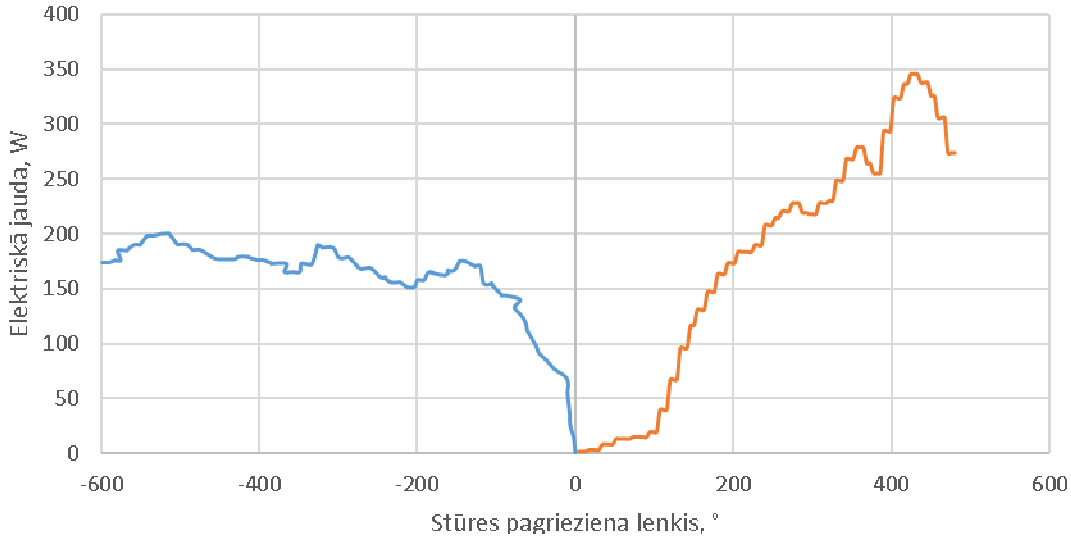
Maksimālais elektriskās jaudas patēriņš stūres ratu griežot pa kreisi no 0º līdz -598º leņķa ir 200.3 W pie -514º leņķa, griežot stūres ratu pa labi, no 0º līdz 480º leņķa ir 345.7 W pie 433º leņķa. Stūres ratu griežot pa labi, elektriskās jaudas pieaugums ir krietni straujāks nekā stūres ratu griežot pa kreisi, kur tas ir mēreni pieaugošs (skat. 10. att.). Veicot mērījumus ar elektrisko stūres pastiprinātāju, netika fiksēti apstākļi, ka elektriskais stūres pastiprinātājs pārlieku patērētu elektrisko enerģiju, pārslogojot automobiļa ģeneratoru vai izlādējot akumulatoru. Pilnīgākai izpētei ir nepieciešami padziļinātāki pētījumi uz elektroenerģija patēriņu kas tiek radīti un vai pietiekami automobilim *VAZ-21051*.



8. att. **Pieliktais griezes moments stūres ratam pēc stūres rata pagriešanas leņķa bez elektriskā stūres pastiprinātāja**



9. att. **Pieliktais griezes moments stūres ratam pēc stūres rata pagriešanas leņķa ar elektrisko stūres pastiprinātāju**



10. att. **Elektriskās jaudas patēriņš atkarībā pēc stūres pagrieziena leņķa elektriskajam stūres pastiprinātājam**

Secinājumi

1. Elektriskā stūres pastiprinātāja maksimāli izmantotā elektriskā jauda ir gandrīz 345.7 W, kuru automobilis ir spējīgs pilnībā nodrošināt, lai pastiprinātājs un automobilis efektīvi pildītu savas funkcijas automobilim neatrodoties kustībā.
2. Ar elektrisko stūres pastiprinātāju, lai veiktu stūres rata pagriešanu, mainot stūre rata leņķi par 400º gan uz labo, gan kreiso pusi, ir nepieciešam stūres ratam pielikt par 17 Nm mazāk griezes momentu.
3. Lai veiktu pārbūvi nepieciešams veikt stiprības aprēķinu stūres pastiprinātāja mehāniskiem elementiem un nepieciešama pārbaude elektriskās vadības sistēmas darbībā.

Izmantotie informācijas avoti

[1] EPAS-PERFORM [online] [16.01.2020] Available at: https://epasperformance.com/
[2] Transportlīdzekļu pārbūves noteikumi [online] [16.01.2020] Available at: https://likumi.lv/doc.php?id=92907
[3] How To Track Orientation with Arduino and ADXL345 Accelerometer – HowToMechatronics [online] [16.01.2020] Available at: https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/how-to-track-orientation-with-arduino-and-adxl345-accelerometer/
[4] Stream Data from Arduino into Excel - Arduino Project Hub [online] [16.01.2020] Available at: https://create.arduino.cc/projecthub/HackingSTEM/stream-data-from-arduino-into-excel-f1bede