

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Tehniskā fakultāte
Spēkratu institūts

Mg.sc.ing., Mg.paed. **Ilmārs Dukulis**

RAPŠA EĻĻAS DEGVIELAS IZMANTOŠANA DĪZELMOTOROS UN LOĢISTIKA

PROMOCIJAS DARBS
Dr.sc.ing. zinātniskā grāda iegūšanai



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



Promocijas darba izstrāde līdzfinansēta
no Eiropas Savienības Sociālā fonda

Darba zinātniskais vadītājs:

prof., Dr.sc.ing. **Gints Birzietis**

Darba konsultants:

prof., Dr.sc.ing. **Gunārs Vērdiņš**

Darba izstrādātājs:

Mg.sc.ing., Mg.paed. **Ilmārs Dukulis**

**Jelgava
2013**

VISPĀRĪGĀ INFORMĀCIJA

Darba izpildes vieta: pētījumi veikti Latvijas Lauksaimniecības universitātes (LLU) Tehniskās fakultātes (TF) Spēkratu institūta Alternatīvo degvielu zinātniskajā laboratorijā un LLU TF Datorprojektēšanas laboratorijā.

Darba zinātniskais vadītājs: profesors, Dr.sc.ing. Gints Birzietis.

Darba konsultants: profesors, Dr.sc.ing. Gunārs Vērdiņš.

Publikācijas vispāratzītos recenzējamos izdevumos

1. **Birkavs A., Birzietis G., Dukulis I.** (2012) Evaluation of Emissions Operating Diesel Engine with Rapeseed Oil and Fossil Diesel Fuel Blends. **In:** *11th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings, Volume 11*, May 24 – 25, 2012. Jelgava: LUA, p. 338 – 342. ISSN 1691-3043.
2. **Birkavs A., Dukulis I.** (2011) Development of Experimental Equipment for Vegetable Oil Fuel Research. **In:** *Proceedings of the 17th International Scientific Conference „Research for Rural Development”, Volume 1*, May 18 – 20, 2011. Jelgava: LUA, p. 173 – 178. ISSN 1691-4031.
3. **Baks V., Dukulis I., Birkavs A.** (2011) Emission and Fuel Consumption Studies Using Separated at Low Temperatures Pure Rapeseed Oil. **In:** *10th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings, Volume 10*, May 26 – 27, 2011. Jelgava: LUA, p. 239 – 243. ISSN 1691-3043.
4. **Dukulis I., Birkavs A., Birzietis G.** (2010) Investigation of Flowability of Rapeseed Oil and Diesel Fuel Blends in Winter Conditions. **In:** *Agricultural Engineering: Proceedings of the International Scientific Conference „Mobile Machines”, September 23 – 24, 2010*. Kaunas: Lithuanian University of Agriculture, p. 204 – 213. ISSN 1392-1134.
5. **Pirs V., Dukulis I.** (2010) Emission Reduction Potential of Using Biofuels. **In:** *Proceedings of the 16th International Scientific Conference „Research for Rural Development”, Volume 1*, May 19 – 21, 2010. Jelgava: LUA, p. 85 – 90. ISSN 1691-4031.
6. **Pirs V., Berjoza D., Birzietis G., Dukulis I.** (2010) Fuel Consumption Studies of Spark Ignition Engine Using Blends of Gasoline with Bioethanol. **In:** *Agronomy Research, Volume 8, Biosystems Engineering, Special Issue 1*. Tartu: Estonian University of Life Sciences, p. 208 – 215. ISSN 1406-894X.
7. **Dukulis I., Birzietis G., Birkavs A., Pirs V., Jesko Z.** (2010) Exhaust Emissions from the Vehicles Operating on Rapeseed Oil Fuel. **In:** *Agronomy Research, Volume 8, Biosystems Engineering, Special Issue 1*. Tartu: Estonian University of Life Sciences, p. 39 – 46. ISSN 1406-894X.
8. **Birkavs A., Birzietis G., Dukulis I.** (2010) Investigation of Impact of Biofuel Blend on Arctic Diesel Fuel Properties. **In:** *9th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings, Volume 9*, May 27 – 28, 2010. Jelgava: LUA, p. 158 – 161. ISSN 1691-3043.
9. **Baks V., Dukulis I.** (2010) The Specific Peculiarities of Rapeseed Fuel Usage Depending on Oil Chemical Structure. **In:** *9th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings, Volume 9*, May 27 – 28, 2010. Jelgava: LUA, p. 162 – 165. ISSN 1691-3043.

10. **Dukulis I., Pirs V., Jesko Z., Birkavs A., Birzietis G.** (2009) Testing of Automobile VW Golf Operating on Three Different Fuels. **In:** *8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*: Proceedings, May 28 – 29, 2009. Jelgava: LUA, p. 7 – 13. ISSN 1691-5976.
11. **Dukulis I., Birkavs A., Birzietis G., Pirs V.** (2009) Adapting of Automobile VW Golf for Using Pure Rape Oil As a Fuel. **In:** *8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*: Proceedings, May 28 – 29, 2009. Jelgava: LUA, p. 141 – 147. ISSN 1691-5976.
12. **Dukulis I., Pirs V., Jesko Z., Birkavs A., Birzietis G.** (2009) Development of Methodics for Testing Automobiles Operating on Biofuels. **In:** *8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*: Proceedings, May 28 – 29, 2009. Jelgava: LUA, p. 148 – 155. ISSN 1691-5976.
13. **Dukulis I., Pirs V.** (2009) Development of Driving Cycles for Dynamometer Control Software Corresponding to Peculiarities of Latvia. **In:** *Proceedings of the 15th International Scientific Conference „Research for Rural Development”*, May 20 – 22, 2009. Jelgava: LUA, p. 95 – 102. ISSN 1691-4031.
14. **Dukulis I.** (2008) Using of AnyLogic and ExtendSim in Modelling of Biofuel Logistic Systems. **In:** *Proceedings of the 14th International Scientific Conference „Research for Rural Development”*, May 21 – 23, 2008. Jelgava: LUA, p. 249 – 257. ISSN 1691-4031.
15. **Birzietis G., Gulbis V., Dukulis I.** (2008) Research on Biofuels Applications in Latvia's Transport. **In:** *„Renewable Energy Resources, Production and Technologies”*: Proceedings of the 5th UEAA General Assembly and the Associated Workshop, May 28 – 31, 2008. Rīga: Zinātne, p. 87 – 94. ISBN 978-9984-808-31-4.
16. **Dukulis I., Birzietis G., Kanaska D.** (2008) Optimization Models for Biofuel Logistic Systems. **In:** *7th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*: Proceedings, May 29 – 30, 2008. Jelgava: LUA, p. 283 – 289. ISSN 1691-3043.
17. **Gulbis V., Smigins R., Dukulis I.** (2007) Experience of Biofuel Introduction in Latvia. **In:** *6th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*: Proceedings, May 24 – 25, 2007. Jelgava: LUA, p. 12 – 17. ISSN 1691-3043.

Pārējās publikācijas

1. **Dukulis I., Birzietis G.** (2010) Modeling of Rapeseed Oil Fuel Logistic System. **In:** *Collection of Abstracts from 4th International Conference TAE 2010 „Trends in Agricultural Engineering 2010”*, 7 – 10 September, 2010, Prague, Czech Republic, p. 23 – 24.
2. **Birkavs A., Dukulis I.** (2009) Jaunās tehnoloģijas motoru darbināšanai ar rapšu eļļu. *AgroTops*, Nr. 12, 38. – 39. lpp. ISSN 1407-5164.
3. **Dukulis I., Birkavs A., Šmigins R.** (2009) Zaļā degviela dīzeļmotoram. *Saimnieks Lv*, Nr. 5, 54. – 55. lpp.
4. **Birkavs A., Dukulis I.** (2009) Dīzelis, biodīzelis vai rapšu eļļa? *AgroTops*, Nr. 5, 40. – 41. lpp. ISSN 1407-5164.
5. **Birkavs A., Dukulis I.** (2009) Tīra rapšu eļļa automašīnas darbināšanai. *AgroTops*, Nr. 4, 44. – 45. lpp. ISSN 1407-5164.

6. **Birkavs A., Dukulis I.** (2009) Dīzeļmotoru pārbūve darbināšanai ar rapšu eļļu. *AgroTops*, Nr. 3, 40. – 41. lpp. ISSN 1407-5164.
7. **Birkavs A., Dukulis I.** (2009) Rapšu eļļa dīzeļmotoru darbināšanai – krīzes laika risinājums. *AgroTops*, Nr. 2, 39. – 40. lpp. ISSN 1407-5164.
8. **Birkavs A., Dukulis I.** (2009) Rapšu eļļa – ziemeļu olīveļļa un alternatīvā degviela. *AgroTops*, Nr. 1, 30. – 31. lpp. ISSN 1407-5164.
9. **Birkavs A., Dukulis I.** (2008) Jaunākās tehnoloģijas degvielas ekonomijā. *AgroTops*, Nr. 8, 48. – 49. lpp. ISSN 1407-5164.

Uzstāšanās starptautiskās zinātniskās konferencēs ar ziņojumiem

1. **Birkavs A., Birzietis G., Dukulis I.** Evaluation of Emissions Operating Diesel Engine with Rapeseed Oil and Fossil Diesel Fuel Blends. *11th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 24 – 25, 2012.
2. **Birkavs A., Dukulis I.** Development of Experimental Equipment for Vegetable Oil Fuel Research. *17th International Scientific Conference „Research for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 18 – 20, 2011.
3. **Baks V., Dukulis I., Birkavs A.** Emission and Fuel Consumption Studies Using Separated at Low Temperatures Pure Rapeseed Oil. *10th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 26 – 27, 2011.
4. **Dukulis I., Birkavs A., Birzietis G.** Investigation of Flowability of Rapeseed Oil and Diesel Fuel Blends in Winter Conditions. *International Scientific Conference „Mobile Machines”*. Kaunas: Lithuanian University of Agriculture, Lithuania, September 23 – 24, 2010.
5. **Pirs V., Dukulis I.** Emission Reduction Potential of Using Biofuels. *16th International Scientific Conference „Research for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 19 – 21, 2010.
6. **Birkavs A., Dukulis I., Birzietis G.** Investigation of Impact of Biofuel Blend on Arctic Diesel Fuel Properties. *9th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 27 – 28, 2010.
7. **Baks V., Dukulis I.** The Specific Peculiarities of Rapeseed Fuel Usage Depending on Oil Chemical Structure. *9th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 27 – 28, 2010.
8. **Pirs V., Berjoza D., Birzietis G., Dukulis I.** Fuel Consumption Studies of Spark Ignition Engine Using Blends of Gasoline with Bioethanol. *International Scientific Conference „Biosystems Engineering”*. Tartu: Estonian University of Life Sciences, Estonia, May 13 – 14, 2010.
9. **Dukulis I., Birzietis G., Birkavs A., Pirs V., Jesko Z.** Exhaust Emissions from the Vehicles Operating on Rapeseed Oil Fuel. *International Scientific Conference „Biosystems Engineering”*. Tartu: Estonian University of Life Sciences, Estonia, May 13 – 14, 2010.
10. **Dukulis I., Pirs V., Jesko Z., Birkavs A., Birzietis G.** Testing of Automobile VW Golf Operating on Three Different Fuels. *8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 28 – 29, 2009.
11. **Dukulis I., Birkavs A., Birzietis G., Pirs V.** Adapting of Automobile VW Golf for Using Pure Rape Oil As a Fuel. *8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 28 – 29, 2009.

12. **Dukulis I., Pirs V., Jesko Z., Birkavs A., Birzietis G.** Development of Methodics for Testing Automobiles Operating on Biofuels. *8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 28 – 29, 2009.
13. **Dukulis I., Pirs V.** Development of Driving Cycles for Dynamometer Control Software Corresponding to Peculiarities of Latvia. *15th International Scientific Conference „Research for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 20 – 22, 2009.
14. **Birzietis G., Gulbis V., Dukulis I.** Research on Biofuels Applications in Latvia's Transport. *5th UEAA General Assembly and the Associated Workshop „Renewable Energy Resources, Production and Technologies”*. Riga: Latvia, May 28 – 31, 2008.
15. **Dukulis I.** Using of AnyLogic and ExtendSim in Modelling of Biofuel Logistic Systems. *14th International Scientific Conference „Research for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 21 – 23, 2008.
16. **Dukulis I., Birzietis G., Kanaska D.** Optimization Models for Biofuel Logistic Systems. *7th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 29 – 30, 2008.
17. **Gulbis V., Smigins R., Dukulis I.** Experience of Biofuel Introduction in Latvia. *6th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 24 – 25, 2007.
18. **Dukulis I.** Modelling of Biofuel Logistics Systems. *13th International Scientific Conference „Research for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 16 – 18, 2007.
19. **Dukulis I.** Biofuel Logistics. *12th International Scientific Conference „Research for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 17 – 20, 2006.

Uzstāšanās citās konferencēs, izstādēs un semināros

1. **Dukulis I.** Rapša eļļas kā biodegvielas izmantošanas pētījumi: ziņojums par promocijas darbu LLMZA Inženierzinātņu nodaļas izbraukuma sēdē, 10. jūlijs, 2009.
2. **Gulbis V., Birzietis G., Pirs V., Berjoza D., Šmigins R., Dukulis I.** Biodīzeļdegvielas izmantošanas praktiskie pētījumi ar automobili VW GOLF II: stenda referāts reģionālajā lauksaimniecības izstādē „VECAUCE 2007”, 30. jūnijs, 2007.

Dalība ar promocijas darbu saistītos projektos

1. 2009. g. – pētnieks LZP projektā Nr. 09.1470 „Biodegvielu paplašinātas izmantošanas iespēju pētījumi Latvijas tautsaimniecībā izmantotajos iekšdedzes motoros”.
2. 2010. – 2012. g. – pētnieks LZP projektā Nr. 09.1602 „Biodegvielu un biomasas tehnoloģiju pētījumi”.

Darbs izskatīts un akceptēts Latvijas Lauksaimniecības universitātes Tehniskās fakultātes Spēkratu institūta paplašinātajā akadēmiskā personāla sēdē 2013. gada 15. janvārī (protokols Nr. 08-13-01).

ANOTĀCIJA

Dukulis I. Rapša eļļas degvielas izmantošana dīzeļmotoros un loģistika: promocijas darbs inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) zinātniskā grāda iegūšanai. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2013. 169 lpp., 117 att., 26 tab., 177 bibl. nos., 18 pielikumi.

Darba mērķis ir teorētiski un eksperimentāli novērtēt rapša eļļas degvielas izmantošanas iespējas dīzeļmotoros Latvijā, tādējādi radot iespēju veicināt atjaunojamo energoresursu plašāku izmantošanu valstī.

Darba mērķa sasniegšanai izvirzīti šādi uzdevumi:

- izstrādāt matemātisko modeli ar dīzeļmotoriem darbināmu spēkratu ekspluatācijas parametru noteikšanai, izmantojot rapša eļļu un tās maisījumu-degvielas ar fosilo dīzeļdegvielu, kā arī novērtēt šī modeļa efektivitāti;
- teorētiski un eksperimentāli noteikt spēkratu ekspluatācijai dažādās apkārtējās vides temperatūrās, īpaši zemās, piemērotākās rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījumu proporcijas;
- izstrādāt ar rapša eļļu darbināmu spēkratu izmēģinājumu metodiku;
- eksperimentāli izpētīt un novērtēt rapša eļļas izmantošanas iespējas un motoru ekspluatācijas parametrus, šim nolūkam pielāgojot dažādus spēkratus (vieglo automobili, kravas automobili un traktoru), izmantojot vienas un divu degvielas tvertņu sistēmas;
- izveidot modeli rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas izmaksu noteikšanai un veikt sistēmas modelpētījumus rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomiskās efektivitātes novērtēšanai.

Situācijas apskatā dots dīzeļmotoros izmantojamo biodegvielu raksturojums un lietošanas nosacījumi, aplūkotas to iegūšanas iespējas, salīdzinātas biodegvielu un fosilo degvielu īpašības. Aplūkota biodegvielu ražošanas attīstība Latvijā un iespējas sasniegt ES direktīvās paredzētos kontrolskaitļus biodegvielu izmantošanā. Analizēti līdzšinējie rapša eļļas degvielas izmantošanas un loģistikas sistēmas pētījumi.

Teorētiskajos pētījumos izvirzīti kritēriji modelēšanas rīku salīdzināšanai un veikta to izvēle turpmākās modelēšanas realizēšanai. Izstrādāts matemātiskais modelis ar dīzeļmotoriem darbināmu spēkratu ekspluatācijas parametru noteikšanai, izmantojot rapša eļļu un tās maisījumu-degvielas ar fosilo dīzeļdegvielu. Izveidota analītiska sakarība, ar kuras palīdzību var noteikt, kādas rapša eļļas un dīzeļdegvielas proporcijas jālieto, lai nodrošinātu degvielas sūkņu darbību un degvielas plūsmu barošanas sistēmā.

Eksperimentālajos pētījumos pirmo reizi Latvijā darbināšanai ar augu eļļu automobilis aprīkots ar firmas *ELSBETT* vienas degvielas tvertnes sistēmu. Izstrādāta metodika ar biodegvielām, t.sk., rapša eļļu darbināmu spēkratu testēšanai, kā arī izveidots pilsētas braukšanas cikls izmantošanai uz jaudas stenda. Eksperimentālajam automobilim noteikti galvenie ekspluatācijas parametri – jauda, griezes moments, degvielas patēriņš, atgāzu sastāvs, kā arī novērtētas rapša eļļas degvielas izmantošanas iespējas ziēmā. Veikti ar divu tvertņu sistēmu aprīkota kravas automobiļa atgāzu sastāva pētījumi. Darbināšanai ar rapša eļļu nepielāgotam traktoram noteikta jauda, griezes moments un īpatnējais degvielas patēriņš.

Izveidoti modeļi, kas ļauj novērtēt jebkuras markas automobiļa vai traktora ekspluatācijas izmaksas, darbinot spēkratus ar rapša eļļas degvielu, un noteikt veiktās pārbūves atmaksāšanās laiku, kā arī aprēķināt eļļas iegūšanas pašizmaksu.

Veiktie pētījumi pamato rapša eļļas degvielas izmantošanas iespējamību Latvijā, perspektīvā sekmējot ES direktīvās noteikto kontrolskaitļu sasniegšanu.

ANNOTATION

Dukulis I. Rapeseed Oil Fuel Application in Diesel Engines and Logistics: a Dissertation for the Scientific Degree of the Doctor of Engineering Sciences (Dr.sc.ing.). Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2013. 169 p., 117 fig., 26 tab., 177 bibliographic sources, and 18 appendixes.

The aim of the promotion work is to evaluate theoretically and experimentally the possibilities of using rapeseed oil fuel in diesel engines in Latvia, thus creating an opportunity to promote wider use of renewable resources in the country.

In order to reach the aim, the following tasks are set:

- to develop a mathematical model for determination of diesel engine powered vehicle operating parameters using pure rapeseed oil and its blends with fossil diesel fuel, as well as to evaluate the effectiveness of this model;
- to determine theoretically and experimentally the appropriate rapeseed oil and fossil diesel fuel blend ratio to operate vehicles at different, especially at low, ambient temperatures;
- to develop a rapeseed oil-powered vehicle testing methodology;
- to study experimentally and estimate the use of rapeseed oil feasibility and engine operating parameters, adapting for this purpose a variety of motor vehicles (car, truck and tractor), using one and two fuel tank systems;
- to develop a model to determine the costs in rapeseed oil fuel logistics system and carry out investigation of the model to evaluate the economical efficiency of rapeseed oil fuel usage.

The situation overview deals with the production technologies, characteristics and conditions of use of biofuels suitable for diesel engines. The biofuel and fossil fuel properties are compared. Biofuel production progress in Latvia, as well as the possibilities to reach the EU Directive targets, is analyzed. Rapeseed oil fuel usage and logistics system researches are analyzed.

In theoretical studies appropriate simulation tools for diesel engine and biofuel supply chain modelling are chosen. A mathematical model for determination of diesel engine powered vehicle operating parameters using pure rapeseed oil and its blends with fossil diesel is worked out. Analytical relationship that allows defining the rapeseed oil and diesel fuel proportions to ensure the fuel pump operating and the fuel flow in the system is established.

In experimental studies, for the first time in Latvia, a vehicle is equipped with the company's *ELSBETT* one fuel tank system to run the car on vegetable oil. A methodology for testing biofuel-powered automobiles is developed. A city driving cycle for dynamometer control software is worked out. The main operating parameters of the adapted car – power, torque, fuel consumption, exhaust gas composition, and possibilities of rapeseed oil fuel usage in winter time are identified. Exhaust gas composition studies of the truck equipped with a two-tank system are carried out. Power, torque and specific fuel consumption measurement of a tractor unadapted to run on rapeseed oil is performed.

Models to evaluate any brand of car or tractor operating costs, running the vehicle with rapeseed oil fuel are created. The adaptation payback time as well as the cost of oil production is estimated.

The research proves the possibility of rapeseed oil fuel usage in Latvia, in the future promoting the achievement of the control figures of the EU directives.

SATURS

Tabulu saraksts	10
Attēlu saraksts	11
Pielikumu saraksts	14
Darbā lietoto akronīmu un abreviatūru saraksts un skaidrojums.....	15
Ievads	17
1. Situācijas apskats.....	19
1.1. Dīzeļmotoros izmantojamās biodegvielas	19
1.2. Situācija biodegvielu ražošanā un izmantošanā Latvijā	26
1.3. Rapša eļļas degvielas raksturojums	28
1.3.1. Rapša eļļas ieguve	28
1.3.2. Kvalitātes prasības rapša eļļai kā biodegvielai	31
1.3.3. Rapša eļļas degvielas īpašības	33
1.3.4. Rapša eļļas degvielas izmantošanas vispārīgie nosacījumi	36
1.4. Rapša eļļas degvielas izmantošanas pētījumu analīze	40
1.5. Rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas pētījumu analīze.....	45
Situācijas apskata kopsavilkums	52
Pētījumu mērķis un uzdevumi.....	53
2. Teorētiskie pētījumi.....	55
2.1. Modelēšanas rīku izvēle	55
2.2. Modeļa vispārējs apraksts	56
2.3. <i>ExtendSim</i> īpatnības modeļu veidošanā.....	57
2.4. Degvielas sastāva noteikšana spēkratu ekspluatācijai pie dažādām apkārtējās vides temperatūrām	58
2.5. Dīzeļmotora termodinamiskais aprēķins	60
2.6. Dīzeļmotora jaudas un griezes momenta raksturlīkņu konstruēšana.....	70
2.7. Modeļpētījumi.....	71
Teorētisko pētījumu rezultātu kopsavilkums	77
3. Eksperimentālie pētījumi.....	79
3.1. Eksperimentālo pētījumu vispārīgā metodika	79
3.2. Spēkratu pielāgošana darbināšanai ar tīru rapša eļļu, izmantojot vienas tvertnes sistēmu	80
3.3. Speciālās eksperimentu metodikas izstrāde.....	83
3.3.1. Eksperimentos izmantoto iekārtu raksturojums	84
3.3.2. Pilsētas braukšanas cikla izstrāde jaudas stendam	89
3.3.3. Mērīšanas ilguma un atkārtojumu skaita noteikšana.....	94
3.4. Rapša eļļas degvielas izmantošanas pētījumi, izmantojot vienas tvertnes sistēmu.....	98
3.5. Rapša eļļas degvielas izmantošanas pētījumi ziemā.....	107
3.6. Ar divu tvertņu sistēmu aprīkotu spēkratu atgāzu sastāva pētījumi	112
3.7. Nepielāgotu spēkratu pētījumi, tos darbinot ar rapša eļļu	114

3.8. Teorētisko un eksperimentālo pētījumu rezultātu salīdzinājums.....	118
Eksperimentālo pētījumu rezultātu kopsavilkums	119
4. Rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomiskais novērtējums	123
4.1. Rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas shēma	123
4.2. Rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas matemātiskais modelis.....	124
4.2.1. Spēkratu ekspluatācijas izmaksu novērtēšanas modelis.....	124
4.2.2. Rapša eļļas degvielas iegūšanas modelis.....	131
4.3. Rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas modeļpētījumi.....	135
Ekonomiskās efektivitātes novērtējuma kopsavilkums	138
Secinājumi	139
Izmantotie informācijas avoti	141
Pielikumi.....	151

TABULU SARAKSTS

1.1. tabula.	Viszemākās cenas apgādes ķēdes modelēšanas rezultāti	22
1.2. tabula.	<i>ChalmersVIEWLS</i> modelēšanas rezultāti	23
1.3. tabula.	Bioeļļu un fosilās dīzeļdegvielas fizikālo īpašību salīdzinājums	24
1.4. tabula.	F-T, HVO, RME, REE un fosilās dīzeļdegvielas fizikālo īpašību salīdzinājums	25
1.5. tabula.	Kvalitātes prasības tīrai rapša eļļai, kas kā degviela ir piemērota izmantošanai noteikta veida iekšdedzes motoros	31
1.6. tabula.	Eļļas paraugu laboratorijas analīžu rezultāti.....	32
1.7. tabula.	Rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas fizikālo īpašību salīdzinājums.....	33
1.8. tabula.	Populārākie apvidus un vieglie automobiļi, kuros var lietot <i>Elsbett</i> vienas tvertnes sistēmu	39
1.9. tabula.	<i>Škoda Octavia 1.9 TDI</i> un <i>VW Touareg R5 2.5 UI</i> ekspluatācijas parametru pētījumu rezultāti, izmantojot rapša eļļas degvielu	44
1.10. tabula.	Spānijā veiktā pētījuma modelēšanas scenāriji	48
3.1. tabula.	Sprauslu darba spiedieni	81
3.2. tabula.	Degvielas patēriņa mērītāja <i>AVL KMA Mobile</i> kalibrēšanas dati.....	85
3.3. tabula.	Izplūdes gāzu analizatora <i>OPUS 40</i> tehniskie dati	89
3.4. tabula.	Eksperimentālo braucieni analīze	91
3.5. tabula.	„Jelgavas cikla” programmas koda fragmenti	93
3.6. tabula.	Modeļa kvalitātes noteikšana, lietojot fosilo dīzeļdegvielu.....	93
3.7. tabula.	Modeļa kvalitātes noteikšana, lietojot biodīzeļdegvielu	94
3.8. tabula.	Degvielas patēriņa pilottestu rezultāti pie konstanta braukšanas ātruma ..	96
3.9. tabula.	Iesmidzināšanas momenta (IM) ietekme uz atgāzu sastāvu.....	104
3.10. tabula.	Jaudas un griezes momenta mērījumu rezultāti pie dažādiem iesmidzināšanas momentiem	105
3.11. tabula.	Barošanas sistēmas sastāvdaļu temperatūras mērījumi pēc 25 minūšu motora darbības brīvgaitā	107
3.12. tabula.	Rapša eļļas un ziemas dīzeļdegvielas maisījumu viskozitāte.....	110
3.13. tabula.	Rapša eļļas un ziemas dīzeļdegvielas maisījumu CFPP temperatūras	112
4.1. tabula.	Rapša eļļas iegūšanas izmaksu modelēšanas rezultāti.....	136
4.2. tabula.	Rapša eļļas iegūšanas piemērotāko scenāriju noteikšana	137
4.3. tabula.	Ekonomiski izdevīgākie rapša eļļas izmantošanas scenāriji.....	137

ATTĒLU SARAKSTS

1.1. att.	Iekšdedzes motoros izmantojamo biodegvielu klasifikācijas un ieguves shēma	20
1.2. att.	Rapša sējumu platība, kopražā un ražība Latvijā	27
1.3. att.	Bioeļļas ieguves tehnoloģiskā shēma no rapša sēklām ar aukstās izspiešanas metodi mazjaudas spiestuvēs	28
1.4. att.	Eļļas spiede <i>XP-100</i>	29
1.5. att.	Decentralizēta <i>LIFE-VOICE</i> mazjaudas eļļas spiestuve Itālijā, kurā izmantota firmas <i>Florapower</i> ražotā eļļas spiede	29
1.6. att.	Rapša eļļas ieguves tehnoloģiskā shēma lieljaudas eļļas ražotnēs	30
1.7. att.	Firmas „FARMET” eļļas spiede SIA „Logins&Co” eļļas ražotnē	30
1.8. att.	Firmas „FARMET” spiedes automātiskās vadības sistēma	32
1.9. att.	Temperatūras mērījumi eļļas spiešanas laikā dažādās preses vietās	33
1.10. att.	Dažādu degvielu viskozitāte atkarībā no temperatūras	34
1.11. att.	Viskozitātes atkarība no temperatūras rapša eļļas maisījumiem ar etanolu ...	35
1.12. att.	Viskozitātes atkarība no temperatūras rapša eļļas maisījumiem ar benzīnu ..	35
1.13. att.	Divu degvielas tvertņu sistēmas shēma motora darbināšanai ar rapša eļļu....	37
1.14. att.	Vienas degvielas tvertnes sistēmai nepieciešamās komponentes	38
1.15. att.	Shēma dīzeļmotora vienlaikus darbināšanai ar divām dažādām degvielām ..	40
1.16. att.	Lietuvā veiktais eksperiments ar degvielas filtriem	41
1.17. att.	Filtrs, virzulis, smidzinātājs un vārsti pēc 200 stundu motora darbināšanas ar rapša eļļu	43
1.18. att.	Dīzeļmotoru pielāgošana darbināšanai ar tīru augu eļļu – risku novērtējums un izmaksas	43
1.19. att.	Biodegvielu apgādes ķēdes vienkāršota shēma	45
1.20. att.	Rapša eļļas degvielas apgādes ķēdes struktūra	46
1.21. att.	Rapša eļļas degvielas pašpatēriņa cikls	46
1.22. att.	Spānijā veiktā pētījuma modelēšanas procesa blokshēma	47
1.23. att.	Modelēto scenāriju ekonomiskais izdevīgums 2010. gadā	48
1.24. att.	Modelēto scenāriju ekonomiskais izdevīgums 2010. – 2050. gadā	49
1.25. att.	Izmaksu sadalījums rapša eļļas apgādes ķēdē	50
1.26. att.	Pētījuma apvienotais scenārijs	52
2.1. att.	Modeļa vispārējā blokshēma	56
2.2. att.	<i>ExtendSim</i> modeļa bloku „fiziskie” savienojumi	57
2.3. att.	<i>ExtendSim</i> modeļa bloku „vārdiskie” savienojumi	57
2.4. att.	Degvielas kinemātiskās viskozitātes aprēķināšanai nepieciešamo koeficientu noteikšana	58
2.5. att.	Degvielas kinemātiskās viskozitātes aprēķināšanas bloki	59
2.6. att.	Degvielu maisījuma sastāva noteikšanas bloki	60
2.7. att.	Degvielas siltumspējas un teorētiskā gaisa daudzuma degvielas sadedzināšanai noteikšanas bloki	61
2.8. att.	Ieplūdes beigu un atliku gāzu spiediena noteikšanas bloki	61
2.9. att.	Darba maisījuma un saspiešanas parametru noteikšanas bloki	62
2.10. att.	Sadedzes produktu un molu maiņas parametru aprēķina bloki	63
2.11. att.	Atliku gāzu temperatūras un molārās siltumietilpības korelācijas diagrammas	64
2.12. att.	Atliku gāzu molārās siltumietilpības samazinājuma un gaisa pāruma koeficienta korelācijas diagramma	65
2.13. att.	Siltuma bilances vienādojuma kreisās puses atrisināšanas bloki	66

2.14. att.	Sadedzes produktu beigu temperatūras noteikšanas bloki	67
2.15. att.	Izpletes procesa parametru noteikšanas bloki	68
2.16. att.	Motora indicēto parametru noteikšanas bloki	68
2.17. att.	Motora efektīvo parametru noteikšanas bloki	69
2.18. att.	Motora jaudas, degvielas patēriņa un griezes momenta noteikšanas bloki....	69
2.19. att.	Teorētiskās jaudas raksturlīknes.....	70
2.20. att.	Jaudas un griezes momenta raksturlīkņu konstruēšanas bloki	71
2.21. att.	Modeļa pielāgošana maksimāli pieļaujamā rapša eļļas procentuālā satura noteikšanai darbmaisījumā	72
2.22. att.	Simulāciju piemērs darbmaisījuma viskozitātes noteikšanai atkarībā no apkārtējās vides temperatūras.....	72
2.23. att.	Darbmaisījuma viskozitāte atkarībā no apkārtējās vides temperatūras.....	73
2.24. att.	Modeļa pielāgošana, degmaisījuma sastāvu nosakot pēc kritiskās viskozitātes	73
2.25. att.	RE maksimālais saturs degmaisījumā atkarībā no apkārtējās vides temperatūras	74
2.26. att.	Mainīgo parametru ievades un simulācijas rezultātu aplūkošanas logs (<i>VW Golf III 1.9TD</i>)	74
2.27. att.	Automobiļa <i>VW Golf III 1.9TD</i> jaudas un griezes momenta teorētiskās raksturlīknes	75
2.28. att.	Motora jaudas samazinājums atkarībā no RE satura darbmaisījumā.....	75
2.29. att.	Mainīgo parametru ievades un simulācijas rezultātu aplūkošanas logs (<i>MTZ-80</i>)	76
2.30. att.	Traktora <i>MTZ-80</i> jaudas un griezes momenta teorētiskās raksturlīknes.....	77
3.1. att.	Eksperimentālo pētījumu blokshēma	79
3.2. att.	Orģinālo un eļļas sprauslu izsmidzināšanas leņķa un virziena salīdzinājums	81
3.3. att.	Vienas tvertnes sistēmas komponentu izvietojums automobiļa <i>VW GOLF</i> motora nodalījumā	82
3.4. att.	Automobiļa uzpildīšana ar rapša eļļu	82
3.5. att.	Automobiļa testēšanas struktūrshēma	83
3.6. att.	Degvielas patēriņa un atgāzu sastāva mērīšanas blokshēma.....	83
3.7. att.	Degvielas patēriņa mērītājs <i>AVL KMA Mobile</i>	84
3.8. att.	Ierīces pieslēguma shēma degvielas mērītāja programmatūrā.....	85
3.9. att.	Automobiļa testēšanas principiālā shēma	86
3.10. att.	Testējamais automobilis uz jaudas stenda <i>Mustang MD-1750</i>	86
3.11. att.	Izplūdes gāzu mērīšanas sistēma <i>AVL SESAM FTIR</i>	88
3.12. att.	Izplūdes gāzu analizators <i>OPUS 40</i>	88
3.13. att.	Jaunais Eiropas braukšanas cikls <i>NEDC</i>	90
3.14. att.	Braukšanas cikla izstrādes procedūra.....	90
3.15. att.	Braukšanas maršruti Jelgavas pilsētā	91
3.16. att.	Eksperimentālo braucienu ātruma līknes	92
3.17. att.	Modeļa ātruma līkne un pārnese pārslēgšanas punkti.....	92
3.18. att.	Programmatūras izskats izstrādātā cikla braukšanas režīmā.....	93
3.19. att.	Maršruts Jelgavas pilsētas centrā	95
3.20. att.	Degvielas patēriņa pilottestu rezultāti pie konstanta braukšanas ātruma.....	96
3.21. att.	Atgāzu sastāva mērījumu iegūtais datu formāts.....	97
3.22. att.	Degvielas patēriņa mērījumu iegūtais datu formāts.....	97
3.23. att.	Importētie degvielas patēriņa dati izklājlapu lietotnē pirms makrokomandu izpildes	98

3.24. att.	Degvielas patēriņa dati izklājlapu lietotnē pēc makrokomandu izpildes	98
3.25. att.	Pētījumos izmantoto degvielu īpašības	99
3.26. att.	Degvielas patēriņa salīdzinājums ceļizmēģinājumos	99
3.27. att.	Degvielas patēriņa salīdzinājums laboratorijas testos	100
3.28. att.	NO _x saturs atgāzēs pēc automobiļa pārbūves	101
3.29. att.	SO ₂ saturs atgāzēs pēc automobiļa pārbūves	101
3.30. att.	CO saturs atgāzēs pēc automobiļa pārbūves	102
3.31. att.	Nesadegušo oglekļa dioksīda saturs atgāzēs pēc automobiļa pārbūves	102
3.32. att.	CO ₂ saturs atgāzēs pēc automobiļa pārbūves	102
3.33. att.	Mehānisko daļiņu saturs atgāzēs pēc automobiļa pārbūves	103
3.34. att.	Jaudas un griezes momenta raksturliķņu piemērs pirms un pēc datu filtrēšanas	105
3.35. att.	Automobiļa jaudas un griezes momenta raksturliķnes	106
3.36. att.	Absorbcijas koeficienta mērījumu rezultāti pēc automobiļa pārbūves	107
3.37. att.	Kontrolbraucieni maršruts automobiļa testēšanai ziemā	108
3.38. att.	Kritiskā temperatūra automobiļa ekspluatācijai ar rapša eļļu ziemā	108
3.39. att.	RE un ziemas dīzeļdegvielas maisījumi –15 °C	109
3.40. att.	Viskozimetrs <i>ВИЖ – 2</i>	110
3.41. att.	Rapša eļļas un arktiskās dīzeļdegvielas maisījumu viskozitātes salīdzinājums	111
3.42. att.	Testējamais kravas automobilis <i>MAN 19.464</i>	112
3.43. att.	NO _x saturs atgāzēs, izmantojot divu tvertņu sistēmu	113
3.44. att.	SO ₂ saturs atgāzēs, izmantojot divu tvertņu sistēmu	113
3.45. att.	CO saturs atgāzēs, izmantojot divu tvertņu sistēmu	113
3.46. att.	Nesadegušo oglekļa dioksīda saturs atgāzēs, izmantojot divu tvertņu sistēmu ..	113
3.47. att.	CO ₂ saturs atgāzēs, izmantojot divu tvertņu sistēmu	113
3.48. att.	Mehānisko daļiņu saturs atgāzēs, izmantojot divu tvertņu sistēmu	113
3.49. att.	Eksperimentos izmantotais traktors <i>MTZ-80</i>	114
3.50. att.	<i>MAHA ZW500</i> jaudas stends	115
3.51. att.	Motora griezes momenta un jaudas raksturliķnes	116
3.52. att.	Degvielas patēriņa raksturliķnes	117
4.1. att.	Rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas shēma	123
4.2. att.	Automobiļu ekspluatācijas izmaksu novērtēšanas modelis programmā <i>AnyLogic</i>	125
4.3. att.	Parametru ievadīšanas piemērs automobiļa <i>VW Golf III 1.9TD</i> pielāgošanas ekonomiskajai novērtēšanai	127
4.4. att.	Modelēšanas piemērs automobiļa <i>VW Golf III 1.9TD</i> pielāgošanas ekonomiskajai novērtēšanai	128
4.5. att.	Traktoru ekspluatācijas izmaksu novērtēšanas modelis programmā <i>AnyLogic</i>	130
4.6. att.	Rapša eļļas iegūšanas izmaksu modelis programmā <i>AnyLogic</i>	132
4.7. att.	Rapša eļļas iegūšanas izmaksu modelēšanas piemērs eļļas ieguvē no vasaras rapša zemnieku saimniecībā	134
4.8. att.	Rapša eļļas iegūšanas izmaksu modelēšanas piemērs eļļas ieguvē no ziemas rapša zemnieku saimniecībā	135
4.9. att.	Dažādu mēslošanas un augu aizsardzības plānu modelēšanas piemērs	136

PIELIKUMU SARAKSTS

1. pielikums.	Divu degvielas tvertņu sistēmas patents motora darbināšanai ar rapša eļļu	152
2. pielikums.	Darbināšanai ar rapša eļļu pārbūvēto spēkratu modeļi, izmantojot firmas ATG divu degvielas tvertņu sistēmu	153
3. pielikums.	Modelēšanas rīku atšķirīgo īpašību apkopojums	154
4. pielikums.	Atliku gāzu molārā siltumietilpība atkarībā no temperatūras un gaisa pāruma koeficienta	155
5. pielikums.	Astoņas izplatītākās tehniskā kārtībā esošās vieglo automobiļu markas ar dīzeļmotoriem no 1985. līdz 2008. izlaiduma gadam	156
6. pielikums.	Meklējumeksperimentu jaudas un griezes momenta raksturliķnes	157
7. pielikums.	Meklējumeksperimentu jaudas un griezes momenta raksturliķņu datu tabulas fragments	158
8. pielikums.	Cikla IM-240 izbraukšanas precizitātes noteikšanas eksperimentu ātruma un nobrauktā attāluma līknes	159
9. pielikums.	„Jelgavas cikla” izbraukšanas precizitātes noteikšanas eksperimentu ātruma un nobrauktā attāluma līknes	160
10. pielikums.	Cikla IM-240 izbraukšanas precizitātes noteikšanas eksperimentu datu tabulas fragments	161
11. pielikums.	„Jelgavas cikla” izbraukšanas precizitātes noteikšanas eksperimentu datu tabulas fragments	162
12. pielikums.	<i>Visual Basic for Application</i> programmas kodi datu apstrādes procedūras atvieglošanai	163
13. pielikums.	Rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījuma testēšanas pārskata paraugs	164
14. pielikums.	Ar divu degvielas tvertņu sistēmu aprīkotā kravas automobiļa MAN 19.464 degvielas padeves sistēmas galvenie mezgli.....	165
15. pielikums.	Ar divu degvielas tvertņu sistēmu aprīkotā traktora MTZ-80 degvielas padeves sistēmas galvenie mezgli	166
16. pielikums.	Jaudas stenda MAHA ZW-500 izdruku paraugs	167
17. pielikums.	Modelēšanas piemērs traktora Massey Ferguson 8480 T2 pielāgošanas ekonomiskajai novērtēšanai	168
18. pielikums.	Modelēšanas piemērs traktora MTZ-80 pielāgošanas ekonomiskajai novērtēšanai	169

DARBĀ LIETOTO AKRONĪMU UN ABREVIATŪRU SARAKSTS UN SKAIDROJUMS

AE100	– 100% augu eļļa
AMP	– augšējais maiņas punkts
B5	– dīzeļdegviela, kurai pievienota biodīzeļdegviela 5 tilpumprocentu apjomā no kopējā galaprodukta daudzuma
B30	– dīzeļdegviela, kurai pievienota biodīzeļdegviela 30 tilpumprocentu apjomā no kopējā galaprodukta daudzuma
B100	– 100% biodīzeļdegviela
Bio-DME	– bio-dimetilēteris (<i>biodimethylether</i>)
BRE2.5	– rapša eļļa, kurai pievienots benzīns 2.5 tilpumprocentu apjomā no kopējā galaprodukta daudzuma
BRE5	– rapša eļļa, kurai pievienots benzīns 5 tilpumprocentu apjomā no kopējā galaprodukta daudzuma
BRE7.5	– rapša eļļa, kurai pievienots benzīns 7.5 tilpumprocentu apjomā no kopējā galaprodukta daudzuma
BRE10	– rapša eļļa, kurai pievienots benzīns 10 tilpumprocentu apjomā no kopējā galaprodukta daudzuma
BTL	– biosintētiskā (<i>Biomass-to-Liquid</i>) degviela, ko iegūst no salmiem, bioloģiskajiem atkritumiem, koksnes atliekām un enerģētiskajām kultūrām (pilstiebru graudaugiem, ātraudzīgām koku un krūmu sugām u.c.)
CFPP	– zemākā temperatūra, pie kuras zūd filtra caurlaides spēja (<i>Cold Filter Plugging Point</i>)
CSDD	– Ceļu Satiksmes Drošības Direkcija
DD vai FDD	– fosilā dīzeļdegviela
DUS	– degvielas uzpildes stacija
E5	– svinu nesaturošs benzīns, kuram pievienots dehidratēts (ar spirta saturu vismaz 99.5 tilpumprocenti) bioetanol, ja absolūtā spirta saturs ir 5 tilpumprocenti no kopējā produkta daudzuma
E85	– svinu nesaturošs benzīns, kuram pievienots dehidratēts (ar spirta saturu vismaz 99.5 tilpumprocenti) bioetanol, ja absolūtā spirta saturs ir 85 tilpumprocenti no kopējā šīs degvielas daudzuma
EE	– etilesteris
EGR	– izplūdes gāzu recirkulācijas (<i>exhaust gas recirculation</i>) sistēma
ERE2.5	– rapša eļļa, kurai pievienots etanols 2.5 tilpumprocentu apjomā no kopējā galaprodukta daudzuma
ERE5	– rapša eļļa, kurai pievienots etanols 5 tilpumprocentu apjomā no kopējā galaprodukta daudzuma
ERE7.5	– rapša eļļa, kurai pievienots etanols 7.5 tilpumprocentu apjomā no kopējā galaprodukta daudzuma
FAME	– taukskābju metilesteris – lieto, apzīmējot biodīzeļdegvielu, kas iegūta izmantojot dzīvnieku taukus vai to maisījumus ar augu eļļām (<i>Fatty Acid Methyl Ester</i>)
FTIR	– Furjē optiskā infrasarkanās gaismas absorbcijas mērīšanas metode (<i>Fourier Transform InfraRed Spectroscopy</i>)
F-T	– Fišera-Tropša (<i>Fischer-Tropsch</i>) degviela
GPS	– globālā pozicionēšanas sistēma (<i>Global Positioning System</i>)

GTL	– sintētiska dīzeļdegviela, kas ražota no saspīestas dabiskās gāzes (<i>Gas To Liquids</i>)
HC	– ogļūdeņraži (<i>hydrocarbons</i>)
HVO	– hidrogenēta augu eļļa (<i>Hydro treated vegetable oil</i>)
IM	– iesmidzināšanas moments
ME	– metilesteris
PM	– mehāniskās daļiņas (<i>particles mechanical</i>)
NO _x	– kopējie monoslāpekļa oksīdu savienojumi (NO un NO ₂)
ppm	– koncentrācijas mērvienība (<i>parts per million</i> – daļu skaits uz miljonu). Norāda, cik daudz gāzes daļu ir katrā miljonā daļu no kopējās gāzes masas
RE (RE100)	– rapša eļļa
RE20	– dīzeļdegviela, kurai pievienota rapša eļļa 20 tilpumprocentu apjomā no kopējā galaprodukta daudzuma
RE50	– dīzeļdegviela, kurai pievienota rapša eļļa 50 tilpumprocentu apjomā no kopējā galaprodukta daudzuma
REE	– rapša eļļas etilesteris (<i>Rapeseed Oil Ethyl Ester</i>)
RME	– rapša eļļas metilesteris (<i>Rapeseed Oil Methyl Ester</i>)
SESAM	– daudzkomponentu izplūdes gāzu mērīšanas sistēma (<i>System for Emission Sampling and Measurement</i>)
SME	– saulespuķu eļļas metilesteris (<i>Sunflower Oil Methyl Ester</i>)
TA	– tehniskā apkope
WOME	– lietotas augu eļļas metilesteris (<i>Waste Oil Methyl Ester</i>)

IEVADS

Ikgadējais enerģijas patēriņa pieaugums pasaulē laika posmā līdz 2035. gadam tiek prognozēts 1.2 – 1.8% apjomā. Pie šāda enerģijas patēriņa ogļu resursu pietiks aptuveni 200 gadiem, naftas – aptuveni 45 un dabas gāzes – aptuveni 60 gadiem (Deciding the Future ..., 2007; Scragg, 2009; IEA ..., 2010). Tāpēc īpaša uzmanība pasaulē tiek veltīta atjaunojamo enerģijas resursu apgūšanai un izmantošanai. Tas ļautu samazināt vides piesārņojumu ar kaitīgajiem izmešiem, atbalstīt lauksaimniecības attīstību, samazināt atkarību no energoresursu importa.

Biodegvielas ir viena no alternatīvām, kuru plašāka izmantošana iespējama jau pašlaik. Lai gan tiek pētītas jaunu biodegvielu veidu ieguves un izmantošanas iespējas, piemēram, biosintētiskā jeb BTL (*Biomass-to-Liquid*) degviela, bioūdeņradis (*biohydrogen*), no aļģēm iegūstamās trešās paaudzes biodegvielas un pat ceturtais paaudzes biodegvielas, kas tiks iegūtas no ģenētiski modificētiem augiem, to plašāka ražošana un izmantošana plānota tikai tuvāko 10 līdz 20 gadu laikā (Biofuels in the European Union ..., 2006; Third and Fourth Generation ..., 2010). Tāpēc aktualitāti nezaudē arī pirmās paaudzes biodegvielu – augu eļļas, biodīzeļdegvielas, bioetanola un biogāzes izmantošanas pētījumi.

Tā kā Latvija kopš 2004. gada ir Eiropas Savienības dalībvalsts, tad arī mūsu valstij ir saistoši ES likumdošanas akti un dokumenti. ES direktīva 2003/30/EC „Par biodegvielas un citu atjaunojamo degvielu izmantošanas veicināšanu transportā” noteica, ka ES dalībvalstīm jānodrošina, lai to nacionālajā ekonomikā līdz 2010. gadam no atjaunojamajiem energoresursiem saražotas enerģijas īpatsvars transportā veidotu vismaz 5.75% (Directive 2003/30/EC ..., 2003). Turpmākais mērķis 2020. gadam paredz 20% atjaunojamo energoresursu īpatsvaru kopējā energopatēriņā un 10% biodegvielu īpatsvaru kopējā degvielas patēriņā (Directive 2009/28/EC ..., 2009).

Neskatoties uz veiktajiem pasākumiem biodegvielu ieviešanas veicināšanā, ES biodegvielu ražošanas un izmantošanas pieauguma tempi transporta sektorā ir neapmierinoši. 2010. gadā biodegviela veidoja tikai 4% no kopējā degvielas apjoma (EU biofuels policy, 2010). Latvijā šis skaitlis laika posmā no 2005. līdz 2010. gadam svārstījās robežās no 0.14% līdz 2.79%. Kopā ar 0.78% no atjaunojamajiem energoresursiem saražotās transportā izmantojamās elektroenerģijas, 2010. gadā Latvijā plānoto 5.75% vietā tika sasniegti tikai 3.57% (Par enerģijas patēriņa ..., 2011).

Lai uzlabotu situāciju biodegvielu izmantošanā, LR Ministru kabineta 2009. gada 25. jūnija sēdē akceptēti grozījumi divos normatīvajos aktos – MK 2000. gada 26. septembra noteikumos Nr. 332 „Noteikumi par benzīna un dīzeļdegvielas atbilstības novērtēšanu” un MK 2005. gada 18. oktobra noteikumos Nr. 772 „Noteikumi par biodegvielas kvalitātes prasībām, atbilstības novērtēšanu, tirgus uzraudzību un patērētāju informēšanas kārtību” (Noteikumi par benzīna ..., 2009; Noteikumi par biodegvielas ..., 2009). Grozījumi nosaka, ka no 2009. gada 1. oktobra Latvijā bezsvina 95. markas benzīnu atļauts realizēt tikai ar pievienotu bioetanolu 4.5 – 5% apjomā no kopējā benzīna tilpuma un dīzeļdegvielu vasaras mēnešos tikai ar pievienotu biodīzeļdegvielu 4.5 – 5% apjomā no kopējā galaprodukta daudzuma.

Tā kā šie pasākumi tikai daļēji veicina ES noteikto kontrolskaitļu izpildi, tad jāmeklē, kur rast papildus iespējas biodegvielu izmantošanā.

Pēdējo gadu laikā Austrijā, Vācijā u.c. valstīs arvien plašāk kā dīzeļmotoru degvielu izmanto tīru augu eļļu. Latvijā to galvenokārt izmanto tikai uzņēmumos, kas paši ražo eļļu, piemēram, SIA „Iecavnieks”, SIA „Logins & Co” un SIA „Saules enerģija”, kā arī vairākās zemnieku saimniecībās.

No likumdošanas viedokļa šķēršļu augu eļļas izmantošanā nav, jo grozījumi LR Ministru kabineta noteikumos Nr. 772 biodegvielu saimē iekļauj arī tīru rapša sēklu eļļu un citas no eļļas augiem iegūtas tīras nerafinētas vai rafinētas augu eļļas, kas kā degviela ir piemērotas izmantošanai noteiktu veidu iekšdedzes motoros (Noteikumi par biodegvielas ..., 2007). Diemžēl augu eļļa degvielas uzpildes stacijās Latvijā pašlaik nav nopērkama. Tas saistīts galvenokārt ar degvielas uzpildes staciju infrastruktūras pielāgošanas nepieciešamību un pieprasījuma trūkumu, ko savukārt kavē līdz šim nelielais pētījumu skaits augu eļļas degvielu izmantošanā, līdz ar to potenciālie lietotāji par šo biodegvielu veidu ir vismazāk informēti. Bez tam uzņēmumu un zemnieku saimniecību spēkratos izmantoto rapša eļļas degvielu neieskaitīs kopējā patērētajā biodegvielu daudzumā līdz brīdim, kamēr tā oficiāli netiks iegādāta kā degviela, bet kalpos tikai pašpatēriņam.

Kā vienu no būtiskākajām rapša eļļas degvielas priekšrocībām var minēt tās salīdzinoši vienkāršo un lēto ražošanas procesu. Rapša audzēšanas un novākšanas tehnoloģijas Latvijā ir stabilas, zemes platības audzēšanai pietiekamas, eļļas izspiešana neprasa ļoti dārgas iekārtas un nekādas papildus vielas rapša eļļas degvielas saražošanai nav vajadzīgas. Blakusprodukti, ko iegūst pēc eļļas izspiešanas, nav jāutilizē, bet ir izmantojami kā vērtīga lopbarība. Tādējādi rapša eļļas degvielu Latvijā var uzskatīt par no ārējiem faktoriem „visneatkarīgāko degvielu”.

Līdzšinējie pētījumi augu eļļu degvielu pielietošanā dīzeļmotoros pārsvarā veikti uz motorstendiem, par pētījumu objektiem izmantojot tipveida motorus. Tāpēc šajā promocijas darbā pētītas rapša eļļas degvielas izmantošanas iespējas spēkratos, pielāgojot tos darbināšanai ar augu eļļu un akcentējot šīs degvielas izmantošanu ziemas apstākļos.

1. SITUĀCIJAS APSKATS

Šajā nodaļā dots ar promocijas darbu saistīto būtiskāko terminu īss skaidrojums, dīzeļmotoros izmantojamo biodegvielu raksturojums, analizēta situācija biodegvielu ražošanā un izmantošanā Latvijā, aplūkota rapša eļļas ieguve, kvalitātes prasības rapša eļļai kā biodegvielai, tās īpašības un izmantošanas vispārīgie nosacījumi. Veikta rapša eļļas degvielas izmantošanas un loģistikas sistēmas pētījumu analīze.

Biodegvielas likumā (Biodegvielas likums, 2005) ir lietoti šādi termini:

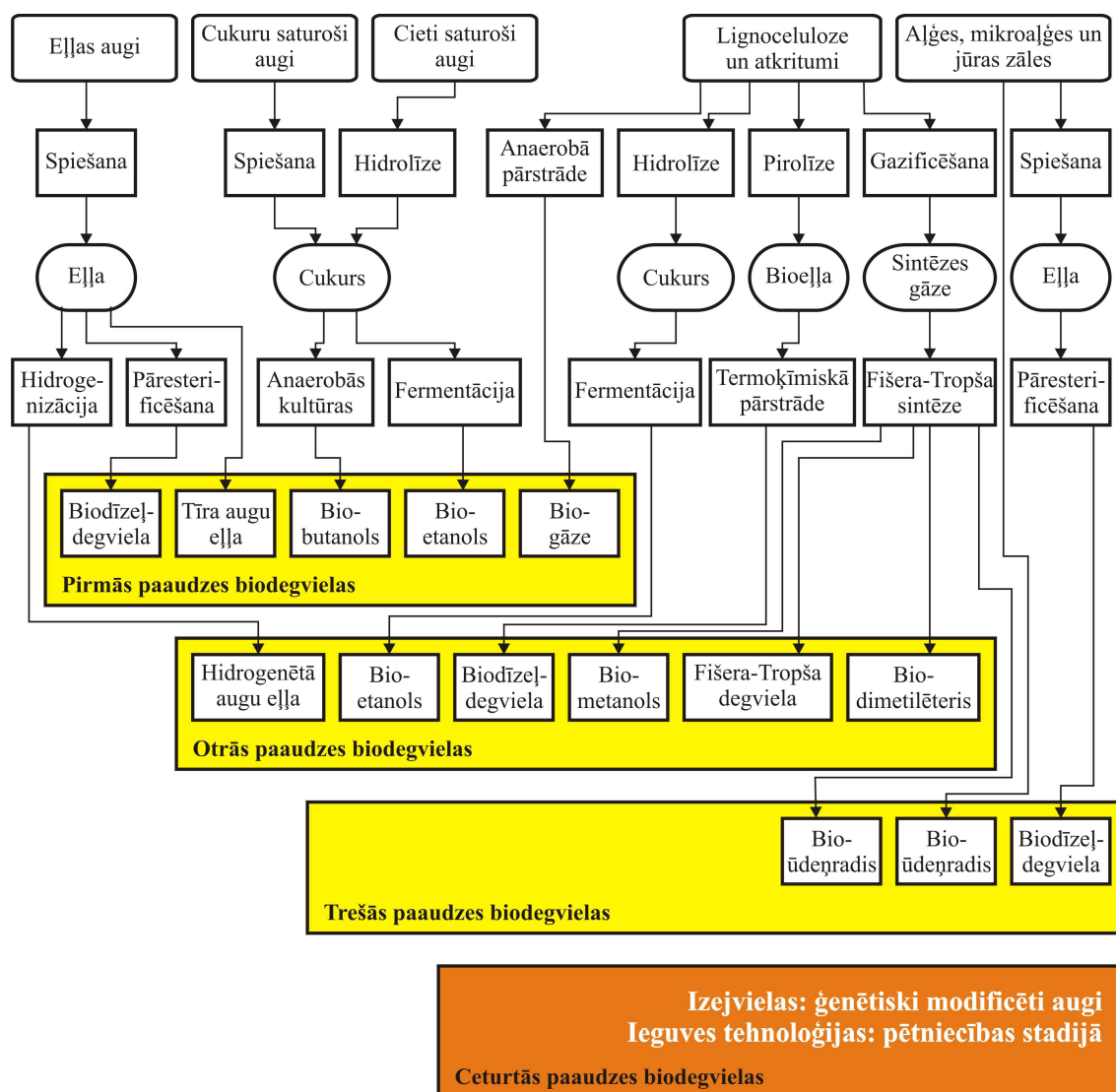
- biodegviela – iekšdedzes motoros izmantojama šķidrā vai gāzveida degviela, ko iegūst no biomasas;
- biomasa – bioloģiski noārdāma frakcija lauksaimniecības, mežsaimniecības un ar tām saistīto nozaru produktos, atkritumos un atliekās (tostarp augu un dzīvnieku izcelsmes vielas), kā arī bioloģiski noārdāma frakcija rūpniecības un sadzīves atkritumos;
- tīra augu eļļa – spiežot, ekstrahējot vai izmantojot līdzvērtīgu paņēmieni, no eļļas augiem iegūta augu eļļa, kas ir nerafinēta vai rafinēta, bet nav ķīmiski modificēta un kā degviela ir piemērota izmantošanai noteiktu veidu iekšdedzes motoros, kā arī atbilst emisijas prasībām;
- biodegvielas aprīte – jebkādas darbības ar biodegvielu (izejvielu ražošana un pārstrāde, kā arī biodegvielas ražošana, marķēšana, uzglabāšana, pārvadāšana, ievēšana, izvešana, izplatīšana, realizācija, iznīcināšana u.tml.), kā arī patērētāju informēšana.

Loģistika – izejvielu, materiālu, nepabeigtās ražošanas, gatavās produkcijas, pakalpojumu un informācijas plānošanas, izpildes un kontroles process no tās radīšanas vietas līdz patērētājam (ieskaitot importu, eksportu, iekšējo un ārējo pārvietošanu) ar mērķi samazināt izmaksas un pilnīgi apmierināt patērētāja vajadzības (Bewersox et al., 1991).

1.1. Dīzeļmotoros izmantojamās biodegvielas

Iekšdedzes motoros izmantojamās biodegvielas pieņemts klasificēt paaudzēs, pamatojoties un to iegūšanas veidu un izejvielām. Dažādu autoru darbos pieejami atšķirīgi iedalījumi, taču, kā liecina ASV veiktie pētījumi, striktu definīciju, kas noteiktu biodegvielu paaudžu skaitu vai konkrētā degvielas veida piederību kādai no paaudzēm, pagaidām nav (Carriquiry et al., 2011). Dominē viedoklis, ka par **pirmās paaudzes biodegvielām** pieņemts saukt degvielas, kas tiek iegūtas no eļļu, cieti vai cukuru saturošiem augiem, kas izmantojami arī pārtikā. **Otrās paaudzes biodegvielu** ražošanai izmanto nepārtikas izejvielas, piemēram, koksnī, salmus, zaļo zāli, organiskos atkritumus, ogles u.tml. No aļģēm, mikrobiem, celulozes un jūras zālēm iegūstamas **trešās paaudzes biodegvielas**, bet **ceturtais paaudzes biodegvielu** ražošana paredzēta no ģenētiski modificētiem augiem (Carere et al., 2008; Scragg, 2009; Third and Fourth Generation ..., 2010; Demirbas A, 2011; Demirbas M.F., 2011; Nigam and Singh, 2011; Singh et al., 2011). Balstoties uz iepriekš minēto autoru publikācijām, izstrādāta vienkāršota galveno iekšdedzes motoros izmantojamo biodegvielu klasifikācijas un ieguves shēma (sk. 1.1. att.).

Pirmās paaudzes biodegvielu ieguvei kā izejvielas plaši izmanto graudaugu kultūras, kuru ražošanai nepieciešama lauksaimniecībā izmantojamā zeme. Šajā sakarā vairākās valstīs ir izteiktas bažas, ka biodegvielu ražošanas dēļ sāk pietrūkt lauksaimniecības zemes pārtikas izejvielu ražošanai.



1.1. att. Iekšdedzes motoros izmantojamo biodegvielu klasifikācijas un ieguves shēma

Analizējot rakstus un publikācijas šajā jomā, var secināt, ka vairumā gadījumu pirmās paaudzes biodegvielu ražošanas skeptiķi pauž savu viedokli laikrakstos un tīmekļa portālos (Chakraborty, 2008; Tangermann, 2008; World Bank ..., 2008). Brazīlijas, Kubas un Meksikas pētnieki (Escobar et al., 2009) norāda, ka lauksaimniecības zemes resursi pasaulē ir ierobežoti, un tāpēc ir nepieciešams noteikt, kādu daļu šīs zemes varētu izmantot biodegvielu ražošanai. Savukārt, vairums Eiropas un ASV zinātnieku uzskata, ka apgalvojumam, ka pārtikas preču cenu pieaugums tiešā veidā atkarīgs no biodegvielu ražošanas apjoma no pārtikā izmantojamām izejvielām, nav pamata (Baka and Roland-Hols, 2009; Ajanovic, 2011; Armah et al., 2011). Šajās publikācijās uzsvērts, ka būtiskāk pārtikas cenas iespaido citi faktori, piemēram, naftas produktu, konkrētas valsts valūtas kursa, minerālmēslu un augu aizsardzības līdzekļu cenu svārstības, mainīgie laika apstākļi u.tml. Norādīts, ka, pat saglabājot pašreizējās lauksaimnieciskās ražošanas apjomu nemainīgu, pārstrādājot atbilstošās lauksaimniecības kultūras par biodegvielām, Eiropas Savienības dalībvalstīs ir potenciāls, lai samazinātu naftas importu par 20%.

Neviennozīmīgais viedoklis pārtikā izmantojamo augu izmantošanā biodegvielu ieguvei ir viens no iemesliem, kuru dēļ uzsākti intensīvi nākamo paaudžu biodegvielu

meklējumi, kuru ražošanai izmanto nepārtikas izejvielas. ASV pirmās paaudzes degvielu ražošanas un izmantošanas ikgadējs pieaugums par 4 līdz 5% plānots līdz 2015. gadam, bet līdz 2022. gadam tas vairs nemainīsies. Tajā pat laikā attīstīsies nākamo paaudžu biodegvielu ražošana, kas sasniegs pirmās paaudzes degvielu kopapjomu 2020. gadā (Jessup, 2011). Eiropas Savienības kontekstā veiktajos pētījumos norādīts, ka otrās paaudzes biodegvielu izmaksas tikai 2030. gadā nokritīs līdz pirmās paaudzes biodegvielu izmaksām. Tomēr, ņemot vērā pieaugošās cenas fosilajam benzīnam un dīzeļdegvielai un, īstenojot ES valstīs dažādus pasākumus, piemēram, subsīdiju politiku un nodokļu atvieglojumus, biodegviela kļūs konkurētspējīga jau tuvākajos gados (Ajanovic and Haas, 2010; Sims et al., 2010).

No pirmās paaudzes biodegvielām izmantošanai dīzeļmotoros paredzēta **biodīzeļdegviela un tīra augu eļļa** jeb bioeļļa, bet, izmantojot īpašas eļļojošas piedevas, dīzeļmotoros var lietot arī **bioetanolu** (Pīrs, 2011). Darbam ar **bioģāzi** dīzeļmotoru var pielāgot divējādi:

- lieto dubultdegvielas sistēmu, kad 85 – 90% motora jaudas nodrošina biogāze, bet 10 – 15% dīzeļdegviela, kura šajā gadījumā darbojas kā pilotdegviela, nodrošinot maisījuma aizdedzināšanu;
- dīzeļmotoru pārveido par dzirksteles aizdedzes motoru, sprauslu vietā iemontējot aizdedzes sveces un uzstādot elektronisko aizdedzes sistēmu – motors darbojas tikai ar biogāzes un gaisa maisījumu (Gulbis, 2008).

Biodīzeļdegvielu iegūst, bioeļļu pāresterificējot kopā ar 100% spirtu (metanolu vai etanolu) katalizatora – KOH vai NaOH klātbūtnē. Biodīzeļdegvielas ražošana ES ir balstīta uz rapša eļļu. Tikai 3% biodīzeļdegvielas ES tiek ražota no saulespuķu eļļas un 18% no sojas pupiņu eļļas (Ajanovic, 2011), kura, savukārt, veido 90% no ASV saražotās biodīzeļdegvielas kopapjoma (Balat and Balat, 2008). Biodīzeļdegvielas ražošanai var izmantot arī lietotas cepamēļļas, kas parasti ir dažādu augu eļļu un dzīvnieku tauku maisījums, vai arī tieši izmantot dzīvnieku taukus, kurus iegūst no gaļas pārstrādes uzņēmumu atlikumiem. Atkarībā no tā, vai reakcijā ir izmantots metilspirts vai etilspirts, iegūtos esterus apzīmē attiecīgi ar ME (metilesteris) vai EE (etilesteris). Apzīmējumiem pievieno burtu, kas apzīmē izmantoto augu eļļu, piemēram, RME (*Rapeseed Oil Methyl Ester*) – rapša eļļas metilesteris, REE (*Rapeseed Oil Ethyl Ester*) – rapša eļļas etilesteris, SME (*Sunflower Oil Methyl Ester*) – saulespuķu eļļas metilesteris, WOME (*Waste Oil Methyl Ester*) – lietotas augu eļļas metilesteris, FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) – taukskābju metilesteris, kas iegūts, izmantojot dzīvnieku taukus vai to maisījumus ar augu eļļām (Gulbis un Birzietis, 2006).

Biodīzeļdegvielu var lietot motoros gan tīrā veidā, gan arī maisījumos ar fosilo dīzeļdegvielu. Biodīzeļdegvielu un tās maisījumus pieņemts apzīmēt ar burtu B un ciparu, kas norāda biodīzeļdegvielas procentuālo daudzumu maisījumā, piemēram, B100 – 100% biodīzeļdegviela, B30 – 30% biodīzeļdegviela + 70% dīzeļdegviela. B5 ir zemas koncentrācijas maisījums, un vairākās valstīs (no 2009. gada 1. oktobra vasaras mēnešos arī Latvijā) praktizē piejaukt visam tirgū izlaistajam fosilās dīzeļdegvielas daudzumam 5% biodīzeļdegvielas kā piedevu, kas uzlabo dīzeļdegvielas eļļojošās īpašības un līdz ar to palielina motora barošanas sistēmas kalpošanas laiku.

Biodīzeļdegviela ir visplašāk pētītā biodegviela pasaulē, tai skaitā arī Eiropā un arī Latvijā. Tā, piemēram, 2010. gadā LLU Tehniskās fakultātes Spēkratu institūtā R. Šmigins aizstāvēja promocijas darbu par tēmu „Biodīzeļdegvielas ietekme uz motora darba parametriem” (Šmigins, 2010). Kā rāda biodīzeļdegvielas lietošanas pieredze un veikto pētījumu analīze, darbā ar biodīzeļdegvielu motora jauda nedaudz samazinās un līdz ar to pasliktinās spēkrata dinamiskās īpašības, lai gan samazinājums ir tik mazs, ka praksē bieži vien nav pamanāms. Motora jaudas samazināšanās cēlonis ir

biodīzeļdegvielas zemāka siltumspēja jeb sadeģšanas siltums. Līdz ar to arī degvielas patēriņš nedaudz pieaug.

Apjomīgu darbu biodīzeļdegvielas pētījumu rezultātu apkopošanā veicis ASV Lauksaimniecības departamenta pētnieks Braiens Mozers (*Bryan R. Moser*). Viņš analizēja vairāk nekā 300 dažādus pētījumus, novērtējot biodīzeļdegvielas kā motordegvielas priekšrocības (piemēram, biodīzeļdegvielā nav sēra, kā rezultātā tiek saudzēts motors, labākas eļļošanas īpašības pagarina detaļu darba mūžu, ir augstāks cetānskaitlis, līdz ar to degviela labi uzliesmo, deg un nodrošina vienmērīgu motora darbību, bioloģiski ātri sadalās, nav indīga, samazina kvēpu daudzumu atgāzēs) un trūkumus (piemēram, augstas izejvielu izmaksas, zemāka uzglabāšanas un oksidatīvā stabilitāte, zemāka tilpuma siltumspēja, apgrūtināta lietošana zemās temperatūrās, dažos gadījumos augstāks NO_x saturs izplūdes gāzēs, agresīva iedarbība uz lokanajiem cauruļvadiem, blīvēm u.c. detaļām no dabiskās gumijas). Secināts, ka pirmās paaudzes biodīzeļdegvielas primārā izmantošana būs nevis tīrā veidā, bet kā sastāvdaļa maisījumiem ar fosilo dīzeļdegvielu (Moser, 2011).

Bioeļļa ir augu eļļa, kas iegūta ar augu sēklu presēšanu, ekstrakciju vai citu paņēmienu, nav vai ir rafinēta, bet nav ķīmiski modificēta. Augu eļļas degvielu parasti apzīmē ar AE100 (Biodeģvielas izmantošanas ..., 2007). Bioeļļas ieguvei izmanto dažādus eļļas augus, piemēram, rapsi, saulespuķu sēklas, sojas pupiņas, eļļas palmas, zemesriekstus u.c.

Lai noskaidrotu augu eļļas degvielu izmantošanas perspektīvu, analizēti modelēšanas pētījumi Eiropas Komisijas atbalstītajā projektā „Clear Data Clean Fuels” (NNE5-2001-00619), kas vēlāk tika pārdēvēts par „Clear Views on Clean Fuels” jeb saīsinājumā vienkārši *VIEWLS*. Vispārējie šī projekta mērķi ir iegūt strukturētus un skaidrus datus par biodeģvielu pieejamību, un identificēt iespējas un stratēģijas biodeģvielu ražošanā, izplatīšanā un izmantošanā Eiropas transporta sektorā, ietverot Centrālās un Austrumeiropas valstis (CEEC) (Wakker et al., 2005). Šajā pētījumā izveidoti divi neatkarīgi modeļi – *BIOTRANS* modelis un *ChalmersVIEWLS* modelis.

BIOTRANS ir biodeģvielu ražošanas tīkla plūsmas modelis. Tā ieejas dati ir reģionāli biomasas resursu potenciāli un izdevumi, pārstrādes procesu tehnoloģiju parametri, ietverot transportēšanas, infrastruktūras uzturēšanas un transporta līdzekļa pielāgošanas izdevumus. Modelis lietots, lai identificētu viszemākās cenas apgādes ķēdi no rūpniecības izejvielām līdz gala lietošanai, kā mērķi uzstādot ES biodeģvielu direktīvu kontrolskaitļu sasniegšanu. Viszemākās cenas apgādes ķēdes modelēšanas rezultāti doti 1.1. tabulā (Wakker et al., 2005).

1.1. tabula. **Viszemākās cenas apgādes ķēdes modelēšanas rezultāti**

Biodeģviela	2005	2010	2015	2020	2025	2030
AE100	90%	80%	70%	50%	41%	20%
Biodīzeļdegviela	10%	3%	4%	4%	4%	4%
Biodimetilēteris	–	1%	2%	20%	30%	53%
Biometanols	–	6%	14%	15%	15%	14%
Biogāze	–	10%	10%	11%	10%	9%
Kopā	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Modelī ievērtēti izdevumi spēkratu pārbūvei darbināšanai ar konkrēto biodeģvielu, bet, piemēram, tīras augu eļļas degvielas AE100 apgādes shēmā rapša raušu realizācija ir ievērtēta, savukārt iespējamie ieņēmumi no biodīzeļdegvielas ražošanas procesa blakusprodukta – glicerīna realizācijas nav ņemti vērā. Pamatojoties

uz *BIOTRANS* modelēšanas rezultātiem, tīras augu eļļas degviela saglabās viszemākās cenas apgādes ķēdes statusu līdz pat 2020. gadam, kad to pakāpeniski nomainīs nākamo paaudžu degvielas. Šos modelēšanas rezultātus apstiprina arī iepriekšminētie (sk. 21. lpp.) pēdējos gados veiktie pētījumi ASV un Austrijā (Ajanovic and Haas, 2010; Jessup, 2011).

ChalmersVIEWLS ir regionalizēts enerģijas sistēmas modelis. Galvenais uzsvars šajā modelī vērsts uz vispārēju enerģijas (ietver biomasu, atjaunojamus un fosilos resursus) izmaksu optimizāciju pie noteikta enerģijas pieprasījuma scenārija un pieņēmumu par CO₂ emisijas ierobežojumiem.

Arī *ChalmersVIEWLS* modelēšanas rezultāti apstiprina biodegvielu ražošanas un izmantošanas paplašināšanas nepieciešamību un, līdzīgi kā *BIOTRANS* modeļa gadījumā, eļļas augi, kā biodegvielu ražošanas izejviela, arī no enerģētiskā viedokļa savu aktualitāti saglabās vismaz līdz 2020. gadam. 1.2. tabulā parādīts, kuru biomasu varētu izmantot, lai ražotu viszemākās cenas biodegvielu laikā no 2005. līdz 2030. gadam (Wakker et al., 2005).

1.2. tabula. *ChalmersVIEWLS* modelēšanas rezultāti

Biomasa	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Eļļas augi	100%	83%	74%	54%	45%	24%
Lignocelulozes augi	–	8%	11%	18%	19%	31%
Cukuru saturoši augi	–	–	–	–	–	–
Cieti saturoši augi	–	–	–	–	–	–
Rūpniecības pārpalikumi/ atkritumi	–	9%	15%	28%	36%	45%
Kopā	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tas pierāda, ka augu eļļas izmantošanas aktualitāte turpmākajos gados saglabāsies. Par to liecina arī fakts, ka zinātnieki visos kontinentos joprojām pēta dažāda veida augu eļļas kā dīzeļdegvielas aizvietotāju. Piemēram, sojas eļļu testē un izmanto ASV, rapša un saulespuķu eļļu Eiropā, palmu eļļu Dienvidaustrumu Āzijā (Malaizijā, Taizemē un Indonēzijā), kokosriekstu eļļu Filipīnās un kokvilnas sēklu eļļu Rietumāfrikā, Grieķijā un Turcijā (Sidibe et al., 2010; No, 2011).

AE100 fizikālās un ķīmiskās īpašības, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu un biodīzeļdegvielu, ir atšķirīgas. No ķīmijas viedokļa augu eļļa ir brīvo taukskābju, diglicerīdu, triglicerīdu, glicerīna, fosfora savienojumu un vasku maisījums, kas var saturēt arī dažādus sārņus un neredzīgus.

Augu eļļu sastāvu galvenokārt ietekmē divi faktori: kultūra, ko izmanto eļļas ražošanā, un process, kas tiek izmantots eļļas spiešanai. Būtiskākā atšķirība starp augu eļļu un dīzeļdegvielu ir to dažādā kinemātiskā viskozitāte – augu eļļa ir aptuveni desmit reizes viskozāka, kas būtiski iespaido sadegšanas procesu. Atšķiras arī cetānskaitlis, siltumspēja, uzliesmošanas un sastingšanas temperatūras u.c. parametri. Šo problēmu atrisināšana ir viens no nozīmīgākajiem augu eļļu degvielu pētījumu uzdevumiem (Chakraborty, 2008).

No dažiem raksturīgākajiem eļļas augiem iegūto bioeļļu un fosilās dīzeļdegvielas fizikālo īpašību salīdzinājums dots 1.3. tabulā (Altin et al., 2001; Ramadhas et al., 2004; Balat, 2008; Chiaramonti and Prussi, 2009; Sidibe et al., 2010).

Eiropas valstīs, arī Latvijā, bioeļļas ieguvei visplašāk izmanto rapša sēklas. Tā kā rapša eļļas degviela un tās loģistikas ķēde ir šī darba pētījumu objekts, tad detalizēti šīs degvielas iegūšana, īpašības un izmantošana aplūkota 1.3. nodaļā „Rapša eļļas degvielas raksturojums”.

1.3. tabula. **Bioeļļu un fosilās dīzeļdegvielas fizikālo īpašību salīdzinājums**

Rādītāji	Rapša sēkļu eļļa	Saulespuķu sēkļu eļļa	Kokvilnas sēkļu eļļa	Sojas pupiņu eļļa	Kukurūzas sēkļu eļļa	Fosilā dīzeļdegviela
Blīvums pie 20 °C, kg m ⁻³	915	918	912	914 – 920	915 – 920	815 – 836
Viskozitāte pie 27 °C, mm ² s ⁻¹	39.5	39.5 – 58.5	50.0	65.0	46.0	3.0 – 7.5
Viskozitāte pie 75 °C, mm ² s ⁻¹	10.5	10.5 – 15.0	16.0	9.0	10.5	1.5
Siltumspēja, MJ kg ⁻¹	37.6	39.5	36.7	39.6	37.8	43.0 – 44.0
Siltumspēja, MJ l ⁻¹	34.4	36.3	33.4	34.7	34.8	35.0 – 36.0
Cetānskaitlis	37.6	37.1	48.1	37.9	37.6	47.0 – 60.0
Sastingšanas temperatūra, °C	-11	-5	-1	-4	-1	-35 – -5
Uzliesmošanas temperatūra, °C	275 – 290	220	210	230	270 – 295	58 – 93

No otrās paaudzes biodegvielām, kas paredzētas izmantošanai dīzeļmotoros, var minēt hydrogenēto augu eļļu HVO (*Hydro treated vegetable oil*), Fišera-Tropša F-T (*Fischer-Tropsch*) degvielu, biodimetilēteri Bio-DME (*biodimethylether*) un ātrās pirolīzes eļļu. Vairākās valstīs darbojas eksperimentālas šo degvielu ražotnes, un notiek intensīvi to pētījumi, ražošanas tehnoloģiju izstrāde, pārbaude un pilnveidošana. Minētās degvielas nosacīti pieskaitāmas **BTL degvielu** (*Biomass-to-Liquid* vai *Synfuel*) grupai. Tās ir sintētiskās degvielas, kuras, ieguvei var izmantot dažādas izejvielas – salmus, bioloģiskos atkritumus, koksnes atliekas un enerģētiskās kultūras (pilnstiebru graudaugus, ātraudzīgās koku un krūmu sugas u.c.). Ražošanas process sastāv no vairākiem etapiem: biomasas primārās apstrādes, biomasas pārgāzēšanas un iegūtās gāzes katalītiskās sintēzes, kā rezultātā iegūst šķidrās biodegvielas (Gulbis, 2008). Viens litrs BTL degvielas var aizvietot aptuveni 0.93 litrus dīzeļdegvielas. No viena hektāra biomasas var saražot aptuveni 4000 litrus BTL degvielas (Kalniņš, 2005).

Hydrogenētās augu eļļas HVO („Neste Oil” ražoto HVO sauc arī par NExBTL degvielu) tirdzniecību Latvijā vēlas uzsākt SIA „Neste Latvija”, kas jau kopš 2010. gada oktobra lūdz veikt grozījumus Biodegvielas likumā, jo tā līdzšinējā redakcijā minētās degvielas izmantošana Latvijā nav atļauta.

HVO ražotnes jau izveidotas Somijā, Singapūrā un Nīderlandē, bet degvielas pētījumi veikti Somijā (Aatola et al., 2008), ASV (Gong et al., 2010), Zviedrijā (Arvidsson et al., 2011), Spānijā (Lapuerta et al., 2011) un Čehijā (Šimáček et al., 2010). Kā HVO priekšrocības, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu, norādīts samazinātais CO, NO_x, nesadegušo ogļūdeņražu un mehānisko daļiņu daudzums atgāzēs, augstais cetānskaitlis (80 – 99 salīdzinot ar 47 – 60 fosilajai dīzeļdegvielai), bet trūkums – nedaudz palielināts degvielas patēriņš, ko rada zemāks blīvums (770 – 785 kg m⁻³) nekā fosilajai dīzeļdegvielai (aptuveni 830 kg m⁻³). Salīdzinot ar pirmās paaudzes

biodīzeļdegvielu, HVO zemā sastingšanas temperatūra (no -5 līdz -30 °C) un augstā stabilitāte glabāšanā ļauj izmantot hidrogenēto augu eļļu tīrā veidā vai, piejaucot fosilajai dīzeļdegvielai jebkurā proporcijā, arī ziemas mēnešos.

F-T sintētiskās biodīzeļdegvielas ražošanas tehnoloģiju otrā pasaules kara laikā izstrādāja vācu inženieri Fišers un Tropšs (*Franz Fischer* un *Hans Tropsch*), lai aizstātu trūkstošo fosilo dīzeļdegvielu. F-T degvielu ražoja no sintēzgāzes, ko savukārt ieguva no akmeņoglēm. Pēc kara nafta atkal bija pieejama un F-T degvielas ražošana Vācijā tika pārtraukta. Piecdesmitajos gados F-T degvielu atsāka ražot Dienvidāfrikas Republika, jo tai starptautiskā boikota dēļ nafta nebija pieejama (Calis et al., 2003). Pārgāzējot koksnes biomasu (šķeldu, zāģskaidas, koksnes atlikumus), 1 tonnas Fišera-Tropša dīzeļdegvielas ražošanai nepieciešamas 8.5 tonnas koksnes (Ree et al., 2005).

Pasaules zinātnieki uzskata, ka no otrās paaudzes BTL grupas biodegvielām sintētiskā Fišera-Tropša biodīzeļdegviela ir visefektīvākā un visātrāk ieviešama ražošanā. Par to liecina arī Lielbritānijas un Spānijas zinātnieku pētījums par dažādu biodegvielu veidu publikāciju skaita dinamiku laikā no 2000. līdz 2010. gadam (Gill et al., 2011). Tajā pierādīts, ka tieši F-T degvielas pētījumu jomā starptautiski citējamo zinātnisko rakstu skaitam pa gadiem ir eksponenciāls pieauguma raksturs. Fišera-Tropša biodīzeļdegviela pēc savām īpašībām ir tuvāka fosilajai dīzeļdegvielai nekā pirmās paaudzes biodīzeļdegviela (Van Thuijl et al., 2003; Lapuerta et al., 2010). Lai abas šīs degvielas būtu vieglāk atšķirt, F-T biodīzeļdegvielu literatūrā mēdz dēvēt par „zaļo degvielu”.

Fišera-Tropša, HVO, RME, REE un fosilās dīzeļdegvielas fizikālo īpašību salīdzinājums dots 1.4. tabulā (Van Thuijl et al., 2003; Girard and Fallot, 2006; Gulbis, 2007; Aatola et al., 2008; Ušner and Müller-Langer, 2009; Garraín et al., 2010; Lapuerta et al., 2010; Šimáček et al., 2010; Arvidsson et al., 2011; Lapuerta et al., 2011).

1.4. tabula. **F-T, HVO, RME, REE un fosilās dīzeļdegvielas fizikālo īpašību salīdzinājums**

Rādītāji	F-T	HVO	RME	REE	Fosilā dīzeļdegviela
Blīvums pie 15 °C, kg m ⁻³	770 – 785	770 – 790	880 – 885	880	820 – 845
Viskozitāte pie 40 °C, mm ² s ⁻¹	3.2 – 4.5	2.5 – 3.5	3.5 – 5.0	4.4	2.0 – 4.5
Tilpuma siltumspēja pie 15 °C, MJ kg ⁻¹ (MJ l ⁻¹)	44.0 (34.3)	44.0 (34.4)	38.0 (33.2)	38.0 (33.2)	42.7 (35.7)
Cetānskaitlis	70 – 81	80 – 99	50 – 58	51 – 56	47 – 60
Uzliesmošanas temperatūra, °C	72	N/A	150 – 170	150 – 170	55 – 77
Sadūļošanās temperatūra, °C	-25 – 0	-5 – -30	-5 – 0	-10 – 0	līdz -25
Zemākā filtrēšanas temperatūra, °C	-26	līdz -32	-12	-15	līdz -44

Biomasa ātrā pirolīze ir relatīvi jauna biomasas termoķīmiskās pārstrādes tehnoloģija. Šajā procesā no koksnes šķeldas u.c. cietām, lignocelulozi saturošām izejvielām iegūst šķidru degvielu – **pirolīzes eļļu** jeb bioeļļu, sauktu arī par „melno liķieri” (*black liquor*). To var izmantot kā degvielu modificētos dīzeļmotoros, apkures boileros vai arī kā izejvielu tālākai pārstrādei F-T degvielas, DME degvielas un dažādu

ķīmisko vielu ražošanai. Pētījumu analīze rāda, ka praktiski 70 – 75% pēc svara no sausas biomasas var tikt pārvērsti bioeļļā. Pie 25% ūdens satura, bioeļļas vidējā siltumspēja ir 17 MJ kg^{-1} , bet ņemot vērā, ka bioeļļas blīvums ir 1.15 – 1.20 pie 15 °C, t.i., tā ir par 43.7% blīvāka nekā dīzeļdegviela, tad, pārrēķinot litros, bioeļļas siltumspēja sasniedz 20.5 MJ l^{-1} . Tas nozīmē, ka, lai ar bioeļļu iegūtu tādu pašu enerģijas daudzumu, kā no viena litra dīzeļdegvielas, nepieciešami 1.5 l bioeļļas. (Gulbis, 2008; Demirbas, 2008; Demirbas, 2011).

Biodimetilēteri jeb Bio-DME iegūst no biosintēzgāzes katalītiskās sintēzes reaktorā pēc tehnoloģijas, kas līdzīga F-T degvielas ražošanas tehnoloģijai un atšķiras no tās ar lietotā katalizatora veidu, spiedienu un temperatūru sintēzes reaktorā. DME degvielā ir liels skābekļa saturs (34.8% salīdzinot ar 0 – 0.6% fosilajai dīzeļdegvielai), tāpēc degmaisījums sadeg pilnīgāk, uz degkameru sienām un virzuļu gala virsmas nerodas piedegumi, motors nedūmo, atgāzēs nav kvēpu, samazinās CO un NO_x daudzums. DME siltumspēja ir par 35% zemāka nekā fosilās dīzeļdegvielas siltumspēja, tādēļ, lai novērstu motora jaudas samazināšanos, motoram darbā ar DME ir jābūt lielākai degvielas cikla padevei. DME degvielas cetānskaitlis ir lielāks nekā fosilās un biodīzeļdegvielas cetānskaitlis, tāpēc tiek nodrošināta labāka degvielas pašuzliesmošanās. DME degvielas blīvums (670 kg m^{-3}) ir ievērojami zemāks par fosilās dīzeļdegvielas blīvumu, tādēļ, lai nodrošinātu plunžeru blīvējumu, DME degvielai piejauc 0.5% eļļojošās piedevas (Van Thuijl et al., 2003; Gulbis, 2008).

Visu otrās paaudzes degvielu trūkums ir sarežģītā un dārgā ražošanas tehnoloģija, kas prasa lielas investīcijas centralizētu lielas jaudas rūpnīcu būvniecībai, tāpēc aktualitāti nezaudē arī pirmās paaudzes biodegvielu izmantošanas pētījumi.

1.2. Situācija biodegvielu ražošanā un izmantošanā Latvijā

Tā kā Latvija kopš 2004. gada ir Eiropas Savienības dalībvalsts, tad arī mūsu valstij ir saistoši ES likumdošanas akti un dokumenti. ES direktīva 2003/30/EC „Par biodegvielas un citu atjaunojamo degvielu izmantošanas veicināšanu transportā” noteica, ka ES dalībvalstīm jānodrošina, lai to nacionālajā ekonomikā līdz 2010. gadam no atjaunojamajiem energoresursiem saražotas enerģijas īpatsvars transportā veidotu vismaz 5.75% (Directive 2003/30/EC ..., 2003). Turpmākais mērķis 2020. gadam paredz 20% atjaunojamo energoresursu īpatsvaru kopējā energopatēriņā un 10% biodegvielu īpatsvaru kopējā degvielas patēriņā (Directive 2009/28/EC ..., 2009).

Arī Latvijā pieņemta virkne likumdošanas aktu iepriekš minēto direktīvu izpildei, piemēram, LR programma „Biodegvielas ražošana un pielietošana Latvijā (2003. – 2010.)”, rīcības plāns programmas „Biodegvielas ražošana un lietošana Latvijā” īstenošanai, „Biodegvielas likums” (Biodegvielas ražošana ..., 2003; Rīcības plāns ..., 2004; Biodegvielas likums, 2005) u.c.

Biodegvielu programmā ir paredzēts, ka biodegvielu ražošana attīstīsies lineāri, pieaugot katru gadu par noteiktu lielumu procentuāli atbilstoši fosilo degvielu – benzīna un dīzeļdegvielas pieaugumam, taču jau 2005. gadā parādījās tendence, ka motordegvielu patēriņš vairs nepieaug lineāri, kā bija plānots, bet benzīna patēriņš samazinās un dīzeļdegvielas patēriņš pieaug daudz straujāk. Šī tendence vērojama visās ES valstīs un izskaidrojama ar to, ka arvien plašāk transportā izmanto dīzeļmotorus un to jauda pieaug.

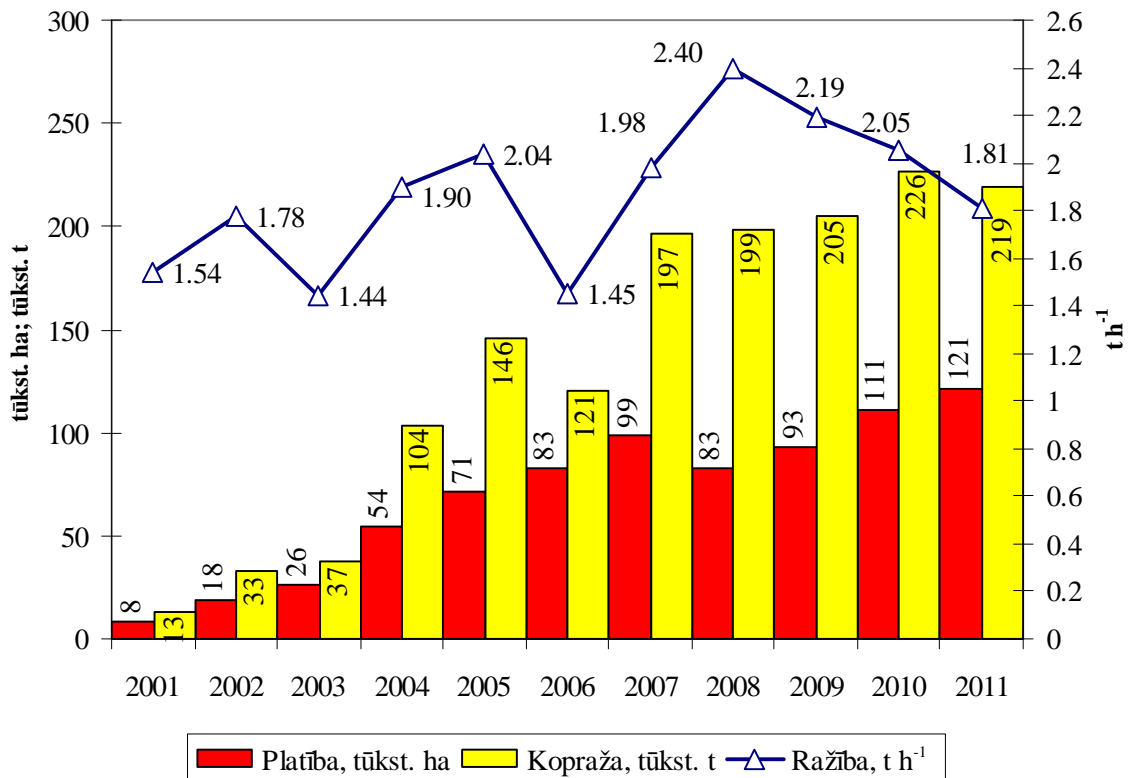
Neskatoties uz veiktajiem pasākumiem biodegvielu ieviešanas veicināšanā, ES biodegvielu ražošanas un izmantošanas pieauguma tempi transporta sektorā ir neapmierinoši. 2010. gadā biodegviela veidoja tikai 4% no kopējā degvielas apjoma (EU biofuels policy, 2010). Latvijā šis skaitlis laika posmā no 2005. līdz 2010. gadam

svārstījās robežās no 0.14% līdz 2.79% (Degvielas patēriņš Latvijā, 2009; Fosilā degviela, 2011; Biodegvielas patēriņš Latvijā, 2009; Biodegviela, 2011). Kopā ar 0.78% no atjaunojamajiem energoresursiem saražotās transportā izmantojamās elektroenerģijas, 2010. gadā Latvijā plānoto 5.75% vietā tika sasniegti tikai 3.57% (Par enerģijas patēriņa ..., 2011). Centrālās statistikas pārvaldes apkopotie dati liecina par vēl ievērojamāku atpalcību no ES noteiktajiem kontroloskaitļiem – 2008. gadā Latvijā no atjaunojamiem energoresursiem saražotās enerģijas īpatsvars transportā sasniedza 0.9%, 2009. gadā – 1.4%, bet 2010. gadā – tikai 1.9%. (Par atjaunojamo energoresursu ..., 2011).

Lai uzlabotu situāciju biodegvielu izmantošanā, no 2009. gada 1. oktobra Latvijā bezsvina 95. markas benzīnu atļauts realizēt tikai ar pievienotu bioetanolu 4.5 – 5% apjomā no kopējā benzīna tilpuma un dīzeļdegvielu vasaras mēnešos tikai ar pievienotu biodīzeļdegvielu 4.5 – 5% apjomā no kopējā galaprodukta daudzuma. Turpmāk paredzēts palielināt obligāto bioetanolu piejaukumu benzīnam līdz 10%, bet biodīzeļdegvielas piejaukumu fosilajai dīzeļdegvielai līdz 7%, kas veicinātu atjaunojamās enerģijas patēriņa transportā palielināšanos no 3.57% līdz 4.8%. (Par enerģijas patēriņa ..., 2011), taču tam varētu iebilst spēkratu ražotāji un dīleri.

Pēdējo gadu laikā Austrijā, Vācijā u.c. valstīs arvien plašāk kā dīzeļmotoru degvielu izmanto tīru augu eļļu. Latvijā to galvenokārt izmanto tikai uzņēmumos, kas paši ražo eļļu, piemēram, SIA „Iecavnieks”, SIA „Logins & Co”, SIA „Moss & Moss” un SIA „Saules enerģija”, kā arī vairākās zemnieku saimniecībās.

Lai novērtētu rapša eļļas degvielas ražošanas potenciālu, aplūkotas rapša audzēšanas attīstības tendences valstī. Izmantojot centrālās statistikas pārvaldes datu bāzes informāciju (Centrālās statistikas pārvaldes datu bāzes, 2012), 1.2. attēlā dotas rapša sējumu platības, kopražas un ražības Latvijā kopš 2001. gada.



1.2. att. Rapša sējumu platība, kopražā un ražība Latvijā

Diagrammā redzams, ka pēdējos gados rapša sējumu platībām un kopražai ir tendence pieaugt, bet ražības ir nosacīti stabilas. Diemžēl līdz šim vairāk nekā 70% Latvijā iegūto rapša sēklu tika eksportēts. Papildus potenciāls rapša audzēšanā Latvijā ir arī daļas no vairāk nekā 300 000 ha neizmantotās aramzemes un vairāk nekā 500 000 ha aizlaistās lauksaimniecībā izmantojamās zemes izmantošana (Atjaunojamo energoresursu ..., 2009).

Atkarībā no lietotās tehnoloģijas un eļļas satura sēklās, no tonnas rapša sēklas var iegūt ap 380 – 400 litru (ap 350 – 370 kg) rapša eļļas un ap 650 kg rapša raušu (Kalniņš, 2005).

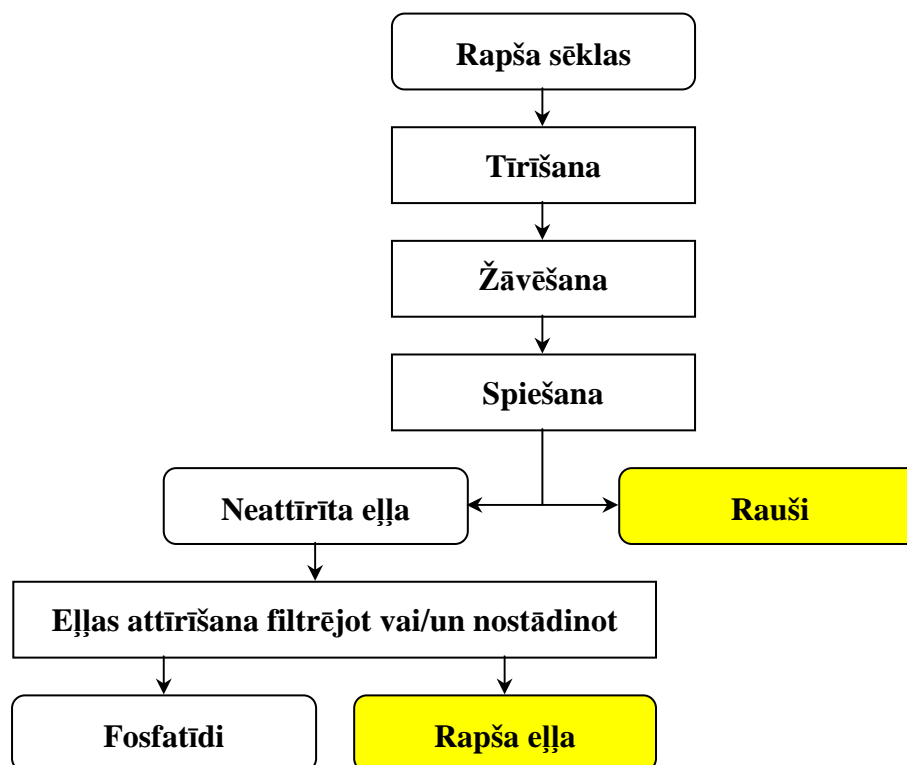
1.3. Rapša eļļas degvielas raksturojums

Nodaļā aplūkota rapša eļļas degvielas ieguve, īpašības, kvalitātes prasības un vispārējie izmantošanas nosacījumi.

1.3.1. Rapša eļļas ieguve

Rapša eļļu var iegūt mazjaudas spiestuvēs ar aukstās spiešanas metodi 40 °C temperatūrā vai rūpnieciski lieljaudas spiestuvēs 80 °C temperatūrā. Pirmajā gadījumā kā blakus produktu iegūst rapša raušus, bet otrajā gadījumā – rapša spraukumus, ko izmanto lopbarībā (Gulbis, 2008; Chiaramonti and Prussi, 2009).

Rapša eļļas ieguves tehnoloģiskā procesa shēma, izmantojot mazjaudas eļļas spiedi, parādīta 1.3. attēlā (Gulbis, 2008; Kyyt and Olt, 2009; Baquero et al., 2011a).



1.3. att. Bioeļļas ieguves tehnoloģiskā shēma no rapša sēklām ar aukstās izspiešanas metodi mazjaudas spiestuvēs

Kvalitatīvas eļļas ieguvei būtiski ir rūpīgi veikt sēklu tīrīšanu un žāvēšanu. Pēc tīrīšanas piemaisījumi rapša sēklās nedrīkst pārsniegt 2%. Sēklām jābūt izžāvētām tā, lai to mitrums būtu ne vairāk kā 7%.

Rapša sēklas satur 45% eļļas. Spānijā veiktajos pētījumos (Baquero et al., 2011a) norādīts, ka ar mazjaudas spiedi no 100 kg rapša sēklu iegūst 28 – 36 kg eļļas degvielas un 64 – 72 kg raušu.

Latvijā vairākās zemnieku saimniecībās izmanto *Alvan Blanch* (Lielbritānija) un *Skeppsta Maskin AB* (Zviedrija) ražotās eļļas spiedes. Firmas *Alvan Blanch* eļļas spiede XP-100 parādīta 1.4. attēlā (Oil Expeller Press ..., S.a.). Spiede spēj pārstrādāt 150 kg rapša sēklu vienā stundā, rezultātā iegūstot apmēram 50 litrus eļļas. Spiede ir vienkārša uzbūve un tās ekspluatācija neprasa īpašas iemaņas.



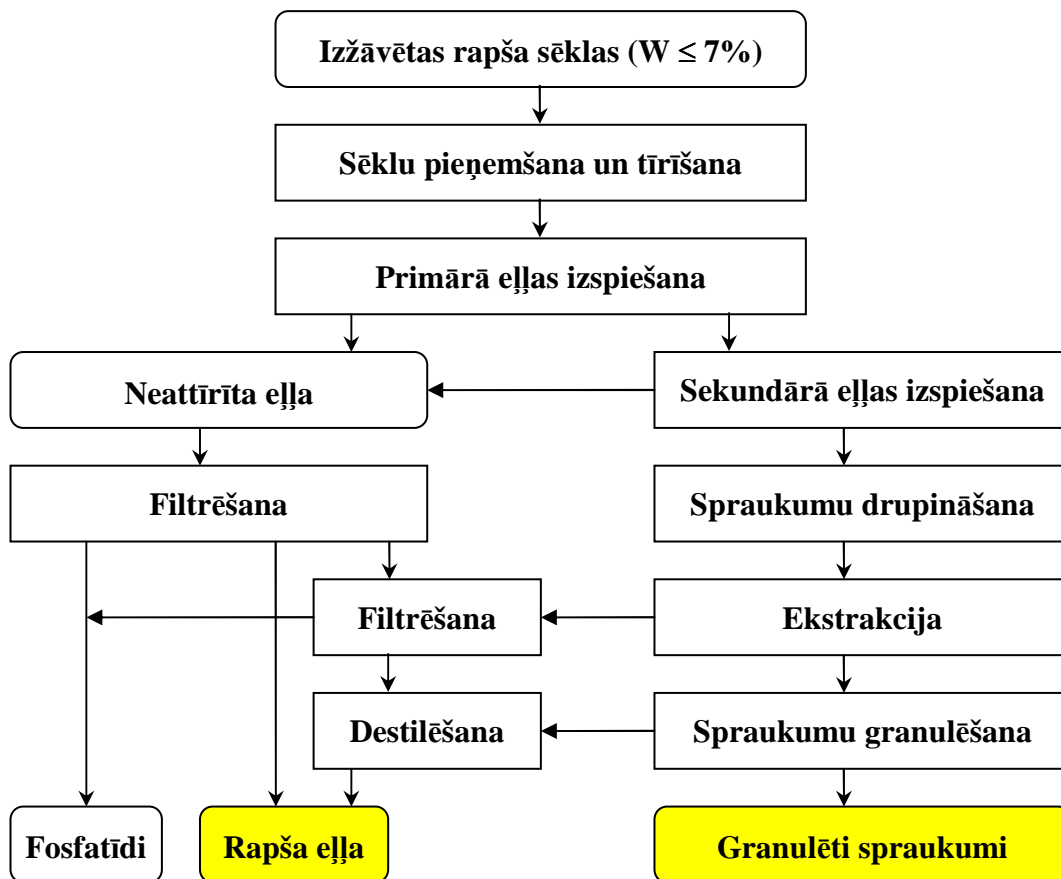
1.4. att. Eļļas spiede XP-100

Itālijā, Austrijā, Vācijā un citās Rietumeiropas valstīs zemnieki iecienījuši firmas *Florapower* (Vācija) ražotās eļļas spiedes (sk. 1.5. att.) (Chiaramonti and Prussi, 2009)



1.5. att. Decentralizēta LIFE-VOICE mazjaudas eļļas spiestuve Itālijā, kurā izmantota firmas *Florapower* ražotā eļļas spiede

Ja mazjaudas spiestuvju jauda parasti nepārsniedz 0.5 – 1.0 t rapša sēklu dienā, tad lielo rūpnīcu jauda ir 25 – 400 t dienā un vairāk (Kalniņš, 2005). Eļļas ražošanu lieljaudas eļļas ražotnēs veic, izmantojot divkāršu izspiešanu, ekstrahējot eļļu no sēklām ar šķīdinātāju palīdzību, kurus pēc tam atdestilē. Eļļu ražo arī, kombinējot abus šos paņēmienus (presēšanu un ekstrakciju). Pēdējais, kombinētais, paņemiens parādīts tehnoloģiskā procesa shēmā 1.6. attēlā (Gulbis, 2008; Kyyt and Olt, 2009; Baquero et al., 2011a).



1.6. att. Rapša eļļas ieguves tehnoloģiskā shēma lieljaudas eļļas ražotnēs

Lieljaudas ražotnēs, izmantojot ekstrakcijas metodi, var praktiski iegūt gandrīz visu eļļu, ko satur sēklas, bet eļļas un spraukumu kvalitāte ir zemāka. Turpretī ar auksto izspiešanu, kad spraukumos eļļas paliek vairāk, tie ir vērtīga lopbarība, īpaši jaunlopiem. Tādēļ arī zemnieki šo metodi ir iecienījuši. Kā liecina pieredze SIA „Logins&Co” eļļas ražotnē, tad, izmantojot firmas „FARMET” eļļas spiedi (sk. 1.7. att.), tikai primārajā izspiešanā iegūtā eļļa izmantojama kā degviela, bet sekundārās izspiešanas galaprodukts izmantojams pārtikā vai biodīzeļdegvielas ražošanā.



1.7. att. Firmas „FARMET” eļļas spiede SIA „Logins&Co” eļļas ražotnē

1.3.2. Kvalitātes prasības rapša eļļai kā biodegvielai

Lai ražotu rapša eļļas degvielu pārdošanai, tai jāatbilst noteiktām prasībām. Latvijā par pamatu ņemts Vācijā, Austrijā u.c. valstīs izmantotais kvalitātes standarts, ko izstrādājis Bavārijas Valsts Lauksaimniecības pētījumu centrs Veihenstefanā (*Weihenstephan*) (Quality Standard ..., 2000) un Vācijas standarts DIN 51605 „Rapša eļļas degviela. Prasības un testēšanas metodes”. 2007. gada jūlijā pieņemti grozījumi LR Ministru kabineta 2005. gada 18. oktobra noteikumos Nr. 772 „Noteikumi par biodegvielas kvalitātes prasībām, atbilstības novērtēšanu, tirgus uzraudzību un patērētāju informēšanas kārtību”, kuros tika noteiktas rapša un citas no eļļas augiem iegūtas augu eļļas, kas kā degviela ir piemērotas izmantošanai noteiktu veidu iekšdedzes motoros, kvalitātes prasības (sk. 1.5. tab.) (Noteikumi par biodegvielas ..., 2007).

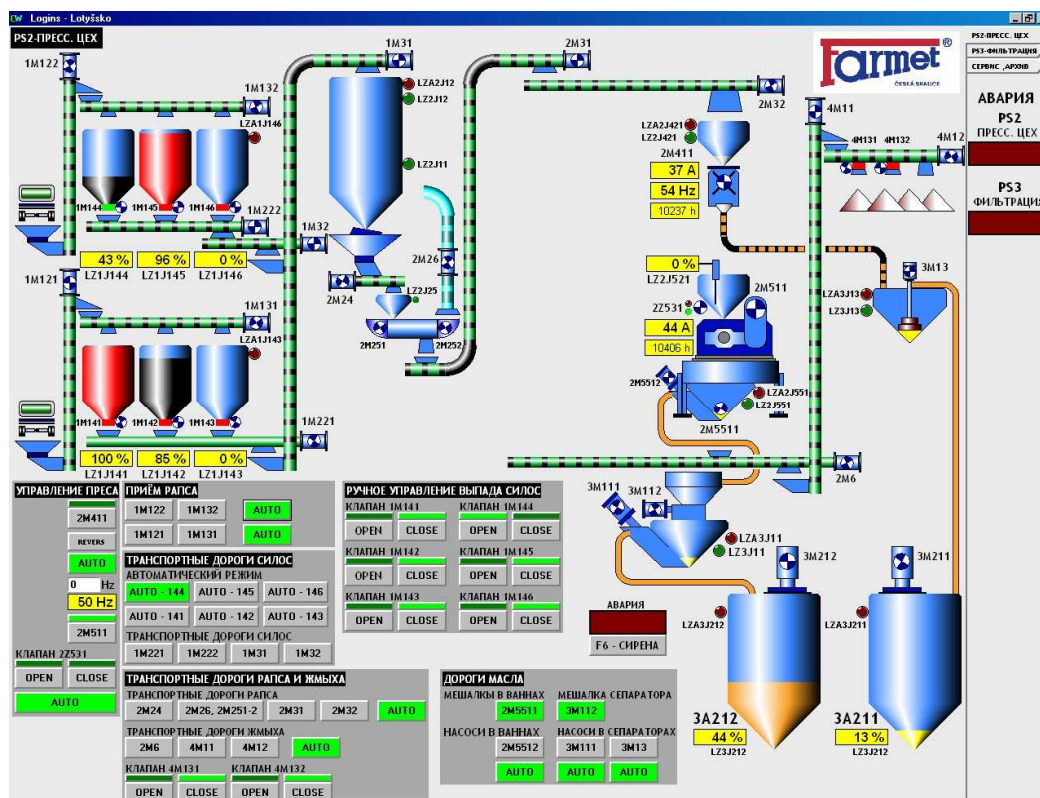
Apjomīgs pētījums par to, kādi ražošanas procesa parametri iespaido 1.5. tabulā uzskaitītās rapša eļļas īpašības un kādas sekas tas var radīt motora ekspluatācijā, veikti Vācijā un Francijā (Thuneke, 2006; Sidibe et al., 2010). Piemēram, fosfora saturu eļļā nosaka mitruma saturs sēklās, bojāto sēklu daudzums, kā arī pareiza eļļas izspiešanas temperatūra, attīrīšanas un rafinēšanas kvalitāte. Palielināts fosfora daudzums eļļā var izraisīt degvielas filtra aizsērēšanu, nosēdumus uz vārstiem un virzuļiem, katalizatoru piesārņošanu. Sēklas kvalitāte, sēklas un eļļas glabāšanas apstākļi – temperatūra, mitrums un saskare ar katalītiskiem metāliem ietekmē skābes skaitli. Palielināts skābes skaitlis var izraisīt koroziju, motoreļļas polimerizāciju un ietekmēt eļļas kvalitātes stabilitāti uzglabāšanas laikā. Oksidēšanās stabilitātes galvenie ietekmējošie faktori ir taukskābju daudzums, sēklas kvalitāte, sēklas un eļļas glabāšanas apstākļi. Nepietiekama oksidēšanās stabilitāte var ietekmēt eļļas viskozitāti, veidot nogulsnes smidzinātājos un citos barošanas sistēmas elementos, kā arī izraisīt motoreļļas polimerizāciju. Joda skaitlis norāda eļļas piesātinājuma pakāpi (dubulto un trīskāršo triglicerīdu saišu skaitu). Tas atbilst joda daudzumam gramos, ko absorbē 100 g eļļas. Zema joda skaitļa vērtība veicina sadegšanu, tomēr, ja tā ir pārāk zema, var rasties problēmas degvielas izmantošanā pazeminātā temperatūrā.

1.5. tabula. Kvalitātes prasības tīrai rapša eļļai, kas kā degviela ir piemērota izmantošanai noteikta veida iekšdedzes motoros

Nr.	Raksturlielumi	Mērvienība	Robežvērtības	
			min	max
1.	Blīvums pie 15 °C	kg m ⁻³	900	930
2.	Uzliesmošanas temperatūra	°C	220	–
3.	Kinemātiskā viskozitāte pie 40 °C	mm ² s ⁻¹	–	36
4.	Siltumspēja	kJ kg ⁻¹	36000	–
5.	Cetānskaitlis	–	39	–
6.	Koksēšanas atlikums	% no masas	0	0.4
7.	Joda skaitlis	g J ₂ 100 g ⁻¹	95	125
8.	Sēra saturs	mg kg ⁻¹	–	10
9.	Kopējais piesārņojums	mg kg ⁻¹	–	24
10.	Skābes skaitlis	mg KOH g ⁻¹	–	2.0
11.	Oksidēšanas stabilitāte pie 110 °C	h	6	–
12.	Fosfora saturs	mg kg ⁻¹	–	12
13.	Magnija un kalcija saturs	mg kg ⁻¹	–	20
14.	Pelnu saturs	% no masas	–	0.01
15.	Ūdens saturs	% no masas	–	0.075

Nozīmīgs bioeļļas kvalitātes rādītājs ir mehānisko piemaisījumu daudzums. Mehāniskie piemaisījumi bioeļļā rodas galvenokārt no sēkļu čaumalām un cietās pulpas. To pieļaujamais daudzums ir 24 mg kg^{-1} , tādēļ rapša eļļas attīrīšanai pēc izspiešanas ir būtiska nozīme bioeļļas kvalitātē.

Lai noteiktu Latvijā spiestās rapša eļļas atbilstību iepriekš minētajām kvalitātes prasībām, sadarbībā ar SIA „Logins&Co” veikta divu dažādu eļļas paraugu testēšana. Eļļa iegūta no firmās (šeit tās nosauktas kā „Firma X” un „Firma Y”) iegādātām sēklām. Eļļas izspiešanai izmantotas firmas „FARMET” spiedes, bet vienādu spiešanas režīmus nodrošināja iekārtas automātiskā vadības sistēma (sk. 1.8. att.).



1.8. att. Firmas „FARMET” spiedes automātiskās vadības sistēma

Katram paraugam veiktas neatkarīgas analīzes Latvijā (Ventspilī) un Vācijā. Būtiskāko analīžu rezultātu apkopojums dots 1.6. tabulā.

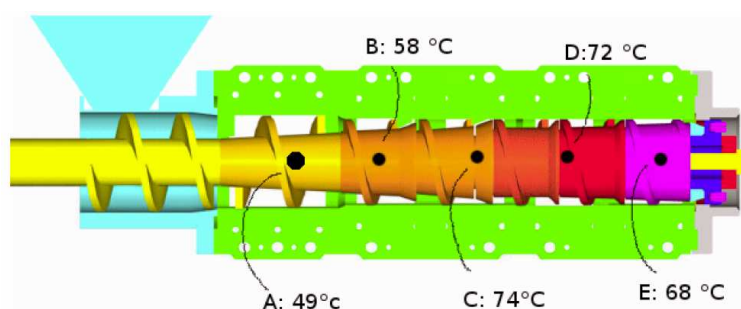
1.6. tabula. Eļļas paraugu laboratorijas analīžu rezultāti

Raksturlielumi	Analīžu rezultāti		Pieļaujamās vērtības
	Eļļa spiesta no sēklām, kas iegādātas „Firmā X”	Eļļa spiesta no sēklām, kas iegādātas „Firmā Y”	
Ūdens saturs, $\% \text{ m m}^{-1}$	0.080	0.080	≤ 0.075
Kopējais piesārņojums, mg kg^{-1}	46	18	≤ 24
Fosfora saturs, mg kg^{-1}	11.7	42.6	≤ 20.0
Sēra saturs, mg kg^{-1}	1.9	2.0	≤ 10.0
Joda skaitlis, $\text{g J}_2 100 \text{ g}^{-1}$	111	114	95 – 125
Kinemātiskā viskozitāte pie $40 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{mm}^2 \text{ s}^{-1}$	33.63	36.57	≤ 38.00
Blīvums pie $15 \text{ }^\circ\text{C}$, g m^{-3}	920.3	920.4	900.0 – 930.0

Pēc tabulas datiem redzams, ka no „Firmas X” sēklām spiestajā eļļā pieļaujamajām vērtībām neatbilst kopējā piesārņojuma daudzums, bet no „Firmas Y” sēklām – fosfora saturs. Pirmās problēmas risinājums rodams eļļas attīrīšanas režīmu maiņā, bet fosfora saturu, kā rāda Vācijas eļļas ražotāju pieredze, var samazināt ar izspiestās eļļas pēcapstrādi, izmantojot speciālas ķimikālijas. Šo analīžu rezultāti rāda, ka zemniekiem decentralizētajā eļļas ražošanā var rasties problēmas eļļas kvalitātes nodrošināšanā. Tādējādi, ja zemnieks kā degvielu vēlas izmantot savu spiesto eļļu, audzēšanas un pārstrādes tehnoloģijām un režīmiem jāvelta pastiprināta uzmanība.

Līdzīga rakstura pētījumi veikti arī Itālijā (Chiaramonti and Prussi, 2009) ar mazjaudas eļļas spiestuvē *LIFE-VOICE* iegūto eļļu. Arī tur pieļaujamās vērtības pārsniedza kopējais piesārņojums (42 mg kg^{-1}), bet nerasniedza joda skaitlis ($85 \text{ g J}_2 \text{ 100 g}^{-1}$).

Lai noskaidrotu, kā spiešanas režīmi ietekmē fosfora saturu eļļā, iepriekš minētie pētnieki veikuši papildus eksperimentus, kuros eļļas spiešanas laikā mērīta temperatūra dažādās spiedes vietās (sk. 1.9. att.).



1.9. att. Temperatūras mērījumi eļļas spiešanas laikā dažādās preses vietās

Kā redzams attēlā, augstākā temperatūra ir spiedes vidusdaļā, un pētījumos noskaidrots, ka pieļaujamā fosfora satura nodrošināšanai šī temperatūra nedrīkst pārsniegt $80 \text{ }^\circ\text{C}$ (Chiaramonti and Prussi, 2009).

Šī pētījuma ietvaros testēti arī centralizētajā ražotnē iegūtās eļļas paraugi. Sākotnēji fosfora saturs 20 reizes pārsniedza pieļaujamo normu (398 mg kg^{-1}). Pēc eļļas mazgāšanas fosfora saturs samazinājās līdz 159 mg kg^{-1} , bet pieļaujamo normu sasniedza tikai pēcapstrādē, izmantojot speciālas ķimikālijas.

1.3.3. Rapša eļļas degvielas īpašības

Rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas īpašību salīdzinājums dots 1.7. tabulā (Gulbis, 2008; Calais and Clark, S.a.; Chiaramonti and Prussi, 2009; Çelikten et al., 2010; Baquero et al., 2011a).

1.7. tabula. Rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas fizikālo īpašību salīdzinājums

Rādītāji	Rapša eļļa	Fosilā dīzeļdegviela
Zemākā siltumspēja pēc masas, MJ kg^{-1}	37.4 – 39.7	42.1 – 43.4
Blīvums pie $20 \text{ }^\circ\text{C}$, kg m^{-3}	872 – 916	815 – 836
Cetānskaitlis	32 – 45	45 – 55
Viskozitāte pie $20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{mm}^2 \text{ s}^{-1}$	70.0 – 77.8	3.5 – 7.5
Viskozitāte pie $50 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{mm}^2 \text{ s}^{-1}$	25.7	2.6
Uzliesmošanas temperatūra, $^\circ\text{C}$	275 – 320	55 – 93

Šajā tabulā nav uzrādītas saduļķošanās, aukstā filtra nosprostošanas un sastingšanas temperatūras, jo rapša eļļai dažādos informācijas avotos šiem rādītājiem ir minētas ļoti atšķirīgas vērtības, savukārt dīzeļdegvielai mainās ļoti plašās robežās atkarībā no mērenajā klimatā noteiktajām sešām klimatiskajām gradācijām (apzīmē ar burtiem A, B, C, D, E un F) un arktiskajā klimatā vai bargas ziemas apstākļos noteiktajām piecām klimatiskajām klasēm (apzīmē ar cipariem 0, 1, 2, 3, 4). Jāatzīmē, ka šīs īpašības ir ļoti būtiskas, ekspluatējot spēkratus zemās temperatūrās.

Rapša eļļas siltumspēja pēc masas ir par 9 – 13% zemāka nekā dīzeļdegvielai, taču, ņemot vērā, ka rapša eļļas blīvums ir lielāks, tad siltumspēja pēc tilpuma abām degvielām atšķiras par 5 – 7%. Šī starpība nosaka prognozējamo rapša eļļas degvielas patēriņa pieaugumu, kā arī motora jaudas samazinājumu, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu (Sidibe et al., 2010).

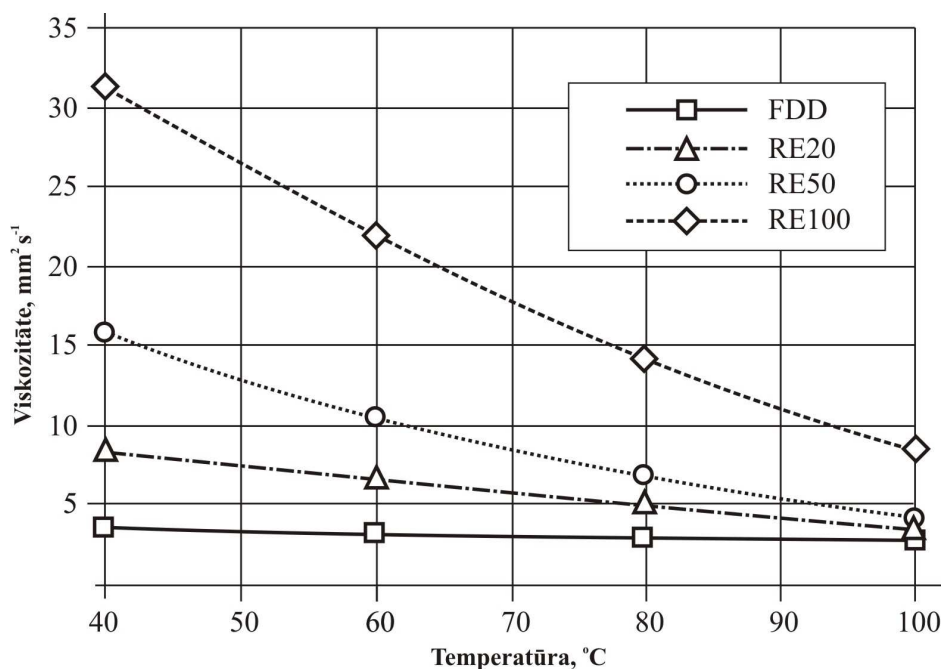
Galvenā problēma rapša eļļas izmantošanai par degvielu ir tās augstā viskozitāte. Kā redzams no 1.7. tabulas datiem, pie 20 °C temperatūras rapša eļļas viskozitāte ir aptuveni 15 reizes augstāka nekā dīzeļdegvielai. Šī iemesla dēļ rapša eļļu problemātiski izmantot nepielāgotos dīzeļmotoros, jo to iedarbināšana ir apgrūtināta.

Tas saistīts ar filtra pretestību, kuras dēļ zemspiediena sūknis nespēj pietiekami padot degvielu, bet hidrauliskās pretestības ietekmē var tikt bojāts degvielas augstspiediena sūknis un sprauslas. Slikta eļļas atomizācija un iztvaikošana var radīt nepilnīgu tās sadegšanu (Wang et al., 2006; Labeckas and Slavinskas, 2006).

Lai uzlabotu eļļas caurplūstamību, jāsamazina tās viskozitāte, tuvinot to dīzeļdegvielas viskozitātei. To var panākt divējādi:

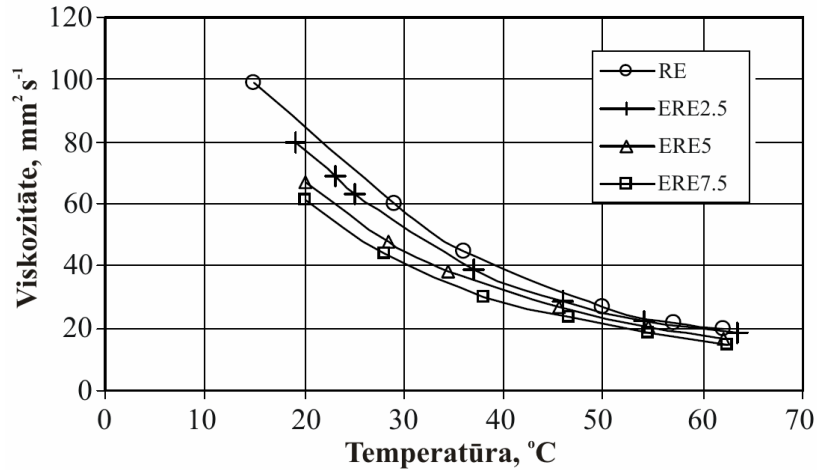
- veic eļļas priekšsildīšanu dīzeļmotora barošanas sistēmā, lai, ieplūstot augstspiediena sūknī, eļļas temperatūra būtu 75 – 85 °C;
- eļļu atšķaida, piejaucot mazāk viskozu degvielu, piemēram, dīzeļdegvielu, petroleju vai benzīnu, līdz maisījuma viskozitāte sasniedz vismaz 10 mm² s⁻¹.

1.10. attēlā parādīti Turcijā veiktā pētījuma rezultāti – viskozitātes izmaiņas atkarībā no temperatūras fosilajai dīzeļdegvielai (FDD), rapša eļļai (RE100) un divām maisījumdegvielām RE20 (20% rapša eļļas un 80% fosilās dīzeļdegvielas) un RE50 (20% rapša eļļas un 80% fosilās dīzeļdegvielas) (Hazar and Aydin, 2010).

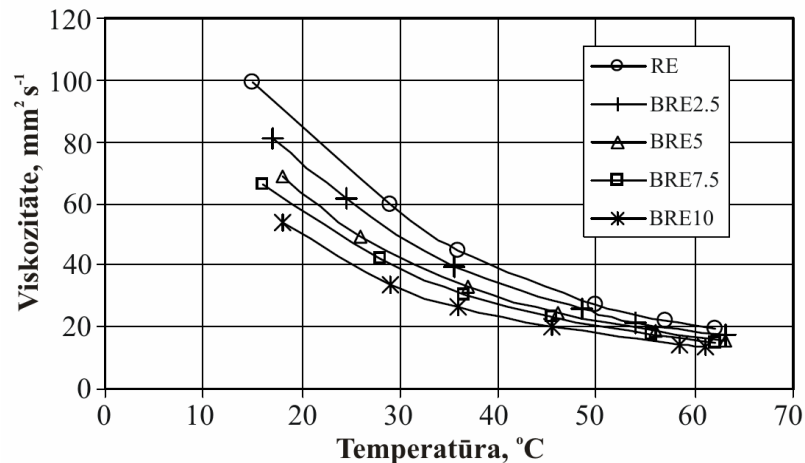


1.10. att. Dažādu degvielu viskozitāte atkarībā no temperatūras

Lai samazinātu rapša eļļas degvielas viskozitāti, Lietuvā veidoti tās maisījumi ar etanolu un benzīnu. Mērījumi veikti rapša eļļai (RE) un maisījumiem ERE2.5 (97.5% rapša eļļas un 2.5% etanola), ERE5, ERE7.5, BRE2.5 (97.5% rapša eļļas un 2.5% benzīna), BRE5, BRE7.5 un BRE10 (sk. 1.11. att. un 1.12. att.) (Labeckas and Slavinskas, 2009a).



1.11. att. Viskozitātes atkarība no temperatūras rapša eļļas maisījumiem ar etanolu



1.12. att. Viskozitātes atkarība no temperatūras rapša eļļas maisījumiem ar benzīnu

Kā izriet no grafiku analīzes, tad 2.5, 5 un 7.5% etanola pievienošana rapša eļļai samazina kinemātisko viskozitāti 20 °C temperatūrā par 9.2%, 21.3% un 28.3%, bet benzīna – attiecīgi par 14.1%, 24.8% un 31.7%. Visstraujākais kinemātiskās viskozitātes samazinājums – no 84 līdz 49.6 mm² s⁻¹ jeb 40.9%, konstatēts, pievienojot eļļai 10% benzīna, kas būtiski atvieglo eļļas plūsmu caur degvielas filtru. Lai uzlabotu filtrēšanas īpašības, rapša eļļa un tās maisījumi ar etanolu un benzīnu tika uzsildīti siltummainī. Temperatūrai paaugstinoties no 20 °C līdz 60 °C, tīra rapša eļļas un maisījumu ERE2.5 – 7.5 un BRE2.5 – 10 viskozitāte samazinājās attiecīgi 4.2, 3.9 – 3.8 un 3.9 – 3.6 reizes.

Cetānskaitlis raksturo dīzeļdegvielas pašuzliesmošanas spēju jeb nosaka laika intervālu starp iesmidzināšanas sākumu un pirmo identificējamo spiediena palielināšanos degvielai sadegot. Jo lielāks cetānskaitlis, jo mīkstāka ir dīzeļmotora

darbība. Tā kā dīzeļmotori konstruēti darbam ar degvielu, kuras cetānskaitlis ir robežās no 40 līdz 55, bet rapša eļļai tas bieži ir no 32 līdz 36, tad var rasties problēmas, iedarbinot aukstu motoru.

Uzliesmošanas punkts ir minimālā temperatūra, kurā degvielas tvaiki aizdegas saskarē ar liesmu. Rapša eļļai tā ir 4 – 6 reizes augstāka nekā dīzeļdegvielai, tāpēc garantē drošāku degvielas uzglabāšanu un transportēšanu (Labeckas and Slavinskas, 2006). Ja dīzeļmotors ir ar priekškameru, vidējā temperatūra tajā parasti ir 500 – 600 °C, tāpēc eļļa sadeg pilnībā. Turpretī tiešās iesmidzināšanas motoros pie nelielas slodzes temperatūra sadegšanas kamerā var nokristies zem 200 °C, kā rezultātā atsevišķi eļļas pilieni neiztvaiko un veido nogulsņējumus un piedegumus uz smidzinātājiem, cilindru sienām, virzuļu gredzeniem u.tml. Virzuļu gredzeni var pastiprināti nodilt, spiediens cilindros samazināties, kā rezultātā tiek apgrūtināta motora iedarbināšana un samazinās tā veikspēja (Sidibe et al., 2010).

Bioeļļām (t.sk. rapša eļļai) kā motordegvielām ir šādas priekšrocības:

- bioeļļas sadegot, saglabā CO₂ līdzsvaru atmosfērā;
- bioeļļās praktiski nav sēra ($\leq 0.05\%$), tāpēc sadegšanas laikā tās mazāk piesārņo apkārtējo vidi;
- ja bioeļļas nokļūst augsnē vai ūdenī, tad mikroorganismi tās 7 – 21 dienas laikā noārda;
- bioeļļu ieguve un izmantošana sekmē lauksaimniecības un atsevišķu rūpniecības nozaru attīstību. Tas savukārt sekmē lauku reģionu attīstību.

Vērtējot no enerģijas patēriņa bilances viedokļa, pieņem, ka, ieguldot vienu enerģijas vienību rapša eļļas ražošanā, iegūst atpakaļ no piecām līdz septiņām enerģijas vienībām, ieskaitot blakus produkciju – rapša raušus, bet biodīzeļdegvielai šī attiecība ir 1:3 (Biodegvielas izmantošanas ..., 2007).

Detalizētāki pētījumi šajā jomā veikti Dānijā EMBIO (*The Danish Energy Agency's Model for Economic and Environmental Assessment of Biofuels*) projekta ietvaros (Bugge, 2000). Enerģijas bilances aprēķini veikti, pieņemot, ka no 1 ha iegūst 3 t rapša sēklu un 3.9 t salmu. Izspiežot rapša sēklas, iegūst 1 t jeb 1086 litrus rapša eļļas un 2 t rapša raušu. Pēc Dānijas Enerģētikas aģentūras izstrādātās metodikas, iegūto produktu masas enerģētiskā vērtība pie šādas ražības rapša eļļai ir 40.76 GJ ha⁻¹, rapša raušiem – 38.64 GJ ha⁻¹, bet rapša salmiem – 56.55 GJ ha⁻¹. Kopējais enerģijas patēriņš šīs produkcijas iegūšanai sastāda tikai 12.18 GJ ha⁻¹. Tāpēc kopējais visu iegūto produktu masas enerģijas saturs (135.95 GJ ha⁻¹) 11.16 reizes pārsniedz patērēto. Pat, izmantojot tikai jebkuru vienu no iegūtajiem produktiem, enerģijas patēriņa bilance ir izteikti pozitīva.

Pēc līdzīgas metodikas pētījumā noteikta arī CO₂ bilance. Aprēķināts, ka kopējā CO₂ masas emisija produkcijas ieguvei sastāda 1.604 t ha⁻¹. Tiešais CO₂ emisijas samazinājums, izmantojot rapša eļļu fosilās degvielas vietā, ir 3.019 t ha⁻¹. Ja rapša salmus izmanto kā kurināmo akmeņogļu vietā, tad tiešais CO₂ emisijas samazinājums ir 7.075 t ha⁻¹. Līdzīgi aprēķini veikti arī gadījumam, ja rapša rauši tiktu izmantoti nevis lopbarībā, bet kurināšanai – tad šis samazinājums sastādītu 4.483 t ha⁻¹. Un arī šoreiz, izmantojot tikai jebkuru vienu no iegūtajiem produktiem, CO₂ bilance ir izteikti pozitīva.

1.3.4. Rapša eļļas degvielas izmantošanas vispārīgie nosacījumi

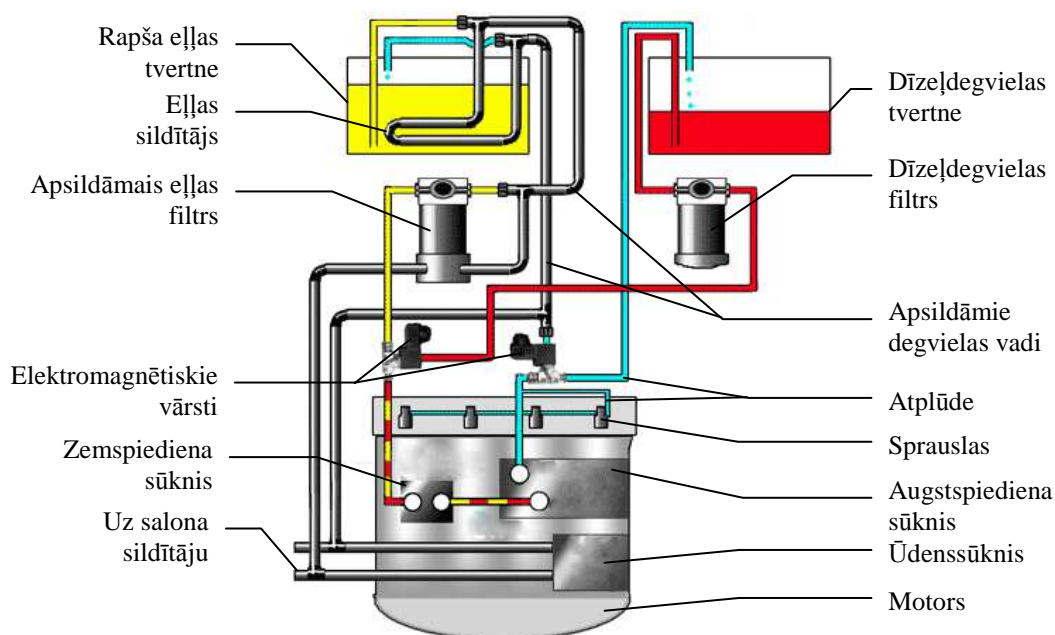
Līdzšinējie pētījumi rāda, ka, rapša eļļu var izmantot kā biodegvielu dīzeļmotoros, ja ievēro vairākus nosacījumus (Gulbis, 2008):

- **dīzeļmotors jāaprīko ar eļļas priekšuzsildīšanas sistēmu**, kas, pirms motors sāk darboties ar eļļu, paaugstina tās temperatūru līdz 75 – 85 °C. Sistēmā jāparedz iespēja manuāli vai automātiski pārslēgt motora barošanu no viena degvielas veida uz otru. Pirms ilgstošākas stāvēšanas motora barošana jāpārslēdz uz dīzeļdegvielu, kas atvieglo nākamo iedarbināšanu un pasargā no bojājuma sūkni un sprauslas;
- izmantojot rapša eļļu, motoru ieteicams **darbināt pilnā slodzē**, jo šādā režīmā caur sprauslas smidzinātāju plūst spēcīga degvielas strūkļa, kas dzesē smidzinātāju un neļauj rasties piedegumiem uz smidzinātāja gala. Tā kā rapša eļļa slikti iztvaiko un pie maziem apgriezieniem sadegšana ir nepilnīga, eļļa var radīt piedegumus arī sadegšanas kamerā, uz vārstiem un gredzenu rievās;
- motoram strādājot brīvgaitā, pasliktinās degvielas izsmidzināšanas kvalitāte un degviela gar virzuļa kompresijas gredzeniem var nonākt motora karterī. Izmantojot dīzeļdegvielu, eļļas līmenis karterī būtiski nemainās, jo dīzeļdegviela no kartera iztvaiko, bet rapša eļļa neiztvaiko un eļļas līmenis karterī var pieaugt. Tāpēc **eļļas līmenis karterī regulāri jākontrolē** un, ja tas ir augstāks par normālo, tad eļļa karterī jānomaina.

Minēto iemeslu dēļ rapša eļļu kā motordegvielu problemātiski izmantot spēkratos, kuriem bieži jāapstājas un jādarbojas brīvgaitā vai nepilnā slodzē, piemēram, pilsētu transportā. To var veiksmīgi lietot lieljaudas spēkratos, kas ilgstoši darbojas pilnas slodzes režīmā, piemēram, tālbraucēju kravas automobiļos, lauksaimniecības traktoros, labības kombainos, kā arī ceļu būves mašīnas.

Pastāv divi tehniskie risinājumi motoru pārkārtošanai, lai izmantotu augu eļļas degvielu – vienas degvielas tvertnes sistēma un divu degvielas tvertņu sistēma.

Visvienkāršākā ir divu tvertņu sistēma. Spēkratiem uzstāda divas degvielas tvertnes, no kurām vienā ir dīzeļdegviela, bet otrā – rapša eļļa. Dīzeļmotoru iedarbina ar fosilo dīzeļdegvielu un pēc uzsilšanas līdz 70 – 80 °C pārslēdz darbībai ar rapša eļļu. Beidzot darbu, motoru atkal pārslēdz barošanai ar dīzeļdegvielu, lai degvielas sistēmu papildītu ar fosilo dīzeļdegvielu un nebūtu problēmas iedarbināt aukstu motoru. Klasiska divu tvertņu sistēmas shēma dota 1.13. attēlā (Heating the Oil, 2004).



1.13. att. **Divu degvielas tvertņu sistēmas shēma motora darbināšanai ar rapša eļļu**

Divu tvertņu sistēmās var būt atšķirīgas darbības shēmas. Tā, piemēram, ASV izgudrotājs Džons Triska (*John Triska*) patentējis divu tvertņu sistēmu, kurā temperatūras sensors kontrolē ar dzesēšanas šķidrums siltummainī uzsildītās rapša eļļas temperatūru un nepieciešamības gadījumā papildus silda eļļu ar kvēlsveci (System and Method ..., 2008) (sk. 1. pielikumu).

Pašlaik spēkā esošie LR Ministru kabineta transportlīdzekļu pārbūvi reglamentējošie noteikumi nosaka ierobežojumus papildus degvielas tvertnes montāžai (Transportlīdzekļu pārbūves noteikumi, 2004). Bez tam divu tvertņu sistēma nav ērta izmantošanai vieglajā transportā, jo ir nepieciešama otra degvielas tvertne, kas aizņem bagāžas nodalījumu.

Vācu inženieri ir izstrādājuši vienas tvertnes sistēmu, kas ļauj veikt pārbūvi vieglajiem automobiļiem un mikroautobusiem, kuru degvielas sistēmas un motora konstrukcija atbilst noteiktām prasībām. Izmantojot vienas tvertnes sistēmu, visa degviela, t.i., rapša eļļa, tiek iepildīta automobiļa oriģinālajā tvertnē.

Tipiskai vienas tvertnes sistēmai vajadzīgas šādas papildinošas vai aizvietojošas detaļas (sk. 1.14. att.) (Converting cars ..., S.a.):

- iesmidzināšanas sprauslas vai smidzinātāji;
- kvēlsveces;
- apsildāmais degvielas filtrs;
- papildus degvielas sūknis (atsevišķās konstrukcijās);
- siltummainis dzesēšanas sistēmā;
- termoslēdzis;
- releji un vadi.



1.14. att. Vienas degvielas tvertnes sistēmai nepieciešamās komponentes

Šīs sistēmas galvenā atšķirība ir iesmidzināšanas un aizdedzes sistēmas komponentēs – smidzinātājos un kvēlsvecēs. Smidzinātāju konstrukcija ir pārveidota, lai tie varētu strādāt arī ar viskozāku degvielu, bet kvēlsveces parasti ir jaudīgākas.

Vairākas firmas dažādās pasaules valstīs piedāvā detaļu un mezglu komplektus spēkratu dīzeļmotoru modificēšanai, piemērojot tos darbam ar rapša eļļu.

Vislielākā pieredze spēkratu pārbūvē darbināšanai ar augu eļļu ir Vācijas firmai *Elsbett*. Bez pārbūves komplektiem šī firma izveidojusi arī speciālu motora, virzuļa un smidzinātāja konstrukciju darbam ar eļļu. Smidzinātājam ir mainīts izsmidzināšanas leņķis un virziens, kā arī izveidota pašattīroša rotējoša adata. Parasti šie *Elsbett* smidzinātāji iekļauti vienas degvielas tvertnes sistēmas pārbūves komplektā.

Firmas 25 gadus ilgā pieredze liecina, ka pārbūvēt var gandrīz visus dīzeļmotorus, neatkarīgi no to barošanas sistēmas tipa, t.i., gan ar priekškameru, gan ar tiešo iesmidzināšanu (TDI), sūknis – sprausla (PDI) vai *Common Rail* (CDI, HDI u.c.) tipa

sūkņi u.tml. Kā nepiemērotas darbināšanai ar rapša eļļu *Elsbett* min degvielas sistēmas, kurās ir *Lucas, CAV, Stanadyne, RotoDiesel* un *Delphi* augstspiediena sūkņi (ELSBETT Conversion Technology ..., S.a.).

Ar *Elsbett* vienas tvertnes sistēmu var aprīkot gandrīz visus dīzeļmotorus ar priekškameru, 1.4 l līdz 2.5 l *Volkswagen* grupas (*AUDI, SEAT, Skoda, Volkswagen*) TDI tipa motorus, vairākus *Ford, VOLVO* un *Renault* motorus. 1.8. tabulā apkopotas populārāko automobiļu markas, kuros var lietot *Elsbett* vienas tvertnes sistēmu (Converting cars ..., S.a.).

1.8. tabula. **Populārākie apvidus un viegie automobiļi, kuros var lietot *Elsbett* vienas tvertnes sistēmu**

Automobiļa marka	Dīzeļmotora tilpums	Degvielas sistēma
Apvidus automobiļi		
BMW X 5	3.0	BOSCH
CHRYSLER JEEP CHEROKEE	2.0 – 2.5	BOSCH
CHRYSLER JEEP GRAND CHEROKEE	2.5 – 3.0	BOSCH
FORD MAVERICK	2.7	BOSCH
LADA NIVA	1.9	BOSCH
MITSUBISHI PAJERO	2.5	DIESEL KIKI
NISSAN PATROL	2.8 – 4.2	BOSCH KIKI
TOYOTA LANDCRUISER	2.4 – 4.2	DENSO
Viegie automobiļi		
AUDI 80	1.6 – 1.9	BOSCH
AUDI 100	2.4 – 2.5	BOSCH
BMW	1.8 – 2.5	BOSCH
CITROEN	1.9	BOSCH
FIAT	1.7 – 1.9	BOSCH
FORD	1.6 – 1.8	BOSCH
MERCEDES BENZ	2.0 – 2.5	BOSCH
MITSUBISHI	1.8 – 2.3	NIPPON DENSO
WOLKSWAGEN	1.9	BOSCH

Izmantojot Vācijas firmas *ATG* divu tvertņu sistēmas pārbūves komplektus, darbināšanai ar rapša eļļu pielāgoti vairāk nekā 800 dažādu firmu, jaudu un pielietojumu spēkrati (sk. 2. pielikumu) (*ATG Vegetable Oil-Kit, S.a.*).

ATG pārbūves komplekti piemēroti dīzeļmotoriem ar vienrindas vai sadalītājtīpa *Bosch* (izņemot *VP44* tipa), *Diesel-Kiki, Nippon-Denso* vai *ZEXEL* augstspiediena sūkņiem, pie tam pārbūvi var veikt paši spēkratu īpašnieki. Ja dīzeļmotoram ir, piemēram, *Bosch VP44* augstspiediena sūknis vai *Common Rail* barošanas sistēma, pārbūvi var veikt tikai sertificēti *ATG Conversion Partners* speciālisti.

Komponentes spēkratu pielāgošanai darbam ar rapša eļļu piedāvā arī citas firmas, piemēram, *VWP* un *Rapstruck* (Vācija), *FRYBRID* (ASV), *GREENBULL* (Austrija).

Latvijā divu tvertņu sistēma ir uzstādīta vairākām tehnikas vienībām, kuras izmanto lauksaimniecībā un kravu pārvadājumos. Pieredze spēkratu pārbūvē divu degvielas tvertņu sistēmas izmantošanā ir SIA „Iecavnieks”, SIA „Sauls enerģija”, SIA „Moss & Moss”. Vairākās zemnieku saimniecībās pārbūve veikta pašu spēkiem.

Vienas tvertnes sistēmas izmantošana spēkratu pielāgošanai darbam ar rapša eļļu Latvijā līdz šim nav veikta.

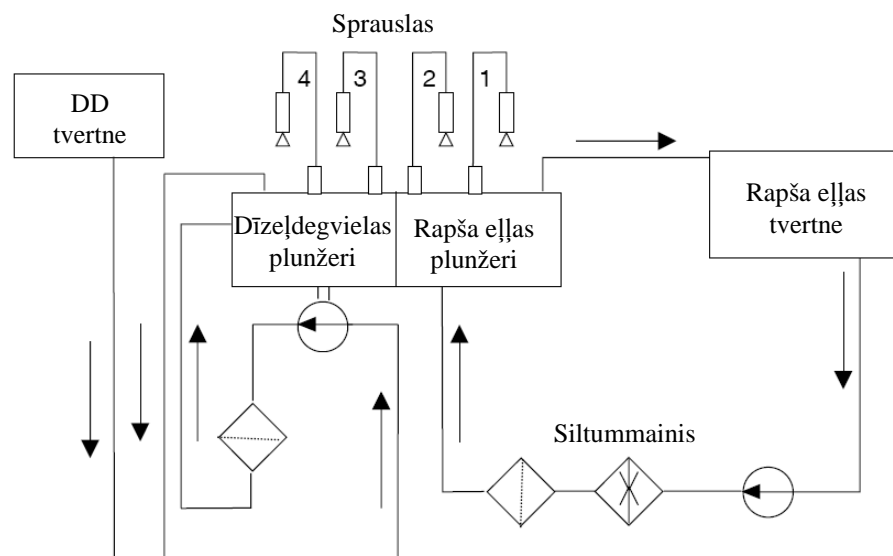
1.4. Rapša eļļas degvielas izmantošanas pētījumu analīze

Rapša un citu augu eļļu degvielu (tīrā veidā un maisījumos) ietekme uz vidi, spēkratu un tā dinamiskajiem parametriem tiek pētīta daudzās valstīs. Eksperimenti tiek pārsvarā veikti, lai noteiktu griezes momenta, jaudas, degvielas patēriņa un izplūdes gāzu sastāva atšķirību no fosilās degvielas. Vairums no pētījumiem tiek veikti, testējot motorus uz stenda, bet ne visu automobili vai traktoru kopumā.

Piemēram, Ķīnā eksperimenti veikti ar viņu valstī ražotu viencilindru dīzeļmotoru *S195* bez tā īpašas pielāgošanas darbam ar rapša eļļu (He and Bao, 2003). Pētījumu rezultātā noskaidrots, ka optimālā rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījuma attiecība minētā motora darbināšanai ir 30:70, bet mazākais īpatnējais degvielas patēriņš tiek sasniegts, ja iesmidzināšanas moments tiek iestatīts par 2 – 3 grādiem agrāks nekā, izmantojot fosilo dīzeļdegvielu. Turpinot iepriekšminētā motora pētījumus (Bao and He, 2006), tika noskaidrots, ka iesmidzināšanas momenta agrāka iestatīšana ne tikai paaugstina motora jaudu par 0.6 – 1.8 kW, bet arī samazina motora radīto troksni par 2 līdz 4 dB.

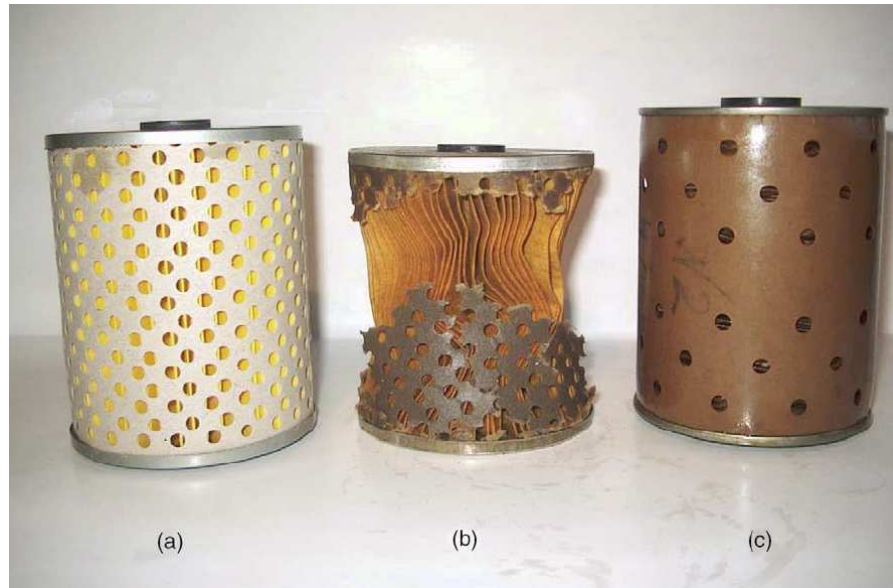
Krievijā rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījumu pētīšanai tika izmantots motors *D-440* (Кулманаков и Семенов, 2007). Vadoties pēc ekonomiskajiem, jaudas un ekoloģiskajiem rādītājiem, tiek rekomendēta rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījuma attiecība 75:25.

Tiešās iesmidzināšanas 59 kW motora *D-243* stenda izmēģinājumi veikti Lietuvā, kā degvielu izmantojot fosilo dīzeļdegvielu un auksti spiestu rapša eļļu (Labeckas and Slavinskas, 2006). Šajos eksperimentos konstatēts rapša eļļas degvielas patēriņa palielinājums salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu par aptuveni 11%. Tie paši autori pētījuši arī izplūdes gāzu sastāvu motora darbībā ar tīru rapša eļļu un tās maisījumiem ar fosilo degvielu (Labeckas and Slavinskas, 2005, 2009b). Eksperimentos konstatēts, ka NO_x daudzums atgāzēs, motoru darbinot ar tīru rapša eļļu, ir par 9.2% lielāks nekā, darbinot ar fosilo dīzeļdegvielu. Savukārt CO emisija samazinās par 40.5%, nedaudz samazinās arī nesadegušo oglekļa dioksīda daudzums, savukārt CO_2 saturs atgāzēs nedaudz palielinās. (Labeckas and Slavinskas, 2005, 2009a). Lai noskaidrotu rapša eļļas ietekmi uz atsevišķām barošanas sistēmas mezgliem, iepriekš minētais motors modificēts, lai pirmie divi cilindri tiktu darbināti ar rapša eļļu, bet atlikušie divi – ar dīzeļdegvielu (sk. 1.15. att.) (Labeckas and Slavinskas, 2006).



1.15. att. Shēma dīzeļmotora vienlaikus darbināšanai ar divām dažādām degvielām

Veicot eksperimentus bez rapša eļļas uzsildīšanas, tās augstās viskozitātes dēļ tika sagrauts degvielas filtrs. 1.16.(a) attēlā parādīts jauns filtrs, bet 1.16.(b) attēlā – bojātais filtrs (Labeckas and Slavinskas, 2006).



1.16. att. Lietuvā veiktais eksperiments ar degvielas filtriem

Ievietojot sistēmā cita modeļa filtru ar mazāku caurumu skaitu filtra korpusā (sk. 1.16.(c) att.), filtra bojājumi netika konstatēti. Tas parāda, ka līdzīgas problēmas var notikt arī reālajās sistēmās, tāpēc filtru stāvoklim jāpievērš pastiprināta vērība. Šajā eksperimentā tika diagnosticēts arī smidzinātāju stāvoklis pēc 1.0 h motora darbināšanas brīvgaistā, 2.5 h – vidējā slodzē un 2.0 h – nominālā slodzē. Konstatēts, ka vismazāk piedegumu rodas uz smidzinātājiem, kas darbojas ar rapša eļļu, ja motors darbojas nominālā slodzē.

Pētījumi rapša eļļas kā fosilās dīzeļdegvielas aizstājēja potenciāla noteikšanai veikti arī Turcijā (Altin et al., 2001), kuros atgāzu sastāvā konstatēta pretēja tendence citās valstīs veiktajiem pētījumiem, t.i., novērots NO_x samazinājums, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu. CO emisija palielinājās gandrīz 2 reizes, CO_2 – samazinājās par aptuveni 10%, motora maksimālais griezes moments un jauda pie 1300 min^{-1} samazinājās par 2%, bet degvielas īpatnējais patēriņš palielinājās no $245 \text{ g kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ dīzeļdegvielai uz $285 \text{ g kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$ rapša eļļai.

Vācijā ar mērķi noteikt atgāzu sastāva atbilstību EURO normām uz stenda testēts traktors *Deutz-Fahr*. Šo pētījumu rezultāti apliecina, ka CO , HC un mehānisko piemaisījumu (cieto daļiņu) daudzums izplūdes gāzēs atbilst EURO normām, bet NO_x daudzums, lietojot rapša eļļu, par 14% pārsniedza limitējošās prasības (Thuncke, 2006).

Turcijā veiktajā viencilindru dīzeļmotora *Rainbow-186* stenda pētījumā (Hazar and Aydin, 2010) tika salīdzināta fosilā dīzeļdegviela, RE20 (20% rapša eļļas un 80% fosilās dīzeļdegvielas) un RE50 maisījumi. Eksperimenti veikti ar un bez degvielas sildīšanas, slogojot motoru pie kloķvārpstas rotācijas frekvencēm 1000, 1500, 2000 un 2500 min^{-1} . Visos testēšanas režīmos konstatēts, ka jauda un griezes moments samazinās proporcionāli eļļas saturam degvielā, savukārt degvielas īpatnējais patēriņš mainās pretēji. Vismazākā degvielas sildīšanas ietekme novērota attiecībā uz jaudas griezes momenta pieaugumu – 1.2% dīzeļdegvielai, 0.8% RE20 un 0.14% RE50. Savukārt vidējais īpatnējais degvielas patēriņa samazinājums, degvielu sildot, mainījās būtiski – 9.12% dīzeļdegvielai, 8.16% RE20 un 9.64% RE50. Negaidīts rezultāts bija

maisījumsdegvielu NO_x satura samazinājums atgāzēs, salīdzinot ar dīzeļdegvielu. Arī CO saturs, izmantojot RE20 un RE50, bija zemāks, bet dūmainība augstāka. Degvielas uzsildīšana NO_x emisiju palielināja par 15 – 19%, CO – samazināja par 16 – 25%, bet dūmainību – samazināja par 9 – 26%. Kā optimāla eļļas uzsildīšanas temperatūra norādīta 100 °C, taču šādu temperatūru reāli funkcionējošos spēkratos nevar iegūt, izmantojot tikai dzesēšanas sistēmas šķidrumsiltumu.

Šveicē bremžu stenda izmēģinājumos pētīta lieljaudas 335 kW sešcilindru motora darbība ar fosilo dīzeļdegvielu, sintētisko GTL degvielu, RME, sojas eļļu un rapša eļļu (Soltic et al., 2009). Motors bija aprīkots ar elektroniski vadāmu sūkņis-sprausla tipa tiešās iesmidzināšanas sistēmu, turbokompresoru ar starpdzesētāju un ar ūdeni dzesējamu izplūdes gāzu recirkulācijas (EGR) sistēmu. Sojas eļļas un rapša eļļas priekšuzsildīšanai izmantoti infrasarkanā staru radiatoru. Mainīgie parametri eksperimentos bija iesmidzināšanas spiediens, moments un ilgums, kā arī izplūdes gāzu recirkulācijas pakāpe. Neskatoties uz to, ka RME un abu eļļu tilpuma siltumspēja bija par 5 – 6% zemāka nekā abām pārējām degvielām, gan ar iesmidzināšanas parametru maiņu, gan bez tās visos slogošanas režīmos motors attīstīja lielāku griezes momentu. Taču būtiski palielinājās NO_x saturs izplūdes gāzēs.

Mainot EGR sistēmas parametrus tā, lai NO_x emisija tiktu saglabāta fosilās dīzeļdegvielas līmenī, rapša eļļas izmantošanas efektivitāte samazinājās. RME, sojas un rapša eļļas izmantošanas gadījumā konstatēts kopējo nesadegušo ogļūdeņražu un oglekļa monoksīda emisijas samazinājums, salīdzinot ar dīzeļdegvielu, tomēr pēc katalizatora emisijas samazinājās praktiski līdz nullei visām degvielām.

Nigērijā veikti *Petter AC1* viencilindra motora stenda izmēģinājumi (Nwafor, 2004), kuros pētīts, kā mainās izplūdes gāzu sastāvs, ja motoru pie 3000 min⁻¹ darbina ar neuzsildītu un līdz 70 °C uzsildītu rapša eļļu.

Noskaidrots, ka CO saturs atgāzēs, pieaugot motora noslogojumam, izmantojot neuzsildītu eļļu un dīzeļdegvielu, pieaug. Pie tam rapša eļļai tas ir augstāks nekā dīzeļdegvielai. Savukārt uzsildītai rapša eļļai sākotnēji, palielinot noslogojumu (pie mazas un vidējas slodzes), vērojams CO satura samazinājums atgāzēs (arī salīdzinot ar dīzeļdegvielu). Pie lielām slodzēm vērojams straujš CO emisiju pieaugums. Būtiskas CO_2 satura atšķirības atgāzēs ar visām trim degvielām netika novērotas nevienā slogošanas režīmā. Nesadegušo ogļūdeņražu HC (*hydrocarbon*) emisija, lietojot dīzeļdegvielu, bija aptuveni 2.5 reizes lielāka nekā rapša eļļai. Ja pie neliela noslogojuma neuzsildītai un uzsildītai eļļai šis parametrs neatšķīrās, tad pie lielām slodzēm un augstas sadegšanas temperatūras, lietojot līdz 70 °C uzsildītu rapša eļļu, HC daudzums atgāzēs bija nedaudz lielāks nekā neuzsildītai rapša eļļai. Degvielas patēriņš abām eļļām visā slogošanas diapazonā pārsniedza dīzeļdegvielas patēriņu, turklāt neuzsildītai un uzsildītai eļļai tas neatšķīrās. Arī šajā pētījumā konstatēts, ka, lietojot rapša eļļu (neatkarīgi no temperatūras) iesmidzināšanas momentu vēlams iestatīt par 2 līdz 4 grādiem agrāku nekā, izmantojot fosilo dīzeļdegvielu.

Itālijā veiktajos pētījumos (Chiaromonti and Prussi, 2009) darbināšanai ar rapša eļļu pielāgots *Deutz Fahr* traktors ar tiešās iesmidzināšanas 63 kW *BF4M 1012* motoru. Darbā ar rapša eļļu konstatēts 2.2% maksimālās jaudas samazinājums un 3% īpatnējā degvielas patēriņa palielinājums, salīdzinot ar dīzeļdegvielu.

Traktors tika izmantots lauku darbos 200 stundas, kuru laikā īpaša vērība pievērsta motoreļļas līmenim un kvalitātei. Viskozitātes izmaiņas nevienā no pārbaudēm netika konstatētas. Pēc 200 darba stundām eļļā tika novērots neliels silīcija un metāla daļiņu procentuālais pieaugums, taču tas nepārsniedza vērtības, kādas tika identificētas, darbinot motoru 200 stundas ar fosilo dīzeļdegvielu.

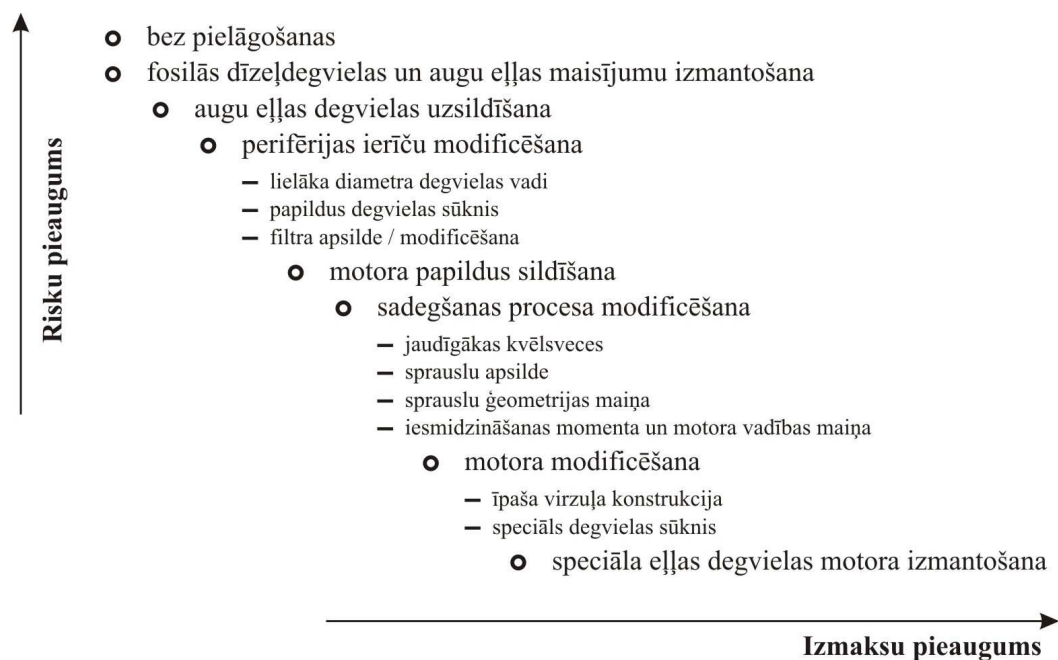
Pēc izmēģinājumiem veikta arī atsevišķu detaļu diagnostika (sk. 1.17. att.).



1.17. att. **Filtrs, virzulis, smidzinātājs un vārsti pēc 200 stundu motora darbināšanas ar rapša eļļu**

Smidzinātāji, blīvējumi un citi iesmidzināšanas sistēmas elementi bija tīri, bez piedegumiem un korozijas pazīmēm. Daži nogulsņējumi tika konstatēti ieplūdes vārsta augšējā daļā, taču tie bija radušies nevis izmantotās degvielas veida dēļ, bet noplūstot smērēļļai no turbokompresora. Nelieli piedegumi bija uz virzuļa gala, tomēr tie tika novērtēti kā maz nozīmīgi normālai motora darbībai. Degvielas filtru izpēte liecināja par būtisku vaska klātbūtni filtru elementos, kas iespējams radušies zemas kvalitātes eļļas dēļ.

Vācijā veiktajā pētījumā (Paulsen et al., 2011) novērtētas tīras augu eļļas izmantošanas risku un izmaksu tendences (sk. 1.18. att.).



1.18. att. **Dīzeļmotoru pielāgošana darbināšanai ar tīru augu eļļu – risku novērtējums un izmaksas**

Veicot 72 kW viencilindra *Elbe Werk Roßlau* tiešās iesmidzināšanas motora *IVDS18/15* pētījumus, vācu pētnieki (Paulsen et al., 2011) konstatēja, ka, darbinot motoru ar rapša eļļu, NO_x saturs izmešos ir lielāks, bet nesadegušo oglekļa dioksīda saturs mazāks, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu. CO koncentrācija izplūdes gāzēs darbā ar eļļu ir palielināta tikai pie mazas motora noslodzes, un tam cēlonis ir nepilnīga eļļas sadegšana.

Veicot ar divu tvertņu sistēmu aprīkota traktora *Jonh Deere PE 6068* 1000 stundu lauka izmēģinājumus, būtiskas atšķirības, darbinot motoru ar rapša eļļu un dīzeļdegvielu, netika konstatētas. Piedegumi novēroti tikai uz smidzinātājiem.

Slovākijā veikti rapša eļļas degvielas pētījumi, par izmēģinājumu objektiem izmantojot ar divu degvielas tvertņu sistēmu aprīkotus automobiļus – 2000. gadā ražotu *Škoda Octavia 1.9 TDI* un 2007. gadā ražotu *VW Touareg R5 2.5 UI* (Kleinová et al., 2011). Pētījumi veikti uz Vācijā ražota jaudas stenda *MAHA LPS 2000*, bet izplūdes gāzu analīzei izmantota *MAHA MGT 5* ierīce. Būtiskākie pētījuma rezultāti apkopoti 1.9. tabulā.

1.9. tabula. *Škoda Octavia 1.9 TDI* un *VW Touareg R5 2.5 UI* ekspluatācijas parametru pētījumu rezultāti, izmantojot rapša eļļas degvielu

Parametrs	<i>Škoda Octavia</i>		<i>VW Touareg</i>		
	DD	RE100	DD	RE100	
Maksimālā jauda, kW	86	80	127	112	
Maksimālais griezes moments, N m	258	252	476	418	
Ieskriešanās laiks no 40 km h ⁻¹ līdz 80 km h ⁻¹ , s	5.2	4.5	5.3	5.5	
Ieskriešanās laiks no 60 km h ⁻¹ līdz 100 km h ⁻¹ , s	8.0	6.8	10.2	10.5	
Ieskriešanās laiks no 80 km h ⁻¹ līdz 120 km h ⁻¹ , s	12.7	10.3	21.7	22.5	
Īpatnējais degvielas patēriņš pie 3.2 – 3.3 kW, g kW ⁻¹ h ⁻¹	544	698	706	706	
Īpatnējais degvielas patēriņš pie 7.9 – 8.8 kW, g kW ⁻¹ h ⁻¹	397	481	524	558	
Īpatnējais degvielas patēriņš pie 19.7– 19.8 kW, g kW ⁻¹ h ⁻¹	328	386	361	410	
CO, tilp. %	brīvgaitā	0.1	0.05	0	0.05
	60 km h ⁻¹	0.01	0.11	0	0
	90 km h ⁻¹	0	0.02	0	0
	120 km h ⁻¹	0	0.002	0	0
HC, ppm	brīvgaitā	9.6	11.6	0	4.8
	60 km h ⁻¹	12.0	17.4	19.6	15.0
	90 km h ⁻¹	6.0	6.2	31.0	25.4
	120 km h ⁻¹	1.0	1.4	20.0	20.0
NO _x , ppm	brīvgaitā	98.2	25.6	44.0	30.2
	60 km h ⁻¹	172.2	79.8	87.6	76.8
	90 km h ⁻¹	163.0	117.6	294.6	302.8
	120 km h ⁻¹	369.0	315.8	476.2	472.8

Kā redzams no tabulas datiem, tad, izmantojot rapša eļļu, sasniegta mazāka maksimālā jauda un griezes moments, turklāt *VW Touareg* šis samazinājums ir jūtamāks (12%) nekā *Škoda Octavia* (7% jaudai un 2% griezes momentam).

Analizējot ieskriešanās laikus, konstatēts, ka *Škoda Octavia* ar augu eļļu kļuvusi jūtami dinamiskāka (par 13 – 19% dažādos režīmos), savukārt *VW Touareg* visos ieskriešanās režīmos uzrāda par aptuveni 3% sliktākus rezultātus. Īpatnējā degvielas patēriņa pieaugums jūtams ir *Škoda Octavia* (17 – 29%).

CO saturs izplūdes gāzēs ir tuvs nullei visos testu režīmos. Nesadegušajiem oglekļa dioksīdiem (HC) *Škoda Octavia* ir tendence pieaugt, *VW Touareg* – samazināties. Savukārt NO_x saturs *Škoda Octavia* samazinās vidēji par aptuveni 40%, bet *VW Touareg* – par 10%. Visas minētās atšķirības raksta autori izskaidro ar automobiļu motoru un degvielas iesmidzināšanas sistēmu atšķirīgo konstrukciju.

Pētījumā minēts, ka Slovērijā 2007. un 2008. gadā vairāk nekā 250 *Mercedes Benz*, *Iveco* un *DAF* transportlīdzekļu tika pielāgoti darbināšanai ar rapša eļļu. Vidējais vecums transportlīdzekļiem, ko izmantoja cementa ražotnēs, bija trīs gadi, bet transportlīdzekļiem, ko izmantoja kravu pārvadāšanai – mazāks par vienu gadu. Šie transportlīdzekļi 24 mēnešu laikā kopā nobrauca 29 120 000 km un patērēja 9 450 000 l rapša eļļas. Šajā laikā būtiski bojājumi, kas varētu tikt izraisīti ar rapša eļļas degvielas izmantošanu, netika konstatēti (Kleinová et al., 2011).

Kā redzams no augu eļļas degvielas izmantošanas pētījumu analīzes, tad dažādās publikācijās sniegtie rezultāti, attiecībā uz jaudas, degvielas patēriņa un atgāzu sastāva izmaiņām, ir ļoti atšķirīgi. Tas atzīmēts arī Francijā veiktajā 62 pētījumu apskatā (Sidibe et al., 2010), kā galvenos nesakrītību cēloņus minot dažādo pētījumos izmantotās eļļas kvalitāti, pētījumu apstākļus, lietotās mērierīces un motoru tipus. Tas aktualizē pētījumu veikšanu katrā valstī, t.sk. Latvijā, balstoties uz konkrētā reģiona klimatiskajiem apstākļiem, uz vietas saražoto eļļu un raksturīgākajiem spēkratu un motoru veidiem.

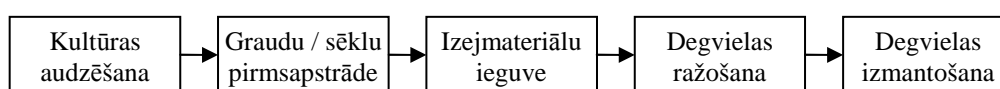
Taču nevienā no šiem pētījumiem netika identificēti rezultāti, kas iegūti, motoram nomainot oriģinālās sprauslas pret speciāli augu eļļas degvielai paredzētajām ar mainītu iesmidzināšanas spiedienu un lenķi.

Ņemot vērā, ka vairums izmēģinājumu ir bijuši īslaicīgi, bet atsevišķos pētījumos norādīts, ka ilgstoša tīras rapša eļļas izmantošana var radīt motora darbības un ilgzināšanas problēmas (Babu and Devaradjane, 2003), ir būtiski izpētīt, kā spēkrati ar rapša eļļu darbojas vairāku gadu garumā, ietverot arī ziemas mēnešus.

Pretrunīgi pētījumu rezultāti ir arī par rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījumu izmantošanu un optimālajām proporcijām dažādos klimatiskajos apstākļos. Bioeļļas atšķaidīšana nenodrošina pietiekamu eļļas viskozitātes samazināšanu motora iedarbināšanas un iesilšanas laikā. Dažos pētījumos norādīts, ka bioeļļas piejaukšana fosilajai dīzeļdegvielai izraisa ekspluatācijas izdevumu palielināšanos un motora darbības samazināšanos (Jones et al., 2001; Biodiesel Handling ..., 2004).

1.5. Rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas pētījumu analīze

Vispārīgā gadījumā, neatkarīgi no biodegvielu veida un izejmateriāliem to ražošanai, šķidro biodegvielu apgādes jeb loģistikas ķēdes shēma dota 1.19. attēlā (Thuijl et al., 2003).



1.19. att. Biodegvielu apgādes ķēdes vienkāršota shēma

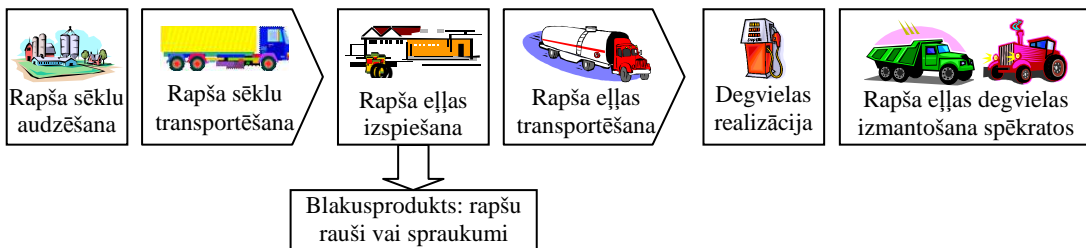
Atkarībā no degvielas veida kā sistēmas elementi var kalpot procesi, dabas un darbaspēka resursi, tehnika un iekārtas, datortehnika un programmatūra, dažādi reglamentējošie noteikumi un dokumenti, citās sistēmās radīti produkti u.tml. Sistēma

sākotnēji tiek definēta ar sakaru noteikšanu starp elementiem (Maier and Rehtin, 2000). Viena procesa izejas parametri kalpo kā ieejas parametri nākamajam procesam.

Pirmie vērā ņemamie biodegvielu apgādes modeļu pētījumi veikti 1997. gadā Nīderlandē un 1998. gadā Anglijā (De Mol et al., 1997; Allen et al., 1998). Kā galveno iegūto informāciju no tiem var minēt izmantotos ieejas un izejas datus, bet publikācijās nebija norādīti ne modeļu vienādojumi, ne arī izmantotie modelēšanas rīki. Šo pētījumu rezultātu izmantošanu Latvijā kavē arī minēto valstu īpatnības ražojamo degvielu veidu ziņā, atšķirības ievades-izvades parametros, piemēram, ražošanas jaudās utt.

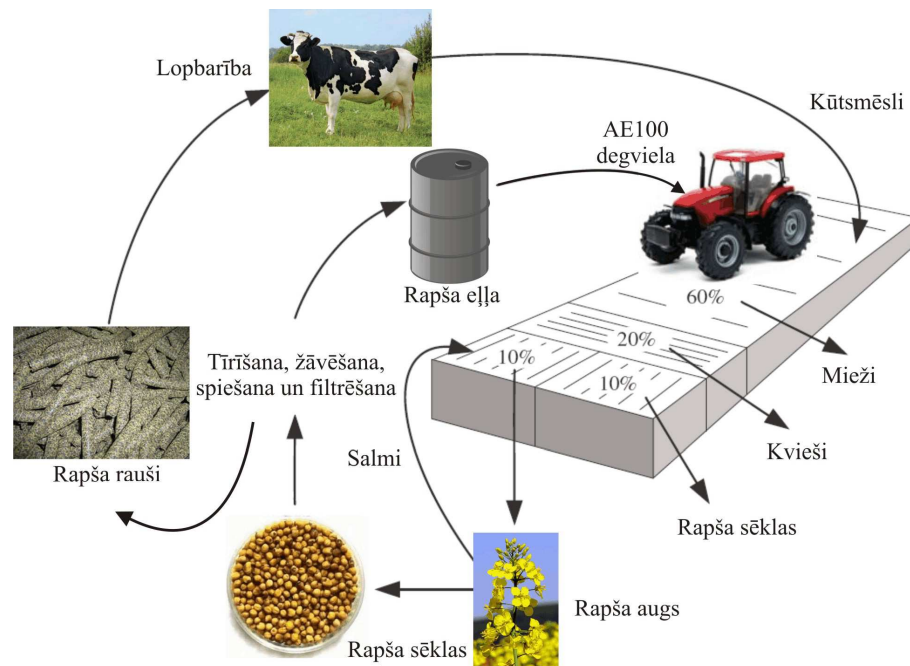
Vispārējā gadījumā rapša eļļas degvielas apgādes ķēdē var izdalīt posmus, kas parādīti 1.20. attēlā (Birzietis un Kunkule, 2003; Dukulis et al., 2008; Biofuels in the EU ..., 2007):

- rapša sēklu audzēšana, novākšana un pirmapstrāde;
- rapša sēklu transportēšana;
- rapša eļļas izspiešana;
- rapša eļļas transportēšana;
- rapša eļļas degvielas realizācija;
- rapša eļļas degvielas izmantošana spēkratos (ar vai bez to modificēšanas).



1.20. att. **Rapša eļļas degvielas apgādes ķēdes struktūra**

1.20. attēlā dotā ķēdes struktūra vairāk atbilst degvielas centralizētajai ražošanai. Ja rapša eļļas degvielu paredzēts izmantot zemnieku saimniecībā, degvielas pašpatēriņa cikls varētu izskatīties, kā parādīts 1.21. attēlā (Baquero et al., 2010).

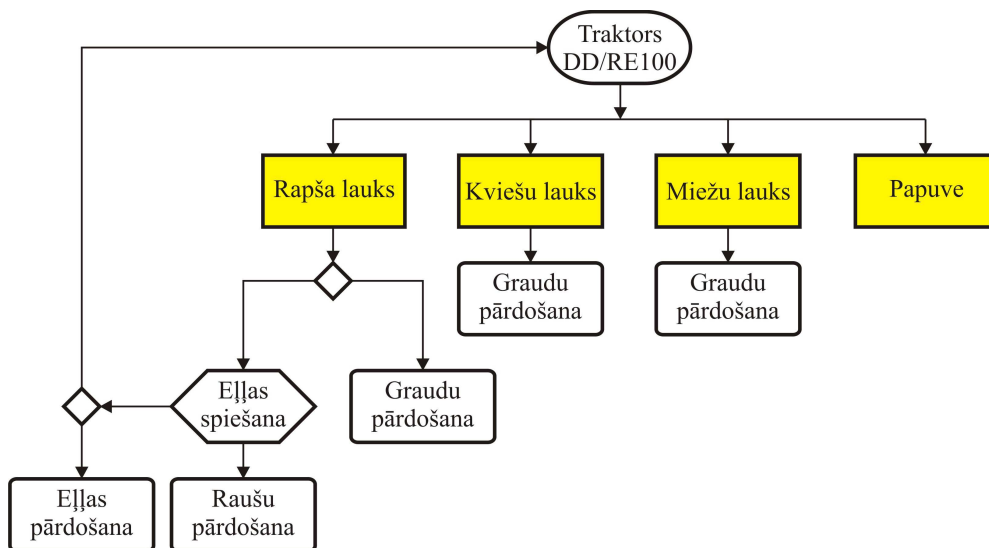


1.21. att. **Rapša eļļas degvielas pašpatēriņa cikls**

Rapša eļļas degvielas pašpatēriņa cikls veidots uz Spānijas zemnieku saimniecības piemēra, bet līdzīgi to varētu realizēt arī Latvijā. Rapsi sēj reizi 5 gados augsekā ar kviešiem (1 gads) un miežiem (3 gadi). Pieņemts, ka zemnieka aramzemes platība ir 100 ha un kultūras sētas proporcijā – 20% rapša, 20% kviešu un 60% miežu. Ja vidējā rapša ražība ir 2300 kg ha^{-1} un no sēkļu kopējas masas iegūst 30% eļļas, kopējais teorētiski iegūstamais rapša eļļas degvielas daudzums ir $13\,800 \text{ kg}$ ($15\,000 \text{ l}$). Pie dīzeļdegvielas patēriņa 70 l ha^{-1} rapša audzēšanā un 65 l ha^{-1} kviešu un miežu audzēšana, kā arī, ņemot vērā par 10% palielinātu patēriņu rapša eļļas degvielai, pētījumā pierādīts, ka degvielas ražošanai pietiek ar 10% platības, t.i., 10 ha, bet no atlikušajiem 10 ha iegūtās rapša sēklas var izmantot citām vajadzībām (Baquero et al., 2010).

Raksta autori noskaidrojuši, ka pārbūves izmaksas vienam traktoram varētu sasniegt no 3300 līdz 5000 EUR jeb aptuveni 5% no traktora iegādes cenas. Ja, darbinot ar fosilo dīzeļdegvielu, nosacīti pirmās tehniskās apkopes paredzēts veikt ik pēc 500 darba stundām, bet nosacīti otrās – ik pēc 2000 h, tad, lietojot rapša eļļas degvielu, 2000 h periodiskums paliek nemainīgs, bet pirmās tehniskās apkopes veicamas divreiz biežāk, t.i., ik pēc 250 darba stundām. Naudas izteiksmē tas ir aptuveni 450 EUR jeb par 30% lielāki tehniskās apkalpošanas izdevumi uz katrām 2000 darba stundām. Pārbūves ekonomiskais izdevīgums aprēķināts pie rapša ražības 2300 kg ha^{-1} , kviešu ražības 3500 kg ha^{-1} un miežu – 3800 kg ha^{-1} pie iepriekš minētās augsekas un sējumu struktūras. Ņemot vērā iegūto produktu realizācijas cenu 2009. gadā, darbaspēka, tehnikas, minerālmēslu un sēkļu izmaksas, ES atbalsta maksājumus, ieņēmumus no rapša raušu realizācijas, rapša eļļas degvielas izmantošana dod par 16.5% lielāku peļņu, salīdzinot ar pētījumā aplūkoto bāzes modeli, t.i., fosilās dīzeļdegvielas izmantošanu un 25 ha kviešu un 75 ha miežu audzēšanu tajā pat saimniecībā. Modelēšanas rezultātā noskaidrots, ka rapša eļļas spiedes iegāde (kalpošanas laiks – 20 gadi) un rapša eļļas degvielas izmantošana atmaksāsies 3 gadu laikā, pieņemot, ka traktora resurss ir 18 gadi, ja gadā darba stundu skaits nepārsniedz 300.

Tie paši Spānijas zinātnieki veikuši apjomīgu rapša eļļas degvielas kā fosilās degvielas aizvietošanas dzīves cikla novērtējumu, kurā izmantota *LCC (Life Cycle Costing)* metode un *GaBi 4* programmatūra modelēšanai (Baquero et al., 2011b). Saimniecības platība pētījumā bija identiska iepriekš aplūkotajai, t.i., 100 ha. Arī aprēķinu metodika un modelēšanas procesa shēma bija līdzīga (sk. 1.22. att.).



1.22. att. Spānijā veiktā pētījuma modelēšanas procesa blokshēma

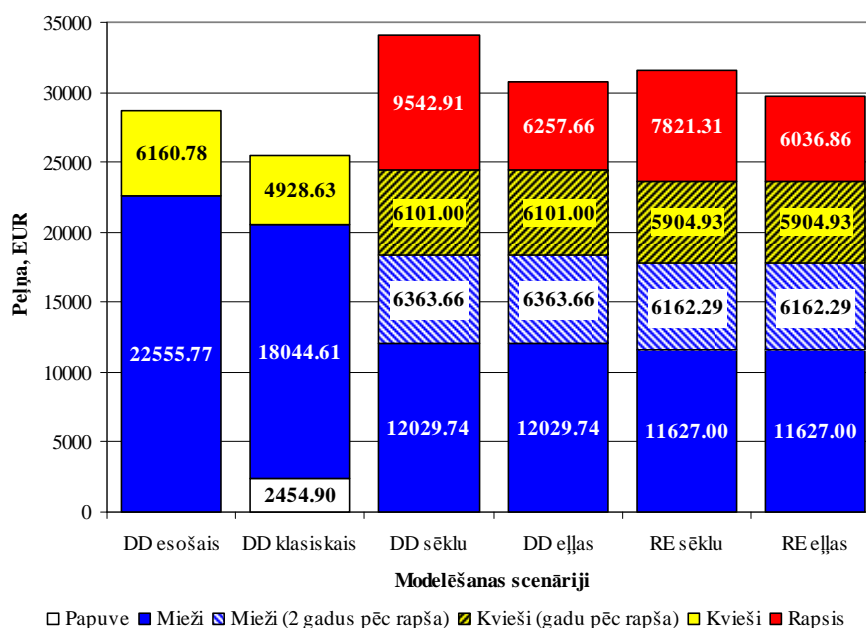
Tā kā rapša audzēšanas un eļļas degvielas izmantošanas lietderīgums modelēts vairāku gadu desmitu periodā, tad salīdzināšanai aplūkoti 6 dažādi scenāriji (sk. 1.10. tab.).

1.10. tabula. Spānijā veiktā pētījuma modelēšanas scenāriji

Scenārijs	Augu seka *	Izmantotā degviela	Rapša sēklu izmantošana	Rapša eļļas izmantošana
DD esošais	KMMM	DD	–	–
DD klasiskais	KMMMP	DD	–	–
DD sēklu	RKMMM	DD	Visas pārdotas	–
DD eļļas	RKMMM	DD	Visas izspiestas	Visa pārdota
RE sēklu	RKMMM	RE100	Daļa izspiesta, daļa pārdota	Visa izlietota kā degviela
RE eļļas	RKMMM	RE100	Visas izspiestas	Daļa izlietota kā degviela, daļa pārdota

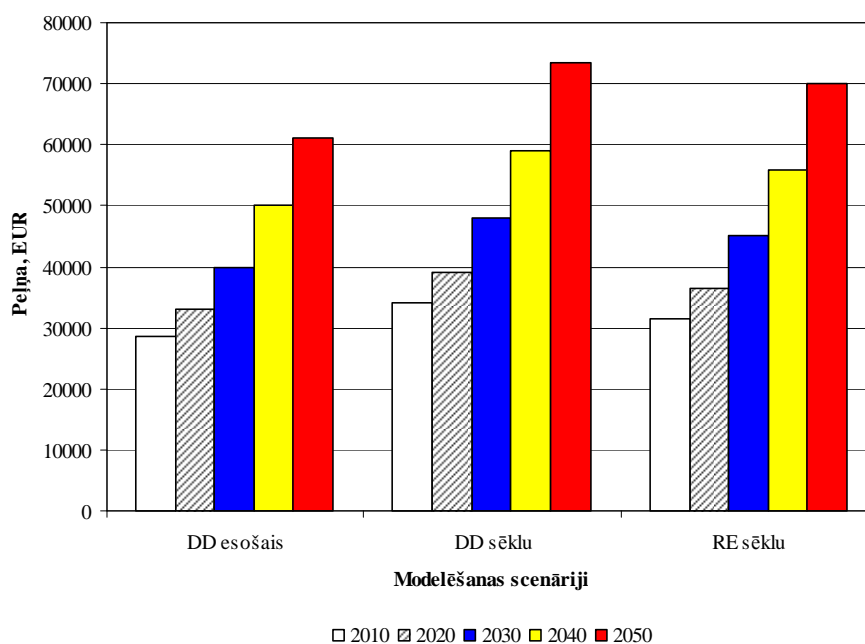
* R – rapsis, K – kvieši, M – mieži, P – papuve

Ņemot vērā produktu realizācijas cenu, darbaspēka, mēslojuma, augu aizsardzības līdzekļu, sēklu, tehnikas un iekārtu u.c. izmaksas, tika aprēķināta iespējamā peļņa gan tekošajā, t.i., 2010. gadā (sk. 1.23. att.), gan arī esošajam un diviem ekonomiski izdevīgākajiem 2010. gada scenārijiem katrā nākamajā desmitgadē līdz 2050. gadam (sk. 1.24. att.).



1.23. att. Modelēto scenāriju ekonomiskais izdevīgums 2010. gadā

Modelēšanas rezultāti parāda, ka rapša audzēšana, sēklu pārdošana un fosilās dīzeļdegvielas izmantošana ir par aptuveni 4% ienesīgāka, salīdzinot ar variantu, kurā pusi rapša sēklu izspiež un izmanto kā degvielu, bet otru pusi – pārdod. Šis scenārijs savukārt ir izdevīgāks par visu rapša sēklu izspiešanu un liekās eļļas pārdošanu. Taču, salīdzinot ar esošo vai klasisko scenāriju, jebkurš variants, kurā tiek audzēts rapsis, ir izdevīgāks. Jāņem vērā, ka Spānijā 2010. gadā lauksaimniecībā izlietotajai dīzeļdegvielai bija akcīzes nodokļa atvieglojums 0.228 EUR l⁻¹. Kritiski novērtējot šo pētījumu, varētu vēlēties modelēšanas rezultātus pa gadiem līdz 2020. gadam, bet pārējo gadu desmitu prognozes ir maz ticamas, jo tad var dominēt jau citi biodegvielu veidi.



1.24. att. Modelēto scenāriju ekonomiskais izdevīgums 2010. – 2050. gadā

Nīderlandē modelētas biodegvielu ražošanai izmantojamo kultūraugu potenciālās platības Eiropā laika posmā no 2000. līdz 2030. gadam. No pirmās paaudzes degvielām aplūkota biodīzeļdegviela un bioetanol, no otrās paaudzes – degvielas, ko iegūst no lignocelulozes (Hellmann and Verburg, 2011). Pamatojoties uz platību prognozi, aprēķināts optimālais biodegvielu ražotņu skaits valstīs un reģionos. Tā kā pētījumā akcentētas tieši lieljaudas ražotnes un lielākās Eiropas valstīs – Spānija, Francija, Vācija un Nīderlande, tad uz Latviju šīs modelēšanas rezultātus attiecināt nevar.

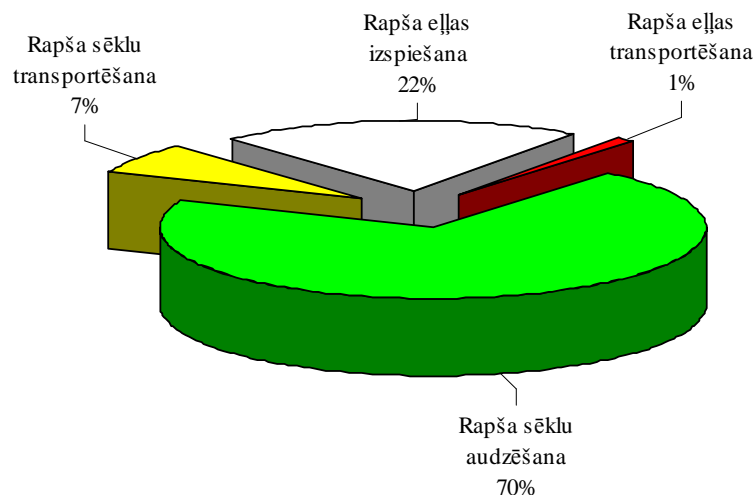
Visvairāk pētījumu biodegvielu loģistikas jomā pēdējos gados veikts ASV. Analizējot Ziemeļdakotas (Awudu and Zhang, 2012), Tenesī un Akronas (Zhu and Yao, 2011; Zhu et al., 2011), Mičiganas (Zhang et al., 2011), Teksasas (An et al., 2011) un Virdžīnijas (Judd et al., 2012) universitāšu pētnieku darbus, var secināt, ka viņu izstrādātie modeļi ir pārāk globāli (katrs štats platības un iedzīvotāju ziņā ir kā viena vai vairākas Eiropas valstis kopā), aplūkotie degvielu veidi, izejvielu, iekārtu un pakalpojumu izmaksas, nodokļu politikas u.tml. specifiski tieši konkrētajam štatam, tāpēc ne Latvijas, ne Eiropas kontekstā šie pētījumi nav izmantojami.

Tikai Minesotas universitātē veiktajā (Fore et al., 2011) pētījumā novērtēts rapša eļļas degvielas izmantošanas izdevīgums, salīdzinājumā ar scenāriju, kurā rapša eļļa tiek pārstrādāta biodīzeļdegvielā. Saimniecības ikgadējais degvielas patēriņš pieņemts robežās no 20 000 līdz 35 000 l. Eļļa tiek spiesta ar mehānisko spiedi, kuras ražīgums ir 750 līdz 1200 kg sēklu dienā. Iegūst 75% eļļas, bet uz katru litru eļļas – 2.1 kg rapša raušu. Lai saražotu eļļu visam gadam, tā jāspiež 75 dienas. Biodīzeļdegvielas ieguve modelēta, pieņemot, ka saimniecībā iegādājas mazjaudas procesoru, vienā reizē sagatavo 120 līdz 200 l biodīzeļdegvielas, uz vienu litru degvielas iegūst 0.13 l glicerīna. Pirms rapša eļļas degvielas lietošanas tā tiek papildus attīrīta ar 3 μm filtru, bet dīzeļmotori pielāgoti, izmantojot komerciāli ražotos pārbūves komplektus. Modelējot situāciju, ņemta vērā rapša ražība pēdējo 10 gadu laikā, sēklu, minerālmēsli, augu aizsardzības līdzekļi, iekārtu un tehnikas iegādes un remonta, materiālu (piemēram, metanola un KOH) izmaksas, sējumu apdrošināšana, tehnikas un ēku amortizācija, valsts atbalsta maksājumi, blakus produktu realizācijas ieņēmumi u.tml.

Modelēšanas rezultātā noskaidrots, ka vislielākās izmaksas RE100 un RME ražošanā sastāda tieši rapša audzēšana (attiecīgi 70 – 83% un 59 – 67%). Kopējās 1 litra rapša eļļas ražošanas izmaksas ir par 0.30 USD mazākas nekā biodīzeļdegvielas izmaksas un tikai RE100 pie šāda ražošanas scenārija cenas ziņā var konkurēt ar fosilo dīzeļdegvielu – rapša eļļas pašizmaksa aplūkotajā modelēšanas periodā bija par aptuveni 0.07 USD l⁻¹ lētāka nekā dīzeļdegviela, taču, ņemot vērā abu degvielu patēriņa atšķirības, to cenas var uzskatīt par līdzīgām. Raksta autori gan uzsver, ka ļoti būtiski rapša eļļas degvielas izmantošanas izdevīgumu ietekmē saimniecības vispārējais raksturojums, piemēram, lielums, kapitālieguldījumu atmaksāšanās efektivitāte, rapša raušu izmantošana (pašu saimniecībā vai pārdošanai) u.c. faktori, t.i., uzsvērts, ka rapša eļļas apgādes ķēde ir ļoti „jutīga” sistēma.

Latvijā veiktajā pētījumā (Birzietis un Kunkule, 2003) noteikts biodīzeļdegvielas apgādes ķēdes atsevišķu posmu radīto izmaksu īpatsvars gala produktā un izmaksas aprēķinātas, attiecinot tās uz 1 gala produkta vienību (šajā pētījumā uz 1 litru REE). Pēc šī pētījuma rezultātiem no visām izmaksu pozīcijām lielāko daļu biodīzeļdegvielas ķēdē sastāda rapša sēklu audzēšanas izmaksas (55%). Citos literatūras avotos minēts, ka biomasas izejmateriāla ražošanas izmaksas var sastādīt aptuveni 60% (Combs, 1981).

Lai gūtu priekšstatu par rapša eļļas degvielas apgādes ķēdes atsevišķu posmu radīto izmaksu īpatsvaru gala produktā, var izmantot iepriekš minēto pētījumu, kas veikts biodīzeļdegvielas loģistikas ķēdē, atmetot izmaksas rapša eļļas esterificēšanai un REE transportēšanai, kā arī koriģējot izmaksas rapša eļļas transportēšanai (rapša eļļa kā degviela parasti tiek uzpildīta netālu no eļļas spiestuves). Aprēķinu rezultāti parādīti 1.25. attēlā.



1.25. att. **Izmaksu sadalījums rapša eļļas apgādes ķēdē**

Arī rapša eļļas apgādes ķēdē lielāko daļu sastāda rapša sēklu audzēšanas izmaksas (70%). Diezgan būtiska ir arī rapša eļļas izspiešanas izdevumu daļa. Izmaksu lielumu ietekmē izmantotās tehnoloģijas rapša sēklu audzēšanā, novākšanā, uzglabāšanā un pārstrādē, kā arī ražošanas apjomi. Būtisku lomu izmaksu samazināšanā var dod ražošanas procesā iegūto blakusproduktu (rapša raušu) realizācija. Šajā pētījumā veiktie aprēķini ir pietiekami, lai identificētu un novērtētu vispārējo izmaksu sadalījumu, taču detalizētākam izmaksu novērtējumam nepieciešams veikt tālākus pētījumus, konkretizējot degvielas apgādes shēmas iespējamus variantus, precizējot izmantotās tehnoloģijas un pārstrādes vai ražošanas apjomus.

2009. gadā rapša eļļas saimnieciskā izdevīguma aprēķinu veica akadēmiķis Arnis Kalniņš (Kalniņš, 2009). Aprēķina piemērā traktoram ar 100 kW motoru pieņemts

dīzeļdegvielas patēriņš 12 l uz vienu darba stundu, bet rapša eļļas patēriņš par 5% lielāks. Traktora pielāgošana darbināšanai ar eļļu izmaksā 1600 (vienas tvertnes sistēma) vai 2800 LVL (divu tvertņu sistēma). Ja pielāgošana veikta, izmantojot divu tvertņu sistēmu, pieņemts, ka rapša eļļa kopējā degvielas patēriņā sastāda 90%, bet fosilā dīzeļdegviela – 10%. Iepērkot rapša eļļu, tās viena litra cena ir par 0.11 LVL mazāka nekā dīzeļdegvielai. Ja zemnieks eļļu ražo pats, tad starpība ir lielāka – 0.22 LVL l⁻¹. Pieņemot, ka traktora gada darba apjoms ir 1000 h, traktora pielāgošana atmaksājas šādos laika periodos:

- divu tvertņu sistēma, eļļa ražota savā saimniecībā – 0.8 gadi;
- divu tvertņu sistēma, eļļa pirkta – 2.3 gadi;
- vienas tvertnes sistēma, eļļa ražota savā saimniecībā – 1.2 gadi;
- vienas tvertnes sistēma, eļļa pirkta – 3.2 gadi.

Aprēķinot atmaksāšanās laiku, netika ievērtētas papildus izmaksas motoreļļas maiņai (aptuveni 120 LVL gadā), kā arī akcīzes nodokļa atmaksa lauksaimniekiem, kas aprēķinu veikšanas brīdī bija 0.234 LVL par litru fosilās dīzeļdegvielas (līdz 100 litriem uz 1 ha). Tas, protams, atmaksāšanās laiku pagarinātu, bet, ņemot vērā mainīgo nodokļu politiku valstī, šādai aprēķinu metodikai ir pamatojums.

Pētījuma „Latvijas iespēju izvērtējums sasniegt 10% biodegvielas patēriņu no kopējās degvielas patēriņa transportam līdz 2020. gadam” (Pētījuma „Latvijas iespēju izvērtējums ...”, 2007) mērķis bija izvērtēt Latvijas iespējas paplašināt biodegvielu izmantošanu transportā un izstrādāt priekšlikumus biodegvielas patēriņa veicināšanai. Pētījumā aplūkotas biodegvielas B100, B5, B30, E5 un E85. Veikta biodegvielas potenciāla modelēšana, kurā izstrādāta virkne pieņēmumu un modelēti trīs alternatīvi scenāriji.

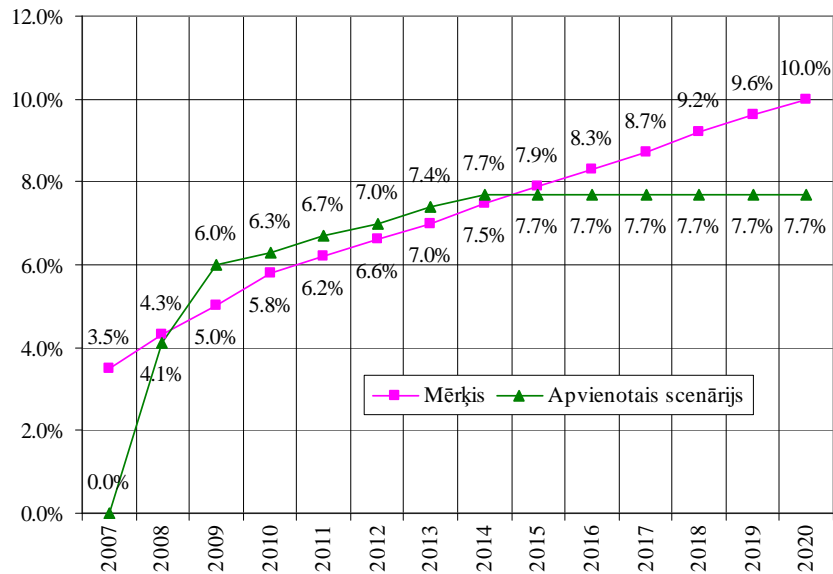
Scenārijs „A” paredz, ka normatīvajos aktos tiek noteikts obligāts 5% biodegvielas piejaukums dīzeļdegvielai un benzīnam, turklāt saglabājas iespēja iegādāties arī citus tirgū pieejamos biodegvielu veidus. 5% tilpumvienības īpatsvars atbilst 4.1% energoietilpības īpatsvaram, tāpēc ES direktīvā noteiktais biodegvielas patēriņa mērķis netiek sasniegts. Modelējot scenāriju attīstību, ja degvielas maisījumā tiktu nodrošināti 7% un 10% biodegvielas, biodegvielas patēriņa īpatsvars pēc energoietilpības attiecīgi sasniegtu 5.8% un 8.3%.

Scenārija „B” ietvaros pieņemts, ka notiek izmaiņas akcīzes nodokļa likmēs, t.i., sākotnēji fosilajai degvielai tā palielinās 4 reizes, salīdzinot ar 2007. gadu un pārējā prognožu periodā katru gadu palielinās proporcionāli prognozētajam iekšzemes kopprodukta pieauguma tempam. Šajā scenārijā 2020. gadā biodegvielas patēriņš sasniedz 5.8%, kas nav pietiekami ES mērķa izpildei.

Scenārijā „C” valsts un pašvaldības īsteno zaļo iepirkumu, kā rezultātā tiek veicināts pieprasījums pēc biodegvielas sabiedriskā transporta pakalpojumu nodrošināšanai un publiskā sektora autotransportam. Sabiedriskā transporta autobusu parkā pusei no autobusiem fosilās degvielas vietā jālieto biodegviela. Videi draudzīgu autobusu īpatsvars katru turpmāko gadu jāpalielina vidēji par 3.5 – 3%, sasniedzot 85% videi draudzīgu autobusu īpatsvaru 2020. gadā. Arī šis scenārijs nenodrošina direktīvas mērķu sasniegšanu, palielinot biodegvielas patēriņa īpatsvaru līdz 4.53% 2020. gadā.

Tā kā neviens no scenārijiem atsevišķi nenodrošina ES mērķa sasniegšanu, tika izstrādāts ceturtais scenārijs, kas apkopo iepriekš minēto scenārija pieņēmumus. Tas parādīts 1.26. attēlā (Pētījuma „Latvijas iespēju izvērtējums ...”, 2007).

No grafika redzams, ka, ieviešot obligāto 5% biodegvielas piejaukumu, videi draudzīgu autobusu īpatsvaru pakāpeniski palielinot līdz 100% 2014. gadā, ikgadēji paaugstinot akcīzes nodokli līdz 2015. gadam, apvienotais scenārijs nodrošina ES direktīvas mērķu sasniegšanu tikai līdz 2015. gadam.



1.26. att. Pētījuma apvienotais scenārijs

Lai nodrošinātu nepieciešamo patēriņa līmeni, valstī nepieciešams izstrādāt un īstenot papildus biodegvielas izmantošanas veicināšanas pasākumus. Daži no tiem minēti šajā pētījumā, piemēram, sekmēt sabiedrības izpratni par biodegvielas veidiem, īpašībām un priekšrocībām, izstrādāt biodegvielu kvalitātes kontroles mehānismu, sniegt dažādus atvieglojumus personām, kas spēj apliecināt, ka iegādājušās transportlīdzekļus ar biodegvielām darbināmu motoru u.tml.

Kā rāda pašreizējā situācija, tad no visiem pasākumiem modelētajos scenārijos gandrīz ar gada novēlošanos pieņemts tikai obligātais 4.5 – 5% biodegvielas piejaukums dīzeļdegvielai un benzīnam no 2009. gada 1. oktobra. Pie tam tas attiecas ne uz visu, bet tikai uz 95. markas benzīnu un vasaras dīzeļdegvielu.

Rapša eļļas degvielas izmantošanas iespējas nevienā no scenārijiem netika aplūkotas, jo tā līdz šim ir salīdzinoši maz pētīta un izmantota biodegviela Latvijā. Par to, ka šīs degvielas izmantošana varētu dot savu ieguldījumu ES direktīvas mērķu sasniegšanā, liecina fakts, ka viens pats uzņēmums SIA „Iecavnieks” gadā savām vajadzībām patērē aptuveni 250 m³ rapša eļļas degvielas. Ja biodegvielas izmantošanas dati tiktu papildināti tikai ar šo vienu skaitli, biodegvielas daļa degvielas kopējā struktūrā palielinātos par 0.02%. Un tas būtu tikai viena uzņēmuma devums.

Situācijas apskata kopsavilkums

Nodaļā izmantotas analīzes un sintēzes pētījumu metodes.

Analizējot situāciju biodegvielu ražošanā un izmantošanā, rapša eļļas degvielas ieguves iespējas, kvalitātes prasības, īpašības, izmantošanas un loģistikas sistēmas pētījumus pasaulē un Latvijā, izriet vairāki secinājumi.

1. Statistikas datu analīze liecina, ka ES un Latvijas biodegvielu ražošanas un izmantošanas pieauguma tempi transporta sektorā ir neapmierinoši. Līdz ar to pētījumi biodegvielu ieviešanas veicināšanai mūsu valstī ir aktuāli.
2. Pasaulē tiek izstrādāti un attīstās jauni – otrās, trešās un ceturtais paaudzes biodegvielu veidi, tomēr aptuveni desmit gadus savu aktualitāti nezaudēs pirmās paaudzes biodegvielas, t.sk. rapša eļļa, jo nākamo paaudžu degvielu trūkums ir sarežģītā un dārgā ražošanas tehnoloģija, kas prasa lielas investīcijas centralizētu lielas jaudas rūpnīcu būvniecībai.

3. Biodegvielu loģistikas sistēmu modelēšanas rezultāti rāda, ka aptuveni līdz 2020. gadam viszemākās cenas apgādes ķēdes statusu saglabās tīras augu eļļas degviela, un eļļas augi kā biodegvielu ražošanas izejviela arī no enerģētiskā viedokļa savu aktualitāti nezaudēs.
4. Pētījumu analīze rāda, ka rapša eļļas degvielai enerģijas patēriņa un CO₂ bilances ir izteikti pozitīvas pat tādos gadījumos, ja netiek izmantoti eļļas audzēšanas un izspiešanas blakusprodukti.
5. Lai gan augu eļļas degviela kopš 2007. gada Latvijā oficiāli atzīta par biodegvielu un MK noteikumos definētas tās kvalitātes prasības, degvielas uzpildes stacijās Latvijā tā pašlaik nav nopērkama. Tas galvenokārt saistīts ar pieprasījuma trūkumu, ko kavē līdz šim nelielais pētījumu skaits augu eļļas degvielas izmantošanā, kā arī spēkratu pielāgošanas nepieciešamība. Tāpēc potenciālie lietotāji par šā biodegvielas veida iespējām ir vismazāk informēti.
6. Augu eļļas degvielas lietošanai Latvijā līdz šim izmantota tikai divu tvertņu sistēma. Šī sistēma nav ērta izmantošanai vieglajā transportā, taču Latvijā līdz šim vienas tvertnes sistēmas pētījumi nav veikti.
7. Publikācijās sniegtie rezultāti par jaudas, degvielas patēriņa un atgāzu sastāva izmaiņām, izmantojot rapša eļļas degvielu (tīrā veidā un maisījumos), ir ļoti atšķirīgi. Kā galvenie cēloņi minēti pētījumos izmantotās eļļas dažādā kvalitāte, pētījumu apstākļi, lietotās mērierīces un motoru tipi. Tas aktualizē pētījumu veikšanu katrā valstī, t.sk. Latvijā, pamatojoties uz tieši konkrētā reģiona klimatiskajiem apstākļiem un saražoto eļļu, kā arī raksturīgākajiem spēkratu un motoru veidiem.
8. Vairums no pētījumiem veikti, testējot motorus uz stenda, bet ne visu automobili vai traktoru kopumā.
9. Vairums izmēģinājumu ir īslaicīgi, bet atsevišķos pētījumos norādīts, ka ilgstoša tīras rapša eļļas izmantošana var radīt motora darbības un ilgizturības problēmas. Tāpēc būtiski izpētīt, kā spēkrati ar rapša eļļu darbojas vairāku gadu garumā, ietverot arī ziemas mēnešus. Pretrunīgi pētījumu rezultāti ir par rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījumu izmantošanu un optimālajām proporcijām dažādos klimatiskajos apstākļos.
10. Rapša eļļas degvielas izmantošanas izdevīgumu ietekmē katras saimniecības vispārējais raksturojums, piemēram, izmantotās tehnoloģijas rapša sēklu audzēšanā, novākšanā, uzglabāšanā un pārstrādē, kā arī ražošanas apjomi. Detalizētākam izmaksu novērtējumam nepieciešams veikt tālākus pētījumus, konkretizējot degvielas apgādes shēmas, precizējot ražošanas tehnoloģijas un apjomus.

Pētījumu mērķis un uzdevumi

Pētījumu objekts – rapša eļļas degvielas apgādes jeb loģistikas ķēde.

Pētījumu hipotēze – rapša eļļas degviela ir piemērota, lai to Latvijā varētu izmantot dažāda tipa ar dīzeļmotoriem darbināmos spēkratos, neatkarīgi no apkārtējās vides temperatūras.

Pētījumu mērķis – teorētiski un eksperimentāli novērtēt rapša eļļas degvielas izmantošanas iespējas dīzeļmotoros Latvijā, tādējādi radot iespēju veicināt atjaunojamo energoresursu plašāku izmantošanu valstī.

Pētījumu uzdevumi:

- izstrādāt matemātisko modeli ar dīzeļmotoriem darbināmu spēkratu ekspluatācijas parametru noteikšanai, izmantojot rapša eļļu un tās maisījumu-degvielas ar fosilo dīzeļdegvielu, kā arī novērtēt šī modeļa efektivitāti;
- teorētiski un eksperimentāli noteikt spēkratu ekspluatācijai dažādās apkārtējās vides temperatūrās, īpaši zemās, piemērotākās rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījumu proporcijas;
- izstrādāt ar rapša eļļu darbināmu spēkratu izmēģinājumu metodiku;
- eksperimentāli izpētīt un novērtēt rapša eļļas izmantošanas iespējas un motoru ekspluatācijas parametrus, šim nolūkam pielāgojot dažādus spēkratus (vieglo automobili, kravas automobili un trektoru), izmantojot vienas un divu degvielas tvertņu sistēmas;
- izveidot modeli rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas izmaksu noteikšanai un veikt sistēmas modelpētījumus rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomiskās efektivitātes novērtēšanai.

Promocijas darbā izmantotas analīzes, sintēzes, modelēšanas, prognozēšanas, eksperimentēšanas (ceļizmēģinājumu un laboratorijas), statistiskās un ekonomiskās novērtēšanas **pētījumu metodes**.

Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes:

- izstrādātais matemātiskais modelis dod iespēju prognozēt dīzeļmotoru ekspluatācijas parametrus, darbinot tos ar dažādām degvielām un pie dažādām apkārtējās vides temperatūrām;
- ar rapša eļļas degvielu (tīrā veidā vai maisījumos ar fosilo dīzeļdegvielu) spēkratus var ekspluatēt arī ziemā;
- spēkratu pielāgošana darbināšanai ar rapša eļļu, izmantojot vienas vai divu degvielas tvertņu sistēmas, ir būtiski nepieciešama spēkratu drošai ekspluatācijai ilgstošā laika periodā;
- izstrādātā braukšanas cikla izveides procedūra dod iespēju pēc jebkuru reālo ceļizmēģinājumu datu uzkrāšanas izveidot braukšanas ciklu un pievienot to jaudas stenda vadības sistēmas programmatūrai;
- izveidotais rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas modelis ļauj novērtēt rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomisko efektivitāti.

2. TEORĒTISKIE PĒTĪJUMI

Teorētisko pētījumu mērķis ir izstrādāt matemātisko modeli ar rapša eļļu un tās maisījumu degvielām ar fosilo dīzeļdegvielu darbināmu spēkratu galveno ekspluatācijas parametru noteikšanai, kā arī noskaidrot piemērotākās rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījumu proporcijas, ekspluatējot spēkratus dažādās apkārtējās vides temperatūrās, tai skaitā tādās, kas atbilst ziemas apstākļiem Latvijā.

2.1. Modelēšanas rīku izvēle

Pareiza modelēšanas un simulācijas programmatūras izvēle ir nozīmīgs posms sistēmu pētīšanā. Vienkāršākajos modelēšanas gadījumos var izmantot kādu no rīkiem, kas kā pievienojumprogrammas integrētas (piemēram, *Solver*) izklājlapu lietotnē. Var izmantot arī jaudīgas vispārēja lietojuma modelēšanas programmas, piemēram, *Powersim* vai *Simulink*, taču izstrādātas arī citas, kas speciāli izveidotas tieši tehnisku un loģistikas sistēmu modelēšanai. Izvēloties modelēšanas rīku, ir jāņem vērā arī tajā integrētās papildus iespējas, piemēram, datu apstrādei un prezentēšanai.

Plašs modelēšanas rīku pētījums ir veikts firmā „Lionheart Publishing” (Swain, 2005; Samuelson and Macal, 2006; Simulation Software Survey, 2012). Pavisam salīdzinātas vairāk nekā 60 modelēšanas programmas, izmantojot dažādus kritērijus – programmatūras tipiskās lietošanas jomas, datorsistēmas prasības, atbalstāmās operētājsistēmas, modeļa veidošanas īpatnības u.tml.

Lai izvēlētos piemērotākos modelēšanas rīkus, tika izvirzīti šādi kritēriji:

- modeļa veidošanas raksturojumi, piemēram, iespēja konstruēt modeli grafiski, izveidoto moduļu programmas koda pieejamība, izpildes laika lāgošanas (*run time debug*), izvades datu analīzes atbalsts u.c.;
- modelēšanas tipi – laikā nepārtrauktiem (*time continuous*) procesiem vai diskrētiem (*time discrete*) procesiem;
- iespēja importēt modelī citu programmu datnes;
- izstrādātā modeļa eksporta iespējas demonstrācijas vajadzībām;
- atbalsta, apmācības un konsultāciju pieejamība;
- cena un iespēja iegādāties akadēmiskās/pētnieciskās programmu versijas.

Visa salīdzinājumam nepieciešamā informācija iegūta no programmatūru ražotāju mājas lapām un demonstrācijas modeļiem, kas pieejami visiem aplūkotajiem rīkiem. Pēc izvirzītajiem kritērijiem izvēlētas 7 dažādas programmas, kas piemērotas tehnisko un loģistikas sistēmu modelēšanai:

- *AnyLogic* – satur primitīvu un bibliotēkas objektu komplektu, kas ļauj modelēt ražošanas, loģistikas un biznesa procesus, cilvēku un dabas resursus u.tml. Objektorientētas modeļa veidošanas atbalsts nodrošina lielu modulāru modeļu konstruēšanu (Simulation Software Tool – AnyLogic, S.a.);
- *Arena* – piemērota saliktu, plašu projektu veidošanā, ļoti jutīgi atspoguļojot izmaiņas apgādes ķēdēs, ražošanas procesos, loģistikas, sadales, noliktavu un pakalpojumu sistēmās (Arena Simulation Software..., S.a.);
- *Flexsim Simulation Software* – modelēšanas programmatūra, kas var tikt lietota, simulējot un vizualizējot jebkuru biznesa procesu, tajā skaitā ražošanu, loģistiku un pārvaldi (Flexsim Simulation Software, S.a.);
- *ProModel Optimization Suite* – laikā pārtrauktu (diskrētu) procesu simulācijas programmatūra, ko lieto, novērtējot vai plānojot uzglabāšanas, loģistikas un citas operatīvas un stratēģiskas situācijas (ProModel Home ..., S.a.);

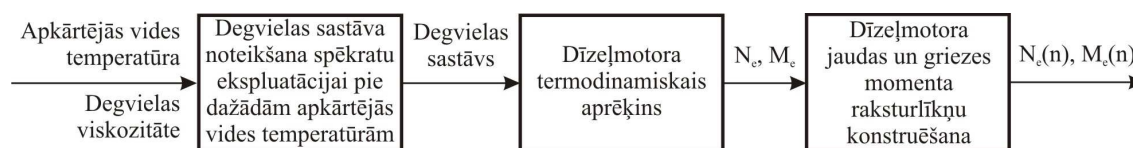
- *ExtendSim Suite* – izmantojama ražošanas, loģistikas, biznesa, valdības, izglītības un tehnisku sistēmu modelēšanā (Overview of ExtendSim, S.a.);
- *ServiceModel Optimization Suite* – finansiālo pakalpojumu, loģistikas, transportēšanas, pārtikas un viesnīcas pakalpojumu u.c. procesu modelēšanas programma (ServiceModel Home, S.a.);
- *Simul8* – ražošanas, apgādes ķēžu, loģistikas, finansiālo un izglītības procesu modelēšanas rīks (SIMUL8 Simulation Software ..., S.a.).

Lai gan visas septiņas programmas atbilst izvirzītajiem kritērijiem, atsevišķu īpašību realizācija tajās atšķiras. Modelēšanas rīku atšķirīgo iespēju apraksts apkopots 3. pielikumā.

Lai pieņemtu galīgo lēmumu, ņemta vērā arī katra modelēšanas rīka attīstība, piemēram, vai pēdējo gadu laikā tajā parādījušās kādas jaunas iespējas, kā arī programmatūras lietošanas (licences) noteikumi un cena. Balstoties uz šo analīzi, izvēlēti modelēšanas rīki *ExtendSim Suite* (spēkratu ekspluatācijas parametru modelēšanai) un *AnyLogic* (rapša eļļas loģistikas sistēmas modelēšanai). Abām programmām pieejamas fakultātes pētniecības licences (*research – department*), kas dod iespēju arī citiem fakultātes pētniekiem izmantot *AnyLogic* un *ExtendSim Suite* dažādu modeļu izveidei.

2.2. Modeļa vispārējs apraksts

Lai noteiktu ar dīzeļmotoriem darbināmu spēkratu ekspluatācijas parametrus, izmantojot rapša eļļu un tās maisījumdegvielas ar fosilo dīzeļdegvielu, modelī izveidoti 3 moduļi (sk. 2.1. att.).



2.1. att. Modeļa vispārējā blokskhēma

Pirmajā modulī nosaka, vai atkarībā no apkārtējās vides temperatūras spēkratus var ekspluatēt ar tīru rapša eļļu, vai arī jāveido tās maisījumi ar fosilo dīzeļdegvielu. Būtiskākie rapša eļļas izmantošanu limitējošie faktori pie zemām temperatūrām – degvielas viskozitāte, kā arī saduļķošanās, aukstā filtra nosprostošanas un sastingšanas temperatūras. Līdz šim analizētajos pētījumos šāds modulis nav izveidots.

Otrajā modulī kā ieejas parametrs kalpo degvielas sastāvs un īpašības. Dīzeļmotora termodinamiskajam aprēķinam izmantojami vairāki algoritmi, kas doti gan grāmatās un mācību līdzekļos, gan arī izmantoti vairākos promocijas darbos. Tā, piemēram, darbā „Fosilo un augu eļļu maisījumi dīzeļmotoriem, to izpēte un novērtējums” (Zihmane-Rītiņa, 2008) termodinamiskā aprēķina algoritms realizēts *Simulink* vidē, darbā „Biodīzeļdegvielas ietekme uz motora darba parametriem” (Šmigins, 2010) modelis izstrādāts, izmantojot *MS Excel* pievienojumprogrammu *Solver*, bet grafiskais attēlojums iegūts programmā *MathCad*. Dažādu iemeslu dēļ izstrādājamajā modelī tiešā veidā šis izstrādnes nevar izmantot, jo pārāk atšķirīgas ir izmantotās modelēšanas vides, modelētie motoru tipi, kā arī atsevišķu parametru noteikšanas algoritmi.

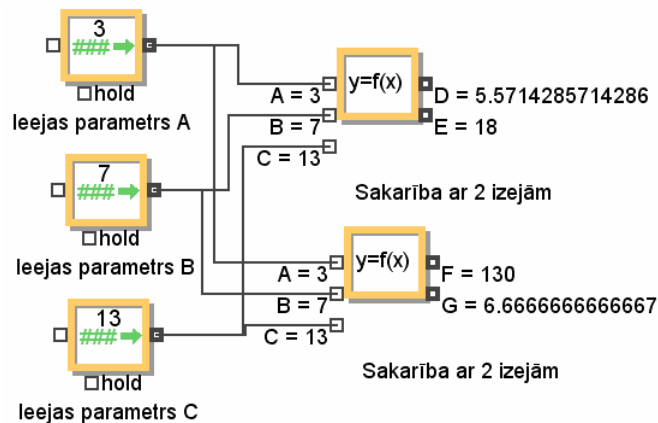
Trešā moduļa analogs atrodams promocijas darbā „Bioetanolā izmantošana ottomotoros” (Pīrs, 2011). Lai gan šeit modelēta benzīnmotora darbība, algoritms izmantojams arī dīzeļmotoriem, precizējot raksturlīkņu konstruēšanai izmantojamos

koeficientus. Tā kā šis modelis arī izveidots *ExtendSim* vidē, viegli veikt atsevišķu bloku pielāgošanu.

2.3. *ExtendSim* īpatnības modeļu veidošanā

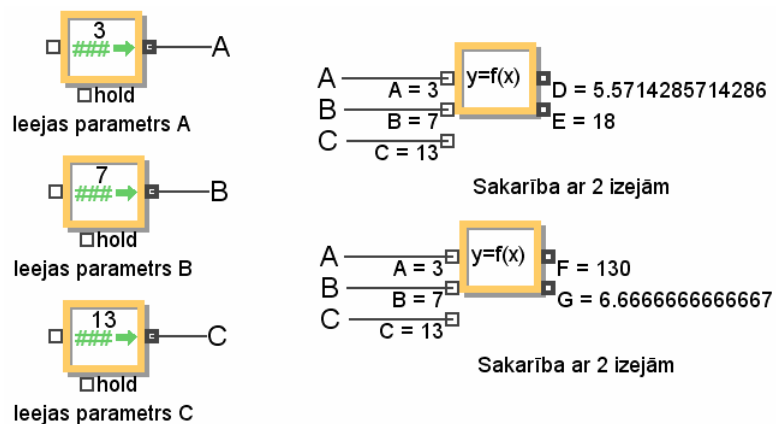
Veidojot sarežģītu procesu modeļus, tie parasti satur ļoti daudz bloku (*blocks*) un to savienojumu (*connections*). Tāpēc bieži šo savienojumu līnijas pārsedzas un modelis nav pārskatāms. Lai turpmākie modeļa bloku apraksti būtu labāk saprotami, ar vienkārša piemēra palīdzību paskaidrots, kā minētās problēmas novērsta *ExtendSim* programmā.

2.2. attēlā parādīts, kā parametru A, B un C bloki savienoti ar diviem funkcionālajiem blokiem (katrā no tiem tiek aprēķināti 2 parametri – attiecīgi D, E un F, G). Jau šāda neliela bloku skaita gadījumā modeļa savienojumu līnijas krustojas.



2.2. att. *ExtendSim* modeļa bloku „fiziskie” savienojumi

Viena no *ExtendSim* īpatnībām ir „vārdisko” savienojumu (*named connections*) veidošana. 2.3. attēlā izejas no blokiem A, B un C apzīmētas ar atbilstošiem nosaukumiem, kuros uzglabā mainīgo vērtības. Šos nosaukumus modelī dublē tik reizes, cik tajos esošās vērtības nepieciešams izmantot aprēķinos citos blokos. Dublikātus pievieno funkcionālo bloku ieejām. Tā kā šie nosaukumi modeļa ietvaros ir unikāli, tad visās modeļa vietās, kur nosaukums (piemēram, A) novietots, tajā esošā vērtība būs identiska.



2.3. att. *ExtendSim* modeļa bloku „vārdiskie” savienojumi

Kā trūkumu var minēt faktu, ka *ExtendSim* modeļa apzīmējumos nevar ievadīt simbolus, piemēram, α , β u.tml. Tāpēc modelī tie apzīmēti ar „Alfa”, „Beta” utt.

2.4. Degvielas sastāva noteikšana spēkratu ekspluatācijai pie dažādām apkārtējās vides temperatūrām

Lai nodrošinātu degvielas sūkņu darbību un degvielas plūsmu barošanas sistēmā, degvielas kinemātiskā viskozitāte nedrīkst pārsniegt $500 - 1000 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ (Fuel Oils – Viscosities, S.a.). Modelī kā kritiskā pieņemta šī intervāla zemākā vērtība, lai būtu neliela drošības rezerve spēkratu ekspluatācijai ziemā.

Lai noteiktu degvielas kinemātisko viskozitāti atkarībā no apkārtējās vides temperatūras, var izmantot sakarību (Azian et al., 2001):

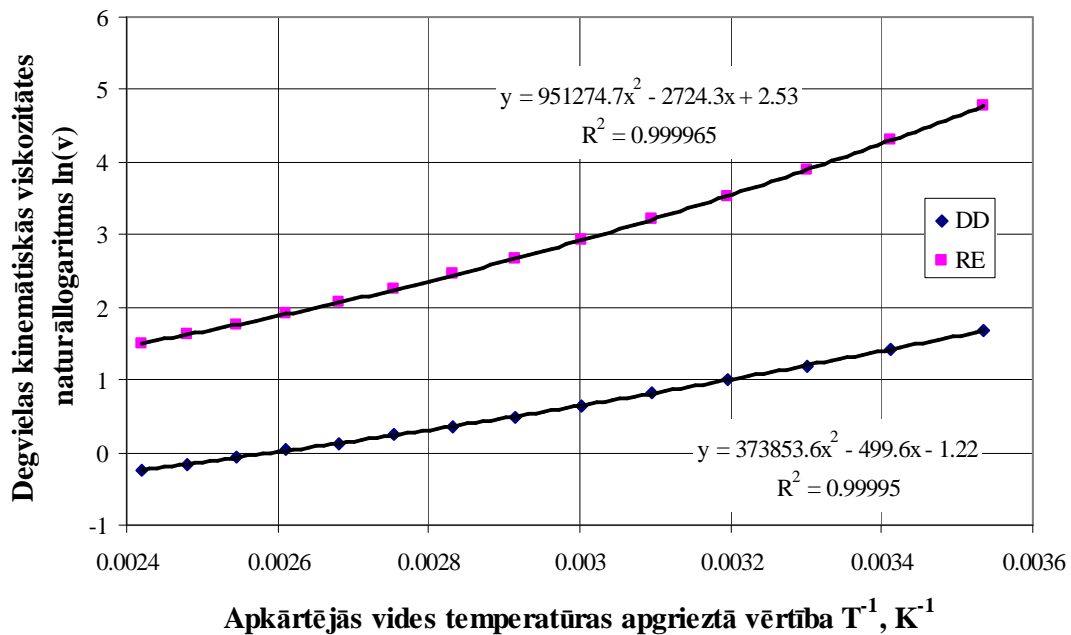
$$\ln(\nu) = A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2}, \quad (2.1)$$

kur ν – degvielas kinemātiskā viskozitāte, $\text{mm}^2 \text{ s}^{-1}$;

T – apkārtējās vides temperatūra, K;

A , B un C – koeficienti, kas atkarīgi no izmantojamās degvielas.

Koeficientu noteikšanai Spānijā veikti eksperimentālie pētījumi, kuros testēta fosilā dīzeļdegviela, rapša, saulespuķu, sojas pupiņu, palmu u.c. eļļas (Esteban et al., 2012). Koeficienti iegūti, izmantojot regresijas analīzi (sk. 2.4. att., kurā parādītas tikai dīzeļdegvielas un rapša eļļas līknes).



2.4. att. Degvielas kinemātiskās viskozitātes aprēķināšanai nepieciešamo koeficientu noteikšana

Pēc iegūtās sakarības aprēķinātās vērtības salīdzinātas arī ar citiem pētījumiem, piemēram, Vācijā noteikto rapša eļļas kinemātisko viskozitāti temperatūru diapazonā $260...325 \text{ K}$ ($-13...+52 \text{ }^\circ\text{C}$) (Kerschbaum and Rinke, 2004). Šī pētījuma eksperimentālās vērtības atbilst ar analītiskajām sakarībām iegūtajām, tāpēc modelī ievadītas sakarības:

$$\nu_i = e^{A_i + \frac{B_i}{(t+273)} + \frac{C_i}{(t+273)^2}}, \quad (2.2)$$

kur ν_i – i -tās degvielas kinemātiskā viskozitāte, $\text{mm}^2 \text{ s}^{-1}$;

t – apkārtējās vides temperatūra, $^\circ\text{C}$;

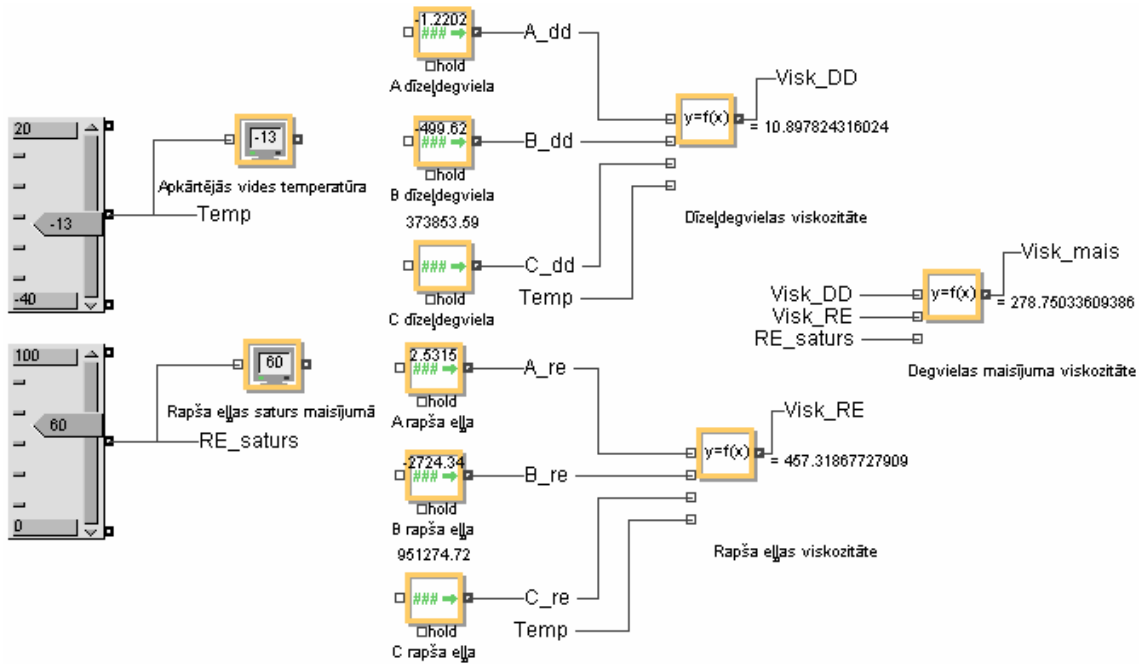
A_i , B_i un C_i – i -tās degvielas koeficienti.

Vidējo svērto degvielu maisījuma kinemātisko viskozitāti v_{mais} pie konkrētas temperatūras nosaka pēc sakarības (Zihmane-Rītiņa, 2008):

$$v_{mais} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (2.3)$$

kur m_i – maisījuma i -tās degvielas saturs degvielā, masas %.

Degvielas kinemātiskās viskozitātes aprēķināšanas bloki parādīti 2.5. attēlā.



2.5. att. Degvielas kinemātiskās viskozitātes aprēķināšanas bloki

Ja zināms degvielu maisījuma procentuālais sastāvs, oglekļa (C), ūdeņraža (H) un skābekļa (O) saturs degvielā masas daļās aprēķināms pēc sakarībām (Šmigins, 2010):

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (2.4)$$

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n H_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (2.5)$$

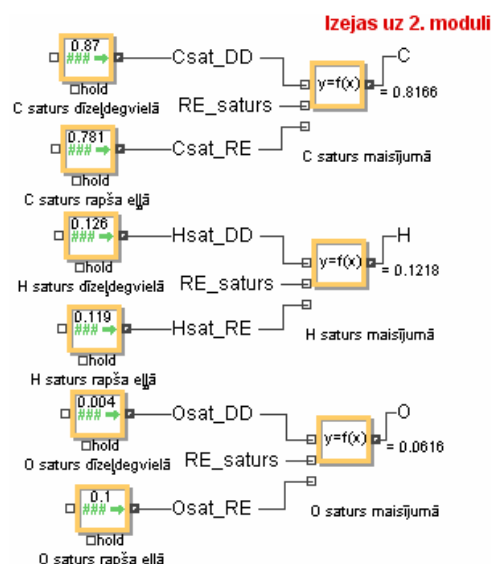
$$O = \frac{\sum_{i=1}^n O_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (2.6)$$

kur m_i – maisījuma i -tās degvielas saturs, masas %;

C_{sat-i} – oglekļa saturs i -tajā degvielā, masas daļas;

H_{sat-i} – ūdeņraža saturs i -tajā degvielā, masas daļas;

O_{sat-i} – skābekļa saturs i -tajā degvielā, masas daļas.



2.6. att. Degvielu maisījuma sastāva noteikšanas bloki

Aprēķinātās C , H un O vērtības tiek izvadītas uz modeļa otro moduli „Dīzeļmotora termodinamiskais aprēķins” (sk. 2.6. att.).

2.5. Dīzeļmotora termodinamiskais aprēķins

Dīzeļmotora termodinamiskais aprēķins balstīts uz klasiskajām sakarībām, kas dotas dažādos informācijas avotos (Heywood, 1988; Pulkrabek, 2003; Гаврилов и др., 2003; Internal Combustion Engine Handbook, 2004; Zihmane-Rītiņa, 2008; Колчин и Демидов, 2008; Луканин и Шатров, 2010; Šmigins, 2010; Xin, 2011).

Teorētisko gaisa daudzumu l_0 (kg) un L_0 (kmol), kas nepieciešams 1 kg degvielas sadedzināšanai, aprēķina pēc sakarībām:

$$l_0 = \frac{1}{0.23} \cdot \left(\frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot H - O \right), \quad (2.7)$$

$$L_0 = \frac{1}{0.208} \cdot \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right). \quad (2.8)$$

Degvielas zemāko siltumspēju Q_z (J kg^{-1}) nosaka pēc formulas:

$$Q_z = (33.91 \cdot C + 103.01 \cdot H - 10.89 \cdot O) \cdot 1000. \quad (2.9)$$

Svaigā pildījuma daudzumu M_1 (kmol) nosaka pēc formulas:

$$M_1 = \alpha \cdot L_0, \quad (2.10)$$

kur α – gaisa pāruma koeficients.

Šo sakarību atspoguļojums modeļa blokos parādīts 2.7. attēlā.

Spiedienu ieplūdes beigās p_a (MPa) modelī nosaka pēc sakarības (skat. 2.8. att.):

$$p_a = \xi_{iepl} \cdot \pi_k \cdot p_0, \quad (2.11)$$

kur ξ_{iepl} – ieplūdes sistēmas pretestības koeficients (dīzeļmotoriem bez turbopūtes $\xi_{iepl} = 0.82 \dots 0.97$, ar turbopūti $\xi_{iepl} = 0.90 \dots 0.98$);

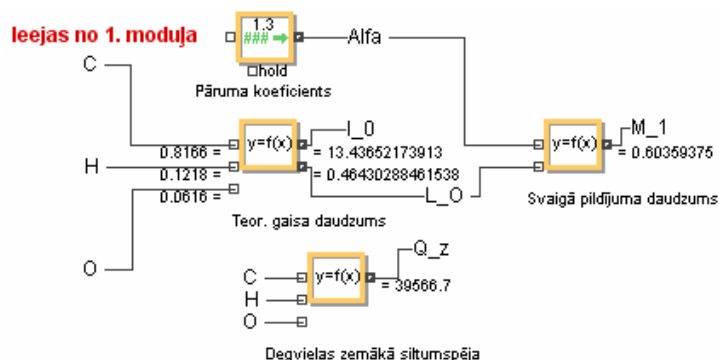
π_k – koeficients, kas ievērtē turbopūtes spiediena paaugstinājumu (dīzeļmotoriem ar zemu spiediena paaugstinājuma pakāpi $\pi_k \leq 1.7$, ar vidēju $1.7 < \pi_k \leq 2.5$, ar augstu $\pi_k > 2.5$);

p_0 – apkārtējās vides spiediens, MPa.

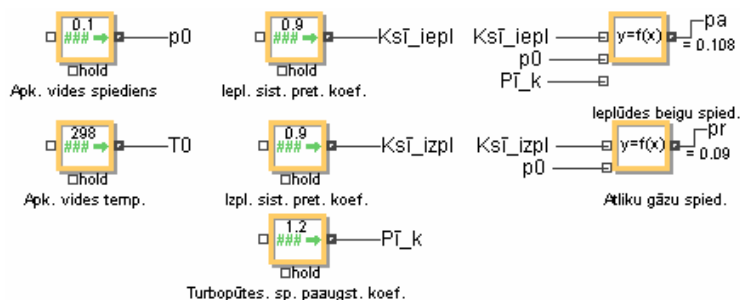
Atliku gāzu spiedienu p_r (MPa) aprēķina pēc formulas (skat. 2.8. att.):

$$p_r = \xi_{izpl} \cdot p_0, \quad (2.12)$$

kur ξ_{izpl} – izplūdes sistēmas pretestības koeficients (dīzeļmotoriem bez turbopūtes $\xi_{izpl} = 1.05 \dots 1.25$, ar turbopūti $\xi_{izpl} = 0.85 \dots 0.95$).



2.7. att. Degvielas siltumspējas un teorētiskā gaisa daudzuma degvielas sadedzināšanai noteikšanas bloki



2.8. att. Ieplūdes beigu un atliku gāzu spiediena noteikšanas bloki

Svaigā pildījuma temperatūra T_k (K) pirms nokļūšanas cilindrā dīzeļmotoros bez turbopūtes vienāda ar apkārtējās vides temperatūru T_0 (K). Dīzeļmotoros ar turbopūti to nosaka pēc sakarības:

$$T_k = T_0 \cdot \pi_k^{\frac{n_k-1}{n_k}} - \Delta T_{dzes}, \quad (2.13)$$

kur n_k – saspiešanas politropas rādītājs ($n_k = 1.4 \dots 2.0$);

ΔT_{dzes} – svaigā pildījuma temperatūras samazinājums starpdzesētājā.

Atliku gāzu koeficientu nosaka pēc formulas:

$$\gamma_r = \xi_{att} \frac{(T_k + \Delta T)}{\xi_{pap} \cdot T_r} \cdot \frac{p_r}{(\varepsilon \cdot p_a - \xi_{att} \cdot p_r)}, \quad (2.14)$$

kur ξ_{att} – atliku gāzu attīrīšanās koeficients (dīzeļmotoriem bez turbopūtes $\xi_{att} = 1$, ar turbopūti $\xi_{att} = 0.80 \dots 0.95$);

ΔT – svaigā pildījuma temperatūras pieaugums ieplūdes laikā (dīzeļmotoriem bez turbopūtes $\Delta T = 10 \dots 40$, ar turbopūti $\Delta T = 0 \dots 10$);

ξ_{pap} – koeficients, kas ievērtē svaigā pildījuma papildus pievadīšanu kompresijas takts beigās ($\xi_{pap} = 1.05 \dots 1.15$);

T_r – atliku gāzu temperatūra (dīzeļmotoriem bez un ar turbopūti $T_r = 600 \dots 900$ K);

ε – dīzeļmotora kompresijas pakāpe.

Darba maisījuma temperatūru T_a (K) ietilpdes beigās aprēķina pēc formulas:

$$T_a = \frac{T_k + \Delta T + \xi_{pap} \cdot \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r}. \quad (2.15)$$

Pildījuma koeficientu raksturo sakarība:

$$\eta_v = \xi_{pap} \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{\pi_k \cdot p_0} \cdot \frac{T_k}{T_k + \Delta T} \left(1 - \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a} \right). \quad (2.16)$$

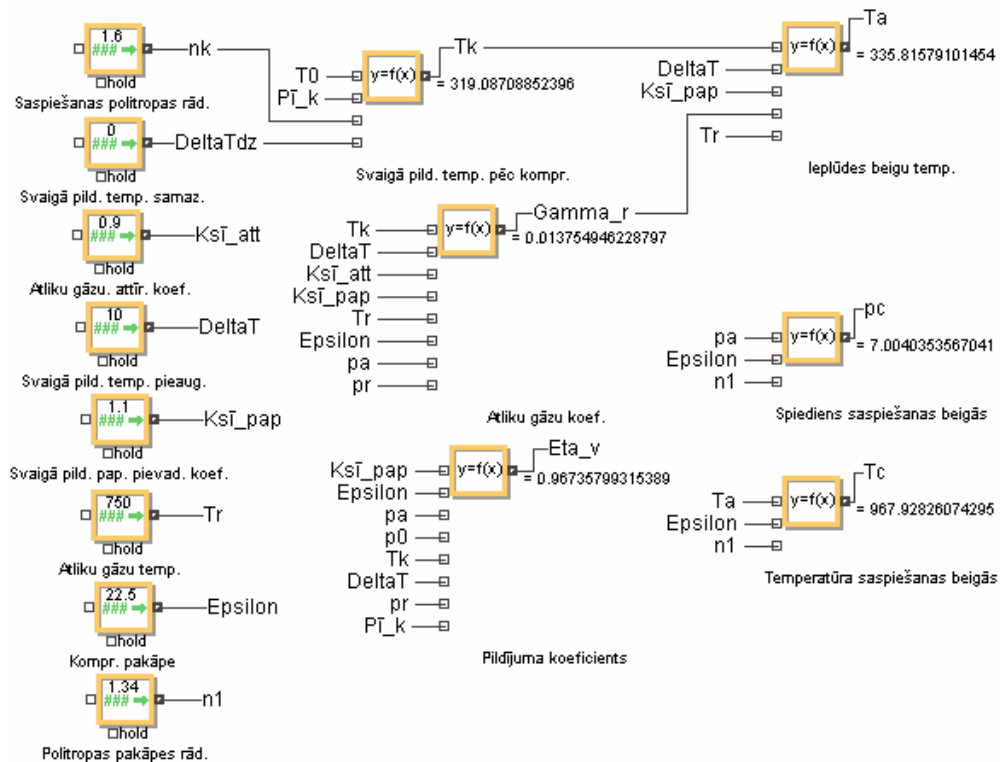
Spiedienu p_c (MPa) un temperatūru T_c (K) saspiešanas takts beigās aprēķina pēc formulām:

$$p_c = p_a \cdot \varepsilon^{n_1}, \quad (2.17)$$

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1 - 1}, \quad (2.18)$$

kur n_1 – politropas pakāpes rādītājs (dīzeļmotoriem bez turbopūtes $n_1 = 1.35 \dots 1.39$, ar turbopūti $n_1 = 1.32 \dots 1.37$).

Formulu (2.13 – 2.18) atspoguļojums modeļa blokos parādīts 2.9. attēlā.



2.9. att. Darba maisījuma un saspiešanas parametru noteikšanas bloki

Kopējo sadedzes produktu daudzumu M_2 (kmol) nosaka pēc sakarības:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}. \quad (2.19)$$

Oglekļa dioksīda daudzums:

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12}. \quad (2.20)$$

Ūdens tvaika daudzums:

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2}. \quad (2.21)$$

Atlikušā skābekļa daudzums:

$$M_{O_2} = 0.208 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0. \quad (2.22)$$

Slāpekļa daudzums:

$$M_{N_2} = 0.792 \cdot \alpha \cdot L_0. \quad (2.23)$$

Lai pārlicinātos par aprēķinu pareizību, noteiktas sadedzes produktu komponentu tilpuma daļas:

$$r_i = \frac{M_i}{M_2}. \quad (2.24)$$

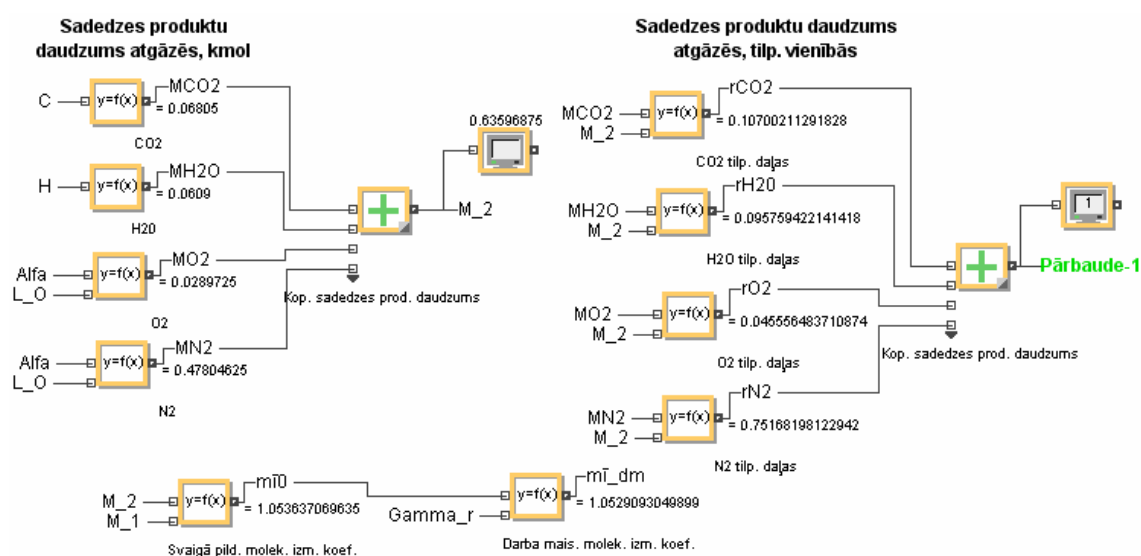
Pārbaudē nosaka, vai visu komponentu daudzums kopā ir 100%, t.i., $\sum r_i = 1$ (sk. 2.10. att.).

Molu maiņas koeficients degmaisījumam:

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1}. \quad (2.25)$$

Molu maiņas koeficients darba maisījumam:

$$\mu_{dm} = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r}. \quad (2.26)$$



2.10. att. Sadedzes produktu un molu maiņas parametru aprēķina bloki

Sadedzes produktu temperatūru T_z (K) procesa beigās nosaka, izmantojot siltuma bilances vienādojumu (Гаврилов и др., 2003):

$$\frac{\xi_z \cdot Q_z}{M_1 \cdot (1 + \gamma_r)} + \frac{(Q_{mol-g} + \gamma_r \cdot Q_{mol-l}) \cdot t_c}{1 + \gamma_r} + 8.315 \cdot \lambda \cdot T_c = \mu_{dm} \cdot (Q_{mol-2} \cdot t_z + 8.315 \cdot T_z), \quad (2.27)$$

kur ξ_z – siltuma izmantošanas koeficients (dīzeļmotoram ar tiešo iesmidzināšanu $\xi_z = 0.65 \dots 0.82$, ar priekškameru $\xi_z = 0.60 \dots 0.75$)

Q_{mol-g} – vidējā molārā gaisa siltumietilpība pie saspiešanas beigu temperatūras t_c , kJ (kmol K)⁻¹;

t_c – gaisa temperatūra saspiešanas takts beigās, °C:

$$t_c = T_c - 273; \quad (2.28)$$

Q_{mol-1} – vidējā molārā atliku gāzu siltumietilpība pie saspiešanas beigu temperatūras t_c , kJ (kmol K)⁻¹;

λ – spiediena palielinājuma pakāpe degšanas procesā:

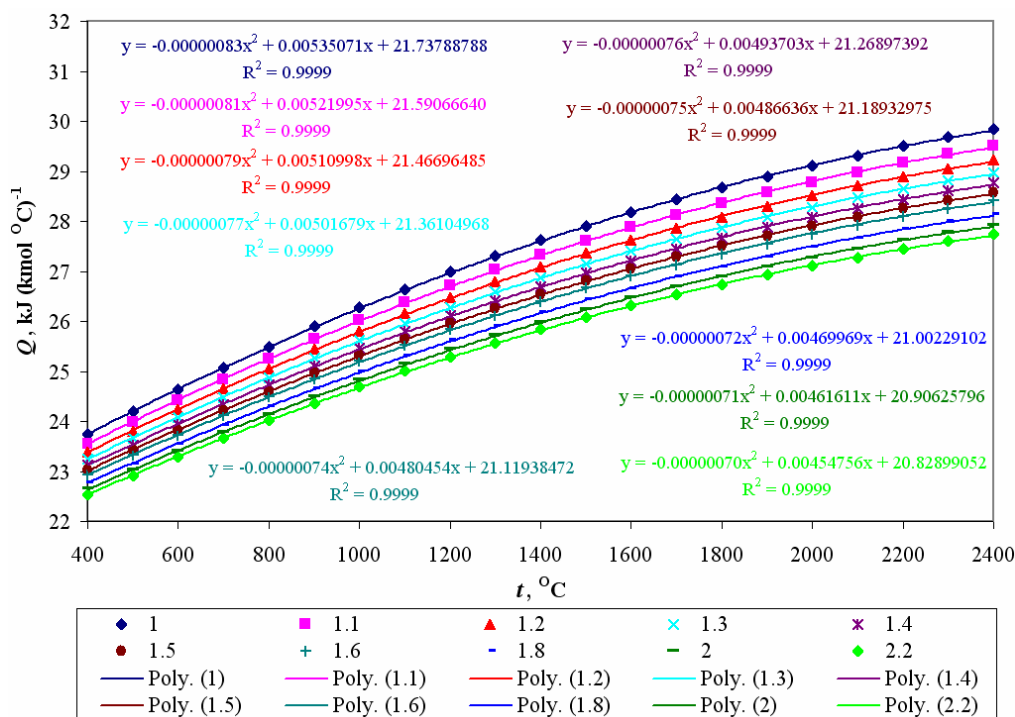
$$\lambda = \frac{p_z}{p_c}; \quad (2.29)$$

p_z – maksimālais spiediens degšanas procesā (dīzeļmotoram ar tiešo iesmidzināšanu $p_z = 7.0 \dots 12.0$ MPa, ar priekškameru $p_z = 5.5 \dots 10$ MPa);

Q_{mol-2} – vidējā molārā atliku gāzu siltumietilpība pie sadegšanas beigu temperatūras t_z (°C), kJ (kmol K)⁻¹.

Atliku gāzu molārās siltumietilpības noteikšana vairākos darbos (Гаврилов и др., 2003; Колчин и Демидов, 2008; Šmigins, 2010) pamatojas uz interpolācijas metodes izmantošanu pēc empīrisku datu nolasīšanas no tabulas. Tas nenodrošina nepārtrauktu modelēšanas procesu, jo noteiktos modeļa soļos vairāki parametri jāievada manuāli. Tāpēc minēto parametru iegūšanai veidojamajā modelī izveidotas analītiskas sakarības.

Atliku gāzu molārās siltumietilpības noteikšanas tabula, atkarībā no temperatūras un gaisa pāruma koeficienta, dota 4. pielikumā. Analītisko sakarību iegūšanai izmantots tabulas apgabals: $t = 400 \dots 2400$ °C, $\alpha = 1.0 \dots 2.2$, kurā parasti iekļaujas nosakāmie parametri. Atliku gāzu temperatūras un molārās siltumietilpības korelācijas diagrammas ar regresijas vienādojumiem un determinācijas koeficientiem pie dažādiem pāruma koeficientiem parādītas 2.11. attēlā.



2.11. att. Atliku gāzu temperatūras un molārās siltumietilpības korelācijas diagrammas

Izveidojot 4. pielikumā dotajai tabulai analogisku, bet, izmantojot 2.11. attēla regresijas vienādojumus, kļūda nevienā no datu punktiem nepārsniedz 0.2%. Tomēr tiešā veidā šīs sakarības modelī ievadīt nav lietderīgi, jo tad jāizmanto loģiskie operatori, kas atkarībā no pāruma koeficienta piemeklē atbilstošo formulu. Bez tam netiktu nodrošināti korekti aprēķini pie pāruma koeficientu starpvērtībām, piemēram, 1.23, 1.56 u.tml.

Tāpēc veikta vēl viena regresijas analīze ar mērķi noskaidrot, vai pastāv sakarība atliku gāzu molārās siltumietilpības samazinājumam, palielinoties gaisa pāruma koeficientam.

Pie katras gaisa pāruma koeficienta vērtības α veikti aprēķini pēc sakarības:

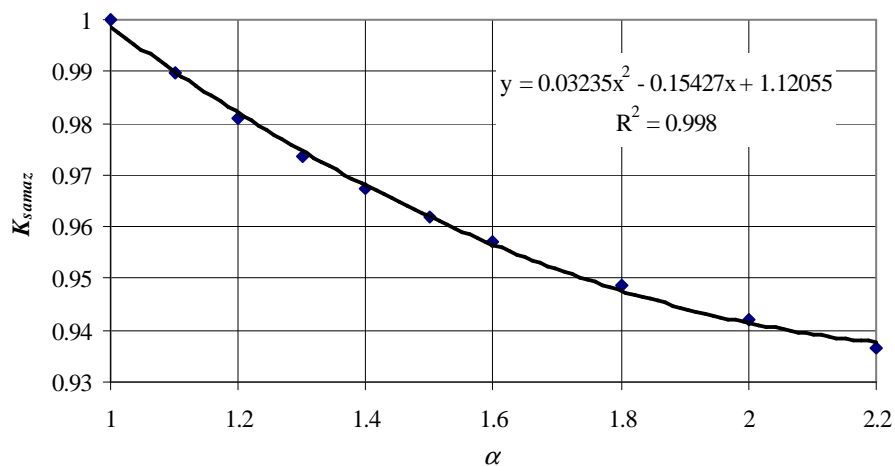
$$K_{samaz} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{Q_1}}{n}, \quad (2.30)$$

kur Q_1 – atliku gāzu molārā siltumietilpība pie konstantas temperatūras un gaisa pāruma koeficienta 1, kJ (kmol K)⁻¹;

Q_i – atliku gāzu molārā siltumietilpība pie tās pašas temperatūras un gaisa pāruma koeficienta α , kJ (kmol K)⁻¹;

n – dažādo konstanto temperatūru skaits, kurās tika veikti aprēķini ($n = 21$, $t = 400 \dots 2400$ °C, solis 100 °C).

Atliku gāzu molārās siltumietilpības samazinājuma un gaisa pāruma koeficienta korelācijas diagramma dota 2.12. attēlā.



2.12. att. **Atliku gāzu molārās siltumietilpības samazinājuma un gaisa pāruma koeficienta korelācijas diagramma**

Modelī ievadāmā sakarība izveidota, izmantojot atliku gāzu temperatūras un molārās siltumietilpības korelācijas diagrammas regresijas vienādojumu pie gaisa pāruma koeficienta $\alpha = 1$, reizinot to ar atliku gāzu molārās siltumietilpības samazinājuma un gaisa pāruma koeficienta korelācijas diagrammas regresijas vienādojumu:

$$Q_{mol-t} = (A \cdot t^2 + B \cdot t + C) \cdot (D \cdot \alpha^2 + E \cdot \alpha + F), \quad (2.31)$$

kur Q_{mol-t} – atliku gāzu molārā siltumietilpība pie temperatūras t un gaisa pāruma koeficienta α , kJ (kmol K)⁻¹;

A, B, C, D, E un F – no regresijas vienādojumiem iegūtie koeficienti.

Tabula, ko izveido, izmantojot sakarību (2.31) temperatūras un gaisa pāruma koeficienta intervālā $t = 400 \dots 2400$ °C, $\alpha = 1.0 \dots 2.2$, atbilst 4. pielikumā dotajai tabulai ar ticamību 99%.

Tā kā analītiskā sakarība iegūta no tabulas, kas atbilst tikai fosilās dīzeļdegvielas izmantošanai, modelī ieviesti divi korekcijas koeficienti K_1 un K_2 , kas ievērtē modelī izmantoto degvielu zemākās siltumspējas un molmasas izmaiņas, salīdzinot ar dīzeļdegvielu.

Koeficientu K_1 nosaka pēc sakarības:

$$K_1 = \frac{Q_{z-mod}}{Q_{z-DD}}, \quad (2.32)$$

kur Q_{z-DD} – dīzeļdegvielas zemākā siltumspēja, J kg⁻¹;
 Q_{z-mod} – modelī izmantotās degvielas zemākā siltumspēja, J kg⁻¹.

Koeficientu K_1 aprēķina pēc formulas (Zihmane-Rītiņa, 2008):

$$K_2 = \frac{\sum_{i=1}^n m_{n-mod} \cdot v_{n-mod}}{\sum_{i=1}^n m_{n-DD} \cdot v_{n-DD}}, \quad (2.33)$$

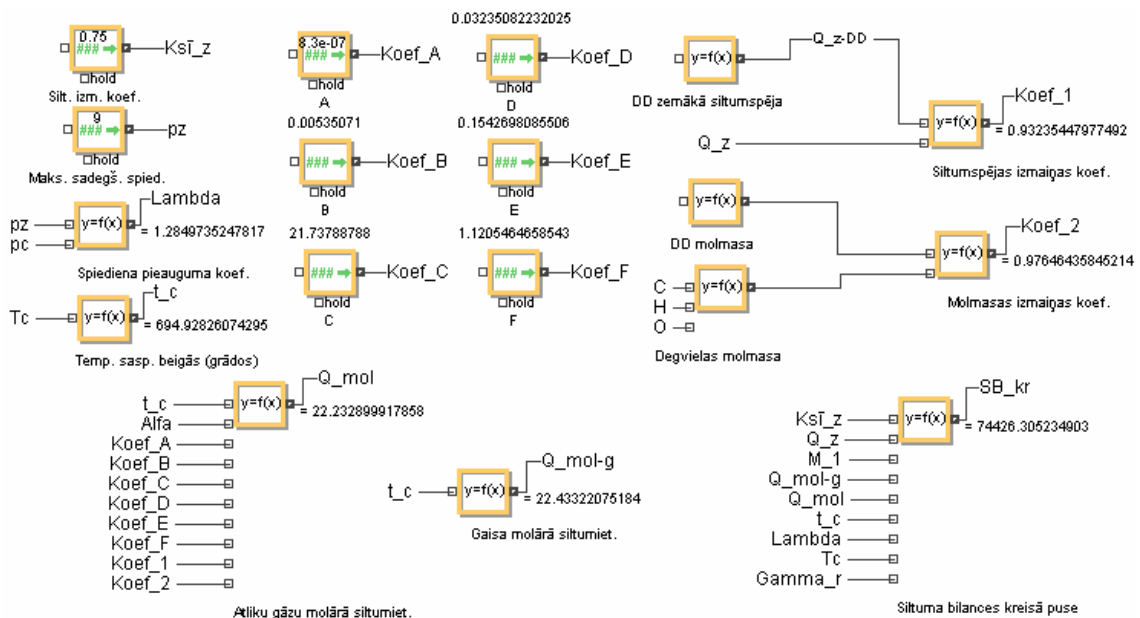
kur m_{n-DD} un m_{n-mod} – dīzeļdegvielas un modelī izmantotās degvielas n -tās komponentes molmasa, kg mol⁻¹;
 v_{n-DD} un v_{n-mod} – dīzeļdegvielas un modelī izmantotās degvielas n -tās komponentes procentuālā masas vienība.

Vidējo molāro gaisa siltumietilpību pie saspiešanas beigu temperatūras aprēķina pēc sakarības (2.34), ja temperatūra ir no 0 līdz 1500 °C, vai (2.35), ja temperatūra ir virs 1500 °C (Гаврилов и др., 2003; Колчин и Демидов, 2008):

$$Q_{mol-g} = 20.6 + 0.002638 \cdot t, \quad (2.34)$$

$$Q_{mol-g} = 22.387 + 0.001449 \cdot t. \quad (2.35)$$

Tādējādi nosakāmi visi lielumi, kas nepieciešami, lai atrisinātu siltuma bilances vienādojuma (2.27) kreiso pusi (sk. 2.13. att.):



2.13. att. Siltuma bilances vienādojuma kreisās puses atrisināšanas bloki

Modelī siltuma bilances vienādojuma kreisajai pusei piešķir nosacītu apzīmējumu SB_{kr} , sadedzes produktu temperatūru T_z (K) procesa beigās aizstāj ar $t_z + 273$, bet vidējās molārās atliku gāzu siltumietilpības vietā ievieto analītisko sakarību (2.31) un korekcijas koeficientus:

$$SB_{kr} = \mu_{dm} \cdot (K_1 \cdot K_2 \cdot (A \cdot t_z^2 + B \cdot t_z + C) \cdot (D \cdot \alpha^2 + E \cdot \alpha + F) \cdot t_z + 8.315 \cdot (t_z + 273)) \quad (2.36)$$

Pārveidojot sakarību, iegūst:

$$K_1 \cdot K_2 \cdot (A \cdot t_z^2 + B \cdot t_z + C) \cdot (D \cdot \alpha^2 + E \cdot \alpha + F) \cdot t_z + 8.315 \cdot t_z = \frac{SB_{kr}}{\mu_{dm}} - 2269.995. \quad (2.37)$$

Ievieš papildus apzīmējumus SB_{l-1} un SB_{l-2} un tiem atbilstošus blokus:

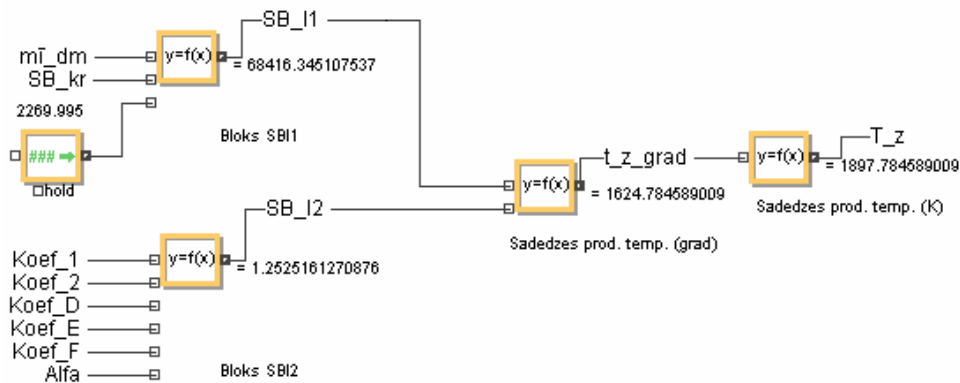
$$SB_{l-1} = \frac{SB_{kr}}{\mu_{dm}} - 2269.995. \quad (2.38)$$

$$SB_{l-2} = K_1 \cdot K_2 \cdot (D \cdot \alpha^2 + E \cdot \alpha + F). \quad (2.39)$$

Pēc pārveidošanas siltuma bilances vienādojums izteikts kā trešās pakāpes polinoms:

$$SB_{l-1} \cdot A \cdot t_z^3 + SB_{l-1} \cdot B \cdot t_z^2 + (SB_{l-1} \cdot C + 8.315) \cdot t_z - SB_{l-2} = 0. \quad (2.40)$$

Lai noteiktu t_z , modelī ievietots funkcionālais bloks, kurā izmantota *ExtendSim* iebūvētā funkcija *Root*, kas aprēķina n -tās pakāpes polinoma saknes (sk. 2.14. att.).



2.14. att. Sadedzes produktu beigu temperatūras noteikšanas bloki

Iepriekšējās izpletes pakāpi ρ nosaka pēc sakarības:

$$\rho = \frac{\mu_d \cdot T_z}{\lambda \cdot T_c}. \quad (2.41)$$

Spiedienu p_b (MPa) un temperatūru T_b (K) izpletes beigās aprēķina pēc formulām:

$$p_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}}, \quad (2.42)$$

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}}, \quad (2.43)$$

kur δ – turpmākās izpletes pakāpe:

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho}; \quad (2.44)$$

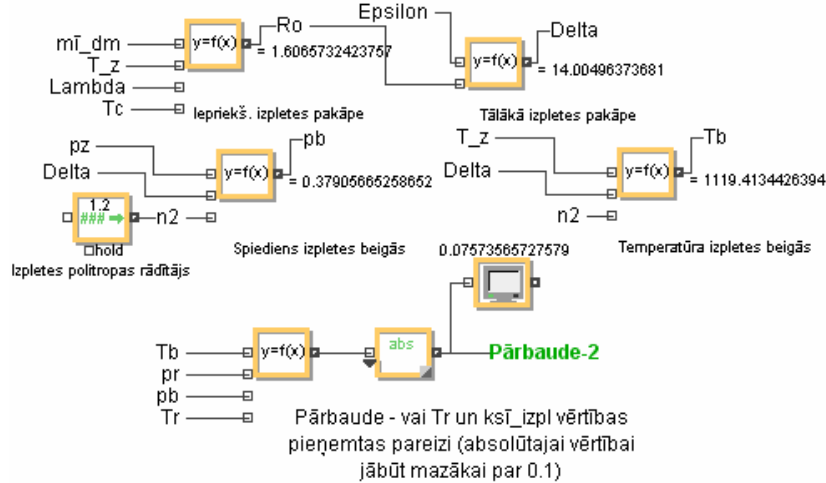
n_2 – izpletes politropas rādītājs (dīzeļmotoriem $n_2 = 1.15 \dots 1.30$).

Pēc izpletes procesu parametru noteikšanas ieteicams pārbaudīt, vai pareizi pieņemtas atliku gāzu temperatūras T_r un ieplūdes sistēmas pretestības koeficienta ξ_{iept} vērtības (Гаврилов и др., 2003; Šmigins, 2010).

Pārbaudei izmanto sakarību:

$$\left| \frac{T_b \cdot \sqrt[3]{\frac{p_r}{p_b}} - T_r}{T_r} \right| \leq 0.1. \quad (2.45)$$

Ja sakarības prasības netiek izpildītas, koriģē pieņemtās T_r un ξ_{iept} vērtības. Izpletes procesa parametru noteikšanas bloki doti 2.15. attēlā.



2.15. att. Izpletes procesa parametru noteikšanas bloki

Teorētisko vidējo indicēto spiedienu p_{iT} (MPa) nosaka pēc sakarības (Гаврилов и др., 2003):

$$p_{iT} = \frac{p_a \cdot \varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \left[\lambda \cdot (\rho - 1) + \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right]. \quad (2.46)$$

Vidējo patieso indicēto spiedienu p_{iP} (MPa) aprēķina pēc formulas:

$$p_{iP} = p_{iT} \cdot \varphi_i, \quad (2.47)$$

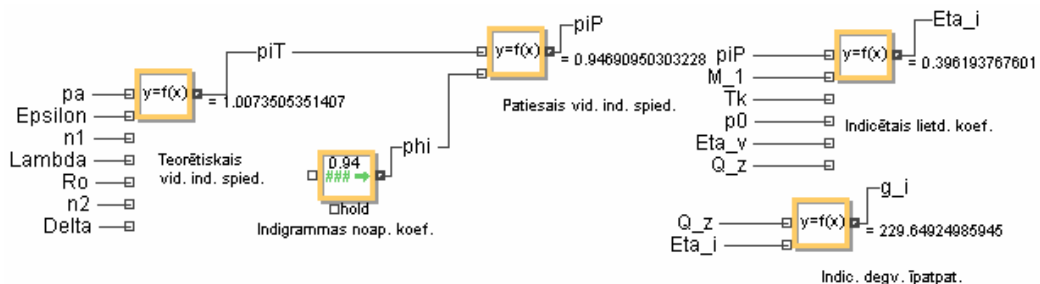
kur φ_i – indikatordiagrammas pilnības (noapaļojuma) koeficients (dīzeļmotoriem 0.92...0.95).

Indicētais lietderības koeficients nosakāms pēc sakarības:

$$\eta_i = \frac{8.315 \cdot p_{iP} \cdot M_1 \cdot T_K}{p_k \cdot \eta_v \cdot Q_z}. \quad (2.48)$$

Indicēto degvielas īpatpatēriņu g_i (g kWh^{-1}) aprēķina pēc formulas:

$$g_i = \frac{3600}{Q_z \cdot \eta_i}. \quad (2.49)$$



2.16. att. Motora indicēto parametru noteikšanas bloki

Vidējo mehānisko zudumu spiedienu p_m (MPa) aprēķina pēc sakarības:

$$p_m = p_{iP} \cdot (1 - \eta_m), \quad (2.50)$$

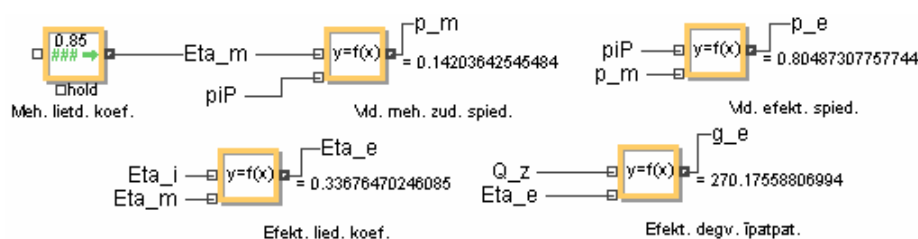
kur η_m – mehānisko zudumu lietderības koeficients (dīzeļmotoram bez turbopūtes $\eta_m = 0.70 \dots 0.82$, ar turbopūti $\eta_m = 0.80 \dots 0.92$).

Vidējo efektīvo spiedienu p_e (MPa), efektīvo lietderības koeficientu η_e un efektīvo degvielas patēriņu g_e (g kWh⁻¹) nosaka pēc formulām:

$$p_e = p_{iP} - p_m, \quad (2.51)$$

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m, \quad (2.52)$$

$$g_e = \frac{3600}{Q_z \cdot \eta_e}. \quad (2.53)$$



2.17. att. **Motora efektīvo parametru noteikšanas bloki**

Motora maksimālo efektīvo jaudu $N_{e\max}$ (kW) nosaka pēc sakarības:

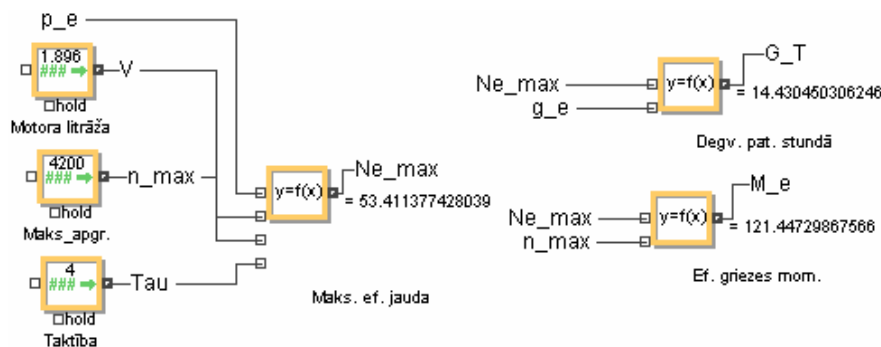
$$N_{e\max} = \frac{p_e \cdot V \cdot n_{\max}}{30 \cdot \tau}, \quad (2.54)$$

kur V – motora darba tilpums jeb litrāža, l;
 n_{\max} – motora kloķvārpstas rotācijas frekvence, pie kuras pēc spēkratu ražotāja datiem tiek sasniegta maksimālā jauda, min⁻¹;
 τ – motora taktība.

Degvielas patēriņš stundā G_T (kg h⁻¹) un griezes moments M_e (N m) pie motora kloķvārpstas rotācijas frekvences n_{\max} nosakāmi pēc sakarībām:

$$G_T = \frac{N_{e\max} \cdot g_e}{1000}, \quad (2.55)$$

$$M_e = \frac{9550 \cdot N_{e\max}}{n_{\max}}. \quad (2.56)$$



2.18. att. **Motoras jaudas, degvielas patēriņa un griezes momenta noteikšanas bloki**

2.6. Dīzeļmotora jaudas un griezes momenta raksturlīkņu konstruēšana

Zinot maksimālo motora efektīvo jaudu $N_{e\max}$ un motora kloķvārpstas rotācijas frekvenci n_{\max} , pie kuras šī jauda tiek attīstīta, var noteikt motora jaudas līknes aptuveno formu pēc empīriskas sakarības (Pommers un Liberts, 1985; Berjoza, 2008):

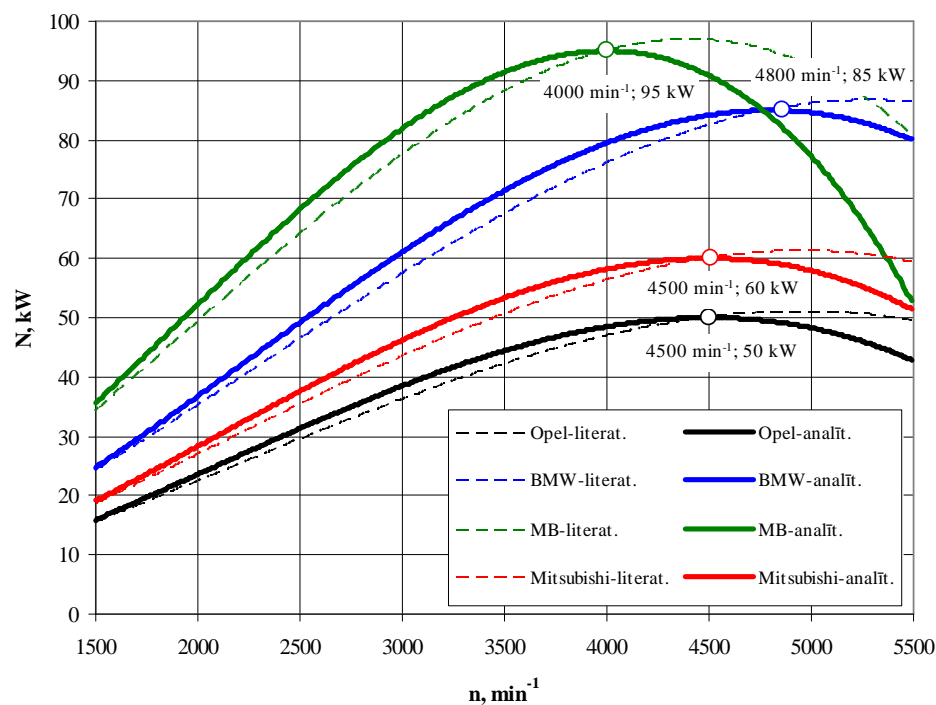
$$N_e = N_{e\max} \cdot \left[X \cdot \frac{n_e}{n_{\max}} + Y \cdot \left(\frac{n_e}{n_{\max}} \right)^2 - Z \cdot \left(\frac{n_e}{n_{\max}} \right)^3 \right], \quad (2.57)$$

kur N_e – motora efektīvā jauda pie kloķvārpstas rotācijas frekvences n_e , kW;
 n_e – motora kloķvārpstas rotācijas frekvence nosakāmajam punktam, min^{-1} ;
 X, Y, Z – motora tipu raksturojoši empīriskie koeficienti ($X + Y - Z = 1$).

Empīrisko koeficientu vērtības dīzeļmotoriem pēc literatūras datiem: $X = 0.53$, $Y = 1.56$ un $Z = 1.09$. Tomēr ar šādiem koeficientiem iegūtās jaudas līknes raksturs var būtiski atšķirties no faktiskās atkarībā no motora konstrukcijas, piemēram, ar turbopūti vai bez tās, ar tiešo degvielas iesmidzināšanu vai ar priekškameru u.tml. Tāpēc nepieciešama koeficientu X, Y un Z korekcija.

Analizējot esošos pētījumus šajā jomā var secināt, ka analītiska koeficientu aprēķināšana ir ļoti sarežģīta, jo jāatrisina divu vienādojumu sistēma, kurā ir 3 nezināmie. Tāpēc viena no metodēm ir koeficientu piemeklēšana ar pakāpenisko tuvinājumu metodi, veicot iepriekš zināmu jaudas līkņu izpēti (Aboltins, Berjoza and Pirs, 2010). Tā kā LLU TF Spēkratu institūta Alternatīvo degvielu zinātniskajā laboratorijā uz jaudas stenda *Mustang MD-1750* noteikti daudz dažādu spēkratu dinamiskie parametri, tad šī metode izmantota koeficientu X, Y un Z korekcijai.

Ņemot vērā, ka eksperimentālajos pētījumos darbināšanai ar augu eļļu paredzēts pielāgot automobili ar netiešo iesmidzināšanu un turbopūti, tad analīzei izvēlēti spēkrati ar līdzīgiem parametriem, bet dažādiem darba tilpumiem – *Opel Astra-G 1.7TD* (2000 g.), *Mitsubishi Space Wagon 2.0D Turbo* (1999. g.), *BMW 525 TD* (2003. g.), *Mercedes Benz E290D Turbo* (1998. g.).



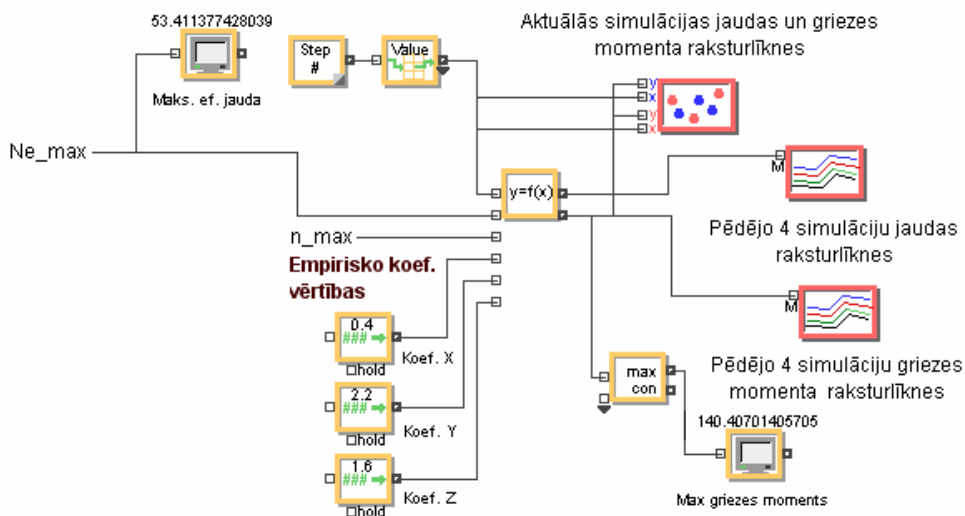
2.19. att. Teorētiskās jaudas raksturlīknes

2.19. attēlā ar nepārtrauktu līniju parādītas četru automobiļu motoru jaudas raksturlīknes, kas iegūtas ar pakāpenisko tuvinājumu metodi. Šo līkņu empīriskie koeficienti: $X = 0.4$, $Y = 2.2$ un $Z = 1.6$. Līknes ne tikai precīzi apraksta uz jaudas stenda iegūto līkņu raksturu, bet to pārliekuma punkti, atšķirībā no ar pārtrauktām līnijām attēlotajām, kuru konstruēšanai izmantoti koeficienti $X = 0.53$, $Y = 1.56$ un $Z = 1.09$, atrodas atbilstoši spēkratu ražotāju specifikācijām, t.i., 50 kW pie 4500 min^{-1} Opel, 60 kW pie 4500 min^{-1} Mitsubishi, 95 kW pie 4000 min^{-1} Mercedes Benz un 85 kW pie 4800 min^{-1} BMW. Tāpēc šie jauniegūtie koeficienti ievadīti modeļa blokos.

Zinot maksimālās jaudas vērtības visā motora kloķvārpstas rotācijas frekvenču diapazonā, var aprēķināt arī griezes momentu pie jebkuras n vērtības:

$$M_e = 9549 \cdot \frac{N_e}{n} . \quad (2.58)$$

Jaudas un griezes momenta raksturlīkņu konstruēšanas bloki parādīti 2.20. attēlā.



2.20. att. Jaudas un griezes momenta raksturlīkņu konstruēšanas bloki

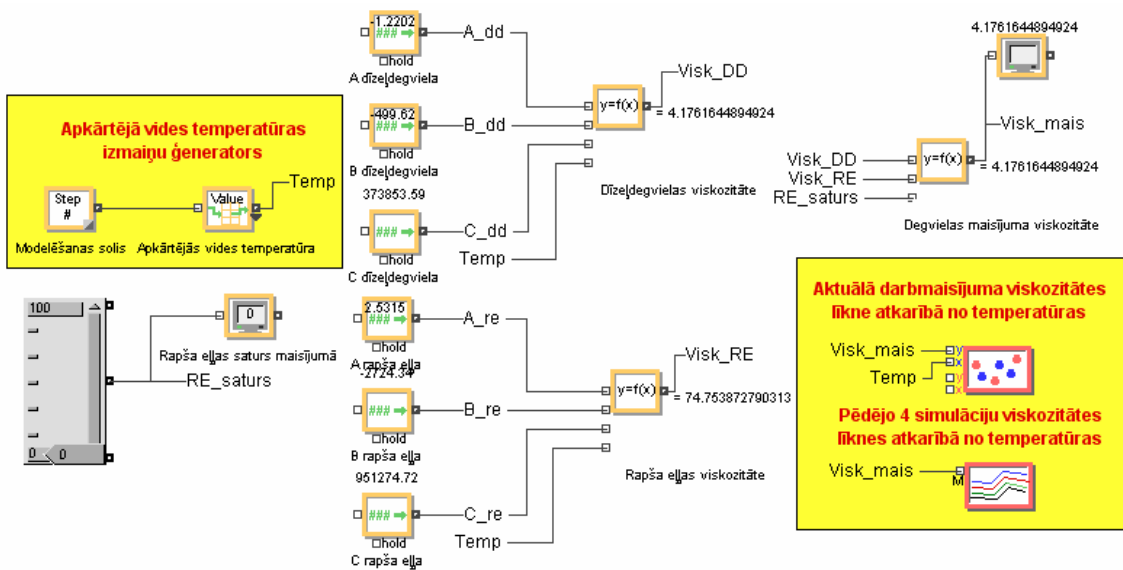
Lai varētu salīdzināt dažādus modelēšanas scenārijus, modelī ievietoti divi *MultiSim Plotter* bloki, kas dod iespēju grafiski aplūkot pēdējo četru simulāciju jaudas un griezes momentu līknes. Tā kā maksimālais griezes moments tiek sasniegts pie atšķirīgiem apgriezieniem nekā maksimālā jauda, modelī ievietots bloks, kas maksimālo griezes momenta vērtību izvada, pārbaudot pēc sakarības (2.58) iegūtos rezultātus visā motora kloķvārpstas rotācijas frekvenču diapazonā.

2.7. Modeļpētījumi

Pirmajā modeļpētījumu solī noteikts maksimāli pieļaujama rapša eļļas procentuālais saturs darbmāisījumā pie dažādām apkārtējās vides temperatūrām ar noteikumu, lai degvielas kinemātiskā viskozitāte nepārsniegtu $500 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$.

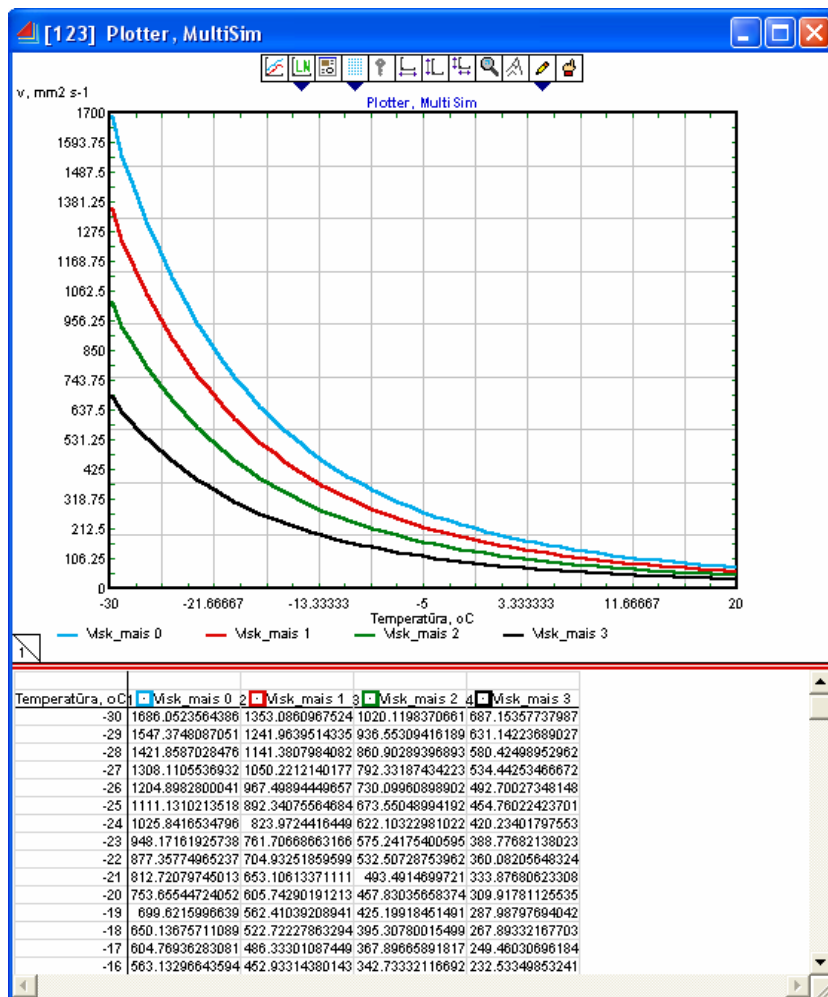
Lai atvieglotu simulāciju, modeļa pirmajā modulī veiktas vairākas izmaiņas (sk. 2.21. att.):

- bīdnis apkārtējās vides temperatūras maiņai (sk. 2.5. att.) aizstāts ar skaitļu ģeneratoru, kas temperatūru maina robežās no $-30 \dots +20 \text{ }^\circ\text{C}$ ar soli $1 \text{ }^\circ\text{C}$;
- pievienots bloks aktuālā darbmāisījuma viskozitātes līknes konstruēšanai atkarībā no apkārtējās vides temperatūras;
- pievienots *MultiSim Plotter* bloks, kas dod iespēju grafiski aplūkot pēdējo četru simulāciju viskozitātes līknes.



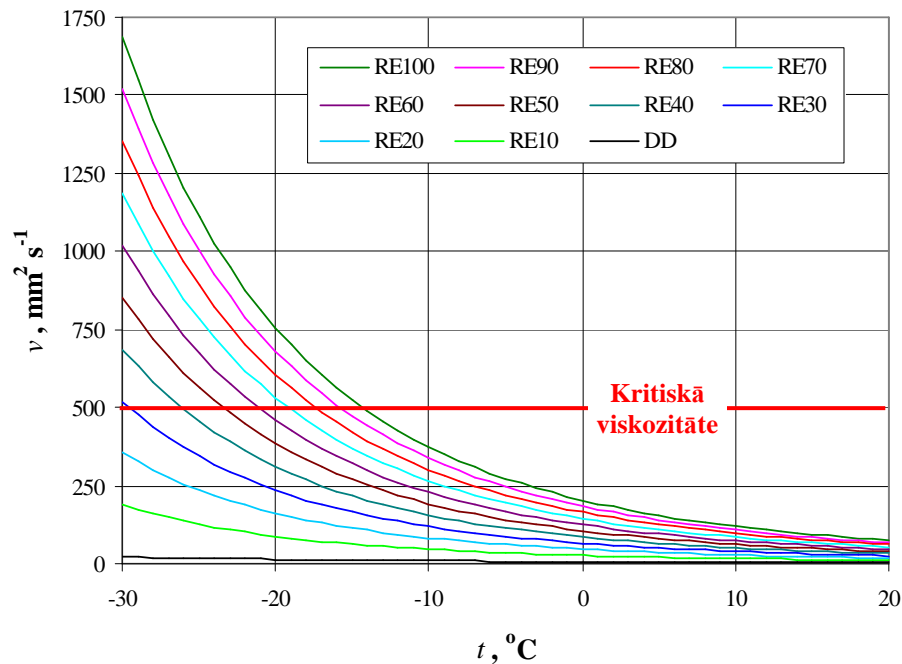
2.21. att. Modeļa pielāgošana maksimāli pieļaujamā rapša eļļas procentuālā saturā noteikšanai darbmaisījumā

2.22. attēlā parādīts *MultiSim Plotter* dialoga loga piemērs četrām simulācijām ar dažādu rapša eļļas procentuālo saturu (100, 80, 60 un 40%) darbmaisījumā.



2.22. att. Simulāciju piemērs darbmaisījuma viskozitātes noteikšanai atkarībā no apkārtējās vides temperatūras

Visu simulāciju apkopojums parādīts 2.23. attēlā.

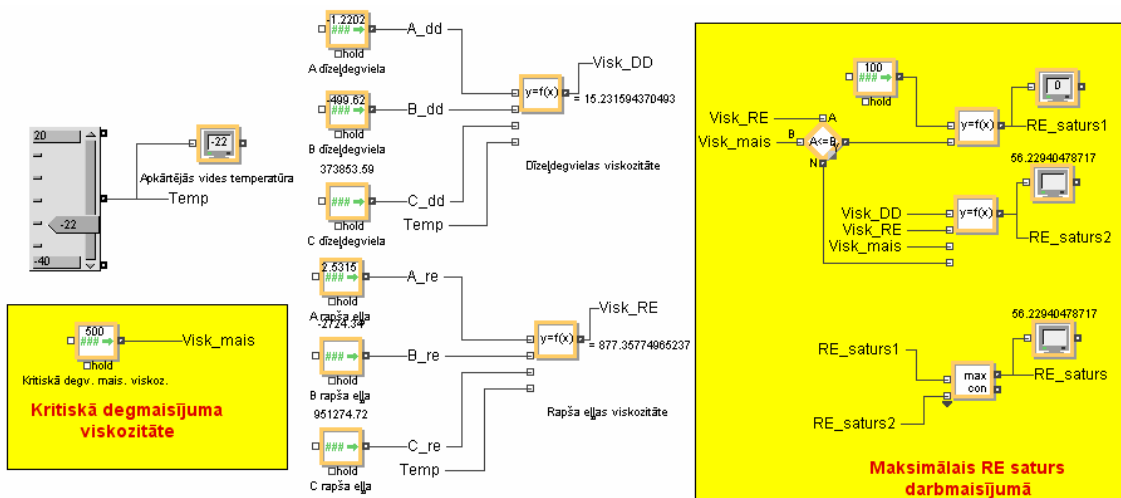


2.23. att. Darbmaisījuma viskozitāte atkarībā no apkārtējās vides temperatūras

Datu analīzē noskaidrots, ka, lai nodrošinātu degvielas sūkņu darbību un degvielas plūsmu barošanas sistēmā, ar tīru rapša eļļu spēkratus var ekspluatēt līdz -14°C , ar maisījumu RE80 – līdz -17°C utt. Ja apkārtējās vides temperatūra samazinās zem -30°C , var lietot maisījumdegvielas ar rapša eļļas saturu zem 30% vai dīzeļdegvielu.

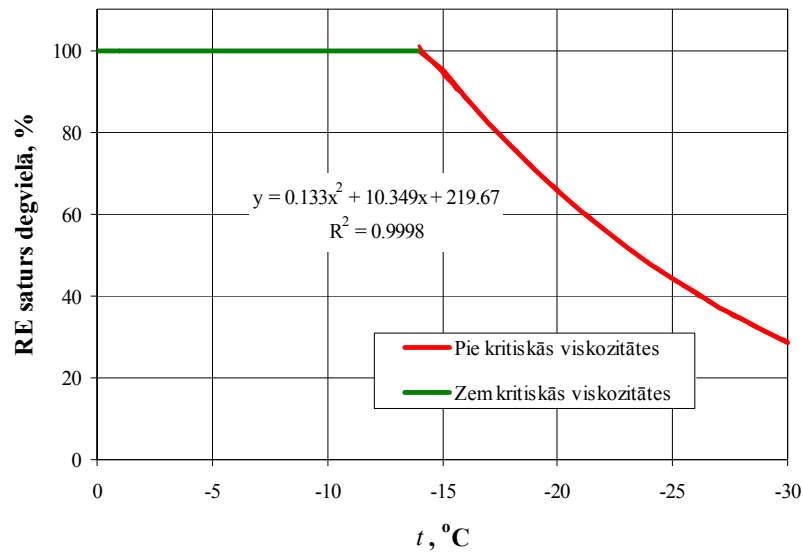
Pamatojoties uz šiem datiem, modeļa pirmajā modulī vēlreiz veiktas izmaiņas:

- bīdnis RE satura maiņai degmaisījumā (sk. 2.5. att.) aizstāts ar kritisko degmaisījuma viskozitāti;
- RE maksimālā satura noteikšanai pievienots loģiskā operatora bloks. Ja rapša eļļas viskozitāte pie izvēlētajā temperatūras nepārsniedz kritisko, tiek izmantota tīra rapša eļļa. Ja RE viskozitāte pārsniedz $500 \text{ mm}^2 \text{s}^{-1}$, tiek veidots maisījums ar maksimāli pieļaujamo RE saturu (sk. 2.24. att.).



2.24. att. Modeļa pielāgošana, degmaisījuma sastāvu nosakot pēc kritiskās viskozitātes

Simulāciju rezultātu apkopojums parādīts 2.25. attēlā.



2.25. att. RE maksimālais saturs degmaisījumā atkarībā no apkārtējās vides temperatūras

Tādējādi noteikta analītiska sakarība, ar kuras palīdzību var noskaidrot, kādas RE un DD proporcijas jālieto, lai nodrošinātu degvielas sūkņu darbību un degvielas plūsmu barošanas sistēmā.

Lai atvieglotu mainīgo parametru ievadi un simulācijas rezultātu aplūkošanu, izveidots atsevišķs panelis jeb logs, kurā „klonēti” būtiskākie modeļa elementi. 2.26. attēlā parādīts tā piemērs automobiļa *VW Golf III 1.9TD* motora modelēšanā.

Apkārtējās vides temperatūra un rapša eļļas saturs maisījumā
 Temperatūra: -10 RE saturs: 100

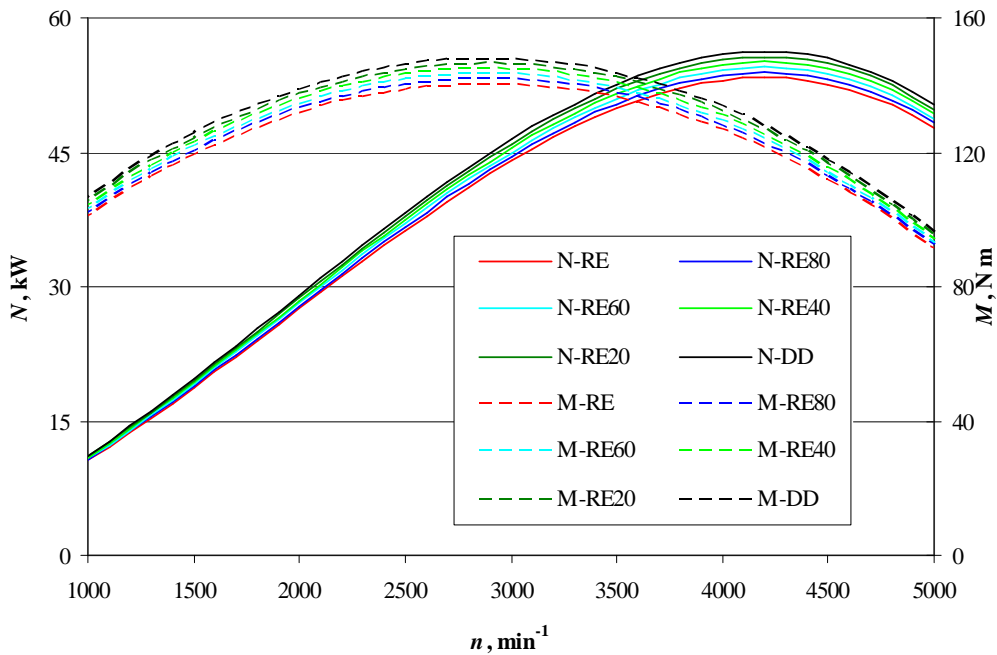
Būtiskākie spēkratu motora parametri
 Motora darba tipums: 1.896
 Kompresijas pakāpe: 22.5

Būtiskākie spēkratu barošanas sistēmu raksturojošie parametri

Maksimālā efektīvā jauda un maksimālais griezes moments
 Maksimālā efektīvā jauda: 53.35024577 Maksimālais griezes moments: 140.2463121

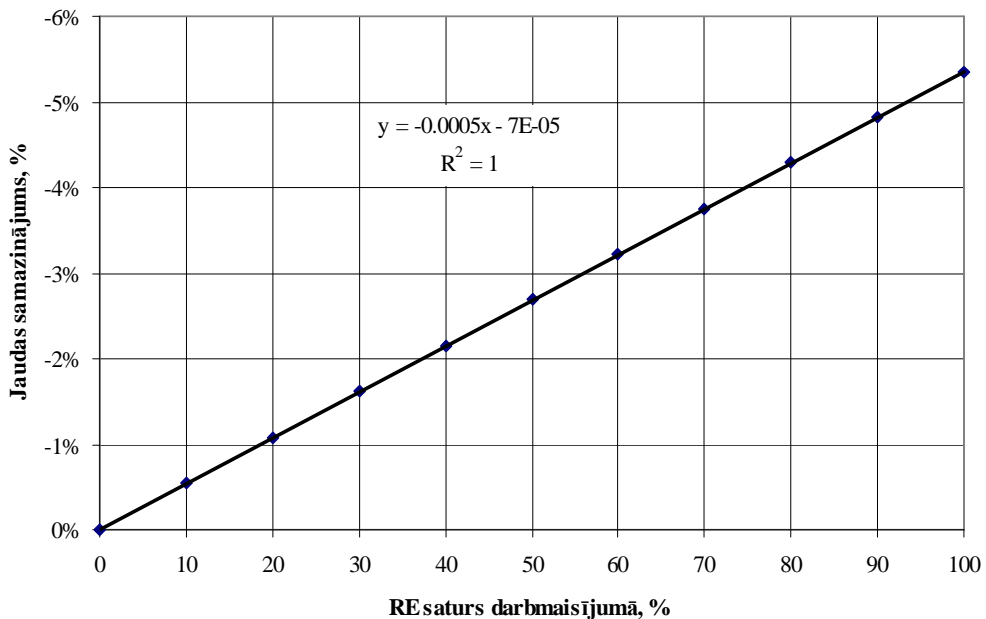
2.26. att. Mainīgo parametru ievades un simulācijas rezultātu aplūkošanas logs (*VW Golf III 1.9TD*)

2.27. attēlā dotas modeļpētījumos iegūtās automobiļa *VW Golf III 1.9TD* jaudas un griezes momenta raksturlīknes, darbinot motoru ar sešām degvielām – tīru rapša eļļu, fosilo dīzeļdegvielu un 4 maisījumdegvielām (RE20, RE40, RE60 un RE80).



2.27. att. **Automobiļa *VW Golf III 1.9TD* jaudas un griezes momenta teorētiskās raksturlīknes**

Datu analīzē noskaidrots, ka maksimālā jauda tiek sasniegta pie 4200 min^{-1} . Ar dīzeļdegvielu tā ir 56.25 kW (modeļī aprēķinātā degvielas zemākā siltumspēja $Q_z = 42437 \text{ J kg}^{-1}$), ar rapša eļļu – 53.35 kW ($Q_z = 37653 \text{ J kg}^{-1}$). Maksimālā jaudas starpība – 5.15% . Jaudas samazinājumam ir lineārs raksturs – katri 10% RE darbmaisījumā samazina motora efektīvo jaudu par aptuveni 0.5% (sk. 2.28. att.).

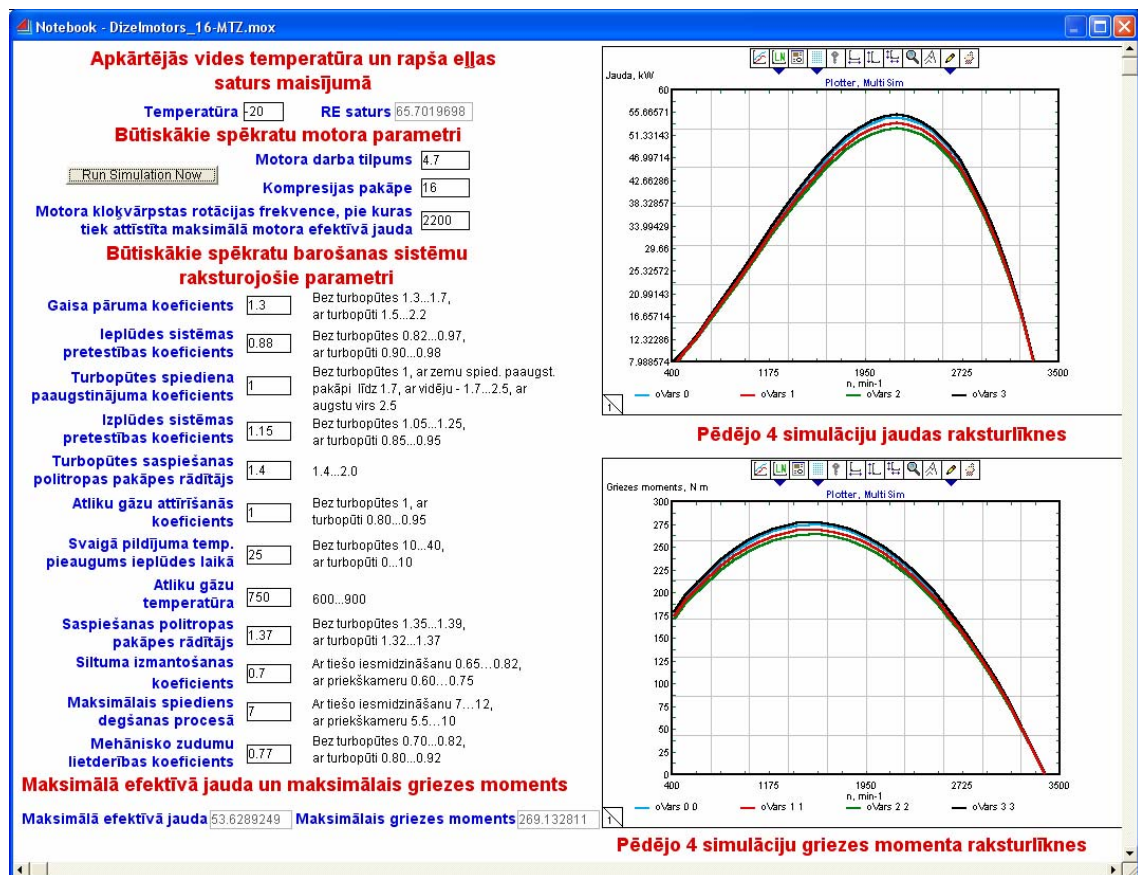


2.28. att. **Motora jaudas samazinājums atkarībā no RE satura darbmaisījumā**

Salīdzinot ar automobiļa ražotāja datiem ($N_e = 55 \text{ kW}$ pie 4200 min^{-1} , darbinot automobili ar fosilo dīzeļdegvielu), atšķirība ir 2.3%, kas šāda veida pētījumos ir pieļaujama un netraucē identificēt atšķirības, ekspluatējot spēkratus ar dažādām degvielām.

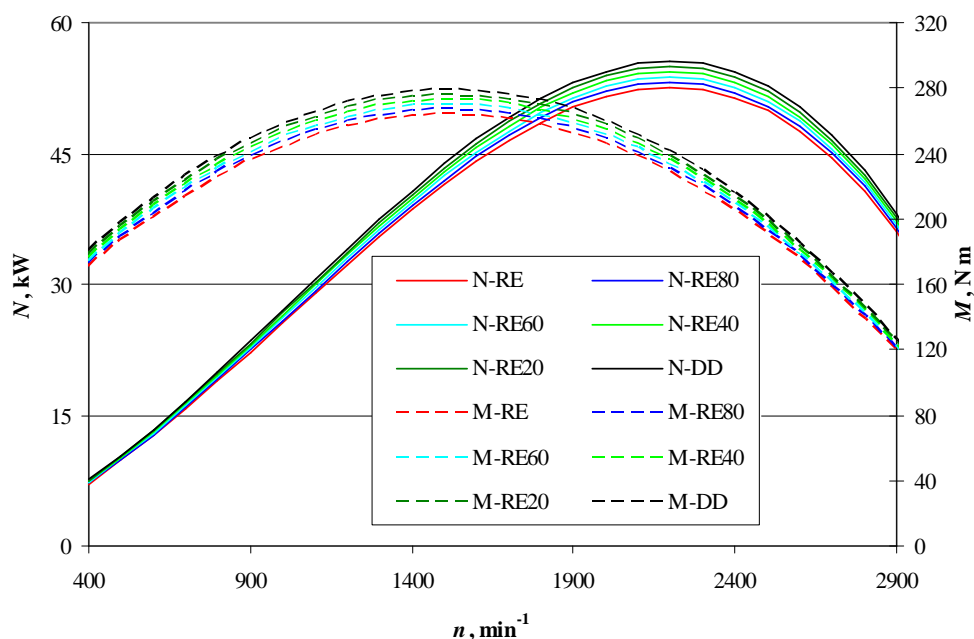
Maksimālais griezes moments automobiļa *VW Golf III 1.9TD* modeļpētījumos tiek sasniegts pie 2900 min^{-1} . Ar dīzeļdegvielu tas ir 147.9 N m , ar rapša eļļu – 140.3 N m . Arī griezes momenta samazinājumam ir tāds pat raksturs kā jaudai, t.i., katri 10% RE darbmaistījumā samazina motora maksimālo griezes momentu par aptuveni 0.5%. Salīdzinot ar automobiļa ražotāja datiem ($M_{max} = 150 \text{ N m}$ pie 2400 min^{-1}), atšķirība ir 1.4%, taču maksimālais griezes moments tiek attīstīts pie atšķirīgas motora kloķvārpstas rotācijas frekvences. Tas izskaidrojams ar to, ka motora tipu raksturojoši empīriskie koeficienti tika koriģēti tikai jaudas raksturlīknēm, bet griezes momenta raksturlīknes tika konstruētas pēc klasiskajām sakarībām. Taču tas netraucē modeļpētījumos, jo galvenais, ekspluatējot spēkratus ar dažādām degvielām, ir identificēt atšķirības maksimālajā griezes momentā.

Eksperimentālajos pētījumos veikti traktora *MTZ-80* jaudas un griezes momenta mērījumi, tāpēc analogiski parametri noteikti arī modeļpētījumos (sk. 2.29. att.).



2.29. att. Mainīgo parametru ievades un simulācijas rezultātu aplūkošanas logs (*MTZ-80*)

2.30. attēlā dotas modeļpētījumos iegūtās traktora *MTZ-80* jaudas un griezes momenta raksturlīknes. Datu analīzē noskaidrots, ka maksimālā jauda tiek sasniegta pie 2200 min^{-1} . Ar dīzeļdegvielu tā ir 55.59 kW , ar rapša eļļu – 52.62 kW . Maksimālā jaudas starpība – 5.35%. Jaudas samazinājumam ir lineārs raksturs – katri 10% RE darbmaistījumā samazina motora efektīvo jaudu par aptuveni 0.54%.



2.30. att. Traktora *MTZ-80* jaudas un griezes momenta teorētiskās raksturlīknes

Salīdzinot ar traktora ražotāja datiem ($N_e = 55 \text{ kW}$ pie 2200 min^{-1} , darbinot automobili ar fosilo dīzeļdegvielu), atšķirība ir 1.1%.

Maksimālais griezes moments traktora *MTZ-80* modeļpētījumos tiek sasniegts pie 1500 min^{-1} . Ar dīzeļdegvielu tas ir 279 N m , ar rapša eļļu – 264 N m . Salīdzinot ar traktora ražotāja datiem ($M_{max} = 280 \text{ N m}$), atšķirība ir nebūtiska.

Teorētisko pētījumu rezultātu kopsavilkums

Nodaļā izmantotas modelēšanas un prognozēšanas pētījumu metodes.

1. Analizējot modelēšanas rīkus, spēkratu ekspluatācijas parametru modelēšanai izvēlēta programma *ExtendSim Suite*, bet rapša eļļas loģistikas sistēmas modelēšanai – *AnyLogic*.
2. Izveidots oriģināls matemātiskais modelis, lai noteiktu ar dīzeļmotoriem darbināmu spēkratu ekspluatācijas parametrus, izmantojot rapša eļļu un tās maisījumu degvielas ar fosilo dīzeļdegvielu. Tā galvenās atšķirības no citiem pētījumiem ir šādas:
 - izstrādāts modulis, ar kuru var noteikt, pie kādas apkārtējās vides temperatūras rapša eļļai jāsāk pievienot fosilā dīzeļdegviela, lai nodrošinātu degvielas sūkņu darbību un degvielas plūsmu barošanas sistēmā;
 - izveidotas analītiskas sakarības atliku gāzu molārās siltumietilpības noteikšanai, kas nodrošina nepārtrauktu modelēšanas procesu;
 - precizēti dīzeļmotoru jaudas raksturlīkņu konstruēšanai izmantojamie empīriskie koeficienti.
3. Izveidotais modelis izmantojams dīzeļmotoriem ar turbopūti un bez tās, bet pārsvarā orientēts uz motoriem ar priekškameru. Taču to var daļēji izmantot arī tiešās iesmidzināšanas motoru parametru simulācijai.
4. Teorētiski noteikts maksimāli pieļaujamais rapša eļļas procentuālais saturs darbmaisījumā pie dažādām apkārtējās vides temperatūrām. Ar tīru rapša eļļu spēkratus var ekspluatēt līdz -14 °C , ar maisījumu RE80 – līdz -17 °C utt. Ja apkārtējās vides temperatūra samazinās zem -30 °C , var lietot maisījumu degvielas ar rapša eļļas saturu zem 30% vai fosilo dīzeļdegvielu.

5. Modelpētījumos jauda un griezes moments noteikti spēkratiem, kuriem analogiski mērījumi veikti eksperimentālajos pētījumos, t.i., automobilim *VW Golf III 1.9TD* un traktoram *MTZ-80*.
6. Modelēšanā noskaidrots, ka automobiļa *VW Golf III 1.9TD* motora maksimālā jauda tiek sasniegta pie 4200 min^{-1} . Lietojot dīzeļdegvielu, tā ir 56.25 kW, rapša eļļu – 53.35 kW. Maksimālā jaudas starpība – 5.15%. Maksimālo griezes momentu motors attīsta pie 2900 min^{-1} : lietojot dīzeļdegvielu – 147.9 N m, rapša eļļu – 140.3 N m.
7. Traktora *MTZ-80* motors maksimālo jaudu sasniedz pie 2200 min^{-1} . Ja izmanto dīzeļdegvielu, tad tā ir 55.59 kW, rapša eļļu – 52.62 kW. Maksimālā jaudas starpība – 5.35%. Maksimālais griezes moments tiek attīstīts pie 1500 min^{-1} : ar dīzeļdegvielu – 279 N m, ar rapša eļļu – 264 N m.
8. Automobiļa *VW Golf III 1.9TD* un traktora *MTZ-80* motoru jaudas un griezes momenta samazinājumam ir lineārs raksturs – katri 10% RE darbmaisījumā samazina efektīvo jaudu un maksimālo griezes momentu par aptuveni 0.5%.
9. Salīdzinot modelēšanā iegūtās jauda un griezes momenta vērtības ar spēkratu ražotāju datiem, kas doti, darbinot spēkratus ar fosilo dīzeļdegvielu, nevienā no modelēšanas scenārijiem atšķirības nepārsniedz 2.3%, taču šāda veida pētījumos tas ir pieļaujams un netraucē noteikt atšķirības, spēkratu ekspluatācijas salīdzināšanai, lietojot dažādas degvielas.

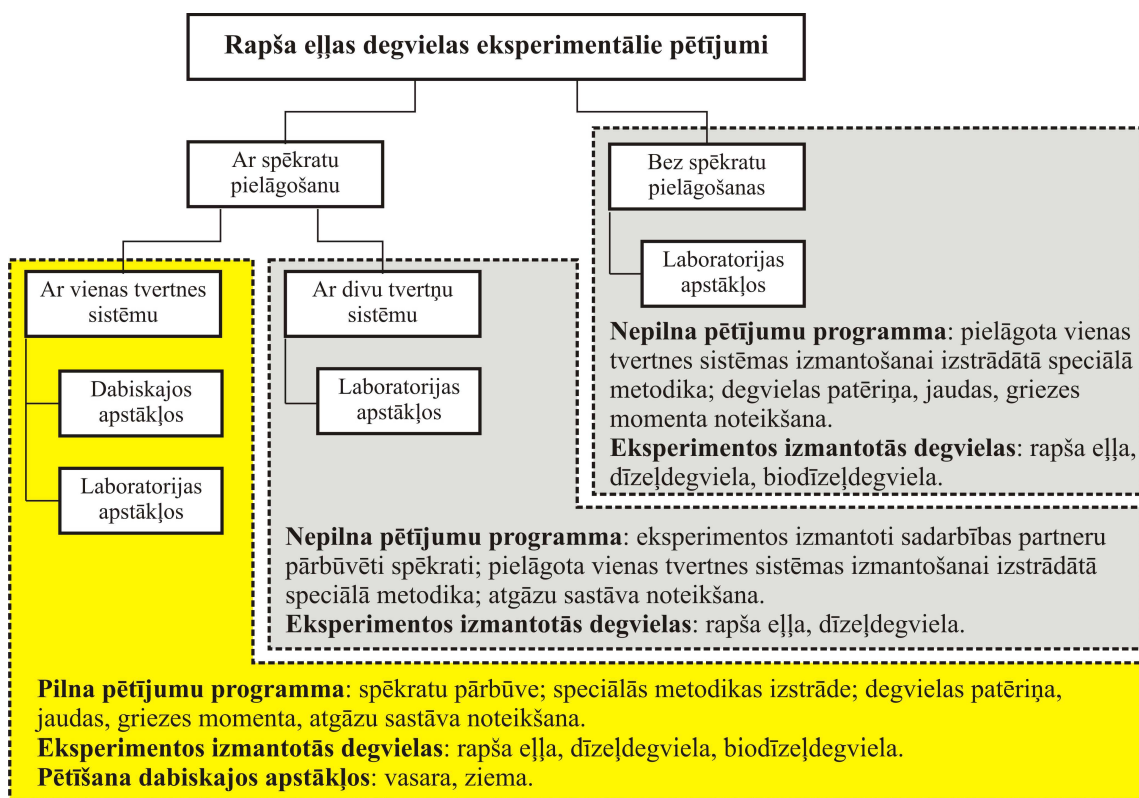
3. EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI

Eksperimentālo pētījumu mērķis ir noteikt ar rapša eļļu darbināmu spēkratu galvenos ekspluatācijas parametrus. Lai to veiktu, vispirms izstrādāta pētījumu vispārīgā metodika.

3.1. Eksperimentālo pētījumu vispārīgā metodika

Par *pētījumu objektiem* tika izvēlēti lauku saimniecību nozīmīgākie spēkratu tipi – vieglais automobilis, kravas automobilis un traktors. Arī spēkratu darbināšanai ar rapša eļļu tika izmantotas visas alternatīvas – pielāgošana ar vienas degvielas tvertnes sistēmu, pielāgošana ar divu degvielas tvertņu sistēmu un bez pielāgošanas.

Ar vienas tvertnes sistēmu pielāgotiem spēkratiem veikta pilna pētījumu programma gan, vadoties no eksperimentu apstākļu (dabiskie un laboratorijas), gan no mērāmo parametru viedokļa. Noteikti galvenie ekspluatācijas rādītāji – jauda, griezes moments, degvielas patēriņš, atgāzu sastāvs, rapša eļļas degvielas izmantošanas iespējas ziemā u.tml. Lai šos parametrus noteiktu visiem spēkratu tipiem, pētījumu apjoms, līdz ar to laika un līdzekļu patēriņš, būtu ļoti liels. Tāpēc ar divu tvertņu sistēmu pārbūvēto un nepielāgotos spēkratu eksperimentiem veikta nepilna pētījumu programma, lai pārbaudītu ar vienas tvertnes sistēmu pielāgotos spēkratu iegūto parametru izmaiņu tendences. Eksperimentālo pētījumu blokshēma parādīta 3.1. attēlā.



3.1. att. Eksperimentālo pētījumu blokshēma

Pētījumos izmantojamās iekārtas un to precizitāte, nosakāmie ieejas un izejas parametri, testēšanas režīmi, atkārtojumu skaits, rezultātu noteikšanas veids, to apstrādes un precizitātes vērtēšanas metodes u.tml. aplūkoti katras pētījumu programmas speciālajās metodikās.

3.2. Spēkratu pielāgošana darbināšanai ar tīru rapša eļļu, izmantojot vienas tvertnes sistēmu

Darbināšanai ar tīru rapša eļļu, izmantojot vienas tvertnes sistēmu, tika pielāgots vieglais automobilis. Tā izvēlei izmantoti Ceļu Satiksmes Drošības Direkcijas (CSDD) datu bāzes dati uz 2009. gada 1. janvāri (Transportlīdzekļi..., 2009).*

Vispirms tika atlasītas astoņas izplatītākās tehniskā kārtībā esošās vieglo automobiļu markas ar dīzeļmotoriem no 1985. līdz 2008. izlaiduma gadam (sk. 5. pielikumu). Šajā aspektā *Volkswagen* (VW) ir līderis gandrīz visu izlaiduma gadu automobiļiem, izņemot 1996. gadu, kad izplatītāks ir *Audi*. Turpmākā atlase tika veikta jau pa modeļiem, izlaiduma gadiem un dīzeļmotoros izmantotās degvielas padeves sistēmām. Tika noskaidrots, ka Latvijā izplatītākais tehniskā kārtībā esošais automobilis ar dīzeļmotoru ir *VW Golf III*, otrais izplatītākais – ir *Audi A6 C4*, bet trešais – *VW Passat B3*. Savukārt pēc izlaiduma gada izplatītākie tehniskā kārtībā esošie automobiļi ražoti laikā no 1992. līdz 1998. gadam. Izplatītākais dīzeļmotoru sadalītājsūkņa tips ir *BOSCH VE*.

Pamatojoties uz šiem datiem, pārbūvei tika izvēlēts automobilis *VW Golf III 1.9TD*. Šāds motors izmantots arī vairākos 1991. līdz 1999. gada izlaiduma automobiļu *Audi 80*, *Seat Cordoba*, *Seat Ibiza*, *Seat Toledo*, *VW Passat* un *VW Vento* modeļos, līdz ar to izvēlēta motora reprezentativitāte ir pietiekami augsta. Jāņem arī vērā, ka jaunāku automobiļu pārbūvi pagaidām kavē dīleru garantijas noteikumi.

Aplūkojot iespējas pārbūvēt automobili, izpētītas firmu *ATG*, *ELSBETT*, *GREENBULL* un *RMG RAPSOL* piedāvātās pārbūves komponentes. Izvēle tika izdarīta par labu firmai *ELSBETT*, kurai šajā jomā ir vislielākā pieredze, kā arī tas, ka firma piedāvā īpaši izstrādātu smidzinātāju konstrukciju. Pārbūves komplekts kopā ar piegādi automobilim *VW Golf III 1.9TD* izmaksāja 700 EUR.

Pirms pārbūves tika noņemts augstspiediena sūknis un sprauslas, veikta to demontāža, tīrīšana un mazgāšana, kā arī nomainīti visi blīvējumi. Lai pārliecinātos par degvielas sūkņa atbilstību tehniskajām prasībām, uz stenda *MINOR M8/B* tika pārbaudīts izsmidzināšanas daudzums katrai augstspiediena sūkņa sekcijai pie dažādiem apgriezieniem, kā arī noteikts zemspiediena sūkņa spiediens. Izmantota standartizēta pārbaudes metodika, un rezultāti apliecināja, ka abi degvielas sūkņi ir tehniskā kārtībā.

Pieejamā informācija par jaunajām eļļas sprauslām (*ELSBETT Diesel Technology...*, S.a.) liecināja, ka tās ir ar rotējošu pašattīrošu galviņu, palielinātu darba spiedienu, samazinātu izsmidzināšanas leņķi un izsmidzināšana vērsta nedaudz asimetriski pret sprauslas asi, lai pēc iespējas novērstu eļļas saskari ar cilindru sienām un samazinātu tās nokļūšanu motora karterī, kas kā viena no galvenajām problēmām minētas pētījumos, lietojot rapša eļļas degvielu. Lai salīdzinātu jaunās eļļas sprauslas ar oriģinālajām, tika veikti mērījumi uz sprauslu pārbaudes stenda *KI-562*, izmantojot standartizētu pārbaudes metodiku.

Sprauslu darba spiedienu pārbaudes rezultāti doti 3.1. tabulā, bet izsmidzināšanas leņķa un virziena mērījumi parādīti 3.2. attēlā.

VW Golf III 1.9TD motora ar kodu *AAZ* tehniskie noteikumi nosaka, ka darba spiedienam jābūt robežās no 150 – 158 bar (minimālais spiediens 140 bar). Kā redzams no mērījumu rezultātiem, tad oriģinālās sprauslas atbilst šīm prasībām, savukārt eļļas sprauslu spiediens ir palielināts par aptuveni 3.5%, lai nodrošinātu pilnīgāku degvielas sadegšanu.

* Pārbūve tika veikta 2009. gada februārī

3.1. tabula. Sprauslu darba spiedieni

Oriģinālās sprauslas (pārbaude ar dīzeļdegvielu)				
Sprauslas Nr.	1	2	3	4
Spiediens, bar	158±1	160±1	160±1	160±1
Eļļas sprauslas (pārbaude ar rapša eļļu)				
Sprauslas Nr.	1	2	3	4
Spiediens, bar	165±1	165±1	166±1	166±1



Eļļas sprausla,
izsmidzināšanas leņķis
25° (strūkļa vērsta uz
vienu pusi)



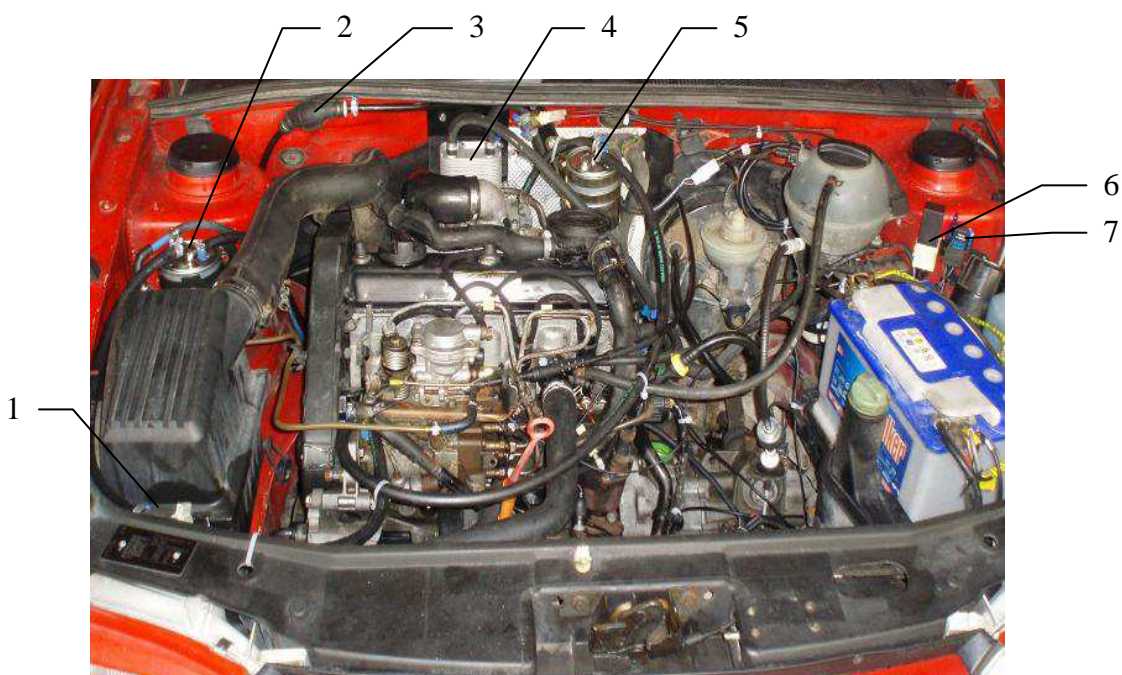
Oriģinālā sprausla,
izsmidzināšanas
leņķis 38° (strūkļa
vērsta taisni)

3.2. att. Oriģinālo un eļļas sprauslu izsmidzināšanas leņķa un virziena salīdzinājums

Eļļas sprauslas izsmidzināšanas leņķis ir par 13° mazāks un izsmidzināšana tiek veikta asimetriski, lai maksimāli ierobežotu rapša eļļas degvielas nokļūšanu motora karterī.

Automobiļa pielāgošanu braukšanai ar rapša eļļu uzsāk ar degvielas šļūteņu pārbaudi. To iekšējais diametrs nedrīkst būt mazāks par 8 mm, lai neierobežotu rapša eļļas brīvu plūsmu. Pārējās pārbaudes darbības veic automobiļa motora nodalījumā, kur izvēlas vietu siltummaiņa un apsildāmā degvielas filtra uzstādīšanai.

Siltummaini pievieno salona sildītāja šļūtenēm. Apsildāmajam degvielas filtram jābūt pēc iespējas tuvu siltummainim, lai uzsildītā rapša eļļa, nonākot filtrā, nepaspēj atdzist. Sabalansēta un efektīva siltummaiņa un degvielas filtra darbība ļauj ātrāk pārtraukt degvielas filtra elektrisko sildīšanu. Degvielas maģistrālē pirms siltummaiņa iemontē rokas degvielas sūkni. Ar tā palīdzību atgaiso degvielas sistēmu pēc filtru nomaiņas. Rezerves maģistrālē ievieto oriģinālo degvielas filtru. Ar vārsta palīdzību to var ieslēgt apsildāmā filtra aizsērēšanas gadījumā, kā arī atslogot plūsmu caur filtriem pēc motora uzsildīšanas. Motora galvā nomaina sprauslas un kvēlsveces, bet apsildāmā filtra un kvēlsveču pareizai darbībai iemontē speciālus relejus (sk. 3.3. att.).



3.3. att. **Vienas tvertnes sistēmas komponentu izvietojums automobiļa VW GOLF motora nodalījumā**

1 – vārsts; 2 – oriģinālais degvielas filtrs; 3 – rokas degvielas sūknis; 4 – siltummainis; 5 – apsildāmais degvielas filtrs; 6 – kvēlsveču relejs; 7 – apsildāmā filtra relejs

Pārbūvi cilvēks ar inženiera prasmēm, bet bez iepriekšējās pieredzes komplekta montāžā, veica aptuveni 10 stundās. Filtru, siltummaiņa u.c. elementu stiprinājuma kronšteinu izgatavošanai papildus tika iztērēti 15 LVL.

Kad degvielas sistēmas pārbūve veikta, automobiļa degvielas tvertnē iepildīja rapša eļļu (sk. 3.4. att.).



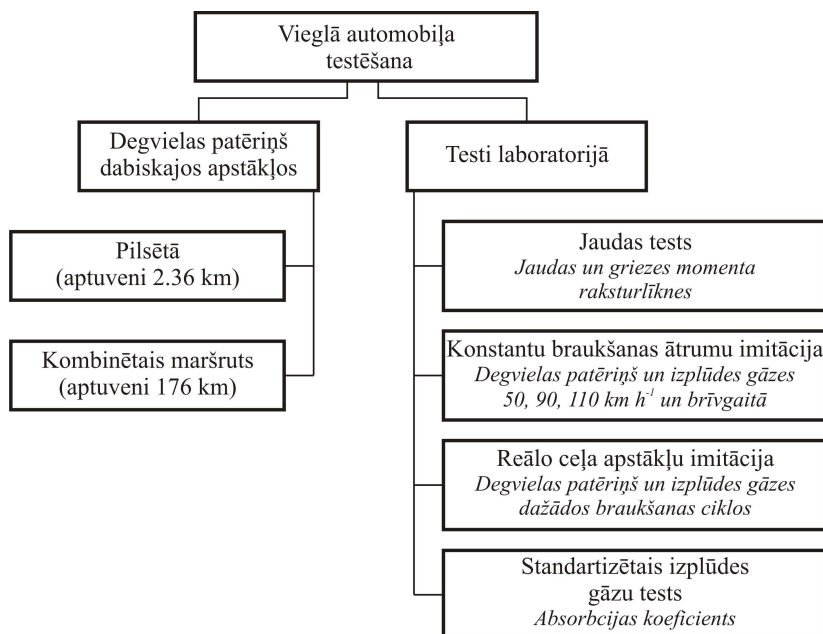
3.4. att. **Automobiļa uzpildīšana ar rapša eļļu**

Pirmo reizi iedarbinot automobili, izplūdes gāzes bija bezkrāsainas. Mainot auksta motora apgriezienus, sniegā (pirmie braucieni tika veikti ziemā) izmešu sodrēji nebija redzami.

Braukšanas uzsākšanas testi tika veikti 3 līdz 8 minūtes pēc automobiļa iedarbināšanas ar soli 1 minūte. Nekādas būtiskas atšķirības, salīdzinot ar ekspluatāciju ar fosilo dīzeļdegvielu netika novērotas, jo elektriskais sildītājs, jaunie smidzinātāji un kvēlsveces nodrošināja eļļas sildīšanu un vienmērīgu darbību arī tad, kad motors vēl nebija uzsilis. Braucot ar automobili pilsētas teritorijā un uz maģistrāles, jaudas samazinājums nebija jūtams, taču turpmākajos eksperimentos tika veikti precīzāki mērījumi uz jaudas stenda.

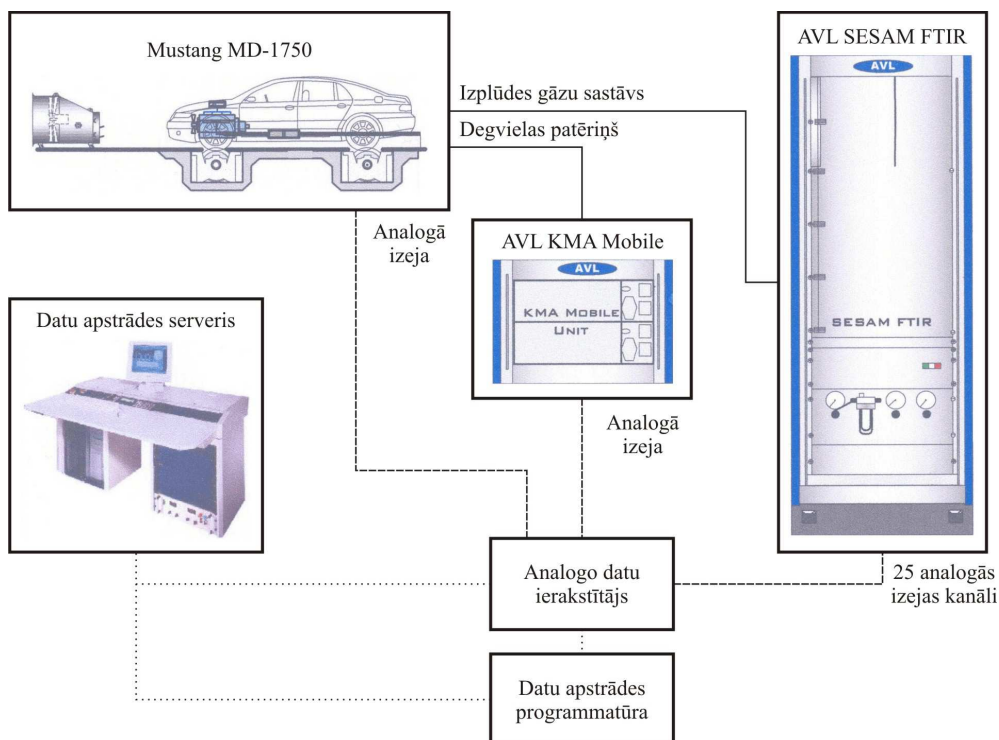
3.3. Speciālās eksperimentu metodikas izstrāde

Ņemot vērā iepriekš veikto izmēģinājumu pieredzi, tika izveidota testēšanas vispārīgā struktūrshēma (sk. 3.5. att.) (Dukulis et al., 2009b; Dukulis et al., 2009c).



3.5. att. **Automobiļa testēšanas struktūrshēma**

Lai konstantu braukšanas ātrumu un reālo ceļa apstākļu imitācijā vienlaikus noteiktu degvielas patēriņu un izplūdes gāzu sastāvu, īpaša vērība pievērsta šo parametru mērīšanas ierīču izvēlei. Ņemot vērā, ka LLU Biodegvielu zinātniskajā laboratorijā jau bija jaudas stends *Mustang MD-1750*, sadarbībā ar firmu *AVL* tika izstrādāta degvielas patēriņa un atgāzu sastāva mērīšanas blokshēma (sk. 3.6. att.).



3.6. att. **Degvielas patēriņa un atgāzu sastāva mērīšanas blokshēma**

Eksperimentiem izvēlētas šādas pamatiekārtas:

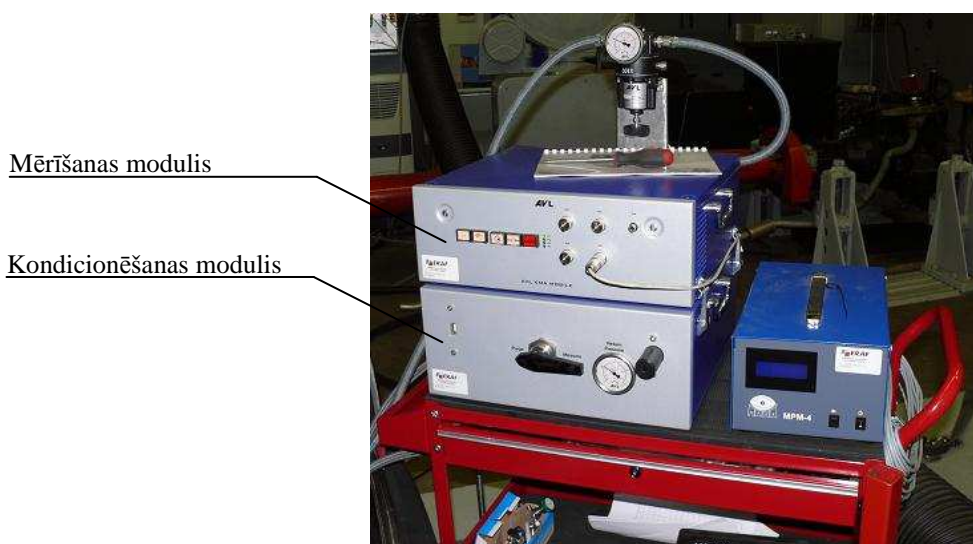
- laboratorijas jaudas stends *Mustang MD-1750* ar datorizētu vadības platformu *MDSP-7000*;
- degvielas patēriņa mērītājs *AVL KMA Mobile*;
- daudzkomponentu izplūdes gāzu mērīšanas sistēma *AVL SESAM FTIR*;
- izplūdes gāzu analizators *OPUS 40*.

Līdztekus degvielas patēriņa mērītājam ceļa izmēģinājumos izmantota arī datu uzkrāšanas ierīce *CANYON CNS-GPS2*, ar kuras palīdzību fiksē *GPS (Global Positioning System)* koordinātes un braukšanas ātrumu. Automobilī novieto portatīvo datoru datu uzkrāšanas ierīces un degvielas patēriņa mērītāja signālu saglabāšanai. *CANYON CNS-GPS2* ierīcē iebūvētā *SiRF Star III* mikroshēma fiksē pat vājus pavadoņu signālus, bet ierīces programmatūras integrācija ar *Google Earth* un *Google Maps* dod iespēju vizualizēt veiktos maršrutus uz kartēm (*CANYON ...*, S.a.). Sākotnējo braukšanas parametru analīzi var veikt pašas ierīces programmatūrā, bet, detalizētākai šo datu apstrādei tos var eksportēt piemērotākā datu formātā, piemēram, *.csv*, *.txt* vai *.gpx*.

3.3.1. Eksperimentos izmantoto iekārtu raksturojums

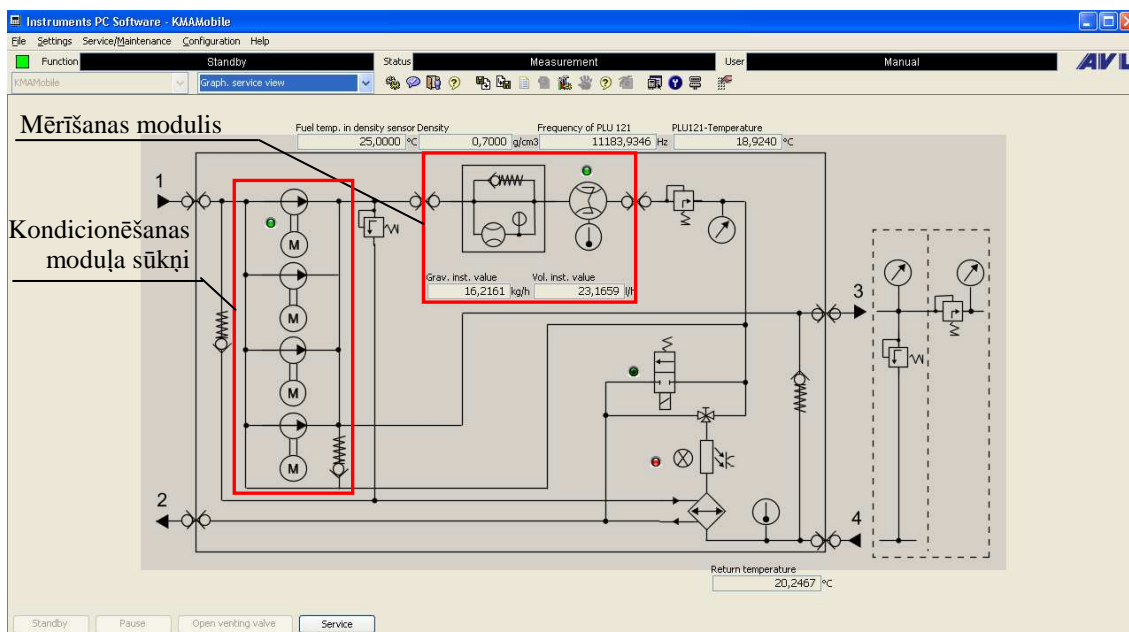
Degvielas patēriņa mērītājs *AVL KMA Mobile*

Degvielas patēriņa mērītājs *AVL KMA Mobile* (sk. 3.7. att.) ir universāla ierīce, kas izmantojama gan laboratorijā, gan reālajos ceļa izmēģinājumos, turklāt ceļizmēģinājumos tā spēj nodrošināt 0.1% datu nolasījuma precizitāti. Mērījumu rezultātus saglabā datorā caur RS 232 interfeisu. Degvielas patēriņa mērījumus ar šo ierīci var veikt, ja plūsma nepārsniedz 150 l h^{-1} . Ierīce sastāv no diviem moduļiem – mērīšanas un kondicionēšanas (AVL KMA Mobile ..., 2008).



3.7. att. Degvielas patēriņa mērītājs *AVL KMA Mobile*

Augsto ierīces precizitāti nodrošina tās konstrukcijas īpatnība, ka plūsmas mērījumi tiek veikti ļoti īsos laika intervālos (20 reizes sekundē). Turklāt četru sūkņu izmantošana ierīces kondicionēšanas modulī (sk. 3.8. att.) nodrošina, ka starp ieeju un izeju plūsmas mērītājā nav spiediena krituma ($\Delta p = 0$).



3.8. att. Ierīces pieslēguma shēma degvielas mērītāja programmatūrā

Lai mērīšanas modulī esošā frekvenču mērītāja *AVL PLU 121* vērtības pārvērstu plūsmas vai tilpuma vienībās, izmanto sakarības (*AVL KMA Mobile ...*, 2008):

$$Q = \frac{f \cdot 3.6}{K_D}, \quad (3.1)$$

$$V = \frac{z}{K_D \cdot 1000}, \quad (3.2)$$

- kur Q – degvielas plūsma, $l\ h^{-1}$;
 V – patērētās degvielas tilpums, l ;
 f – *AVL PLU 121* mērītāja frekvence (impulsu skaits sekundē), Hz ;
 K_D – kalibrēšanas faktors (impulsu skaits uz vienu cm^3);
 z – pievienoto impulsu skaits laikā no mērīšanas uzsākšanas līdz beigām.

Tā kā ierīce ir sarežģīta, tad K_D faktora noteikšana veikta kopā ar *AVL* firmas pārstāvjiem Somijā. Kalibrēšana tika realizēta uz stenda *4A002*, izmantojot speciālu šķidrumu *HAKU 1025/310/P* (viskozitāte $0.97\ mm^2\ s^{-1}$; blīvums $0.76\ g\ cm^{-3}$ pie $20\ ^\circ C$) saskaņā ar ISO 9001 standarta prasībām. Kalibrēšana veikta pie astoņām dažādām plūsmām visā ierīces darbības diapazonā ($0 - 150\ l\ h^{-1}$). Pie katras plūsmas intensitātes mērījumi atkārtoti sešas reizes. Kalibrēšanas dati doti 3.2. tabulā.

3.2. tabula. Degvielas patēriņa mērītāja *AVL KMA Mobile* kalibrēšanas dati

Parametrs	Vērtība								
Plūsma, $l\ h^{-1}$	0.35	0.61	1.21	2.52	5.04	15.06	75.14	150.06	
Frekvence, Hz	155	270	535	1115	2230	6670	33340	66670	
K_D	1	1593.16	1592.76	1594.75	1594.83	1592.82	1592.87	1597.15	1599.92
	2	1593.96	1592.35	1594.35	1596.03	1592.90	1592.70	1597.33	1599.34
	3	1591.15	1592.35	1594.11	1594.99	1593.19	1592.71	1597.28	1599.29
	4	1592.76	1592.35	1595.15	1594.59	1593.81	1592.70	1597.30	1599.26
	5	1592.76	1590.34	1594.83	1594.51	1592.87	1592.70	1597.36	1599.25
	6	1592.35	1589.54	1594.11	1594.99	1592.92	1593.25	1597.53	1599.32
$K_{D\ vid.}$		1592.69	1591.62	1594.55	1594.99	1593.09	1592.82	1597.32	1599.40

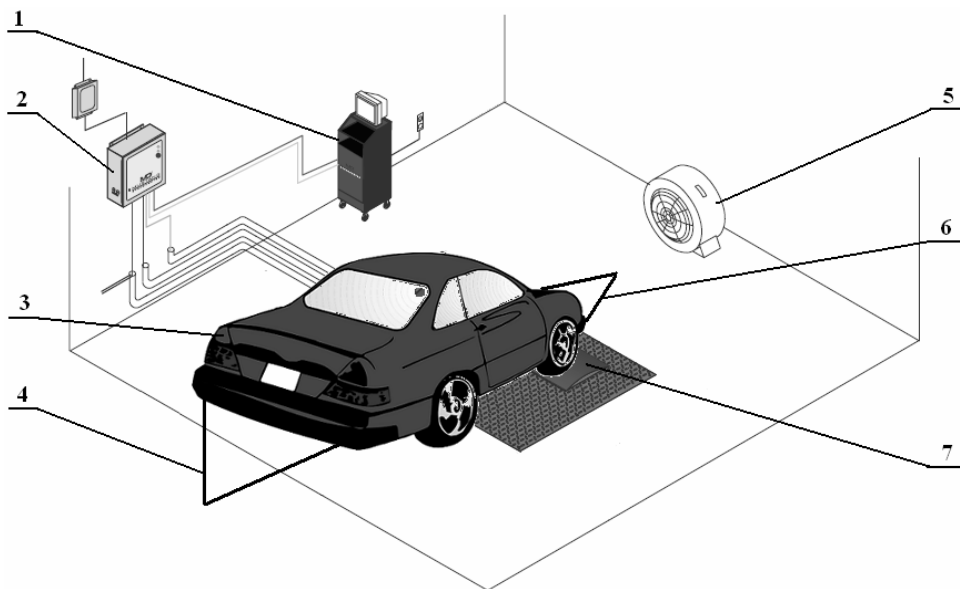
Tā kā korelācija starp degvielas plūsmu un kalibrēšanas faktoru bija nelineāra, tad tika aprēķināts vidējais kalibrēšanas faktors visā plūsmu diapazonā. Iegūto vērtību (1594.56) ievadīja sistēmas programmatūrā, līdz ar to visi mērījumu rezultāti tiek iegūti nepieciešamajās plūsmas mērvienībās. Iekārtas ražotāji nodrošina, ka atkārtota kalibrēšana nepieciešama tikai pēc trīs gadiem.

Būtiskākie *AVL KMA Mobile* sistēmas parametri (AVL KMA Mobile ..., 2008):

- mērīšanas diapazons: $0.35 - 150 \text{ l h}^{-1}$; $0.26 - 110 \text{ kg h}^{-1}$;
- degvielas blīvuma diapazons: $0.5 \dots 2.0 \text{ g cm}^{-3}$;
- mērīšanas kļūdas: kalibrācijas – 0.1%, blīvuma – 0.03%, pamata – 0.1%;
- darbības temperatūra: $-10 \text{ }^{\circ}\text{C} \dots +50 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Laboratorijas jaudas stends *Mustang MD-1750*

Jaudas stendu jeb šasijas dinamometru *Mustang MD-1750* (sk. 3.9. un 3.10. att.) izmanto, lai imitētu reālos braukšanas apstākļus laboratorijā, nodrošinot to parametru (piemēram, atgāzu sastāva) mērījumus, kurus grūti realizēt ceļa apstākļos. Laboratorijā vieglāk kontrolēt arī dažādu gadījuma faktoru, piemēram, gaisa temperatūras, vēja, nokrišņu, ceļa apstākļu, satiksmes intensitātes u.tml. ietekmi uz mērījumu rezultātiem. Sloģošanas režīmu precizitāti un mērījumu rezultātu uzkrāšanu nodrošina datorizētā vadības platforma *MDSP-7000*.



3.9. att. Automobiļa testēšanas principiālā shēma

1, 2 – datorizētā vadības platforma *MDSP-7000*; 3 – testējamais automobiļš; 4, 6 – stiprinājuma atsaites; 5 – ventilators; 7 – šasijas dinamometrs.



3.10. att. Testējamais automobiļš uz jaudas stenda *Mustang MD-1750*

Maksimālā mērāmā spēkrata jauda uz stenda *Mustang MD-1750* ir 1287 kW (1750 Zs), maksimālais braukšanas ātrums – 362 km h⁻¹ (MD-1750 Chassis ..., 2004).

Parasti uz jaudas stenda veic šādus pārbažu testus:

- veiktspējas pārbaude *Power Curve*;
- diagnostikas režīms *Vehicle Simulation Test*;
- izplūdes gāzu pārbaudes jeb emisijas režīms *Drivers Trace*.

Lietojot testu *Power Curve*, var noteikt automobiļa jaudas un griezes momenta raksturlīknes visā motora darba apgriezīnu diapazonā. Izvēloties šo testa režīmu, vadības programmā atbilstoši konkrētā automobiļa specifikai iestata mērīšanas diapazonu, t.i., vai nu minimālo un maksimālo automobiļa kustības ātrumu, vai arī minimālos un maksimālos motora apgriezienus, pie kādiem paredzēts veikt mērījumus. Tests norit pie ieslēgta viena nemainīga pārnesuma un pilnīgi atvērta droseļvārsta (ottomotoriem) vai maksimālās degvielas padeves (dīzeļmotoriem). Pārnesuma izvēle šajā testā atkarīga no konkrēta automobiļa specifikas. Parasti izvēlas vai nu tiešo pārnesumu, kur pārnesumkārbas pārnesumu attiecība ir 1:1, vai arī to pārnesumu, kuram pārnesuma attiecība ir vistuvākā tiešajam pārnesumam. Pirms testa veikšanas ar automobili ieskrienas līdz ātrumam, kas nedaudz mazāks par minimālo iestatīto ātrumu vadības programmā. Šajā momentā jābūt jau ieslēgtam izvēlētajam mērīšanas pārnesumam, tad akseleratora pedāli piespiež līdz atdurei un notur, līdz vadības panelī parādās uzraksts, kas liecina par testa sekmīgu pabeigšanu.

Testu *Vehicle Simulation* lieto, lai ar stenda slogotājmotora palīdzību uzturētu slodzi, kas atbilst reālai automobiļa masai, kā arī ceļa un gaisa pretestībai pie konkrēta kustības ātruma. Šis tests tiek lietots degvielas patēriņa un atgāzu komponentu noteikšanai pie konstantiem kustības ātrumiem. Šajā testā izvēlēti automobiļa kustības ātrumi 50, 90 un 110 km h⁻¹. Pirmie divi ātrumi atbilst maksimālajiem braukšanas ātrumiem Latvijā apdzīvotās vietās un ārpus tām.

Emisijas testu *Drivers Trace* lieto, lai noteiktu automobiļa degvielas patēriņu un atgāzu sastāvu mainīgos slodzes un kustības režīmos. Lietojot testu, var izvēlēties vairākus simulāciju (braukšanas) ciklus. Stenda *Mustang MD-1750* vadības platforma nodrošina ciklu *IM-240, FTP, 505 MT, BAR 31 Int., ECE 1504 A/M* un *Japanese 10/11* imitāciju. No tiem Latvijas apstākļiem piemērotākais ir *IM-240*. Tas ir kombinētā tipa cikls, kas ilgst 240 sekundes. Cikla pirmā daļa imitē braukšanu pilsētas apstākļos, kur maksimālais kustības ātrums nepārsniedz 50 km h⁻¹, bet cikla otrā daļa – braukšanu ārpuspilsētas apstākļos.

Lai nodrošinātu augstu rezultātu ticamību, iekārtu nepieciešams kalibrēt. Tā kā jaudas stends ir komplicēta iekārta, kura sastāv no vairākiem mehānismiem, ierīcēm un dažādiem sensoriem, kā, piemēram, sloģošanas motora un slodzes sensora, veltņu rotācijas ātruma un stāvokļa sensoriem, analogās apgriezīnu ieejas utt., tad visiem šiem sensoriem ir paredzēta kalibrēšanas procedūra, kuras loģiskā sistēma un instrukcijas ir dotas stenda vadības programmatūrā.

Izplūdes gāzu mērīšanas sistēma AVL SESAM FTIR

AVL SESAM (System for Emission Sampling and Measurement) (sk. 3.11. att.) ir daudzkomponentu izplūdes gāzu mērīšanas sistēma, kas paredzēta lietošanai laboratorijas apstākļos. Tā tiek izmantota gan jaunu, modernu motoru modeļu izstrādē, gan jau esošo testēšanā, lai nodrošinātu to sertifikāciju atbilstoši pastāvošajām un nākotnē plānotajām izplūdes gāzu sastāva normām.

FTIR (Fourier Transform InfraRed Spectroscopy) ir optiskā mērīšanas metode, kas, pamatojoties uz dažādu izplūdes gāzu komponentu infrasarkanās gaismas

absorbciju, spēj vienlaikus identificēt 25 dažādas komponentes. Ierīces programmatūra nodrošina arī vairāku summatīvo parametru, piemēram, NO_x , atspoguļošanu.



3.11. att. Izplūdes gāzu mērīšanas sistēma *AVL SESAM FTIR*

Būtiskākie *AVL SESAM FTIR* sistēmas parametri (AVL SESAM FTIR, 2007):

- mērāmās gāzu komponentes: CO_2 , CO , H_2O , SO_2 , NO , NO_2 , N_2O , NH_3 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_6 , C_3H_8 , C_4H_6 , C_6H_6 , C_7H_8 , C_8H_{10} , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, CH_3OH , CH_3COOH , CH_3CHO , IC_5 , HCHO , HCOOH , NC_5 , NC_8 , HNCO , HCN , COS ;
- aprēķināmās gāzu komponentes: NO_x , HC , THC-G , THC-D , NMHC , AHC , TALC , TCARB ;
- integrēti sensori kopējā ogļūdeņražu daudzuma, kā arī O_2 un H_2 koncentrācijas noteikšanai;
- mērīšanas intervāls: 1 sekunde;
- dzesēšana ar šķidro slāpekli (50 ml h^{-1}).

Sistēmas pilna kalibrēšana, nosakot katra atsevišķa elementa koncentrācijas kļūdas un atbilstoši koriģējot kalibrēšanas līknes, veikta iekārtas izgatavotājrūpnīcā 2007. gada 24. oktobrī, un nākamā kalibrēšana nepieciešama pēc 5 gadiem.

Izplūdes gāzu analizators *OPUS 40*

Potenciālos biodegvielas lietotājos bieži vairāk interesē nevis zinātniski dati, bet mērījumu rezultāti, kas sastopami reālajā dzīvē (piemēram, vai biodegvielas lietošana dod iespēju sekmīgi iziet transportlīdzekļa tehnisko apskati), tāpēc paralēli veikti atgāzu mērījumi ar iekārtu *OPUS 40* (sk. 3.12. att.). Tās tehniskie parametri apkopoti 3.4. tabulā (*OPUS 40 ...*, S.a.).



3.12. att. Izplūdes gāzu analizators *OPUS 40*

3.3. tabula. **Izplūdes gāzu analizatora OPUS 40 tehniskie dati**

Parametrs	Mērīšanas robežas	Izšķirtspēja	Precizitāte
CO, %	0 – 10	0.01	0.02
HC, ppm	0 – 20 000	1	4
CO ₂ , %	0 – 20	0.1	0.3
O ₂ , %	0 – 25	0.01	0.1
λ	0.6 – 1.7	0.001	N/A
NO _x , ppm	0 – 5 000	1	25
n, min ⁻¹	0 – 9 999	1	N/A
Eļļas temperatūra, °C	0 – 160	1	N/A

Ar šo iekārtu nevar veikt nepārtrauktus atgāzu sastāva mērījumus dažādos spēkratu kustības režīmos, tāpēc galvenais nosakāmais parametrs ar šo iekārtu ir absorbcijas koeficients.

3.3.2. *Pilsētas braukšanas cikla izstrāde jaudas stendam*

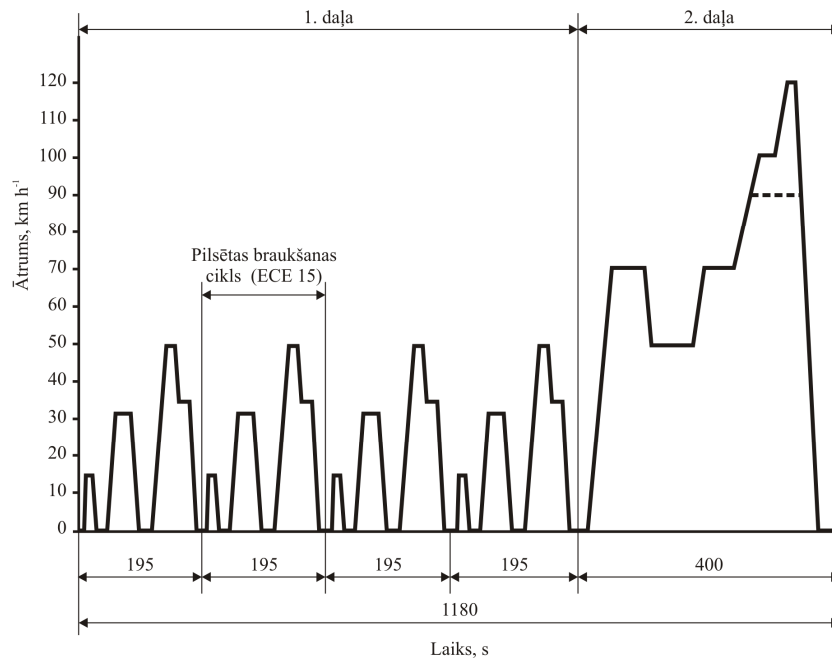
Nosakot degvielas patēriņu dažādos izmēģinājuma braucienos, var secināt, ka visvairāk atkārtojumi jāveic maršrutiem pilsētās, jo tieši šeit dažādi nejauši gadījumsfaktori (piemēram, satiksmes intensitāte, luksoforu darbības iestatījumu izmaiņas, negaidīti šķēršļi vai apledošums uz ielām u.c.) var būtiski ietekmēt mērījumu rezultātus. Sevišķi jūtamas atšķirības veicamo maršrutu parametrus (attālumā, maršruta kopējā izbraukšanas laikā, atsevišķu posmu braukšanas ātrumā) rodas tad, kad nākamā braucienu sērija veikta pēc vairākām dienām vai pat nedēļām. Parasti šāda veida problēmas risina, izmantojot braukšanas imitācijas jeb ciklus uz jaudas stenda.

Braukšanas cikls ir secīga braukšanas uzsākšanas, paātrinājumu, palēninājumu, vienmērīgas braukšanas un apstāšanās posmu sērija, kas simulē reālos braukšanas apstākļus. Visus braukšanas ciklus iedala divās grupās: ar likumdošanu noteiktos (automobiļu izplūdes gāzu sertifikācijai) un pašizveidotos. Pie pirmās grupas pieder ASV izmantojamais *FTP-75*, Eiropā noteiktais *NEDC (New European Driving Cycle)* un *10-15 Mode Cycle*, ko lieto Japānā. Piemēram, ES valstīs direktīva 80/1268/EEC nosaka, ka jaunu automobiļu sertifikācijai izmantojams braukšanas cikls, kas sastāv no četriem 195 s ilgiem pilsētas braukšanas segmentiem *ECE-15* un viena ārpuspilsētas 400 s ilga posma (sk. 3.13. att.) (Emission Test Cycles ..., S.a.). Cikls veidots, pamatojoties uz satiksmes analīzi Parīzes un Romas ielās.

Pašizstrādātos ciklus izveidojuši pētnieki dažādās pasaules valstīs, lai veiktu degvielas patēriņa un atgāzu sastāva pētījumus konkrētās pilsētās. Pie šīs grupas pieder Edinburgas (Esteves-Booth et al., 2001), Honkongas (Hung et al., 2007), Atēnu (Tzirakis et al., 2006), Kalifornijas (Lin and Niemeier, 2002) u.c. cikli.

No ciklu veidošanas viedokļa tos iedala modālajos un „reālās” braukšanas ciklos. Modālie cikli tiek veidoti no konstantu ātrumu un vienmērīgu paātrinājumu (palēninājumu) sērijām. Pie modālajiem pieder arī *NEDC* cikls. Otrās grupas cikli veidoti kā reālo maršrutu tiešas imitācijas, un kā šīs grupas piemērus var minēt *FTP-75* un Atēnu ciklu.

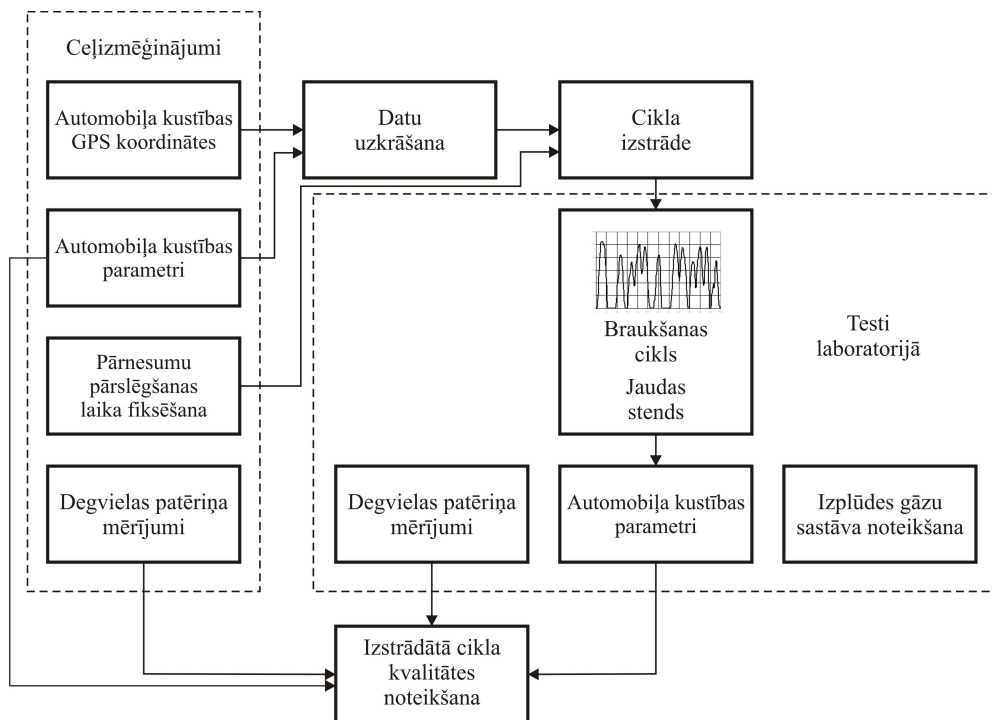
Pēdējo gadu zinātniskās publikācijas liecina, ka katras valsts ceļu tīkla, satiksmes īpatnību un katras tautas braukšanas kultūras dēļ, objektīvus degvielas patēriņa un atgāzu sastāva mērījumu rezultātus var iegūt tikai, izmantojot pašizveidotos ciklus. No ciklu veidošanas viedokļa kā atbilstošākās tiek izdalītas reālo maršrutu tiešas imitācijas (Andre et al., 2006).



3.13. att. **Jaunais Eiropas braukšanas cikls NEDC**

Veicot reālos ceļizmēģinājumus Latvijas pilsētās un, salīdzinot iegūtos rezultātus ar pieejamo ciklu parametriem (kopējiem ciklu laikiem, apstāšanās reizēm uz vienu kilometru, stāvēšanas laikiem, paātrinājumu un palēninājumu raksturiem, vidējiem un maksimālajiem braukšanas ātrumiem u.c.), iegūti ļoti atšķirīgi rezultāti. Tāpēc radās nepieciešamība izstrādāt ciklu, kas būtu piemērots tieši Latvijas apstākļiem.

Izmēģinājumi veikti Jelgavā un tās apkārtnē, tāpēc, lai nodrošinātu laboratorijas un ceļizmēģinājumu mērījumu rezultātu salīdzināmību, tieši šai pilsētai izstrādāta reālās braukšanas imitācija, kura nosaukta par „Jelgavas ciklu”. Vispirms izstrādāta braukšanas cikla izstrādes procedūra (sk. 3.14. att.) (Dukulis and Pirs, 2009).

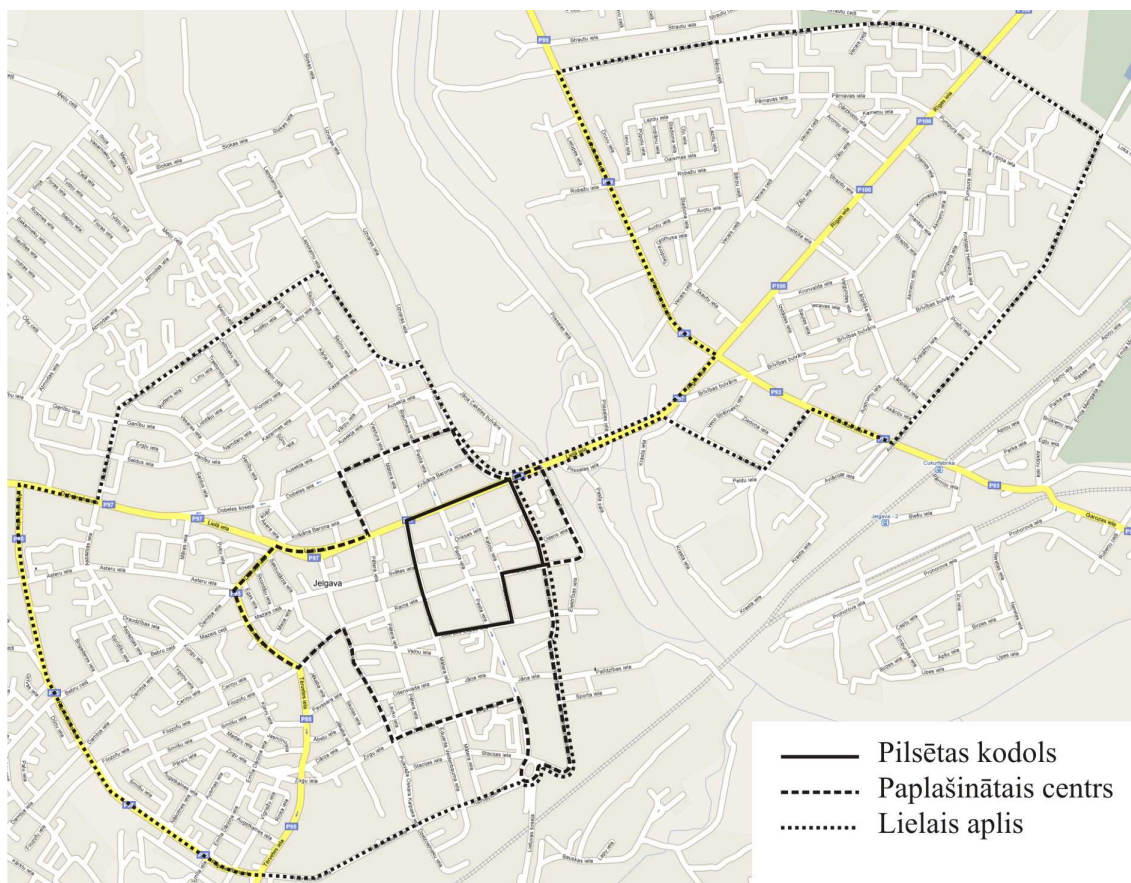


3.14. att. **Braukšanas cikla izstrādes procedūra**

Testu braucienos automobilis *VW Golf 1.9TD* tika aprīkots ar:

- degvielas patēriņa mērītāju *AVL KMA Mobile*;
- datu uzkrāšanas ierīci *CANYON CNS-GPS2* braukšanas ātruma un *GPS* koordinātu noteikšanai;
- digitālo videokameru *DCR-SR30E* maršrutu un pārslēgšanas laiku fiksēšanai;
- portatīvo datoru datu uzkrāšanas ierīces un degvielas patēriņa mērītāja signālu saglabāšanai.

Pamatojoties uz 10 h ilgu priekšizpētes braucienu analīzi, pilsētā tika izveidoti trīs dažādi maršruti (sk. 3.15. att.).



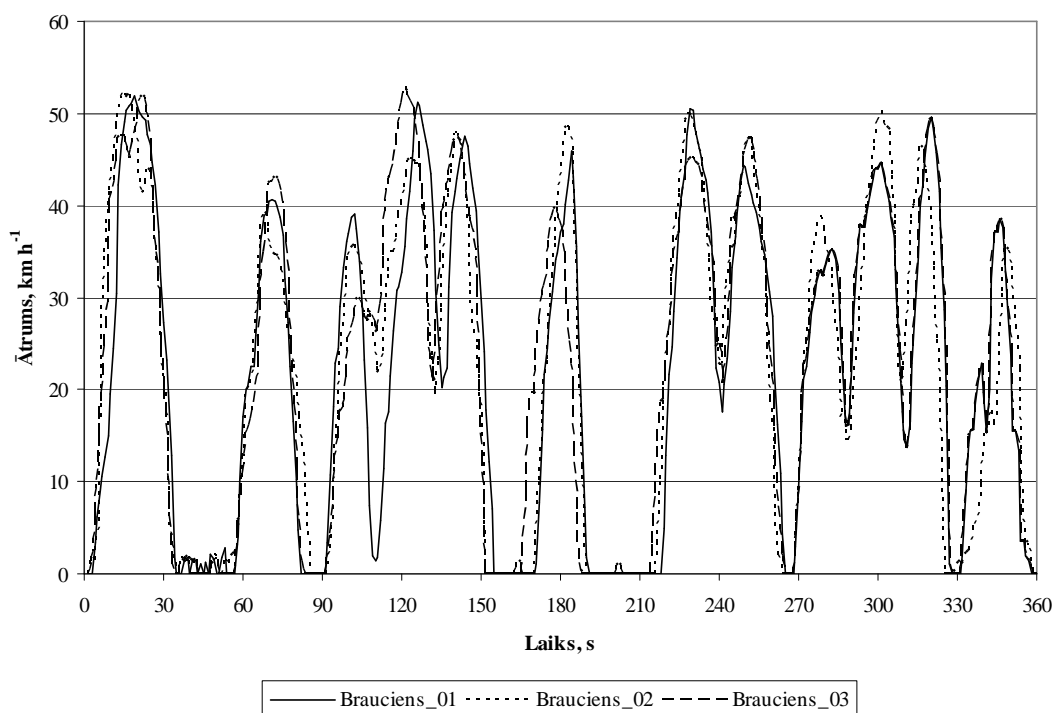
3.15. att. Braukšanas maršruti Jelgavas pilsētā

Visi maršruti veikti tikai darbdienās un stundās, kad pilsētā satiksme ir visintensīvākā (8:00–9:30 un 11:30–13:30).

„Pilsētas kodola” maršrutā veikti 15 braucieni, no kuriem atlasīti 3 ar visaugstāko savstarpējo ātruma līkņu korelāciju (sk. 3.4. tab. un 3.16. att.).

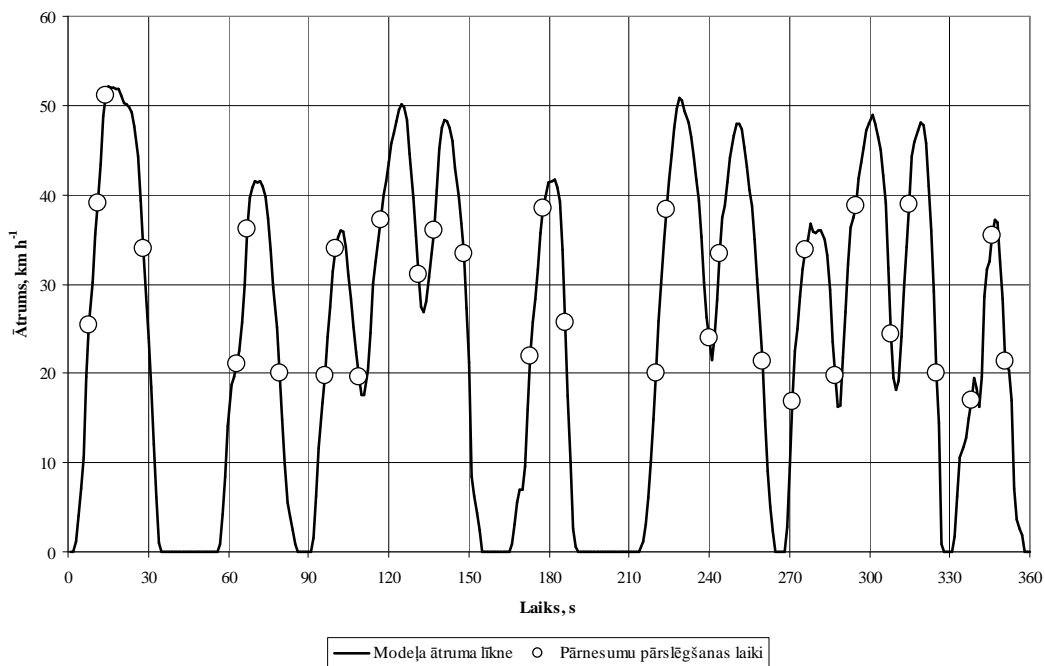
3.4. tabula. Eksperimentālo braucienu analīze

Braucienu Nr.	Laiks, s	Attālums, km	Vidējais ātrums, km h ⁻¹	Ātruma līkņu korelācija		
				1	2	3
1	366	2.322	22.839	N/A	0.892	0.891
2	364	2.374	23.481	0.892	N/A	0.913
3	361	2.348	23.158	0.891	0.913	N/A



3.16. att. Eksperimentālo braucienu ātruma līknes

Izklājlapu lietotnē veikta ātruma līkņu nolīdzināšana (piemēram, vietās, kur pie krustojuma stāvoša automobiļa ātrums pulsēja), kā arī neliela pārbīde laikā, jo ar videokameru tika fiksēts, kurā sekundē pie attiecīgā krustojuma tiek uzsākta kustība. Katrai brauciena sekunde aprēķinātas ātrumu vidējās vērtības, kā rezultātā izveidota 360 s ilga teorētiskā brauciena (modeļa) ātruma līkne. Pārnesumu pārslēgšanas laiki noteikti pēc videokameras ieraksta (sk. 3.17. att.).



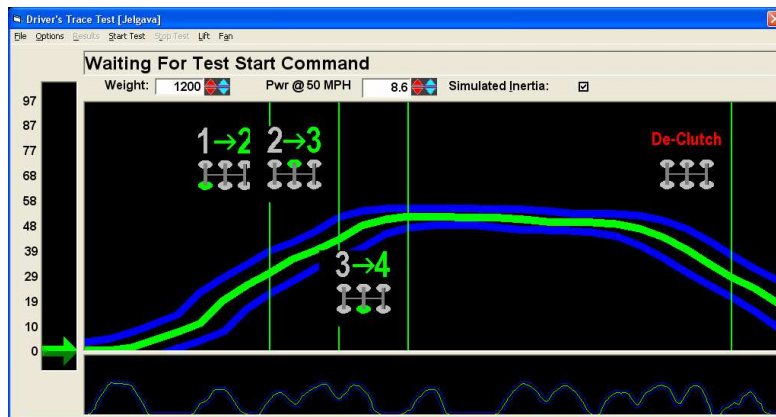
3.17. att. Modeļa ātruma līkne un pārnesumu pārslēgšanas punkti

Aprēķinātā korelācija starp modeļa un reālo braucienu ātrumu līknēm ir attiecīgi 0.961, 0.968 un 0.968.

Jaudas stenda *Mustang MD-1750* programmatūra neparedz jaunu ciklu pievienošanu, lietojot tās saskarni vai izvēlnes, tāpēc tika izpētīta vadības sistēmas programmatūra, identificēti mainīgie, izanalizēti esošo ciklu parametru faili, bet pašizveidotais cikls tika uzprogrammēts. Tā fragmenti doti 3.5. tabulā, bet jaudas stenda vadības programmatūras izskats izstrādātā cikla braukšanas režīmā parādīts 3.18. attēlā.

3.5. tabula. „Jelgavas cikla” programmas koda fragmenti

Cikla pamatinformācija	Ātruma punktu noteikšana	Pārnesumu pārslēgšanas noteikšana
<pre>[General] Name=Jelgava RunningTime=360 MaxSpeedToShow=60 SpeedErrorLimit=2 SpeedErrorTimeRange=1 WarningToViolationTime=2 MaxDistanceError=0.05 HPIntegrationWindow1Start=55 HPIntegrationWindow1End=81 HPIntegrationWindow1Tolerance=0.5 HPIntegrationWindow2Start=189 HPIntegrationWindow2End=201 HPIntegrationWindow2Tolerance=0.5 LR_MinSE=0 LR_MaxSE=2 LR_Minm=0.96 LR_Maxm=1.01 LR_MinR2=0.97 LR_MaxR2=1 LR_Minb=-2 LR_Maxb=2 MaxISEPercent=1 MinPurgeFlow=1</pre>	<pre>[SpeedPoints] Point1 = 0 Point2 = 0 Point3 = 0.7 Point4 = 2.5 Point5 = 4.4 Point6 = 6.6 Point7 = 12.2 Point8 = 15.8 Point9 = 18.8 Point10 = 22.1 Point11 = 24.3 Point352 = 12.6 Point353 = 10.6 Point354 = 4.4 Point355 = 2.3 Point356 = 1.6 Point357 = 1.2 Point358 = 0 Point359 = 0 Point360 = 0</pre>	<pre>[ShiftPoint1] TimeIntoTest=8 FromGear=1 ToGear=2 [ShiftPoint2] TimeIntoTest=11 FromGear=2 ToGear=3 [ShiftPoint3] TimeIntoTest=14 FromGear=3 ToGear=4 [ShiftPoint31] TimeIntoTest=346 FromGear=2 ToGear=3 [ShiftPoint32] TimeIntoTest=351 FromGear=0 ToGear=0</pre>



3.18. att. Programmatūras izskats izstrādātā cikla braukšanas režīmā

Cikla izveide veikta pirms automobiļa pārbūves darbināšanai ar augu eļļu, tāpēc modeļa kvalitātes, t.i., stenda un reālas braukšanas rezultātu atbilstības noteikšanai tika izmantoti citi degvielu veidi. Pilsētā un uz stenda veikti seši braucieni. Modeļa kvalitātes noteikšanas testu rezultāti, lietojot dīzeļdegvielu, apkopoti 3.6. tabulā.

3.6. tabula. Modeļa kvalitātes noteikšana, lietojot fosilo dīzeļdegvielu

Parametrs	Vidēji pilsētā	Vidēji uz stenda	Starpība, %
Nobrauktais attālums, km	2.362	2.331	1.31
Vidējais ātrums, km h ⁻¹	23.356	23.332	0.10
Degvielas patēriņš uz 100 km, l	9.666	9.584	0.85

Lai pārlicinātos, vai modeļa izmantošanu neietekmē degvielas veids, tika veikta izmēģinājumu sērija, lietojot to pašu automobili, bet kā degvielu – biodīzeļdegvielu. Mērījumu un aprēķinu rezultāti doti 3.7. tabulā.

3.7. tabula. **Modeļa kvalitātes noteikšana, lietojot biodīzeļdegvielu**

Parametrs	Vidēji pilsētā	Vidēji uz stenda	Starpība, %
Nobrauktais attālums, km	2.348	2.321	1.15
Vidējais ātrums, km h ⁻¹	23.159	23.278	0.51
Degvielas patēriņš uz 100 km, l	10.653	10.589	0.60

Arī šajā gadījumā datu sakritība ir augsta, turklāt apliecinājās tendence, ka, lietojot biodīzeļdegvielu, degvielas patēriņa palielinājums ir aptuveni 9%, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu. Izstrādātā cikla kvalitāte tika pārbaudīta arī ar diviem citiem automobiļiem – *Chrysler Voyager 2.5 CDI* un *Audi A4* (1.8l benzīns), jo bija jāpārlicinās, kā rezultātus ietekmē lielāka darba tilpuma dīzeļmotora vai benzīnmotora izmantošana. Visos eksperimentos vidējā degvielas patēriņa atšķirības pilsētas apstākļos un uz stenda nepārsniedza 1%. Nelielas korekcijas ciklā jāievieš tikai pie pārneseņu pārslēgšanas, jo, mainoties motora darba tilpumam un pārneseņkārbes parametriem, pārneseņu pārslēgšana laikus, kas tika eksperimentāli noteikti ar automobili *VW Golf 1.9TD*, ne vienmēr bija komfortabla.

Analoģiski iepriekš aprakstītajai metodikai izveidoti braukšanas cikli 3.15. attēlā dotajam otrajam un trešajam maršrutiem. Otrā maršruta garums bija 6.32 km, vidējais ātrums – 29.67 km h⁻¹. Trešajam ciklam šie parametri bija attiecīgi 17.47 km un 38.27 km h⁻¹.

Veicot vairākus atkārtojumus šajos maršrutos, konstatēts, ka, ņemot vērā lielo attālumu un dažādu gadījuma faktoru ietekmes varbūtību (piemēram, luksofori, gājēju pārejas utt.), ir lielāka nobīde atsevišķu braucienu ātruma līknēs, taču, pateicoties lielajam maršrutu garumam, gadījuma faktoru ietekme uz ceļā pavadīto laiku, vidējo ātrumu un degvielas patēriņu bija nebūtiska. Tāpēc imitācijai uz stenda tika izvēlētas konkrētu ceļa izmēģinājumu ātruma līknes, kurās nerādās būtiski traucējumi. Salīdzinot izmēģinājumu rezultātus, kas iegūti uz stenda un ceļa, atšķirības bija vēl mazākas nekā pilsētas kodolā. Diemžēl tik garu maršrutu tieša imitācija ir saistīta ar lielu laika patēriņu un automobiļa pārslodzi, tāpēc turpmākajos izmēģinājumos uz stenda izmantots tikai „Jelgavas cikls”.

3.3.3. Mērīšanas ilguma un atkārtojumu skaita noteikšana

Ar katru degvielas veidu (gan reālajos ceļa izmēģinājumos, gan laboratorijā) paredzēts veikt daudzus braucienus dažādos režīmos, tāpēc nepieciešams noteikt, cik ilgi jāveic mērīšana un cik atkārtojumi vajadzīgi, lai nodrošinātu pietiekamu rezultātu ticamību. Parasti mērījumu skaitu nosaka atkarībā no nepieciešamā eksperimenta rezultāta ticamības un mērīšanas kļūdas standarta. Piemēram, vienkāršu likumsakarību noteikšanai pietiekama 67% ticamība, inženierproblēmu risināšanā – no 90% līdz 95%, bet, ja iegūtās likumsakarības tiks izmantotas un ietekmēs citus pētījumus, tad 99%. Mērīšanas kļūdas standartu galvenokārt nosaka mērīšanas līdzekļa precizitāte.

Diemžēl šajos eksperimentos nevar izmantot šo metodiku tiešā veidā, jo mērīšanā vienlaikus tiek lietotas vairākas neatkarīgas iekārtas un arī mērāmie parametri ir ar dažādu rezultātu izkliedi. Tāpēc katrā izstrādātās automobiļa testēšanas metodikas (sk. 3.5. att.) posmā veikti meklējumeksperimenti jeb pilottesti, kuru rezultātā noteikts mērīšanas ilgums un atkārtojumu skaits.

Veicot braucienus Jelgavas pilsētas centrā (sk. 3.19. att.), izmantots tas pats princips, kas aprobēts braukšanas ciklu izstrādē, t.i., maršrutā veikti 15 atkārtojumi ar katru degvielas veidu, no kuriem atlasīti trīs braucieni ar visaugstāko savstarpējo ātruma līkņu korelāciju.



3.19. att. Maršruts Jelgavas pilsētas centrā

Izvēloties kombinēto maršrutu ceļa eksperimentiem, meklēti tādi ceļa posmi, kas varētu būt pēc iespējas tipiski ikdienas autovadītājam, t.i., lai tie ietvertu braukšanu pilsētā, ārpuspilsētas režīmā, izbraukšanu cauri nelielām apdzīvotām vietām un tiktu izmantoti dažādi ceļu segumi. Meklējumeksperimentos testēti divi maršruti: Jelgava – Rindzele un Rindzele – Jelgava ar izbraukšanu caur Tukumu un Enguri, katrā veicot piecus atkārtojumus. Konstatēts, ka nedaudz atšķirīgi ir gan abu maršrutu garumi (attiecīgi aptuveni 87 un 89 km), gan arī to veikšanas laiki un līdz ar to arī vidējie braukšanas ātrumi (attiecīgi aptuveni 73 un 71 km h⁻¹). GPS datu analīze šo faktu izskaidroja ar atšķirībām reljefā un atsevišķu posmu izbraukšanas trajektorijām. Tāpēc kā vienu atkārtojumu tika pieņemts veikt minēto maršrutu apvienojumu, t.i., Jelgava – Tukums – Engure – Rindzele – Engure – Tukums – Jelgava. Tā kā kopējais maršruta garums ir liels (aptuveni 176 km), tad ar katru degvielas veidu veikti 3 atkārtojumi.

Veicot jaudas un griezes momenta mērījumus, jaudas stenda *Mustang MD-1750* programmatūra grafiski parādza vienlaikus attēlot trīs mērījumu rezultātus. Tāpēc pārbaudīts, vai trīs atkārtojumi ir pietiekami, lai to vidējās vērtības varētu izmantot spēkratu dinamisko parametru salīdzināšanai, darbinot tos ar dažādu degvielu veidiem.

6. pielikumā dots meklējumeksperimentu jaudas un griezes momenta raksturlīkņu attēlojums jaudas stenda programmatūrā, bet 7. pielikumā – šo raksturlīkņu datu apstrādes fragments. Salīdzinot jaudas un griezes momenta vidējās vērtības ar katra atsevišķā brauciena vērtībām, griezes momenta raksturlīknēm korelācija pārsniedza 99.7%, bet jaudai sasniedza pat 99.9%. Šāda datu sakritība vērtējama kā ļoti augsta, līdz ar to 3 atkārtojumi jaudas un griezes momenta mērījumos ir pietiekami.

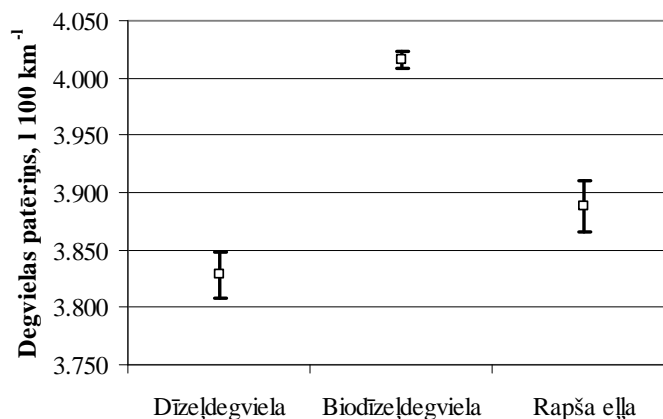
Veicot automobiļa pilottestus ar trīs dažādām degvielām pie konstanta kustības ātruma 50 km h⁻¹, pārbaudīts, vai izvēlētais testa norises ilgums (120 sekundes) ir pietiekams, lai viennozīmīgi identificētu degvielas patēriņa atšķirības. Šo eksperimentu

datu apstrādes rezultāti doti 3.8. tabulā. Aprēķinos izmantota vispārpieņemtā statistisko datu apstrādes metodika (Pommers, 1989; Arhipova un Bāliņa, 2003).

3.8. tabula. Degvielas patēriņa pilottestu rezultāti pie konstanta braukšanas ātruma

Parametrs	Dīzeļdegviela	Biodīzeļdegviela	Rapša eļļa
Vidējā vērtība	3.82835	4.01569	3.88810
Standartklūda	0.00658	0.00258	0.00731
Mediāna	3.80	4.02	3.89
Moda	3.80	4.02	3.90
Standartnovirze	0.06678	0.02604	0.04738
Amplitūda	0.34	0.16	0.18
Minimālā vērtība	3.72	3.94	3.80
Maksimālā vērtība	4.06	4.10	3.98
Mērījumu punktu skaits	120	120	120
Variāciju koeficients	0.17%	0.06%	0.19%

Ņemot vērā, ka katra mērījuma variācijas koeficients ir mazāks par 0.2%, var secināt, tad mērījumu precizitāte ir augsta, bet, attēlojot aprēķinu rezultātu vidējās vērtības (plus/mīnus divas standartklūdas) grafiski (sk. 3.20. att.), atšķirības rezultātos ir skaidri identificējas.



3.20. att. Degvielas patēriņa pilottestu rezultāti pie konstanta braukšanas ātruma

Ņemot vērā degvielas patēriņa mērījumu augsto precizitāti, atsevišķu atkārtojumu ilgumu varētu samazināt, tomēr tas netika darīts, jo paralēli degvielas patēriņa mērījumiem tika noteikts arī izplūdes gāzu sastāvs. Samazinot testa norises laiku divas reizes un aprēķinot variācijas koeficientus, dažām izplūdes gāzu komponentēm tas sasniedza 10%. Tāpēc katra atkārtojuma norises ilgums tika atstāts nemainīgs, t.i., 120 sekundes.

Veicot braukšanas imitācijas uz jaudas stenda, problēmas nesagādā konstantu braukšanas ātrumu (50 km h^{-1} , 90 km h^{-1} un 110 km h^{-1}) nodrošināšana, jo šajos gadījumos atbalstu sniedz stenda programmatūra. Imitējot braukšanas ciklus, mērījumu rezultātus var ietekmēt vadītāja spēja reaģēt uz programmatūras instrukcijām uzsākt braukšanu, mainīt kustības ātrumu, pārslēgt pārnēsumus vai apstāties. Tāpēc tika veikti testi ciklu izbraukšanas precizitātes noteikšanai. 8. un 9. pielikumā doti attiecīgi cikla *IM-240* un „Jelgavas cikla” ātruma un nobrauktā attāluma grafiskie attēlojumi jaudas stenda programmatūrā. 10. un 11. pielikumā parādīti šo līkņu datu apstrādes fragmenti.

Savstarpēji salīdzinot atsevišķu braucieni ātruma un attāluma vērtības katrā sekundē un aprēķinot datu sēriju korelācijas, abu ciklu gadījumā tā pārsniedza 99.8%, līdz ar to šāda datu sakritība vērtējama kā augsta, un vadītāja subjektīvais faktors mērījumu rezultātus nevar ietekmēt.

Pamatojoties uz metodiku, kas nosaka minimālo atkārtojumu skaitu pietiekamas eksperimentu ticamības sasniegšanai (ar iepriekš aprakstītās aparatūras precizitāti 90% eksperimenta ticamību nodrošina 3 atkārtojumi, 95% ticamību – 4 atkārtojumi, bet 99% ticamību – 5 atkārtojumi), kā arī, lai mērījumu rezultātus pēc iespējas mazāk ietekmētu subjektīvie apstākļi, piemēram, motora vai laboratorijas temperatūras izmaiņas, tika nolemts katrā režīmā veikt piecus atkārtojumus.

Neskaties uz to, ka iegādātās iekārtas ir dārgas un ļoti precīzas, to programmatūra ļauj iegūtus datus aplūkot (grafiski vai skaitliski), bet nedod iespēju tos apstrādāt. Tā, piemēram, atgāzu sastāva mērījumu rezultāti tiek saglabāti failu formātā *.txt* (sk. 3.21. att.), bet degvielas patēriņa rezultāti – formātā *.mes* (sk. 3.23. att.).

The screenshot shows a Notepad++ window titled "D:\Mlars_2008\Disertacija\Testi_12marts\Rapsis\50_rapsis.txt". The text content is as follows:

```

1 sec;CH4_L1;NOX_L1;H2O_L1;CO_L1;CO2_L1;HCD_L1;NO_L1;NO2_L1;N2O_L1;NH3_L1;C2H4_L1;C2H6_L1;
2 1;2.210000;187.635605;2.777900;342.846802;4.033024;112.779999;154.729996;29.350000;0.000
3 2;2.310000;184.903305;2.740100;347.859100;3.893495;115.730003;152.460007;29.010000;0.000
4 3;2.090000;182.384201;2.749700;343.205933;3.849042;107.389999;150.259995;28.719999;0.000
5 4;2.450000;180.385941;2.721700;348.251709;3.742496;108.309998;147.860001;29.219999;0.000
6 5;2.070000;179.783966;2.721200;360.260651;3.705396;109.010002;147.729996;28.750000;0.000
7 6;2.280000;175.884262;2.688500;354.110779;3.579399;105.430000;143.869995;28.840000;0.000
8 7;2.000000;175.822021;2.676600;362.661560;3.672437;97.400002;143.619995;28.040001;0.000

```

3.21. att. Atgāzu sastāva mērījumu iegūtais datu formāts

The screenshot shows a Notepad++ window titled "D:\Mlars_2008\Disertacija\Testi_12marts\AVL\WV_Golf3_50_Rapsis.mes". The text content is as follows:

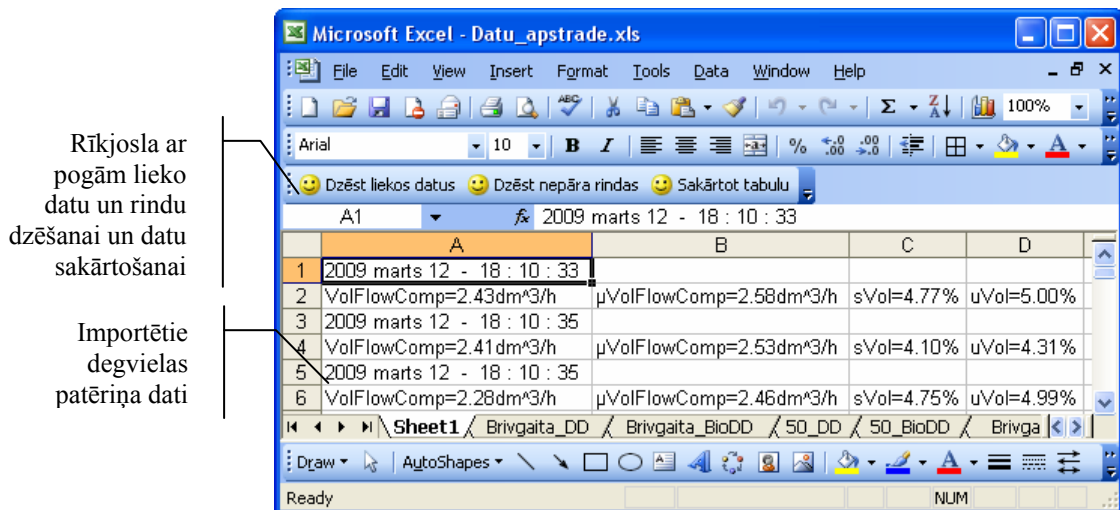
```

1 2009 marts 12 - 18 : 11 : 56
2 VolFlowComp=1.99dm^3/h;µVolFlowComp=1.99dm^3/h;sVol=0.57%;uVol=0.60%;
3 2009 marts 12 - 18 : 11 : 57
4 VolFlowComp=1.96dm^3/h;µVolFlowComp=1.98dm^3/h;sVol=0.83%;uVol=0.87%;

```

3.22. att. Degvielas patēriņa mērījumu iegūtais datu formāts

Turpmākai apstrādei šie dati tiek importēti izklājlapu lietotnē. Degvielas patēriņa mērītāja iegūtajiem datiem apstrāde ir ļoti darbietilpīga (daudz liekas informācijas, skaitļi nav atdalīti no teksta), sevišķi ņemot vērā lielo atkārtojumu skaitu katrai izmēģinājumu sērijai. Šīs problēmas risināšanai, izmantojot *Visual Basic for Application* iespējas, uzprogrammētas makrokomandas, kas izklājlapu lietotnē datus pārveido formā, kas ļauj veikt to apstrādi. Izveidoto programmu kodi doti 12. pielikumā. Atverot datu apstrādes failu, makrokomanda automātiski izveido datu apstrādes rīkjoslus, bet importētie degvielas patēriņa dati tiek sadalīti pa izklājlapu lietotnes šūnām (sk. 3.23. att.).



3.23. att. **Importētie degvielas patēriņa dati izklājlapu lietotnē pirms makrokomandu izpildes**

Secīgi piespiežot rīkjoslas pogas lieko datu un rindu dzēšanai, kā arī datu sakārtošanai, dati darblapā tiek pārveidoti, kā parādīts 3.24. attēlā. To turpmākai apstrādei izmantojamas visas izklājlapu lietotnē pieejamās funkcijas.

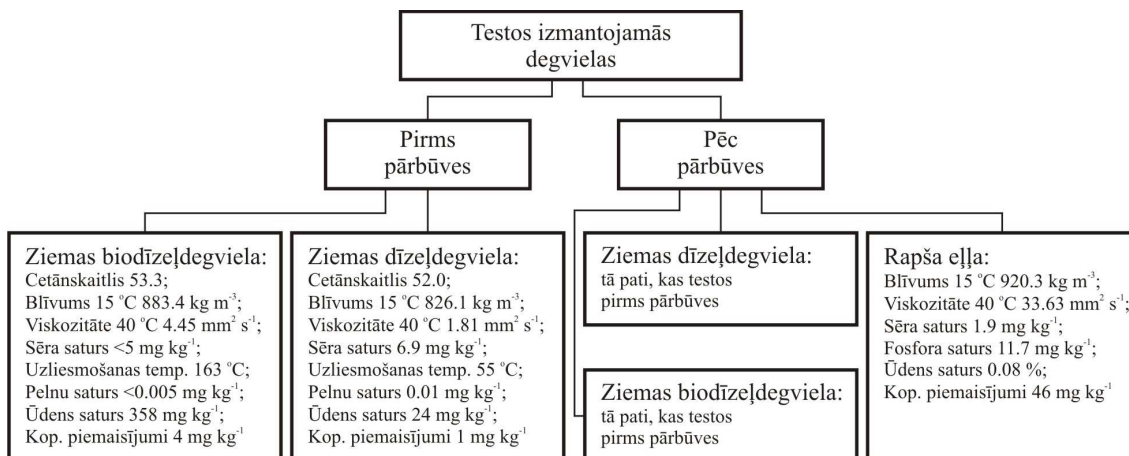
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	VolFlowComp	μVolFlowComp	sVol	uVol				
2	2.43	2.58	4.77%	5.00%				
3	2.41	2.53	4.10%	4.31%				
4	2.28	2.46	4.75%	4.99%				
5	2.37	2.42	3.83%	4.02%				
6	2.28	2.38	3.31%	3.48%				

3.24. att. **Degvielas patēriņa dati izklājlapu lietotnē pēc makrokomandu izpildes**

Izstrādātā speciālā eksperimentu metodika izmantota ne tikai šajā darbā, bet aprobēta vairākos citos pētījumos (Pirs et al., 2010; Pirs and Dukulis, 2010; Baks et al., 2011), kā arī, papildinot ar bioetanola izmantošanai raksturīgām ierīcēm, promocijas darbā „Bioetanola izmantošana ottomotoros” (Pīrs, 2011).

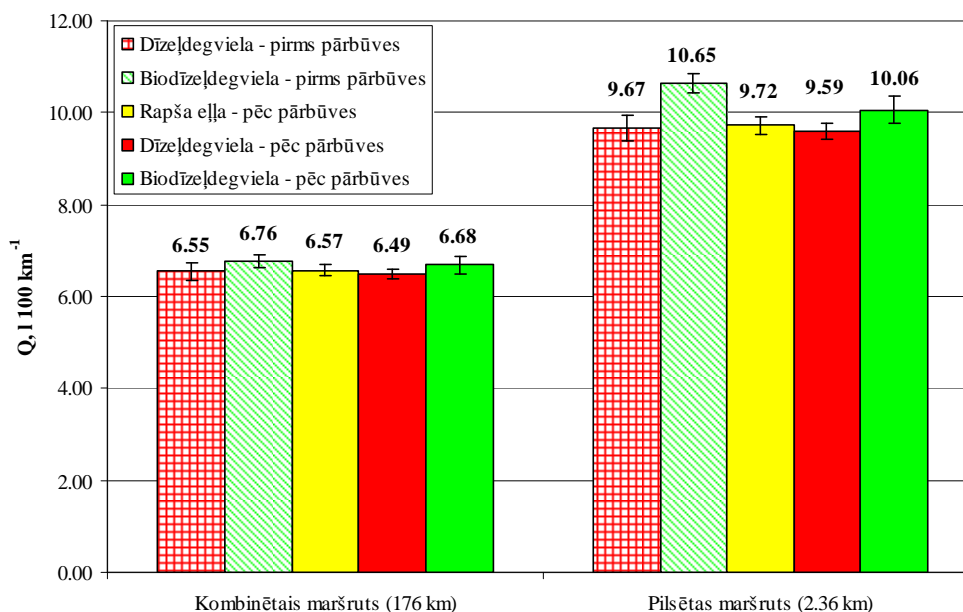
3.4. Rapša eļļas degvielas izmantošanas pētījumi, izmantojot vienas tvertnes sistēmu

Automobilis *VW Golf 1.9TD* tika testēts pirms pārbūves darbināšanai ar rapša eļļu un pēc tās. Lai gan tiešais pētījuma mērķis bija novērtēt rapša eļļas degvielas izmantošanu, nosakot jaudu, griezes momentu, degvielas patēriņu un atgāzu sastāvu salīdzinājumā ar fosilo dīzeļdegvielu, rezultātu reprezentabilitātes paplašināšanai pētījumos tika izmantota arī biodīzeļdegviela. Izmantoto degvielu īpašības dotas 3.25. attēlā.



3.25. att. Pētījumos izmantoto degvielu īpašības

Saskaņā ar izstrādāto metodiku, Jelgavas pilsētas centra 2.36 km maršrutā veikti 15 atkārtējumi ar katru degvielas veidu, no kuriem atlasīti trīs braucieni ar visaugstāko savstarpējo ātruma līkņu korelāciju. Savukārt 176 km kombinētajā maršrutā Jelgava – Tukums – Engure – Rindzele – Engure – Tukums – Jelgava ar katru degvielas veidu veikti 3 atkārtējumi. Degvielas patēriņa salīdzinājums šajos izmēģinājumos parādīts 3.26. attēlā.



3.26. att. Degvielas patēriņa salīdzinājums ceļizmēģinājumos

Vidējais degvielas patēriņš Q ceļizmēģinājumos (l 100km⁻¹) noteikts pēc sakarības (Pīrs, 2011):

$$Q_{(l \cdot 100 km^{-1})} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{100 \cdot t}{3600 \cdot s} \cdot \sum_{i=1}^t Q_{(l \cdot h^{-1}, mom)} \right)_i, \quad (3.3)$$

kur n – atkārtējumu skaits;

s – atkārtējuma laikā nobrauktais attālums, km;

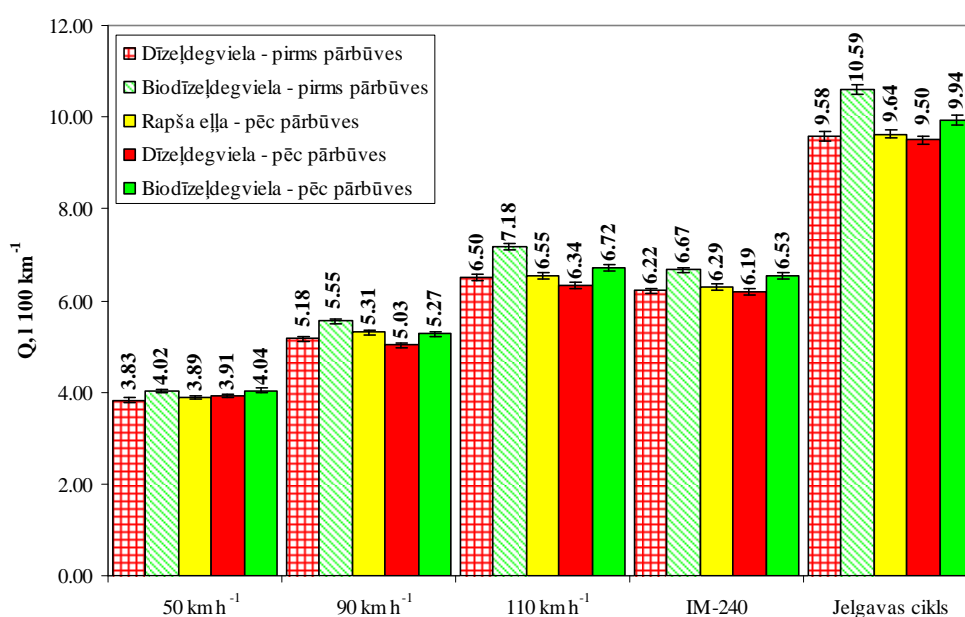
t – viena atkārtējuma laiks, s;

$Q_{(l \cdot h^{-1}, mom)}$ – momentānais degvielas patēriņš, l h⁻¹.

Salīdzinot aprēķinu rezultātu vidējās vērtības, rapša eļļas patēriņš pēc pārbūves nedaudz pārsniedz fosilās dīzeļdegvielas patēriņu pirms pārbūves (aptuveni par 1%), bet ir jūtami mazāks nekā biodīzeļdegvielai (braucot pilsētā pat par 8.7%). Testējot automobili pēc pārbūves ar abiem pirms tam izmantotajiem degvielu veidiem, arī to patēriņš samazinājies (atkārībā no degvielas veida un braukšanas maršruta – no 1 līdz 5%), taču degvielas patēriņa tendence arī šeit saglabājas, t.i., salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu, rapša eļļas degvielas patēriņš ir lielāks, bet, salīdzinot ar biodīzeļdegvielu, mazāks. Lai gan atkārtojumu rezultātu izkliede ceļizmēģinājumos bija salīdzinoši neliela (tā nepārsniedza 3%), ņemot vērā nelielās degvielas patēriņa atšķirības ar dažādiem degvielu veidiem, šos rezultātus nevar novērtēt kā neapstrīdamus.

Tāpēc iegūto rezultātu ticamība tika pārbaudīta laboratorijas testos, mērot degvielas patēriņu pie trīs dažādiem konstantiem braukšanas ātrumiem (50, 90 un 110 km h⁻¹) un divu braukšanas ciklu (IM-240 un „Jelgavas cikla”) imitācijās, saskaņā ar iepriekš aprakstīto metodiku.

Degvielas patēriņa salīdzinājums šajos izmēģinājumos parādīts 3.27. attēlā.



3.27. att. Degvielas patēriņa salīdzinājums laboratorijas testos

Vidējais degvielas patēriņš Q laboratorijas testos, braucot ciklus, noteikts tāpat kā ceļizmēģinājumos, t.i., pēc sakarības (3.3).

Vidējais degvielas patēriņš (l 100km⁻¹) konstanta ātruma režīmā noteikts pēc sakarības (Pīrs, 2011):

$$Q_{(l-100km^{-1})} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{100}{v \cdot t} \cdot \sum_{i=1}^t Q_{(l-h^{-1}, mom)} \right)_i, \quad (3.4)$$

kur v – kustības ātrums, km h⁻¹.

Veicot mērījumu datu apstrādi, nevienā atsevišķā atkārtojumā datu variācijas koeficients nepārsniedza 0.3%, savukārt atšķirības starp atkārtojumu vidējām vērtībām nevienā no pārbaudes režīmiem nebija lielāka par 1.5%. Tāpēc degvielas patēriņa rezultātus ar varbūtību 95% var vērtēt kā ticamus.

Tā kā visos pārbaudītajos režīmos patēriņa atšķirību tendence starp dažādiem degvielu veidiem ir līdzīga, tad aprēķinātas šo atšķirību vidējās vērtības. Ja vērtē rapša eļļas degvielas patēriņu pielāgotam automobilim ar degvielas patēriņiem pirms

pārbūves, tad, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu, tas ir lielāks vidēji par 1.3%, bet, salīdzinot ar biodīzeļdegvielu, mazāks vidēji par 6.2%. Tā kā automobili pēc pārbūves drīkst darbināt ne tikai ar rapša eļļu, bet arī ar abiem pārējiem degvielu veidiem, tad šajā gadījumā rapša eļļas degvielas patēriņš vidēji par 2.3% pārsniedz fosilās dīzeļdegvielas patēriņu, bet, salīdzinot ar biodīzeļdegvielu, tas ir mazāks vidēji par 2.5%.

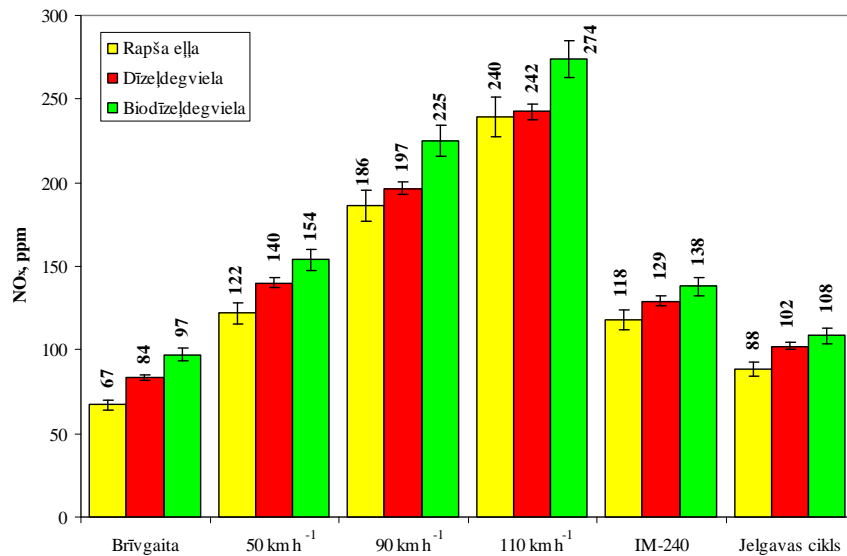
Pēc pārbūves paralēli degvielas patēriņa mērījumiem tika veikta atgāzu sastāva analīze, izmantojot *AVL SESAM FTIR* iekārtu.

3.28. – 3.33. attēlos parādīti vidējie dažādu izplūdes gāzu komponentu daudzumi atgāzēs brīvgaitā, pie konstantiem braukšanas ātrumiem un ciklu veikšanas laikā.

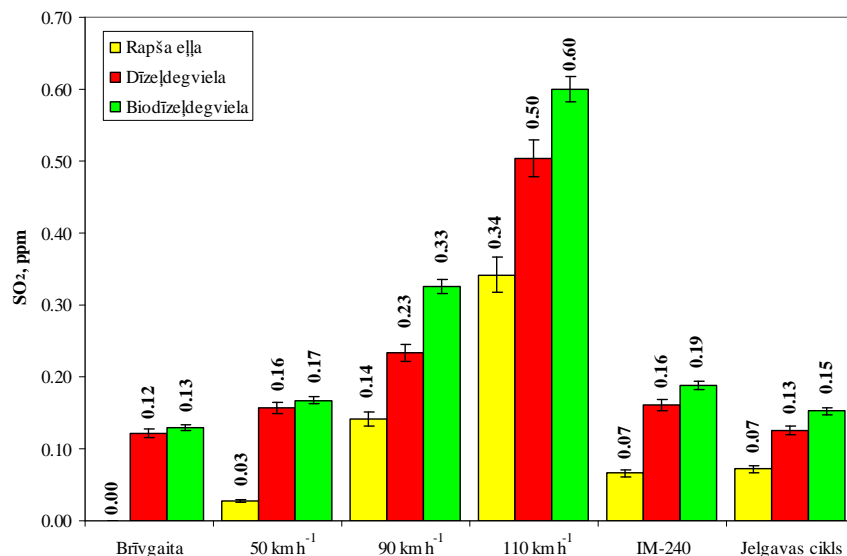
Katras pētāmās atgāzu komponentes relatīvais daudzums (ppm vai %) visos izmēģinājuma režīmos noteikts pēc sakarības (Pīrs, 2011):

$$Q_{(ppm \text{ vai } \%)} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^t Q_{(ppm \text{ vai } \%, mom)} \right)_i, \quad (3.5)$$

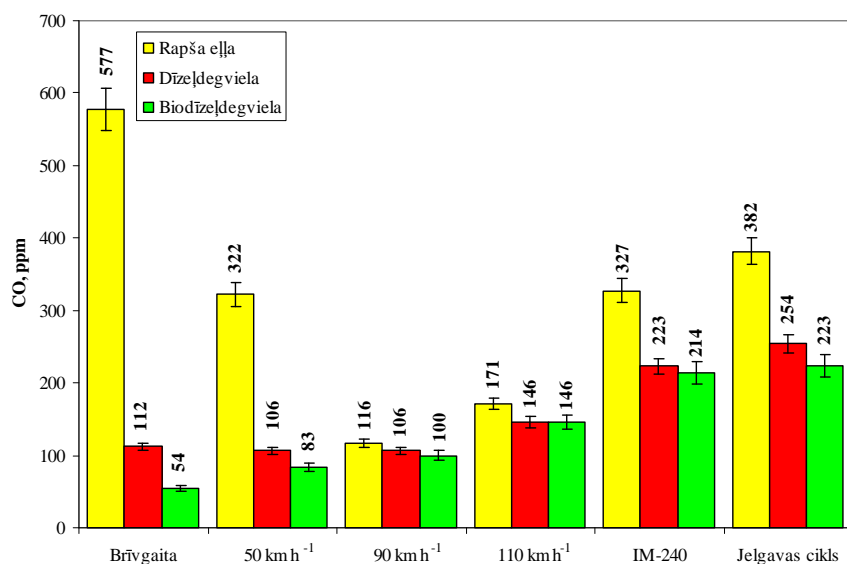
kur $Q_{(ppm \text{ vai } \%, mom)}$ – momentānais atgāzu komponentes relatīvais daudzums, ppm vai %.



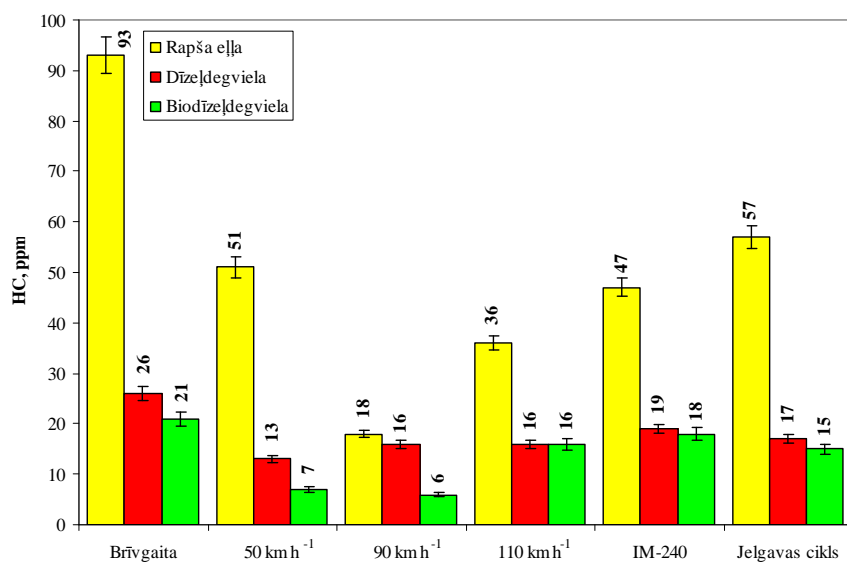
3.28. att. NO_x saturs atgāzēs pēc automobiļa pārbūves



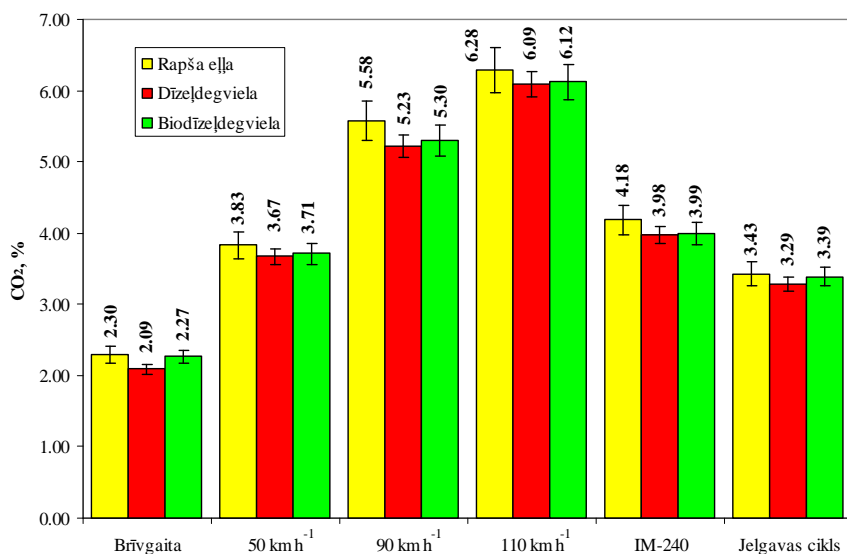
3.29. att. SO₂ saturs atgāzēs pēc automobiļa pārbūves



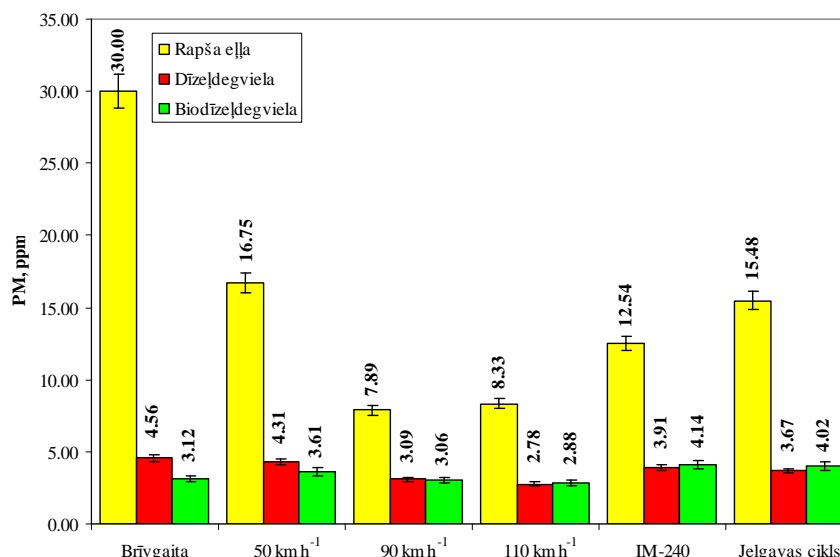
3.30. att. CO saturs atgāzēs pēc automobiļa pārbūves



3.31. att. Nesadeģušo ogļūdeņražu saturs atgāzēs pēc automobiļa pārbūves



3.32. att. CO₂ saturs atgāzēs pēc automobiļa pārbūves



3.33. att. Mehānisko daļiņu saturs atgāzēs pēc automobiļa pārbūves

Apstiprināti citu pētnieku iegūtie rezultāti (Moser, 2011) par NO_x palielinājumu, salīdzinot biodīzeļdegvielu ar fosilo dīzeļdegvielu (vidēji par 11.1%), taču, lietojot rapša eļļas degvielu, šis palielinājums netika novērots, lai gan eļļa sadeg lēnāk. Salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu NO_x samazinājums vidēji bija 10.3%, bet, salīdzinot ar biodīzeļdegvielu – 19.1%. Arī SO₂ daudzums atgāzēs, salīdzinot ar abiem pārējiem degvielu veidiem rapša eļļai arī bija vismazākais (vidēji par 59.2% mazāks nekā fosilajai dīzeļdegvielai un par 66.8 % mazāks nekā biodīzeļdegvielai).

CO, HC, CO₂ un mehānisko daļiņu (PM) daudzums atgāzēs, izmantojot rapša eļļas degvielu, salīdzinot ar abiem pārējiem degvielu veidiem, bija vislielākais. Ja CO₂ palielinājums (salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu vidēji par 5.6%, bet biodīzeļdegvielu par 3.1%) ir nebūtisks, jo augi (šajā gadījumā rapsis) to fotosintēzes rezultātā uzņem atpakaļ no atmosfēras un patērē augu attīstības procesā, nodrošinot neitrālu ogļskābās gāzes apriti dabā, tad mehānisko daļiņu daudzums atgāzēs salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu palielinājās gandrīz 3 reizes, bet, salīdzinot ar biodīzeļdegvielu – gandrīz 3.5 reizes. CO palielinājums bija attiecīgi 1.2 un 2.4 reizes, bet HC palielinājums attiecīgi 1.8 un 2.9 reizes.

Mehānisko daļiņu daudzums atgāzēs izskaidrojams ar eļļas kvalitāti, jo, konkrētajos eksperimentos izmantotajai eļļai kopējais piemaisījumu daudzums 2 reizes pārsniedza normu. Tā ir arī viena no problēmām, lai Latvijā ražotā eļļa varētu tikt tirgotā kā degviela, jo, kā rāda pētījumi, bez mehāniskajiem piemaisījumiem Latvijā ražotajai eļļai ir problemātiski nodrošināt vairākas citas kvalitātes prasības, īpaši fosfora saturu (Dukulis et al., 2009a).

Papildus eksperimentos noskaidrots, kādu ietekmi uz atgāzu sastāvu atstāj jauno eļļas sprauslu izmantošana.

Citu pētnieku publikācijās norādīts (Bao and He, 2006), ka, lietojot augu eļļas degvielu, pilnīgākas sadegšanas nodrošināšanai var būt lietderīgi mainīt iesmidzināšanas momentu. Līdz šim degvielas patēriņa un atgāzu sastāva noteikšanas eksperimentos minētais parametrs tika saglabāts, kā norādīts automobiļa tehniskajos noteikumos, t.i., 10.5° pirms virzulis sasniedz augšējo maiņas punktu (AMP).

Eksperimentos iesmidzināšanas moments tika mainīts robežās no 10.5° (automobiļa tehniskajos noteikumos noteiktais optimālais parametrs darbā ar fosilo dīzeļdegvielu un oriģinālajām sprauslām) līdz 21.0°, kad, pamatojoties uz jaudas stenda rādījumiem, bija jūtams griezes momenta un jaudas samazinājums. Atgāzu sastāvs visā

iesmidzināšanas momenta maiņas diapazonā noteikts brīvgaitā, kad mērāmo komponentu izkliede visa mērījuma gaitā ir vismazākā. Papildus iepriekš noteiktajām komponentēm analizēts arī metāna saturs (CH₄).

Maksimālā jauda N_{\max} (kW) visos izmēģinājuma režīmos noteikta pēc sakarības:

$$N_{\max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n N_{i \max}, \quad (3.6)$$

kur $N_{i \max}$ – viena atkārtojuma maksimālā jauda, kW.

Maksimālais griezes moments M_{\max} (N m) visos izmēģinājuma režīmos noteikts pēc sakarības:

$$M_{\max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n M_{i \max}, \quad (3.7)$$

kur $M_{i \max}$ – viena atkārtojuma maksimālais griezes moments, N m.

Eksperimentu rezultāti doti 3.9. tabulā.

3.9. tabula. Iesmidzināšanas momenta (IM) ietekme uz atgāzu sastāvu

IM, grad	NO _x , ppm	CO, ppm	HC, ppm	CO ₂ , %	SO ₂ , ppm	CH ₄ , ppm	PM, ppm	N _{max} , kW	M _{max} , N m
10.5	67.02	577.30	93.84	2.31	0.00	4.39	30.14	38.5	106.0
13.0	70.05	561.23	90.54	2.26	0.00	3.93	28.56	39.0	106.0
15.0	84.66	528.12	75.34	2.28	0.01	3.44	24.12	39.0	106.0
16.5	90.29	515.26	68.53	2.33	0.01	3.10	22.62	39.5	107.5
17.5	131.47	445.63	48.65	2.32	0.02	2.06	14.44	39.5	108.0
18.5	152.20	376.98	33.65	2.36	0.02	1.81	11.00	39.5	108.5
19.5	173.30	418.42	31.88	2.35	0.05	1.64	10.93	39.5	108.5
20.5	189.88	485.12	30.97	2.33	0.07	1.34	8.26	39.0	108.0
21.0	194.90	499.13	28.83	2.40	0.07	1.38	7.67	39.0	107.5

No pētījuma rezultātiem izriet, ka optimālais iesmidzināšanas moments, darbinot automobili *VW Golf 1.9TD* ar rapša eļļas degvielu, ir 18.5°, jo tad tiek sasniegts jaudas un griezes momenta maksimums, ir minimālais CO saturs atgāzēs (salīdzinot ar 10.5° iesmidzināšanas momentu samazinājies par 35%), jūtami samazinājies nesadeģušo oglekļa dioksīda (par 66%), metāna (par 59%) un mehānisko piemaisījumu saturs (par 68%). Vēl agrāka iesmidzināšana nav vēlama, jo, sākot ar 19.5° jūtami palielinās SO₂ un CO daudzums atgāzēs. Bez tam, jo agrāka iesmidzināšana, jo lielāks ir NO_x saturs.

Tā kā darbināšanai ar rapša eļļu pielāgotajā automobilī nepieciešamības gadījumā (piemēram, ziemā, kad automobiļa ekspluatācija ar tīru rapša eļļu var būt apgrūtināta) var lietot arī fosilo dīzeļdegvielu, veikti jaudas un griezes momenta mērījumi ar visām trīs degvielām pie fosilās dīzeļdegvielas un rapša eļļas optimālajiem iesmidzināšanas momentiem, t.i., 10.5° un 18.5°. To rezultāti doti 3.10. tabulā.

Kā redzams no 3.10. tabulas datiem, tad arī pie rapša eļļas degvielas optimālā iesmidzināšanas momenta motora darbināšana ar fosilo dīzeļdegvielu un biodīzeļdegvielu no jaudas un griezes momenta viedokļa problēmas nesagādā.

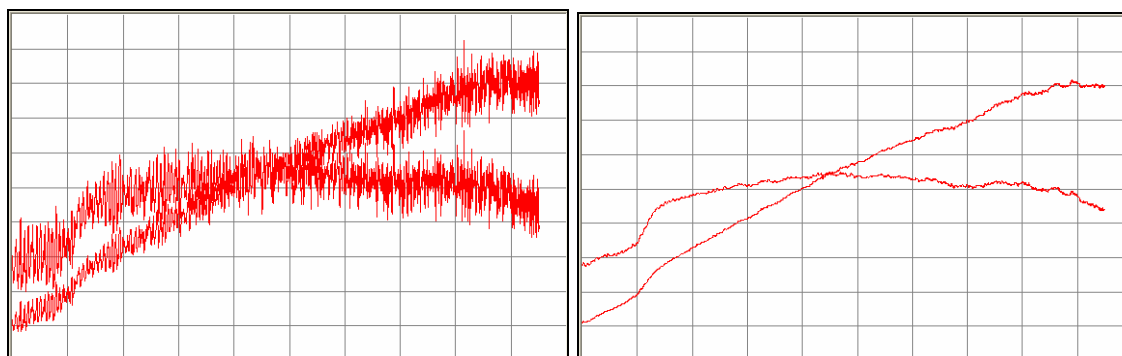
3.10. tabula. Jaudas un griezes momenta mērījumu rezultāti pie dažādiem iesmidzināšanas momentiem

IM, grad	N _{max} , kW					M _{max} , N m				
	Rapša eļļa pēc pārbūves	Fosilā dīzeļdegviela		Biodīzeļdegviela		Rapša eļļa pēc pārbūves	Fosilā dīzeļdegviela		Biodīzeļdegviela	
		pirms pārbūves	pēc pārbūves	pirms pārbūves	pēc pārbūves		pirms pārbūves	pēc pārbūves	pirms pārbūves	pēc pārbūves
10.5	38.5	42.0	41.5	41.0	40.5	106.0	108.0	107.0	107.0	106.5
18.5	39.5	—*	42.0	—*	41.0	108.5	—*	107.0	—*	106.0

* – Pirms pārbūves pie iesmidzināšanas momenta 18.5° automobilis netika testēts, jo šādā režīmā ar oriģinālajām sprauslām tas darbojās nevienmērīgi

Lietojot testu *Power Curve*, noteiktas automobiļa jaudas un griezes momenta raksturliķnes visā motora darba apgriezīnu diapazonā.

Mustang MD-1750 iekārta datu punktus reģistrē ar frekvenci 100 Hz un samērā lielu izkliedi. Tā nav likumsakarīga punktu izklīede, kas rodas mērāmajam parametram mainot savu vērtību, bet iekārtas specifika, kā arī dažādu mēriekārtas „trokšņu” ietekme. Jaudas stenda vadības programmā ir ietverta funkcija iegūto datu filtrēšanai (sk. 3.34. att.).



3.34. att. Jaudas un griezes momenta raksturliķņu piemērs pirms un pēc datu filtrēšanas

Lai gan pēc filtrēšanas parametru līķnes kļūst daudz līķzenāķas, ir grūti salīķzināt ar dažādām degvielām iegūtos rezultātus, ja parametru vērtības ir tuvas. Lai paaugstinātu datu analizēšanas iespēķas, pēc datu importēšanas izklāķlāķu lietotnē veic to apstrāķi pēc mazāķo kvadrātu metodes (Веденяпин, 1967).

Metodes pamatā ir formula:

$$y_0^* = \frac{1}{35} (17 \cdot y_0 + 12 \cdot (y_1 + y_{-1}) - 3 \cdot (y_2 + y_{-2})), \quad (3.8)$$

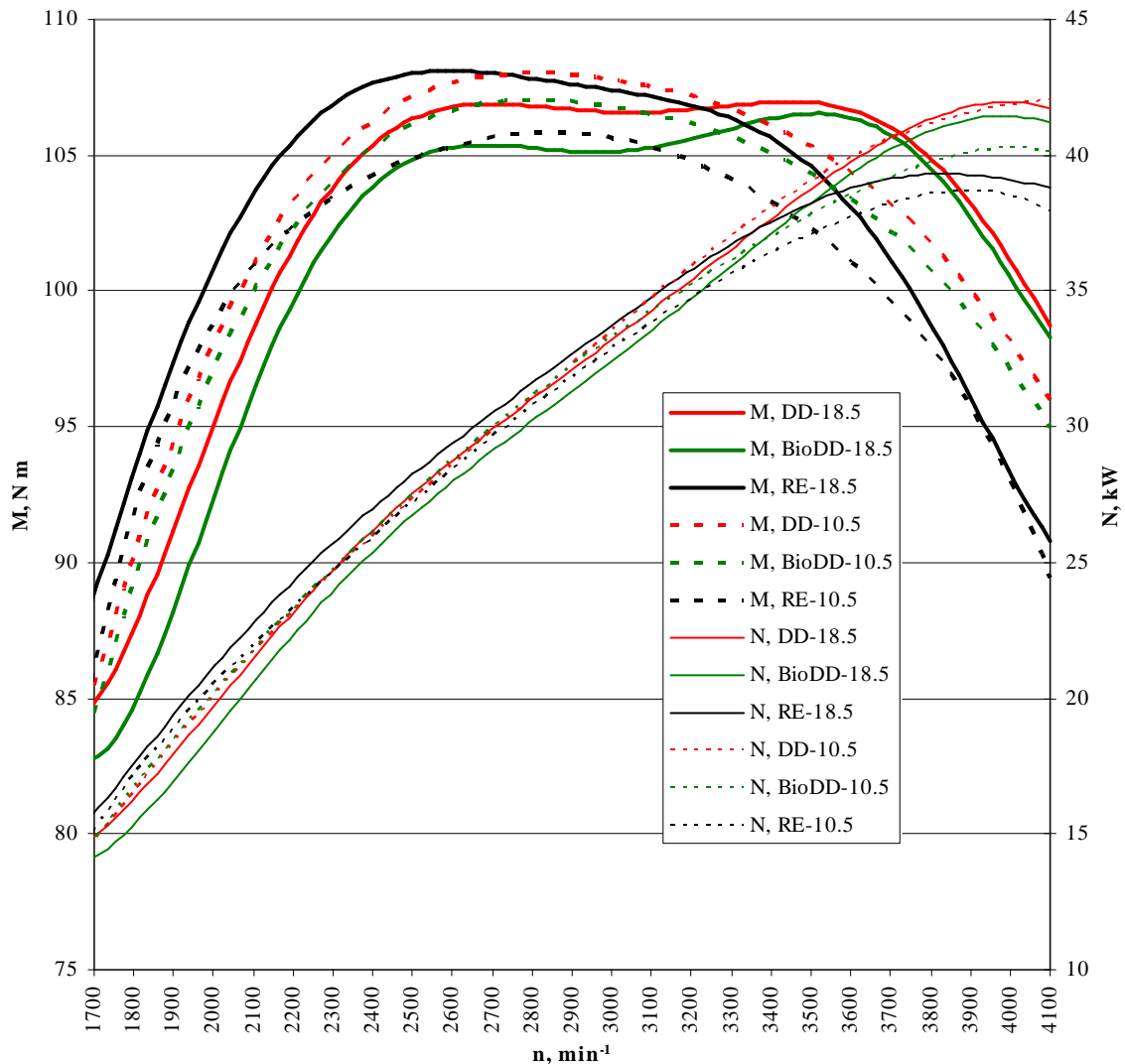
kur y_0^* – izlīķzinātā parametra jaunā vērtība;

y_0 – izlīķzinātā parametra iepriekšējā vērtība;

y_1 un y_{-1} – pirmie tuvāķie datu punkti no y_0 uz vienu un uz otru pusi;

y_2 un y_{-2} – otrie tuvāķie datu punkti no y_0 uz vienu un uz otru pusi.

3.35. attēlā dotas automobiļa jaudas un griezes momenta raksturlīknes pēc vairākkārtīgas datu izlīdzināšanas, darbinot automobili ar visām 3 degvielām un 10.5° un 18.5° iesmidzināšanas momentu pirms virzulis atrodas AMP.



3.35. att. Automobiļa jaudas un griezes momenta raksturlīknes

Kā redzams no raksturlīknēm, iesmidzināšanas momenta maiņa, darbinot automobili ar rapša eļļu un jaunajām sprauslām, līdz pat 3200 min⁻¹ ļauj nodrošināt līdzvērtīgu griezes momentu un jaudu, kā darbinot ar fosilo dīzeļdegvielu un biodīzeļdegvielu pie pētāmajam automobilim tehniskajos noteikumos noteiktā iesmidzināšanas momenta. Taču jābrīdina, ka ar maksimālās jaudas samazinājumu par aptuveni 3 kW, jo, ja plānots izmantot vienas tvertnes sistēmu, jaunās sprauslas ir nepieciešamas motora iedarbināšanai zemās temperatūrās un normālai funkcionēšanai ilgā laikā periodā.

Pielāgojot spēkratu darbināšanai ar augu eļļu, tika mainīts iesmidzināšanas moments. Atgāzu sastāva analīze atsevišķām komponentēm norādīja samazinājumu, bet citām – palielinājumu. Tāpēc tika noteikts, vai šādas izmaiņas dos iespēju sekmīgi iziet transportlīdzekļa tehnisko apskati. Veicot atgāzu mērījumus ar iekārtu *OPUS 40*, galvenais salīdzināmais parametrs, līdzīgi kā tehniskās apskates stacijās, bija absorbcijas koeficienta trešā mērījuma rezultāts (sk. 3.36. att.).

OPUS SMOKE ANALYZER				OPUS SMOKE ANALYZER				OPUS SMOKE ANALYZER			
LLU Liela iela 2 Jelgava LV-3001 Tel: 3005674				LLU Liela iela 2 Jelgava LV-3001 Tel: 3005674				LLU Liela iela 2 Jelgava LV-3001 Tel: 3005674			
ACCELERATION				ACCELERATION				ACCELERATION			
Acc	k	Op	RPM	Acc	k	Op	RPM	Acc	k	Op	RPM
No.	1/m	%	1/m	No.	1/m	%	1/m	No.	1/m	%	1/m
+1:	2.46	65.3	5100	+1:	2.73	69.2	5080	+1:	2.29	62.8	5100
+2:	1.38	44.8	5080	+2:	1.42	45.8	5090	+2:	1.13	38.5	5090
+3:	1.31	43.1	5090	+3:	1.39	45.1	5090	+3:	0.92	32.8	5090
AVERAGE				AVERAGE				AVERAGE			
k	1.72 1/m			k	1.85 1/m			k	1.45 1/m		
Op	51.1 %			Op	53.4 %			Op	44.7 %		
RPM	5090 1/min			RPM	5087 1/min			RPM	5093 1/min		
TEMP	92 °C			TEMP	95 °C			TEMP	95 °C		
Date: 2009-04-06 14:26				Date: 2009-04-06 19:18				Date: 2009-04-06 20:53			
Type of fuel: rapsoil				Type of fuel: diesel				Type of fuel: biodiesel			

3.36. att. Absorbcijas koeficienta mērījumu rezultāti pēc automobiļa pārbūves

Vislabākie rezultāti absorbcijas koeficienta testā ir biodīzeļdegvielai, tad seko rapša eļļa un, visbeidzot, fosilā dīzeļdegviela. Pirms pārbūves, lietojot fosilo dīzeļdegvielu un biodīzeļdegvielu, absorbcijas koeficients bija attiecīgi 1.48 un 0.98. Tādēļ atgāzu absorbcijas koeficienta prasības konkrētā gada izlaiduma automobilim (3%) ir izpildītas ar visiem degvielu veidiem gan pirms, gan pēc pārbūves.

3.5. Rapša eļļas degvielas izmantošanas pētījumi ziemā

Jaudas, griezes momenta, degvielas patēriņa un atgāzu sastāva mērījumi liecina, ka, pareizi izvēloties iesmidzināšanas momentu, rapša eļļas degviela automobilī izmantojama, taču papildus nepieciešams noskaidrot, vai to var darīt arī ziemā.

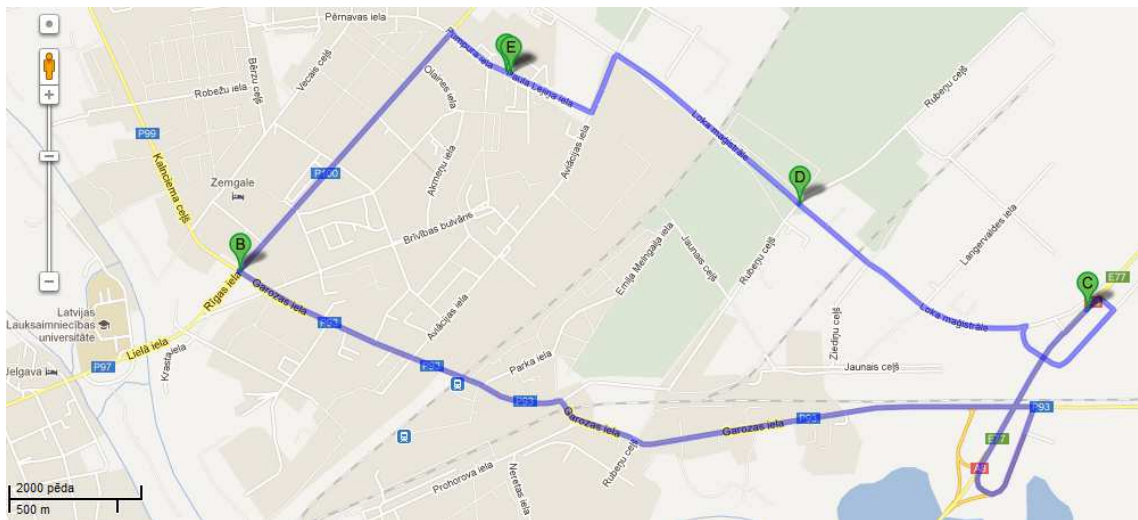
Lai noteiktu, cik efektīva ir vienas tvertnes sistēmas izmantošana, pēc automobiļa pārbūves 2009. gada februārī veikti vairāku sistēmas mezglu temperatūras mērījumi automobiļa iedarbināšanas un uzsilšanas laikā. Mērījumiem izmantots infrasarkanais staru distanctermometrs *SMART SENSOR AR 300* (izšķirtspēja 0.1 °C, mērīšanas precizitāte ±2 °C, mērīšanas robežas -32 °C – +300 °C). Rezultāti apkopoti 3.11. tabulā (Dukulis et al., 2009a).

3.11. tabula. Barošanas sistēmas sastāvdaļu temperatūras mērījumi pēc 25 minūšu motora darbības brīvgaitā

Mērāmais parametrs	Mērījuma Nr.		
	1	2	3
Gaisa temperatūra, °C	-1.4	-5.2	-7.1
Auksta motora temperatūra, °C	-1.6	-5.3	-7.0
Elektriskā sildītāja uzsilšanas ilgums līdz 60 °C, min.	1.5	1.7	1.7
Dzesēšanas šķidrums temperatūra, kad izslēdzas elektriskais sildītājs, °C	69.1	69.8	70.1
Siltummaiņa temperatūra, °C	59.0	57.2	56.2
Degvielas filtra temperatūra, °C	54.8	56.2	52.3
Augstspiediena sūkņa temperatūra pie ieplūdes, °C	54.1	55.9	50.5

Noskaidrots, ka elektriskais sildītājs līdz 60 °C uzsilst 2 minūšu laikā. Tas izslēdzas, kad dzesēšanas šķidruma temperatūra sasniedz 70 °C, bet siltummaiņa, degvielas filtra un augstspiediena sūkņa temperatūra pie ieplūdes pēc 25 minūšu motora darbības brīvīgtā pat pie -7 °C apkārtējās vides temperatūras pārsniedz 50 °C. Uzsākot braukšanu, automobiļa motors turpina uzsilt tāpat kā, to darbinot ar fosilo dīzeļdegvielu.

Lai noskaidrotu, kādā temperatūrā automobili var ekspluatēt ar tīru rapša eļļu, 2012. gada janvārī un februārī tika veikti automobiļa iedarbināšanas eksperimenti pie zemām gaisa temperatūrām. Automobilis tika turēts atklātā stāvlaukumā un vismaz reizi dienā iedarbināts. Augstākā temperatūra šajā laika periodā iedarbināšanas laikā bija +6 °C 12. janvāra vakarā un -27 °C 4. februāra vakarā. Lai pārlicinātos, vai kāda no barošanas sistēmas komponentēm neaizsalst braukšanas laikā, katrā no iedarbināšanas reizēm tika veikts kontrolbrauciens pa maršrutu, kura garums ir 11.0 km (sk. 3.37. att.).



3.37. att. Kontrolbraucienu maršruts automobiļa testēšanai ziemā

Eksperimentāli noteikts, ka kritiskā temperatūra automobiļa ekspluatācijai ar tīru rapša eļļas degvielu ir -13 ± 2 °C (sk. 3.38. att.). Šie rezultāti apstiprināja arī 2009. – 2011. gadā veiktos novērojumus un teorētisko pētījumu rezultātus.



3.38. att. Kritiskā temperatūra automobiļa ekspluatācijai ar rapša eļļu ziemā

Lai nodrošinātu dīzeļmotora iedarbināšanu un normālu darbību pie zemākām temperatūrām, veido rapša eļļas un ziemas dīzeļdegvielas maisījumus. Šādos apstākļos degvielas pielietošana ir atkarīga no diviem galvenajiem parametriem: viskozitātes un CFPP (*Cold Filter Plugging Point*) jeb zemākās temperatūras, pie kuras zūd filtra caurlaides spēja.

Tāpēc veikts pētījums, kura uzdevumi:

- izveidot 5, 10, 25, 50% rapša eļļas un arktiskās dīzeļdegvielas maisījumus, izmantojot 0. un 2. arktiskās klases dīzeļdegvielas;
- noteikt maisījumu viskozitāti pie dažādām temperatūrām, sastingšanas un CFPP temperatūras.

Izveidoti šādi maisījumu paraugi (sk. 3.39. att.):

- RE + 5% ziemas dīzeļdegviela 0. arktiskā klase (RE + 5% D3(0));
- RE + 10% ziemas dīzeļdegviela 0. arktiskā klase (RE + 10% D3(0));
- RE + 25% ziemas dīzeļdegviela 0. arktiskā klase (RE + 25% D3(0));
- RE + 50% ziemas dīzeļdegviela 0. arktiskā klase (RE + 50% D3(0));
- RE + 5% ziemas dīzeļdegviela 2. arktiskā klase (RE + 5% D2(2));
- RE + 10% ziemas dīzeļdegviela 2. arktiskā klase (RE + 10% D2(2));
- RE + 25% ziemas dīzeļdegviela 2. arktiskā klase (RE + 25% D2(2));
- RE + 50% ziemas dīzeļdegviela 2. arktiskā klase (RE + 50% D2(2)).



3.39. att. RE un ziemas dīzeļdegvielas maisījumi $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$

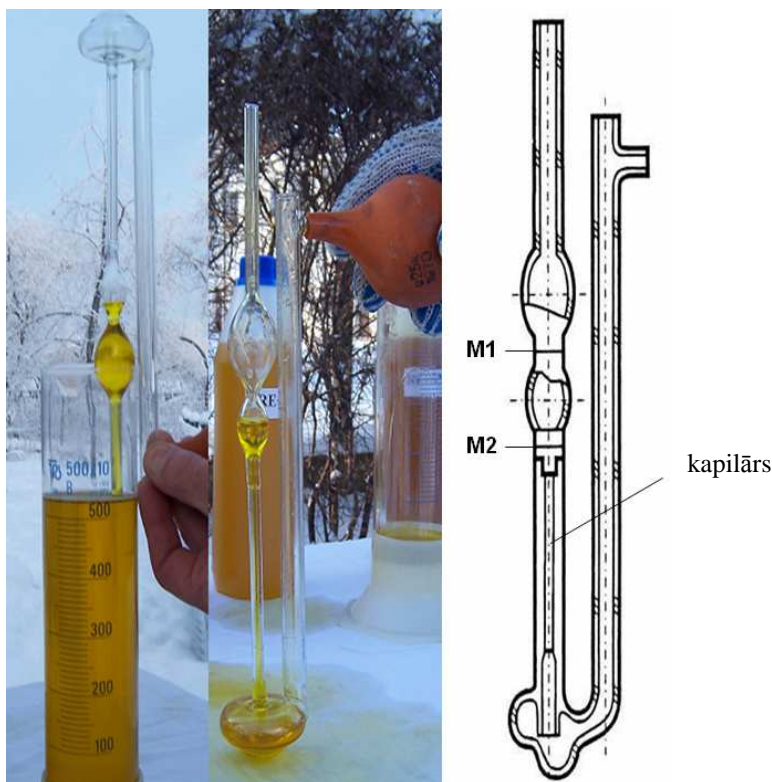
Kinemātiskās viskozitātes mērījumi pie dažādām temperatūrām veikti lauka apstākļos, jo laboratorijas gaisa temperatūras maiņa (no saldētavas uz telpu) varētu ietekmēt mērījumu rezultātus.

Degvielu maisījumu viskozitātes noteikšanai izmantots viskozimetrs *ВИЖ* – 2 ar kapilāra diametru – 2.37 mm. Mērīšanas metode pamatojas uz laika fiksāciju, kurā šķidruma daudzums iztek caur kapilāru no atzīmes M1 līdz atzīmei M2. (sk. 3.40. att.).

Kinemātiskā viskozitāte ($\text{mm}^2\text{ s}^{-1}$) aprēķināta pēc formulas:

$$V = \frac{g}{9.807} \cdot T \cdot K, \quad (3.9)$$

kur K – viskozimetra konstante, $3.124\text{ mm}^2\text{ s}^{-2}$;
 T – šķidruma tecēšanas laiks, s;
 g – brīvās krišanas paātrinājums, m s^{-2} .



3.40. att. Viskozimetrs *BIJK* – 2

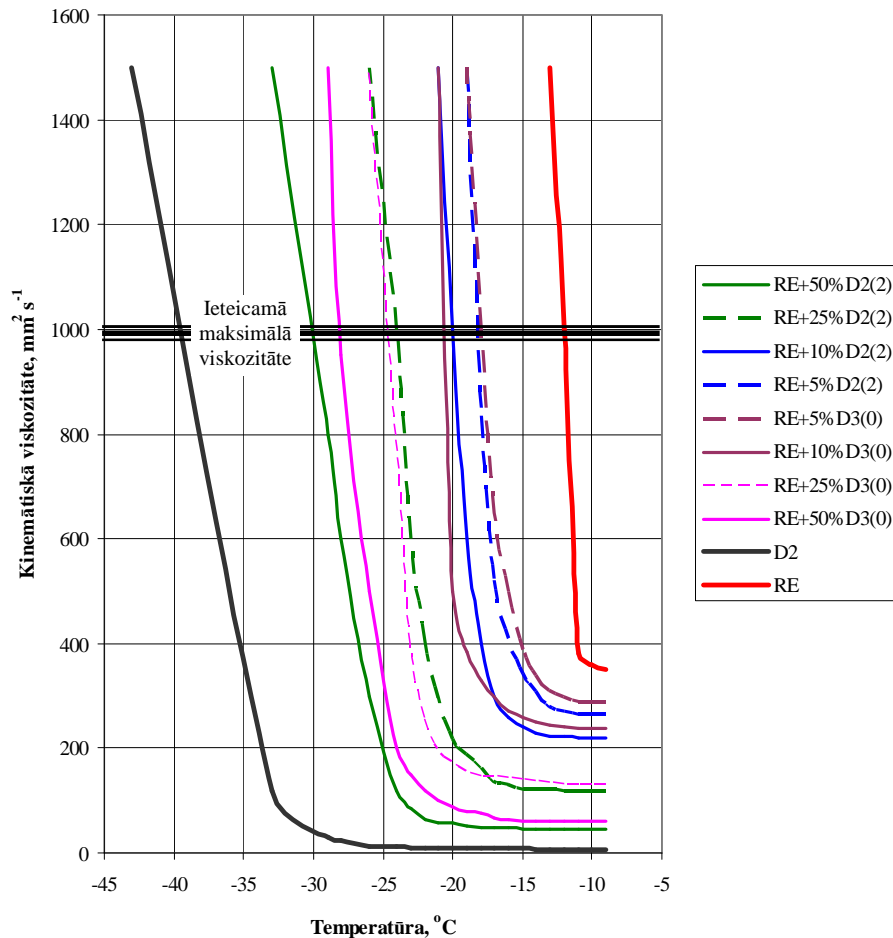
Sastingšanas temperatūras noteikšana notika laboratorijas apstākļos, jo āra gaisa temperatūra nebija pietiekami zema, lai sastingtu visi maisījumi. Mērījumu rezultāti apkopoti 3.12. tabulā.

3.12. tabula. **Rapša eļļas un ziemas dīzeļdegvielas maisījumu viskozitāte**

Parametrs	RE + 5% D2(2)	RE + 10% D2(2)	RE + 25% D2(2)	RE + 50% D2(2)	RE + 5% D3(0)	RE + 10% D3(0)	RE + 25% D3(0)	RE + 50% D3(0)
Viskozitāte pie -9 °C, mm ² s ⁻¹	265.28	224.99	119.37	46.87	290.62	237.50	134.37	59.37
Viskozitāte pie -15 °C, mm ² s ⁻¹	345.31	246.25	122.19	47.19	390.62	261.87	143.75	59.06
Viskozitāte pie -19 °C, mm ² s ⁻¹	sastinga	580.92	191.24	53.44	sastinga	384.37	160.84	79.06
Viskozitāte pie -24 °C, mm ² s ⁻¹	–	sastinga	981.13	119.99	–	sastinga	790.77	200.94
Sastingšanas temperatūra, °C	-17	-21	-24	-31	-17	-21	-26	-28

Eksperimentāli tika noteikts, ka „vienas tvertnes sistēmā” vēlams izmantot rapša eļļu, kuras kinemātiskā viskozitāte nepārsniedz 1000 mm²s⁻¹ (Dukulis et al., 2010), jo pie šādas viskozitātes rapša eļļa brīvi tek pa 8 mm degvielas vadu (firmas *ELSBETT* ieteikums).

Mērījumu rezultātā izveidota diagramma, ar kuras palīdzību var noteikt, kāds maisījums jāizmanto atkarībā no gaisa temperatūras (sk. 3.41. att.).



3.41. att. Rapša eļļas un arktiskās dīzeļdegvielas maisījumu viskozitātes salīdzinājums

Veicot degvielu viskozitātes mērījumus, noteikts, ka tīra rapša eļļa robežviskozitāti sasniedz pie $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, bet, lai darbinātu dīzeļmotoru pie zemākām temperatūrām, nepieciešams veidot rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījumus. Pievienojot rapša eļļai 5% arktiskās dīzeļdegvielas, tiek nodrošināta dīzeļmotora darbība līdz $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Veidojot 10% un 25% maisījumus, novērota neparasta parādība: maisījumi ar 0. klases arktisko dīzeļdegvielu rapša eļļas viskozitāti samazināja intensīvāk nekā maisījumi ar 2. klases arktisko dīzeļdegvielu. Sasniedzot temperatūru pie $1000\text{ mm}^2\text{ s}^{-1}$, maisījumu parametri izlīdzinājās, nodrošinot robežviskozitāti 10% maisījumiem pie $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ un 25% maisījumiem pie $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mērījumu rezultāti parādīja, ka 2. klases arktiskā dīzeļdegviela efektīvāk samazina rapša eļļas viskozitāti un 50% eļļas un arktiskās dīzeļdegvielas maisījums nodrošina motora darbību pat pie $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Lai precizētu, pie kādām gaisa temperatūrām tiek nosprostots degvielas filtrs, veikta rapša eļļas un ziemas dīzeļdegvielas maisījumu CFPP temperatūras noteikšana. Eksperimentiem izmantotas 2. un 0. klases arktiskās dīzeļdegvielas un maisījumi RE + 50% D3(0) un RE + 50% D2(2).

Paraugu testēšana notika SIA „Latvijas sertifikācijas centrs” laboratorijā pēc standarta LVS EN 116+AC:2002 metodes. Arktiskā dīzeļdegviela tika iegādāta nejauši izvēlētās degvielas uzpildes stacijās.

2. klases arktiskajai dīzeļdegvielai CFPP temperatūra bija $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$, bet 0. klases arktiskajai dīzeļdegvielai – $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$. Testēšanas pārskata paraugs dots 13. pielikumā, bet mērījumu rezultāti apkopoti 3.13. tabulā.

3.13. tabula. Rapša eļļas un ziemas dīzeļdegvielas maisījumu CFPP temperatūras

Degviela	CFPP temperatūra, °C
RE + 50% D2(2)	-20
100% D2(2)	-43
RE + 50% D3(0)	-10
100% D3(0)	-33

Kā redzams no mērījumu rezultātiem, 50% rapša eļļas maisījumu ar 2. klases arktisko dīzeļdegvielu varētu bez filtra apsildes izmantot līdz -20 °C, bet 50% maisījumu ar 0. klases arktisko dīzeļdegvielu – līdz -10 °C temperatūrai.

Veicot CFPP noteikšanu, tika novērots, ka CFPP temperatūru ietekmē ne tik daudz kristālu veidošanās, bet gan rapša eļļas lielā viskozitāte, kura traucē degvielas filtrācijas procesam. Tātad, lai nodrošinātu dīzeļmotora darbību jebkuros Latvijas klimatiskajos apstākļos, rapša eļļas un dīzeļdegvielas maisījumu sildīšana pirms filtrācijas ir ne tikai vēlama, bet nepieciešama, jo tikai sildīšanas rezultātā var panākt rapša eļļas vai maisījumu viskozitātes strauju samazināšanos.

Laika posmā no 2009. gada februāra līdz 2012. gada februārim ar pielāgoto automobili *VW Golf 1.9TD*, to darbinot ar rapša eļļu, nobraukti 38 000 km. Eļļas, degvielas un gaisa filtra maiņa veikta ik pēc 10 000 km. Eksploatācijas laikā eļļas līmeņa palielināšanās motora karterī, kā arī barošanas sistēmas elementu (blīvējumu, cauruļvadu u.tml.) bojājumi netika konstatēti.

3.6. Ar divu tvertņu sistēmu aprīkotu spēkratu atgāzu sastāva pētījumi

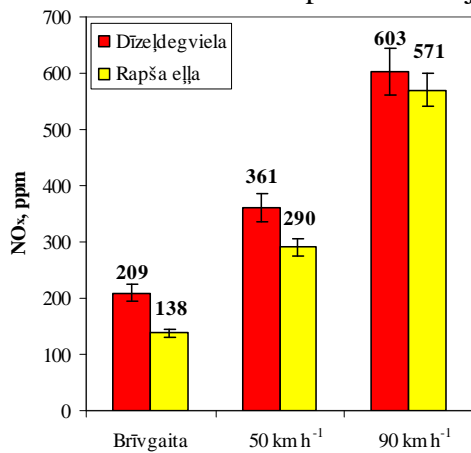
Pētījumu mērķis bija noskaidrot, vai atgāzu sastāva izmaiņu tendences, lietojot vienas tvertnes un divu tvertņu sistēmu, fosilajai dīzeļdegvielai un rapša eļļai ir līdzīgas. Eksperimenta objekts – ar divu tvertņu sistēmu aprīkots 2000. gada izlaiduma kravas automobilis *MAN 19.464* (sk. 3.42. att.) ar nobraukumu 750 000 km un pašmasu 9 350 kg. Ar divu tvertņu sistēmu aprīkotā kravas automobiļa degvielas padeves sistēmas galvenās komponentes parādītas 14. pielikumā.



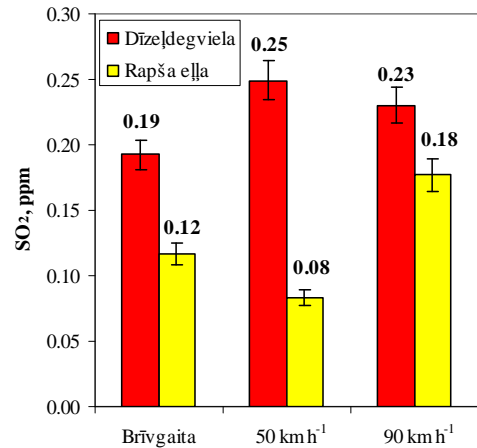
3.42. att. Testējamais kravas automobilis *MAN 19.464*

Izmantotās iekārtas: jaudas stends *Mustang MD-1750*, izplūdes gāzu mērīšanas sistēma *AVL SESAM FTIR*. Testēšanas režīmi: brīvgaite, konstanti braukšanas ātrumi 50 km h^{-1} un 90 km h^{-1} . Izmantotās degvielas: rapša eļļa un fosilā dīzeļdegviela.

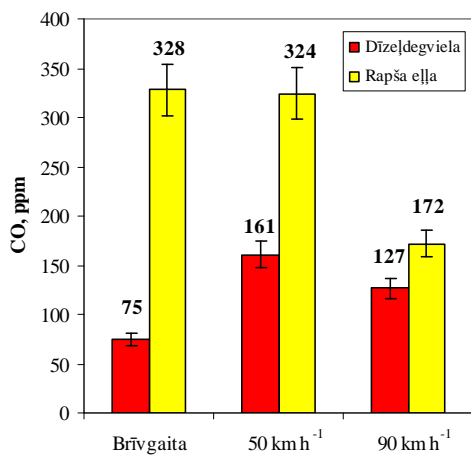
3.43. – 3.48. attēlos parādīti vidējie dažādu izplūdes gāzu komponentu daudzumi.



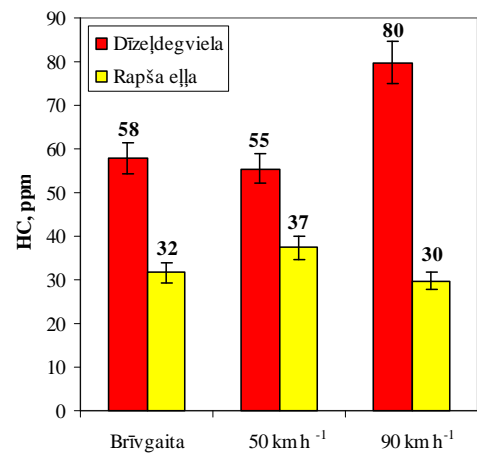
3.43. att. **NO_x saturs atgāzēs, izmantojot divu tvertņu sistēmu**



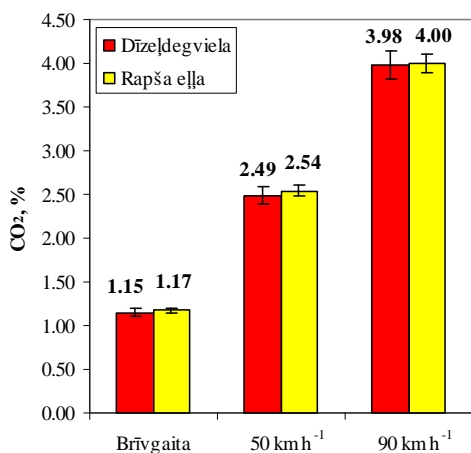
3.44. att. **SO₂ saturs atgāzēs, izmantojot divu tvertņu sistēmu**



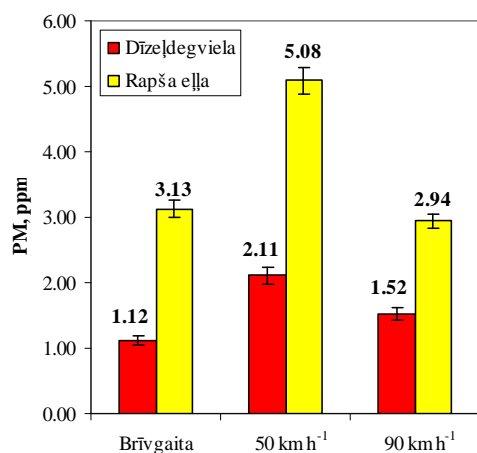
3.45. att. **CO saturs atgāzēs, izmantojot divu tvertņu sistēmu**



3.46. att. **Nesadedušo ogļūdeņražu saturs atgāzēs, izmantojot divu tvertņu sistēmu**



3.47. att. **CO₂ saturs atgāzēs, izmantojot divu tvertņu sistēmu**



3.48. att. **Mehānisko daļiņu saturs atgāzēs, izmantojot divu tvertņu sistēmu**

Salīdzinot iegūtos datus ar vienas tvertnes sistēmas pētījumiem, var secināt, ka atsevišķu atgāzu komponentu izmaiņu tendences ir līdzīgas:

- NO_x saturs, izmantojot rapša eļļas degvielu un divu tvertņu sistēmu, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu, samazinās par 19.6% (vienas tvertnes sistēmai par 10.3%);
- SO_2 saturs samazinās par 43.0% (vienas tvertnes sistēmai par 59.2%);
- CO_2 saturs palielinās par 1.7% (vienas tvertnes sistēmai par 5.6%);
- CO saturs palielinās 1.6 reizes (vienas tvertnes sistēmai 1.2 reizes);
- mehānisko daļiņu saturs palielinās 1.4 reizes (vienas tvertnes sistēmai gandrīz 3 reizes).

Vienīgā atgāzu komponente, kuras satura izmaiņu tendence atšķīrās, bija nesadeģušie ogļūdeņraži. Ja vienas tvertnes sistēmas izmantošanas gadījumā rapša eļļas degvielai bija vērojams palielinājums – salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu 1.8 reizes, tad, izmantojot divu tvertņu sistēmu, šīs komponentes saturs atgāzēs samazinājās par 46.9%.

3.7. Nepielāgotu spēkratu pētījumi, tos darbinot ar rapša eļļu

2011. gadā veikta divu traktoru apsekošana. Traktors *T-40AM* tika ekspluatēts vasaras sezonā Tukuma novada Zentenes pagasta z/s „Rubeņi” un pirms darbināšanas ar rapša eļļu netika šai degvielai pielāgots. Traktors *MTZ-80* tika pielāgots pašu spēkiem SIA „Logins & Co”, izmantojot divu tvertņu sistēmu. Degvielas padeves sistēmā tika ievietoti trīs papildus filtri – smalkais un rupjais degvielas filtrs rapša eļļai, kā arī firmas *RAPSOL* eļļas filtrs – siltummainis. Degvielas veidu pārslēgšanai izmantoti ar roku darbināmi vārsti. Ņemot vērā, ka traktoru paredzēts ekspluatēt arī ziemā, rapša eļļas cauruļvadi papildus siltināti (sk. 15. pielikumu). Abi traktori tika izmantoti lauku darbos tāpat, kā iepriekšējās sezonās. Traktoru īpašnieki nekādas izmaiņas, salīdzinot ar fosilās dīzeļdegvielas izmantošanu, nenovēroja. Arī bojājumi, kurus varētu attiecināt uz rapša eļļas degvielas izmantošanu, netika konstatēti.

Tā kā abu traktoru ekspluatācijas parametri darba laikā netika mērīti, veikti papildus pētījumi ar darbināšanu ar rapša eļļu nepielāgotu traktoru *MTZ-80* (sk. 3.49. att.), nosakot tā jaudu, griezes momentu un īpatnējo degvielas patēriņu.



3.49. att. Eksperimentos izmantotais traktors MTZ-80

Eksperimentos izmantoto traktoru darbina motors *D-240* ar jaudu $55.0^{+3.7}$ kW, nominālo kloķvārpstas apgriezienu frekvenci 2200 min^{-1} , griezes momentu 280 N m un īpatnējo degvielas patēriņu $258 \text{ g kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Izmantotās iekārtas: degvielas patēriņa mērītājs *AVL KMA Mobile*, jaudas stends *MAHA ZW-500* (sk. 3.50. att.).



3.50. att. *MAHA ZW500* jaudas stends

Traktora jauda tiek noteikta no jūgvārpstas. Stenda *MAHA ZW-500* maksimālā mērāmā jauda – 500 kW , maksimālais griezes moments – 6600 N m , maksimālie jūgvārpstas apgriezieni – 2500 min^{-1} , mērīšanas precizitāte $\pm 2\%$ (*LPS ZW 500 ...*, S.a.). Mērāmos parametrus var noteikt gan pie konstantiem jūgvārpstas (tātad arī motora kloķvārpstas) apgriezieniem, gan visā apgriezienu diapazonā, stenda vadības pultī sastādot mērīšanas programmu ar noteiktu jūgvārpstas rotācijas frekvences soli.

Eksperimenti veikti laboratorijas apstākļos, pievienojot traktora jūgvārpstu jaudas stendam. Degvielas padeve no traktora degvielas tvertnes atslēgta. Tā vietā degvielas padeve nodrošināta no mērtrauka, kas atvieglo degvielas nomaiņas iespējas. Mērījumi veikti secīgi ar trīs dažādām degvielām – dīzeļdegvielu, biodīzeļdegvielu un rapša eļļu. Pēc degvielas nomaiņas veikta barošanas sistēmas (degvielas sūkņu, sprauslu, filtru un cauruļvadu) skalošana. Darbinot motoru ar jauno degvielu, degvielas atplūde novadīta atsevišķā tvertnē. Sistēmas skalošana veikta ar degvielas daudzumu, kas nav mazāks par 5 l . Tā kā traktora barošanas sistēma ir mehāniska, papildus laiks sistēmas adaptācijai nav paredzēts. Pirms mērījumu veikšanas pārbaudīts, vai nav noplūdes barošanas sistēmas savienojumos. Motors uzsildīts līdz normālai darba temperatūrai ($80 - 90 \text{ }^\circ\text{C}$). Nodrošināta atgāzu aizvadīšana un motora dzesēšana.

Jaudas mērījumi veikti jūgvārpstas apgriezienu diapazonā no 450 min^{-1} līdz 1000 min^{-1} . Šāds apgriezienu diapazons noteikts pēc priekšizpētes, nosakot jūgvārpstas apgriezienus, pie kuriem tiek attīstīta maksimālā jauda un maksimālais griezes moments.

Slogošanas programma sastādīta ar jūgvārpstas apgriezienu soli 25 min^{-1} un izturēšanu slogošanas punktā – 5 s . Rezultātā iegūti 23 mērījumu punkti izvēlētajā jūgvārpstas apgriezienu diapazonā. Ar katru degvielu veikti četri atkārtojumi. Jaudas stenda izdruku paraugs četriem atkārtojumiem ar fosilo dīzeļdegvielu dots 16 . pielikumā.

Raksturlīkņu konstruēšanai izmantotas trīs tādu atkārtojumu vidējās vērtības, starp kuru datu punktiem ir augstākā korelācija.

Lai aprēķinātu motora kloķvārpstas rotācijas frekvenci, izmanto sakarību:

$$n_k = n_j \cdot i, \quad (3.10)$$

kur n_k – kloķvārpstas rotācijas frekvence, min^{-1} ;
 i – traktora *MTZ-80* jūgvārpstas pārvada pārnēsnumskaitlis, 2.07;
 n_j – jūgvārpstas rotācijas frekvence, min^{-1} .

Lai aprēķinātu motora efektīvo jaudu, izmanto sakarību:

$$N_e = \frac{N_j}{\eta}, \quad (3.11)$$

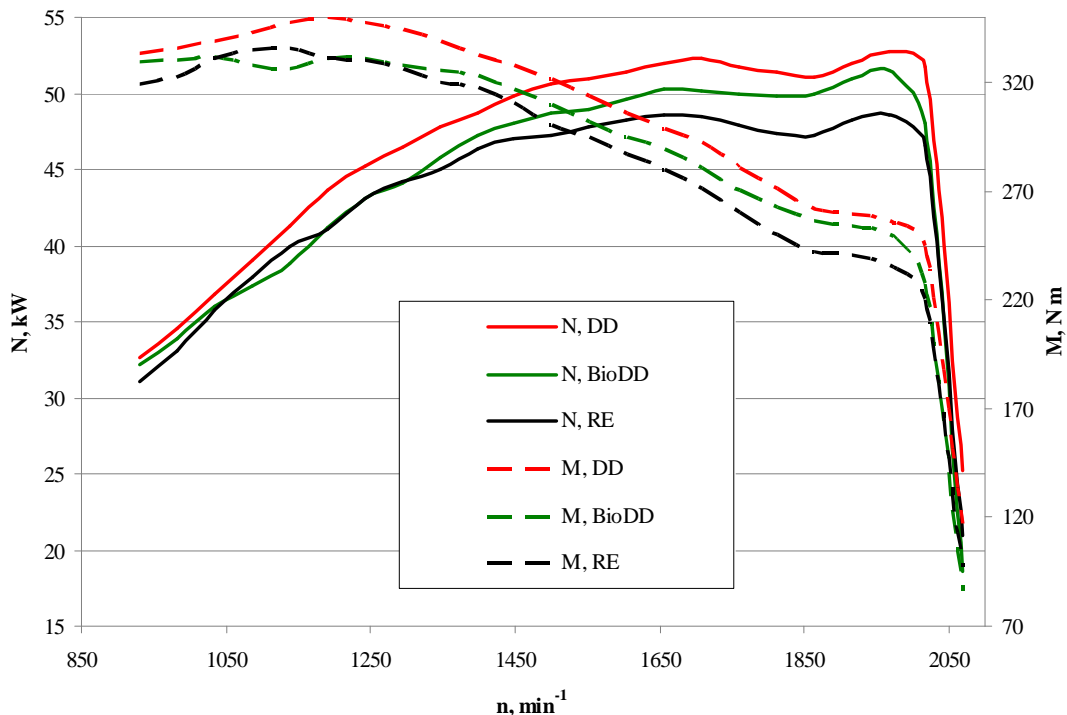
kur N_e – traktora motora efektīvā jauda, kW;
 η – traktora *MTZ-80* jūgvārpstas pārvada lietderības koeficients, 0.95;
 N_j – jauda, kas mērīta no jūgvārpstas, kW.

Lai aprēķinātu motora griezes momentu, izmanto sakarību:

$$M_m = \frac{M_j}{i \cdot \eta}, \quad (3.12)$$

kur M_m – traktora motora griezes moments, N m;
 M_j – griezes moments, kas mērīts no jūgvārpstas, N m.

Motora griezes momenta un jaudas raksturlīknes parādītas 3.51. attēlā.



3.51. att. **Motora griezes momenta un jaudas raksturlīknes**

Degvielas patēriņa mērījumi veikti jūgvārpstas rotācijas frekvenču diapazonā no 450 min^{-1} līdz 1000 min^{-1} . Slogošana veikta pie konstantiem apgriezieniem, to vērtības manuāli ievadot jaudas stenda vadības pulstī.

Katrā sloģšanas režīmā ar visām degvielām veikti 3 atkātojumi. Katra atkātojuma ilgums – 1 minūte. Degvielas patēriņa mērijumi saistīti ar ilgstošu traktora motora sloģšanu, tāpēc, atšķirībā no jaudas mērijumiem, tie veikti ar jūgvārpstas rotācijas frekvences soli 50 min^{-1} , iegūstot 12 mērijumu punktus.

Lai aprēķinātu degvielas patēriņu Q (g h^{-1}), izmanto sakarību:

$$Q_{(g \cdot h^{-1})} = \frac{\rho}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^t Q_{(t \cdot h^{-1}, mom)} \right)_i, \quad (3.13)$$

kur n – atkātojumu skaits;

t – viena atkātojuma laiks, s;

$Q_{(t \cdot h^{-1}, mom)}$ – momentānais degvielas patēriņš, l h^{-1} ;

ρ – degvielas blīvums, g l^{-1} .

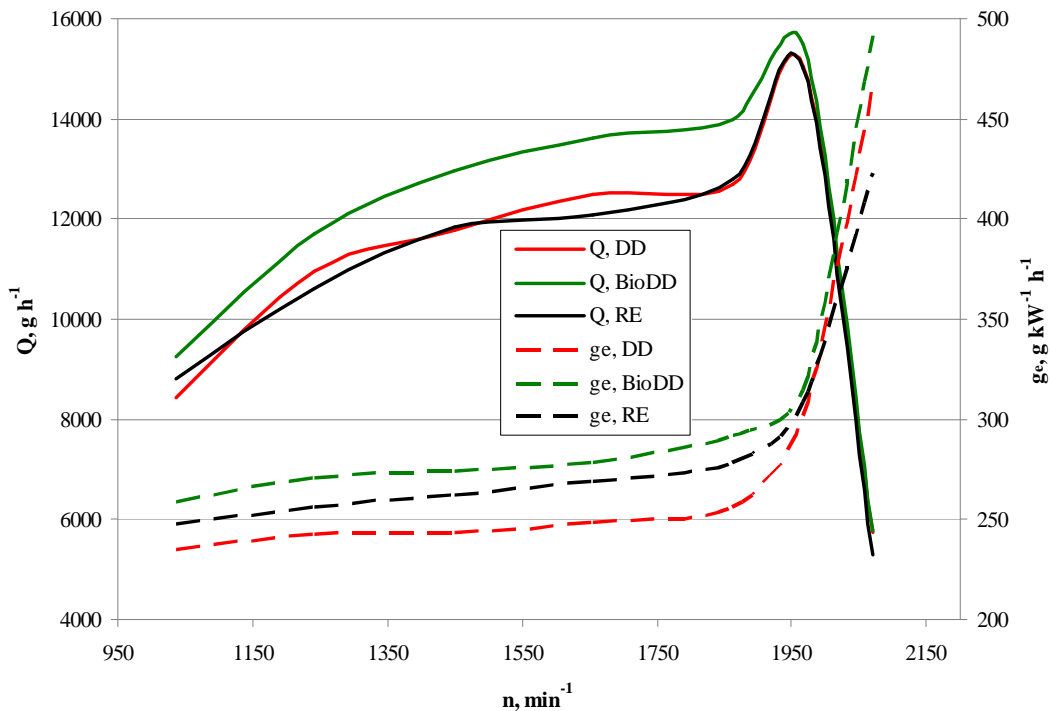
Degvielas blīvums noteikts, izmantojot areometru AHT-2 GOST18481-8120. Rapša eļļas blīvums – 854 g l^{-1} , biodīzeļdegvielas – 835 g l^{-1} , dīzeļdegvielas – 795 g l^{-1} .

Lai aprēķinātu īpatnējo degvielas patēriņu g_e ($\text{g kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$), izmanto sakarību:

$$g_e = \frac{Q_{(g \cdot h^{-1})}}{N_e}, \quad (3.14)$$

kur N_e – motora efektīvā jauda, kW.

Degvielas stundas patēriņa Q un īpatnējā degvielas patēriņa g_e raksturlīknes parādītas 3.52. attēlā.



3.52. att. Degvielas patēriņa raksturlīknes

Vērtējot īpatnējo degvielas patēriņu, rapša eļļai dažādos sloģšanas režīmos tas bija par 2.5 – 8.8% lielāks nekā fosilajai dīzeļdegvielai (vidēji par 6.4%). Salīdzinot ar biodīzeļdegvielu, īpatnējais degvielas patēriņš bija vidēji par 4.0% mazāks (dažādos sloģšanas režīmos samazinājums mainījās no 1.9 – 5.4%).

Jauda un griezes moments, izmantojot rapša eļļas degvielu, samazinājās attiecībā pret abām pārējām testētajām degvielām. Salīdzinot ar biodīzeļdegvielu, vidējais jaudas un griezes momenta samazinājums bija 2.3%. Pie maziem motora apgriezieniem ($1050 - 1150 \text{ min}^{-1}$) jauda un griezes moments bija par 1.5 – 3% lielāki, bet, tuvojoties kloķvārpstas nominālo apgriezienu frekvencei (2200 min^{-1}), abu minēto parametru samazinājums bija būtisks – aptuveni 5.5%. Jaudas un griezes momenta samazinājums, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu bija vēl lielāks – vidēji 5.9%, bet $1700 - 2200 \text{ min}^{-1}$ kloķvārpstas apgriezienu diapazonā – par 7.0 – 10.0%.

Novērots, ka, darbinot nepielāgotu motoru ar neuzsildītu rapša eļļu, 5 sekunžu izturēšana sloģošanas punktā bija problemātiska. Eļļa ar grūtībām piepildīja degvielas filtru un motors darbojas nevienmērīgi. Eksperimenti liecina, ka motora pielāgošana darbināšanai ar rapša eļļu traktoram *MTZ-80* ir nepieciešama.

3.8. Teorētisko un eksperimentālo pētījumu rezultātu salīdzinājums

Jebkura modeļa kvalitāti raksturo modeļa kļūda, ko nosaka, salīdzinot reālās sistēmas un modeļa izejas parametrus, ja uz sistēmu un modeli iedarbojas ar identiskiem ieejas parametriem. Tāpēc savstarpēji salīdzinātas to parametru vērtības, kas noteiktas gan teorētiskajos, gan eksperimentālajos pētījumos.

Rapša eļļas saturs darbmaisījumā pie dažādām apkārtējās vides temperatūrām

Modelējot noskaidrots, ka, lai nodrošinātu degvielas sūkņu darbību un degvielas plūsmu barošanas sistēmā, ar tīru rapša eļļu spēkratus var ekspluatēt līdz $-14 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Ceļizmēģinājumos noteikts, ka kritiskā temperatūra automobiļa ekspluatācijai ar tīru rapša eļļas degvielu, izmantojot vienas tvertnes sistēmu, ir $-13 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Savukārt no viskozitātes mērījumiem izriet, ka tīra rapša eļļa robežviskozitāti sasniedz pie $-12 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Tādējādi kritiskās temperatūras sakritība visos pētījumos ir cieša.

Gan teorētiskajos, gan eksperimentālajos pētījumos pierādīts, ka dīzeļmotoru darbināšanai pie zemākām temperatūrām, nepieciešams veidot rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījumus. Modelpētījumos noteikts, ka ar RE80 spēkratus var ekspluatēt līdz $-17 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ar RE65 – līdz $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ utt. Ja apkārtējās vides temperatūra ir zemāka nekā $-30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, var lietot maisījumsdegvielas ar rapša eļļas saturu zem 30% vai fosilo dīzeļdegvielu. No eksperimentālajiem pētījumiem izriet, ka rapša eļļai var pievienot mazāk dīzeļdegvielas, nekā noteikts teorētiski. Piemēram, pievienojot rapša eļļai 5% dīzeļdegvielas, tiek nodrošināta dīzeļmotora darbība līdz $-15 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 10% maisījumi robežviskozitāti sasniedz pie $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 25% maisījumi – pie $-24 \text{ }^{\circ}\text{C}$, bet 50% maisījumi – pie $-30 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Taču šie rezultāti iegūti, lietojot 2. klases arktisko dīzeļdegvielu. Rapša eļļas un 0. klases arktiskās dīzeļdegvielas maisījumiem mērījumu rezultāti ir tuvi teorētiskajiem. Ekspluatējot spēkratus ziemā, jāņem vērā arī aukstā filtra nosprostošanās temperatūra (CFPP). Pēc šī parametra 50% rapša eļļas maisījumus ar 2. klases arktisko dīzeļdegvielu var izmantot līdz $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, bet 50% maisījumu ar 0. klases arktisko dīzeļdegvielu – līdz $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai. Tomēr, vadoties no praktiskiem apsvērumiem, ieteicams maisījumus veidot ar zināmu (aptuveni $5...10 \text{ }^{\circ}\text{C}$) rezervi, jo gaisa temperatūras diennakts laikā un pa dažādiem novadiem ir krasi atšķirīgas.

Automobiļa VW Golf III 1.9TD maksimālā efektīvā jauda un griezes moments

Eksperimentālajos pētījumos iegūtās jaudas vērtības raksturo automobiļa jaudu, kas tiek attīstīta uz dzenošajiem riteņiem, bet teorētiskajos pētījumos aprēķināta motora efektīvā jauda. Lai varētu šos datus salīdzināt, eksperimentos iegūtām jaudas un griezes momenta vērtībām nepieciešams ievērtēt transmisijas lietderības koeficientu, t.i., zudumus, kas rodas automobiļa pārnēsūmkārbā, galvenajā pārvadā, riteņa gultņos un citos mezglos. Šie zudumi dažādiem automobiļiem var būt atšķirīgi, bet to aptuvenā

vērtība ir 5...20% pie maksimālās kloķvārpstas rotācijas frekvences. Ievērtējot transmisijas zudumus, kā arī automobiļa nolietojumu, teorētiskajos pētījumos aprēķinātā maksimālā jauda un griezes moments ar fosilo dīzeļdegvielu atbilst eksperimentālajos pētījumos noteiktajiem. Nedaudz atšķirīgas ir izmaiņu tendences, darbinot automobili ar rapša eļļu un fosilo dīzeļdegvielu. Ja teorētiskajos pētījumos, lietojot rapša eļļu, jaudas un griezes momenta samazinājums prognozēts 5.15% apjomā, tad eksperimentālajos pētījumos pie dažādiem iesmidzināšanas momenta regulējumiem atšķirības bija aptuveni 2.5...5%. Tas izskaidrojams ar pašattīrošo eļļas sprauslu izmantošanu, kuru darba spiediens, salīdzinot ar automobiļa oriģinālajām degvielas sprauslām, ir palielināts par aptuveni 3.5%.

Traktora MTZ-80 maksimālā efektīvā jauda un griezes moments

Traktora MTZ-80 eksperimentālajos pētījumos jauda tika noteikta no jūgvārpstas. Lai salīdzinātu iegūtos rezultātus ar teorētiskajiem pētījumiem, tie tika pārreķināti uz motora jaudu un griezes momentu, ievērtējot traktora jūgvārpstas pārvada lietderības koeficientu un pārnēsuskaitli.

Teorētiskajos pētījumos prognozētais maksimālās jaudas un griezes momenta samazinājums, lietojot rapša eļļas degvielu ir 5.35%. Eksperimentālajos pētījumos šī starpība bija lielāka – tuvojoties kloķvārpstas nominālo apgriezību frekvencei (2200 min^{-1}), samazinājums sasniedza 7.0 – 10.0%.

Tā kā traktors netika pielāgots darbināšanai ar rapša eļļu, t.i., tā netika sildīta, eļļa ar grūtībām piepildīja degvielas filtru un motors darbojas nevienmērīgi, līdz ar to neattīstīja paredzētu jaudu. Tas apstiprina traktora MTZ-80 pielāgošanas nepieciešamību darbināšanai ar rapša eļļu. Motora jaudas līkņu konstruēšanai tika izmantota empīriskā sakarība, kuras koeficienti noteikti automobiļu motoriem, taču tas netraucē kritisko parametru (N_{emax} un M_{max}) noteikšanu arī traktoru motoros.

Eksperimentālo pētījumu rezultātu kopsavilkums

Nodaļā izmantotas eksperimentēšanas (ceļizmēģinājumu un laboratorijas), statistiskās novērtēšanas un prognozēšanas pētījumu metodes.

1. Izstrādāta izmēģinājumu vispārīgā metodika, kura aptver dažādas alternatīvas rapša eļļas degvielas izmantošanā – spēkratu pielāgošanu ar vienas tvertnes sistēmu, pielāgošanu ar divu tvertņu sistēmu un rapša eļļas lietošanu bez spēkratu pielāgošanas.
2. Izmantojot firmas *ELSBETT* pārbūves komplektu, pirmo reizi Latvijā veikta spēkratu pielāgošana darbināšanai ar rapša eļļu un vienas tvertnes sistēmu:
 - automobiļa *VW Golf III 1.9TD* pārbūve izmaksā 500 LVL un to viens cilvēks var veikt aptuveni 10 stundās;
 - būtiskākās pārbūves komplekta sastāvdaļas ir pašattīrošās eļļas sprauslas, kuru darba spiediens, salīdzinot ar automobiļa oriģinālajām sprauslām, ir palielināts par aptuveni 3.5%, izsmidzināšanas leņķis ir par 13° mazāks un izsmidzināšana tiek veikta asimetriski, lai ierobežotu degvielas nokļūšanu motora karterī;
 - pārējo pārbūves komponentu – kvēlsveču, papildus filtra, siltummaiņa, releju, cauruļvadu u.tml. analīze liecina, ka tās varētu neiegādāties komplektā ar sprauslām, jo pēc tehniskajiem parametriem piemeklējamas un pielāgojamas no citu marku spēkratiem;
 - laika posmā no 2009. gada februāra līdz 2012. gada februārim ar pielāgoto automobili *VW Golf 1.9TD*, darbinot to ar rapša eļļu, nobraukti 38 000 km. Eksploatācijas laikā automobiļa bojājumi vai atteikumi nav konstatēti.

3. Izstrādāta speciālā eksperimentu metodika automobiļu testēšanai uz jaudas stenda. Tā izmantota ne tikai šajā darbā, bet aprobēta vairākos citos dažādu spēkratu ekspluatācijas parametru pētījumos.
4. Speciālās eksperimentu metodikas ietvaros izstrādāta braukšanas cikla izveides procedūra, kas ietver reālo ceļizmēģinājumu datu uzkrāšanu, pašizveidotā cikla programmēšanu un pievienošanu jaudas stenda *Mustang MD-1750* vadības sistēmas programmatūrai. Ar izstrādāto metodi var ātri izveidot jebkura ceļizmēģinājuma brauciena imitāciju (modeli), lai iegūtu precīzus un reālajai situācijai atbilstošus datus par automobiļa degvielas patēriņu un atgāzu kaitīgo izmešu daudzumu.
5. Veicot pētījumus rapša eļļas degvielas izmantošanā, izmantojot vienas degvielas tvertnes sistēmu, noskaidrots:
 - ceļizmēģinājumos rapša eļļas patēriņš pēc spēkratu pārbūves aptuveni par 1% pārsniedz fosilās dīzeļdegvielas patēriņu pirms pārbūves, bet ir par aptuveni 6% mazāks nekā biodīzeļdegvielai. Testējot automobili pēc pārbūves, dīzeļdegvielas un biodīzeļdegvielas patēriņš samazinājies, taču saglabājas degvielas patēriņa tendence, t.i., salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu, rapša eļļas degvielas patēriņš ir par 1.3% lielāks, bet, salīdzinot ar biodīzeļdegvielu, par 2.5% mazāks;
 - automobiļa testēšana uz jaudas stenda apstiprina ceļizmēģinājumu rezultātus. Ja vērtē rapša eļļas degvielas patēriņu pielāgotam automobilim ar degvielas patēriņu pirms pārbūves, tad, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu, tas ir lielāks par 1.3%, bet, salīdzinot ar biodīzeļdegvielu, mazāks par 6.2%. Pēc pārbūves rapša eļļas degvielas patēriņš par 2.3% pārsniedz fosilās dīzeļdegvielas patēriņu, bet, salīdzinot ar biodīzeļdegvielu, tas ir mazāks par 2.5%;
 - lietojot rapša eļļas degvielu, NO_x samazinājums, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu, vidēji bija 10.3%, bet, salīdzinot ar biodīzeļdegvielu – 19.1%. SO₂ daudzums atgāzēs, salīdzinot ar abiem pārējiem degvielu veidiem rapša eļļai arī bija vismazākais – vidēji par 59.2% mazāks nekā fosilajai dīzeļdegvielai un par 66.8% mazāks nekā biodīzeļdegvielai;
 - CO, HC, CO₂ un mehānisko daļiņu daudzums atgāzēs, izmantojot rapša eļļas degvielu, salīdzinot ar abiem pārējiem degvielu veidiem, bija vislielākais. CO₂ daudzums, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu, pieauga vidēji par 5.6%, bet, salīdzinot ar biodīzeļdegvielu, par 3.1%. Mehānisko daļiņu daudzums atgāzēs, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu, palielinājās gandrīz 3 reizes, bet, salīdzinot ar biodīzeļdegvielu – gandrīz 3.5 reizes. CO palielinājums bija attiecīgi 1.2 un 2.4 reizes, bet HC palielinājums attiecīgi 1.8 un 2.9 reizes;
 - ieteicamais iesmidzināšanas moments, darbinot automobili *VW Golf 1.9TD* ar rapša eļļas degvielu, ir 18.5°, jo tiek sasniegts jaudas un griezes momenta maksimums, ir minimālais CO saturs atgāzēs (salīdzinot ar ražotāja ieteikto 10.5° iesmidzināšanas momentu samazinājies par 35%), jūtami samazinājies nesadegušo oglekļa dioksīdu (par 66%), metāna (par 59%) un mehānisko piemaisījumu saturs (par 68%);
 - jaudas un griezes momenta raksturlīkņu analīze parāda, ka iesmidzināšanas momenta maiņa, darbinot automobili ar rapša eļļu un speciālajām sprauslām, līdz pat 3200 min⁻¹ ļauj nodrošināt līdzvērtīgu griezes momentu un jaudu, kā darbinot ar fosilo dīzeļdegvielu un biodīzeļdegvielu pie pētāmajam automobilim tehniskajos noteikumos noteiktā iesmidzināšanas momenta. Maksimālās jauda, darbinot automobili ar rapša eļļu, samazinās par aptuveni 3 kW;

- absorbcijas koeficienta prasības konkrētā gada izlaiduma automobilim, lai sekmīgi izietu tehnisko apskati (3%), ir izpildītas ar visiem degvielu veidiem gan pirms, gan pēc pārbūves. Vislabākie rezultāti absorbcijas koeficienta testā ir biodīzeļdegvielai, tad seko rapša eļļa un, visbeidzot, fosilā dīzeļdegviela.
6. Veicot pētījumus rapša eļļas degvielas izmantošanā ziemā, noskaidrots:
- kritiskā temperatūra automobiļa ekspluatācijai ar tīru rapša eļļas degvielu ir -13 ± 2 °C;
 - vienas tvertnes sistēmā vēlams izmantot rapša eļļu vai tās maisījumus ar fosilo dīzeļdegvielu, kuru kinemātiskā viskozitāte nepārsniedz $1000 \text{ mm}^2\text{s}^{-1}$, jo pie šādas viskozitātes degviela vēl brīvi plūst pa 8 mm degvielas vadu;
 - tīra rapša eļļa robežviskozitāti sasniedz pie -12 °C, un, lai darbinātu ar vienas tvertnes sistēmu pielāgotu dīzeļmotoru pie zemākām temperatūrām, nepieciešams veidot rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījumus. Pievienojot rapša eļļai 5% arktiskās dīzeļdegvielas, tiek nodrošināta dīzeļmotora darbība līdz -15 °C. 10% maisījumi robežviskozitāti sasniedz pie -20 °C, 25% maisījumi – pie -24 °C, bet 50% maisījumi – pie -30 °C;
 - 2. klases arktiskā dīzeļdegviela efektīvāk samazina rapša eļļas viskozitāti nekā 0. klases arktiskā dīzeļdegviela;
 - vērtējot pēc CFPP temperatūras, bez filtra apsildes 50% rapša eļļas maisījumu ar 2. klases arktisko dīzeļdegvielu var izmantot līdz -20 °C, bet 50% maisījumu ar 0. klases arktisko dīzeļdegvielu – līdz -10 °C temperatūrai;
 - lai nodrošinātu dīzeļmotora darbību jebkuros Latvijas klimatiskajos apstākļos, rapša eļļas un dīzeļdegvielas maisījumu sildīšana pirms filtrācijas ir ne tikai vēlama, bet nepieciešama, jo tikai sildīšanas rezultātā var panākt vajadzīgo rapša eļļas vai maisījumu viskozitāti.
7. Veicot pētījumus rapša eļļas degvielas izmantošanā, izmantojot divu degvielas tvertņu sistēmu, noskaidrots, ka, salīdzinot ar vienas tvertnes sistēmu, atgāzu komponentu izmaiņu tendences ir līdzīgas:
- NO_x saturs, izmantojot rapša eļļas degvielu un divu tvertņu sistēmu, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu, samazinās par 19.6%;
 - SO₂ saturs samazinās par 43.0%;
 - CO₂ saturs palielinās par 1.7%;
 - CO saturs palielinās 1.6 reizes;
 - mehānisko daļiņu saturs palielinās 1.4 reizes;
 - vienīgā komponente, kuras saturs izmaiņas būtiski atšķiras, ir nesadegušie ogļūdeņraži. Ja vienas tvertnes sistēmas izmantošanas gadījumā rapša eļļas degvielai bija vērojams palielinājums – salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu 1.8 reizes, tad, izmantojot divu tvertņu sistēmu, šīs komponentes saturs atgāzēs samazinājās par 46.9%.
8. Veicot pētījumus ar rapša eļļas degvielas izmantošanai nepielāgotu traktoru *MTZ-80*, noskaidrots:
- Īpatnējais degvielas patēriņš rapša eļļas degvielai dažādos sloģošanas režīmos ir vidēji par 6.4% lielāks nekā fosilajai dīzeļdegvielai. Salīdzinot ar biodīzeļdegvielu, īpatnējais degvielas patēriņš ir vidēji par 4.0% mazāks;
 - jauda un griezes moments, izmantojot rapša eļļas degvielu, samazinās attiecībā pret abām pārējām testētajām degvielām. Salīdzinot ar biodīzeļdegvielu, vidējais jaudas un griezes momenta samazinājums ir 2.3%. Tuvojoties kloķvārpstas nominālo apgriezību frekvencei (2200 min^{-1}), abu minēto parametru samazinājums ir būtiskāks – aptuveni 5.5%. Jaudas un

griezes momenta samazinājums, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu ir vēl lielāks – vidēji 5.9%, bet 1700 – 2200 min⁻¹ kloķvārpstas apgriezienu diapazonā – pat 7.0 – 10.0%;

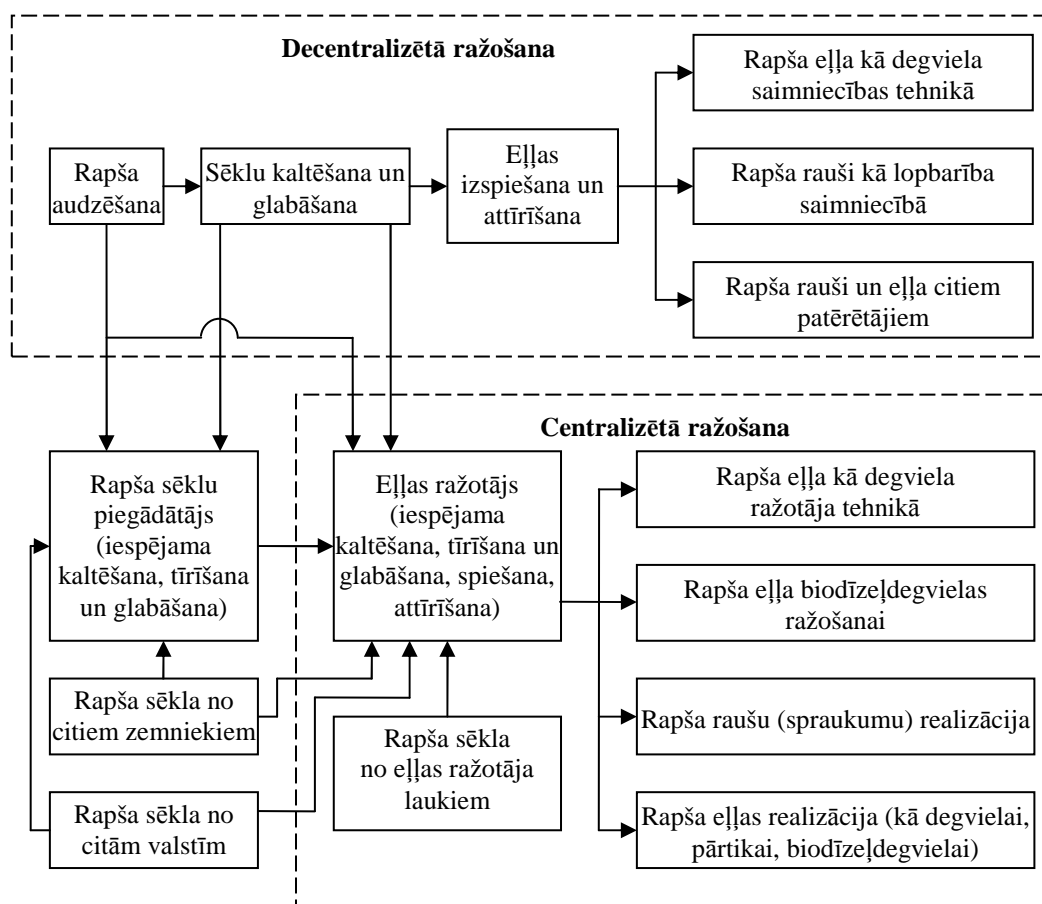
- darbinot motoru ar neuzsildītu rapša eļļu, 5 sekunžu izturēšana sloģošanas punktā ir problemātiska – eļļa ar grūtībām piepilda degvielas filtru un motors darbojas nevienmērīgi;
 - motora pielāgošana darbināšanai ar rapša eļļu traktoram *MTZ-80* ir nepieciešama, taču, kā rāda ar rapša eļļu nepielāgota traktora *T-40AM* apsekošana vasaras sezonā, atsevišķi spēkratu modeļi var tikt ekspluatēti arī bez pārbūves.
9. Teorētisko un eksperimentālo pētījumu rezultātu salīdzinājums liecina, ka izstrādātais teorētiskais modelis ir izmantojams, nosakot maksimāli pieļaujamo rapša eļļas saturu darbmaisījumā pie dažādām apkārtējās vides temperatūrām, kā arī, prognozējot spēkratu jaudas un griezes momenta izmaiņas, ja spēkratus darbina ar fosilo dīzeļdegvielu, rapša eļļas vai maisījumsdegvielām.

4. RAPŠA EĻĻAS DEGVIELAS IZMANTOŠANAS EKONOMISKAIS NOVĒRTĒJUMS

Lai novērtētu rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomisko efektivitāti, identificēti rapša eļļas degvielas apgādes (loģistikas) ķēžu varianti Latvijā un izveidots rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas matemātiskais modelis.

4.1. Rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas shēma

Vispārīgā gadījumā rapša eļļas degvielas apgādes ķēdes shēmā var iekļaut decentralizēto ražošanu (zemnieku saimniecībā) un centralizēto ražošanu eļļas ražošanas uzņēmumā (Dukulis, 2008) (sk. 4.1. att.).



4.1. att. Rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas shēma

Šādas loģistikas sistēmas modelēšana būtu ļoti darbietilpīga un aptuvena, jo centralizētās ražošanas gadījumā ieņēmumu un izdevumu pozīcijas variē ļoti plašās robežās atkarībā no uzņēmuma lieluma, specifikas u.tml. Tāpēc, izmantojot citās valstīs veikto pētījumu pieredzi (Baquero et al., 2010, 2011a, 2011b; Fore et al., 2011) un, piemērojot to Latvijas apstākļiem, rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomiskā efektivitāte novērtēta decentralizētajā ražošanā.

Novērtējuma veikšanas laikā (2012. gada jūnijā) fosilās dīzeļdegvielas cena degvielas uzpildes stacijās sasniedza 0.93 LVL l^{-1} , bet rapša eļļa lielākajās centralizētajās Latvijas ražotnēs bija nopērkama par $0.75 - 0.85 \text{ LVL l}^{-1}$.

4.2. Rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas matemātiskais modelis

Modeļa izveide veikta divos soļos – vispirms novērtētas spēkratu ekspluatācijas izmaksas, kas ietver spēkratu pielāgošanu darbināšanai ar rapša eļļu, izdevumus tehniskajām apkopēm un degvielai. Otrajā solī noteikta rapša eļļas degvielas iegūšanas iespējamā pašizmaksa no ziemas un vasaras rapša.

4.2.1. Spēkratu ekspluatācijas izmaksu novērtēšanas modelis

Kopējās spēkratu ekspluatācijas izmaksas iedalās fiksētajās jeb pastāvīgajās un mainīgajās izmaksās.

Fiksētās ir nosacīti pastāvīgas izmaksas, kas nemainās, palielinoties vai samazinoties darbības, šajā gadījumā, piemēram, automobiļa vai traktora izmantošanas apjomam saimniecībā. Savukārt, mainīgās ir tādas izmaksas, kuru kopējais līmenis mainās, palielinoties vai samazinoties spēkratu izmantošanas apjomam.

Izmaksu iedalījums pastāvīgajās un mainīgajās ir nosacīts un atkarīgs no laika perioda, kurā izmaksas tiek analizētas. Tāpat arī, piemēram, automobiļa vai traktora amortizācijas atskaitījumi var būt gan pastāvīgi, gan mainīgi, atkarībā no tā, vai spēkratu noslodze gadā nepārsniedz vai pārsniedz normatīvo slodzi (Priekulis un Strautnieks, 2000; Vītola un Soopa, 2002).

Pie pastāvīgajām izmaksām var pieskaitīt, piemēram:

- spēkratu iegādes izmaksas;
- amortizācijas jeb atjaunošanas kapitālieguldījumus, ja spēkratu noslodze gadā nepārsniedz normatīvo noslodzi;
- piesaistītā kapitāla izmaksas;
- spēkratu apdrošināšanas un glabāšanas izmaksas.

Pie mainīgajām izmaksām var pieskaitīt, piemēram:

- amortizācijas jeb atjaunošanas kapitālieguldījumus, ja spēkratu noslodze gadā pārsniedz normatīvo noslodzi;
- tehnisko apkopju un remontu izmaksas;
- degvielas un smērvielu izmaksas.

Ekonomiskajā novērtējumā pieņemts, ka darbināšanai ar rapša eļļu tiek pielāgoti saimniecībā jau esoši spēkrati, tāpēc to iegādes izmaksas netiek aplūkotas.

Pie pastāvīgajām izmaksām tiek pieskaitītas pielāgošanas komplekta iegādes (vai izgatavošanas) un montāžas izmaksas. Vairums izdevumu (piemēram, piesaistītā kapitāla, spēkratu apdrošināšanas un glabāšanas), tāpat arī atjaunošanas kapitālieguldījumi, neskatoties uz to, vai spēkratu noslodze gadā pārsniedz normatīvo noslodzi vai nē, nav atkarīgi no spēkratos izmantotā degvielu veida, tāpēc tie rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomiskajā novērtējumā netiek iekļauti.

Ekspluatācijas izmaksu starpību aprēķina pēc sakarības:

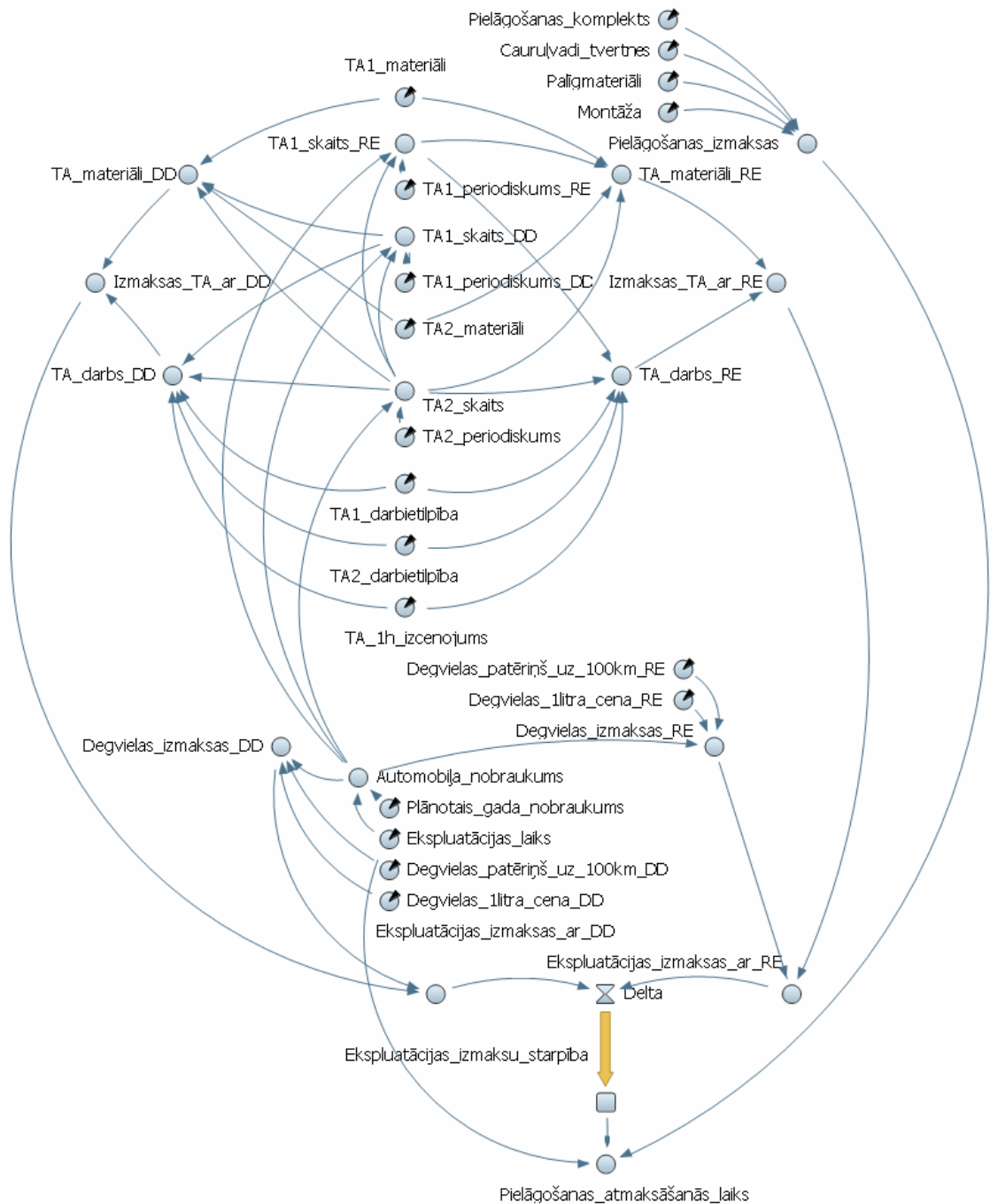
$$\Delta I_{Ekspl.} = I_{Ekspl(RE)} - I_{Ekspl(DD)}, \quad (4.1)$$

kur $I_{Ekspl(RE)}$ – spēkratu ekspluatācijas izmaksas, darbinot tos ar rapša eļļas degvielu, LVL;

$I_{Ekspl(DD)}$ – spēkratu ekspluatācijas izmaksas, darbinot tos ar fosilo dīzeļdegvielu, LVL.

Tehnisko apkopju skaita un periodiskuma, kā arī degvielas patēriņa noteikšana traktoriem un automobiļiem balstās uz atšķirīgiem principiem, tāpēc izveidoti divi neatkarīgi modeļi.

Automobiļu ekspluatācijas izmaksu novērtēšanas modeļa attēlojums *AnyLogic* *Advanced 6.2.0* vidē dots 4.2. attēlā.



4.2. att. **Automobiļu ekspluatācijas izmaksu novērtēšanas modelis programmā *AnyLogic***

Atsevišķos modeļa blokos tiek aprēķinātas pielāgošanas izmaksas, izmaksas tehniskajām apkopēm, darbinot spēkratus ar dažādām degvielām, kā arī rapša eļļas degvielas un fosilās degvielas izmaksas plānotajā ekspluatācijas laikā.

Kopējās spēkratu pielāgošanas izmaksas aprēķina pēc sakarības:

$$I_{Piel.} = I_{PK} + I_{CT} + I_{PM} + I_{MON}, \quad (4.2)$$

kur I_{PK} – pielāgošanas komplekta izmaksas, LVL;

I_{CT} – degvielas cauruļvadu un tvertņu izmaksas (ja tās nav iekļautas pārbūves komplektā), LVL;

I_{PM} – palīgmateriālu izmaksas (piemēram, siltummaiņa un releju stiprinājumu izgatavošanai), LVL;

I_{MON} – komplekta montāžas izmaksas, LVL.

Spēkratu tehnisko apkopju (TA) izmaksas aprēķina pēc sakarības:

$$I_{TA} = I_M + I_D, \quad (4.3)$$

kur I_M – TA materiālu izmaksas, LVL;

I_D – TA darbu izmaksas, LVL.

Piemēram, ar *Elsbett* pārbūves komplektu eksperimentāli pielāgotā automobiļa *VW Golf III 1.9TD* TA periodiskums ir 15000 km. Katrā otrajā TA veikšanas reizē veicamo darbu apjoms ir lielāks nekā pirmajā reizē, jo bez motoreļļas un filtra maiņas jāveic arī virkne citu darbu (piemēram, dažādu mezglu kontrole, degvielas filtra maiņa utt.). Nosacīti šīs tehniskās apkopes apzīmētas ar TA-1 un TA-2. TA-1 darbietilpība ir 0.5 cilvēkstundas, bet TA-2 – 1.9 cilvēkstundas (Autodata CDA-3, 2007).

Darbinot spēkratus ar rapša eļļas degvielu, tiek ieteikta divreiz biežāka motoreļļas un filtra maiņa. Tāpēc, piemēram, automobilim *VW Golf III 1.9TD* tā tiek veikta ik pēc 7500 km, tādējādi TA-1 skaits jāpalielina divas reizes, bet TA-2 skaits nemainās.

TA darbu izmaksas aprēķina pēc sakarības:

$$I_D = C_h \cdot \sum_{i=1}^k T_{TA-i} \cdot n_{TA-i}, \quad (4.4)$$

kur C_h – vienas cilvēkstundas izcenojums servisā, LVL;

T_{TA-i} – i-tās TA darbietilpība, cilvēkstundas;

n_{TA-i} – i-to TA skaits izvēlētajā laika periodā;

i – TA nosacītais numurs;

k – dažādo TA skaits (piemēram, automobilim *VW Golf III 1.9TD* – 2).

TA laikā izmantoto materiālu izmaksas (motoreļļa, eļļas filtrs, degvielas filtrs u.c.) aprēķina pēc sakarības:

$$I_M = \sum_{i=1}^k M_{TA-i} \cdot n_{TA-i}, \quad (4.5)$$

kur M_{TA-i} – i-tās TA materiālu izmaksas, LVL.

Automobiļa degvielas izmaksas aprēķina pēc sakarības:

$$I_{DegVA} = \frac{Q \cdot s \cdot C_l}{100}, \quad (4.6)$$

kur Q – degvielas patēriņš, l (100 km)⁻¹ (modelī izmantots degvielas patēriņš kombinētajā ciklā IM-240);

s – automobiļa nobraukums izvēlētajā laika periodā, km;

C_l – viena litra degvielas cena, LVL.

Lai noteiktu, vai spēkratu pielāgošana ir ekonomiski izdevīga, modelī ievietots bloks veiktās pārbūves atmaksāšanās laika aprēķināšanai:

$$T_{Atm.} = \frac{I_{Piel.} \cdot T_{Eksp.}}{\Delta I_{Eksp.}}, \quad (4.7)$$

kur $I_{Piel.}$ – kopējās spēkratu pielāgošanas izmaksas, LVL;

$T_{Eksp.}$ – plānotais ekspluatācijas (modelēšanas) laika periods, gadi;
 $\Delta T_{Eksp.}$ – ekspluatācijas izmaksu starpība plānotajā ekspluatācijas periodā,
darbinot spēkratus ar rapša eļļas degvielu un fosilo dīzeļdegvielu, LVL.

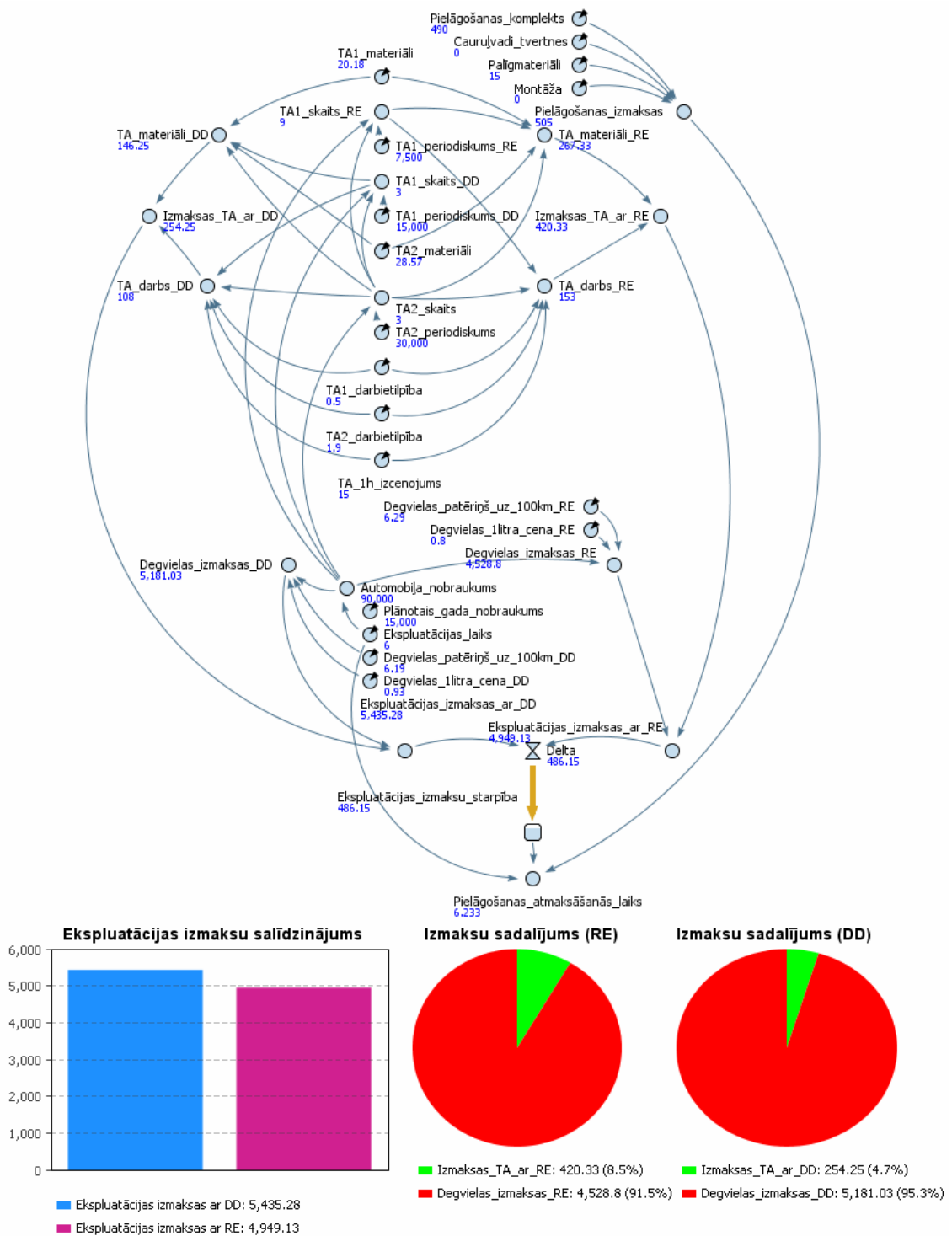
Modelēšanas mainīgos ievada programmas *AnyLogic* simulācijas parametru dialoga logā *Simulation – Simulation Experiment*. Parametru ievadīšanas piemērs automobiļa *VW Golf III 1.9TD* pielāgošanas ekonomiskajai novērtēšanai dots 4.3. attēlā.

Description	Value
Pielāgošanas_komplekts*	490
Cauruļvadi_tvertnes*	0
Palīgmateriāli*	15
Montāža*	0
TA1_materiāli*	20.18
TA2_materiāli*	28.57
TA1_darbietilpība	0.5
TA2_darbietilpība*	1.9
TA_1h_izcenojums*	15
Degvielas_patēriņš_uz_100km_RE*	6.29
Degvielas_1litra_cena_RE*	0.80
Degvielas_patēriņš_uz_100km_DD*	6.19
Degvielas_1litra_cena_DD*	0.93
TA2_periodiskums	30000
TA1_periodiskums_DD	15000
TA1_periodiskums_RE	7500
Ekspluatācijas_laiks	6
Plānotais_gada_nobraukums	15000

4.3. att. **Parametru ievadīšanas piemērs automobiļa *VW Golf III 1.9TD* pielāgošanas ekonomiskajai novērtēšanai**

Pielāgošanas komplekts uzmontēts uz lietota automobiļa, kura pieņemtais ekspluatācijas periods līdz tā norakstīšanai vai pārdošanai ir 90000 km. Pieņemot, ka vidējais automobiļa gada nobraukums ir 15000 km, tad 90000 km nobraukums tiks sasniegts 6 gados.

Modelēšanas rezultāti ar šādiem parametriem parādīti 4.4. attēlā.



4.4. att. Modelēšanas piemērs automobiļa *VW Golf III 1.9TD* pielāgošanas ekonomiskajai novērtēšanai

AnyLogic programmā pieejami dažādi analīzes rīki (piemēram, diagrammas), kas ātri ļauj novērtēt konkrētā modelēšanas scenārija izmaksu sadalījumu pa pozīcijām. Kā redzams no diagrammām, tad, darbinot automobili ar rapša eļļu, būtiski palielinājušās izmaksas TA veikšanai (no 4.7% uz 8.5%). Lai gan rapša eļļas degvielas izmaksas (91.5%) ir zemākas nekā dīzeļdegvielai (95.3%), tomēr automobiļa pielāgošana pat pie šāda optimistiska modelēšanas scenārija (pārbūve veikta ar savu darbaspēku, netiek ņemti vērā papildus izdevumi rapša eļļas degvielas uzpildei, jo tā nav nopērkama katrā

DUS kā dīzeļdegviela) atmaksātos tikai pēc 6.2 gadiem, kad konkrētais automobilis visticamāk vairs nebūs ekspluatācijā. Ja fosilās dīzeļdegvielas cenu modelī pieņem 1.00 LVL l⁻¹, kādu tā sasniedza 2012. gada pavasarī, tad pielāgošana atmaksātos ātrāk – 3.5 gados, bet tikai ar pieņēmumu, ka rapša eļļu varētu iegādāties par to pašu cenu, t.i., 0.80 LVL l⁻¹, bet tas ir maz ticams scenārijs.

Tāpēc vieglā automobiļa *VW Golf III 1.9TD* pielāgošana darbināšanai ar rapša eļļu, izmantojot rūpnieciski ražotu pārbūves komplektu, un ekspluatācija ar Latvijas centralizētajās ražotnēs pirktu rapša eļļu nav ekonomiski izdevīga. Rapša eļļas izmantošanas izdevīgums zemnieku saimniecībā ar pašražotu eļļu un potenciāliem ieņēmumiem no rapša raušu realizācijas aplūkots 4.3. nodaļā.

Rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomiskais novērtējums pētījumos izmantotajam traktoram *MTZ-80* modelēts, pieņemot, ka pielāgošana veikta ar pašizgatavotām un Latvijā veikalos iegādājamām komponentēm, jo pārbūves komplekti šāda modeļa traktoriem nav pieejami. TA periodiskumu un veicamos darbus nosaka ražotāja noteiktie ekspluatācijas noteikumi. Traktoram *MTZ-80* TA-1 paredzēta pēc 125 motorstundām vai 1050 kg izlietotās degvielas, TA-2 pēc 500 motorstundām vai 4200 kg izlietotās degvielas, bet TA-3 pēc 1000 motorstundām vai 8400 kg izlietotās degvielas (Тракторы „Беларусь”..., 1988).

Vēl kā piemērs modelēšanai aplūkots 2006. gada izlaiduma traktors *Massey Ferguson 8480 T2*, kas, izmantojot firmas *ATG* pārbūves komplektu, pielāgots darbināšanai ar rapša eļļu Vācijā un Latvijā. Informācija par traktora TA periodiskumu, veicamajiem darbiem, to darbietilpību, izmaksām un nepieciešamajiem materiāliem iegūta SIA „Konekesko Latvija”, kas ir traktoru *Claas* un *Massey Ferguson* izplatītājs un apkalpotājs Latvijā. Vairumam traktoru (ne tikai šo ražotāju) TA netiek apzīmētas ar skaitļiem, bet tikai noteikts to periodiskums motorstundās, piemēram, 400, 800, 1200 un 2000 (vai tikai 400, 800 un 1200).

Darbinot traktoru *MTZ-80* ar rapša eļļas degvielu, motoreļļa un filtrs jāmaina pēc 250 motorstundām (ar dīzeļdegvielu – pēc 500 jeb TA-2 laikā), bet *Massey Ferguson 8480 T2* – pēc 200 motorstundām (ar dīzeļdegvielu – pēc 400 jeb nosacīti TA-1 laikā). Bez tam daudzām traktoru markām katra nākamā periodiskuma apkope neietver visus iepriekšējā apkopē veiktos darbus. Universālu modeli, kas būtu izmantojams neatkarīgi no tā, vai traktoram paredzētas 3 vai 4 dažādas TA, izveidot ir sarežģīti, tāpēc traktoru pielāgošanas ekonomiskās novērtēšanas modelī uzreiz aprēķinātas degvielas, TA materiālu un darba izmaksu starpības. Tā, piemēram, traktoram *MTZ-80* uz pilnu TA ciklu (1000 motorstundām) jāparedz divas papildus motoreļļas un filtra maiņas, traktoram *Massey Ferguson 8480 T2* uz 2000 motorstundām – piecas, *Massey Ferguson 4455* uz 1200 motorstundām – trīs u.tml. Tāpēc modelī tiek ieviesti bloki, kas ievērtē šo papildus TA izdevumus.

Traktora degvielas izmaksas aprēķināt ir sarežģītāk nekā automobilim, jo degvielas patēriņu ietekmē ļoti daudzi faktori, piemēram, traktora motora jauda, veicamais darbs, slodze utt. Modelī izmantota vienkāršota degvielas izmaksu aprēķina sakarība:

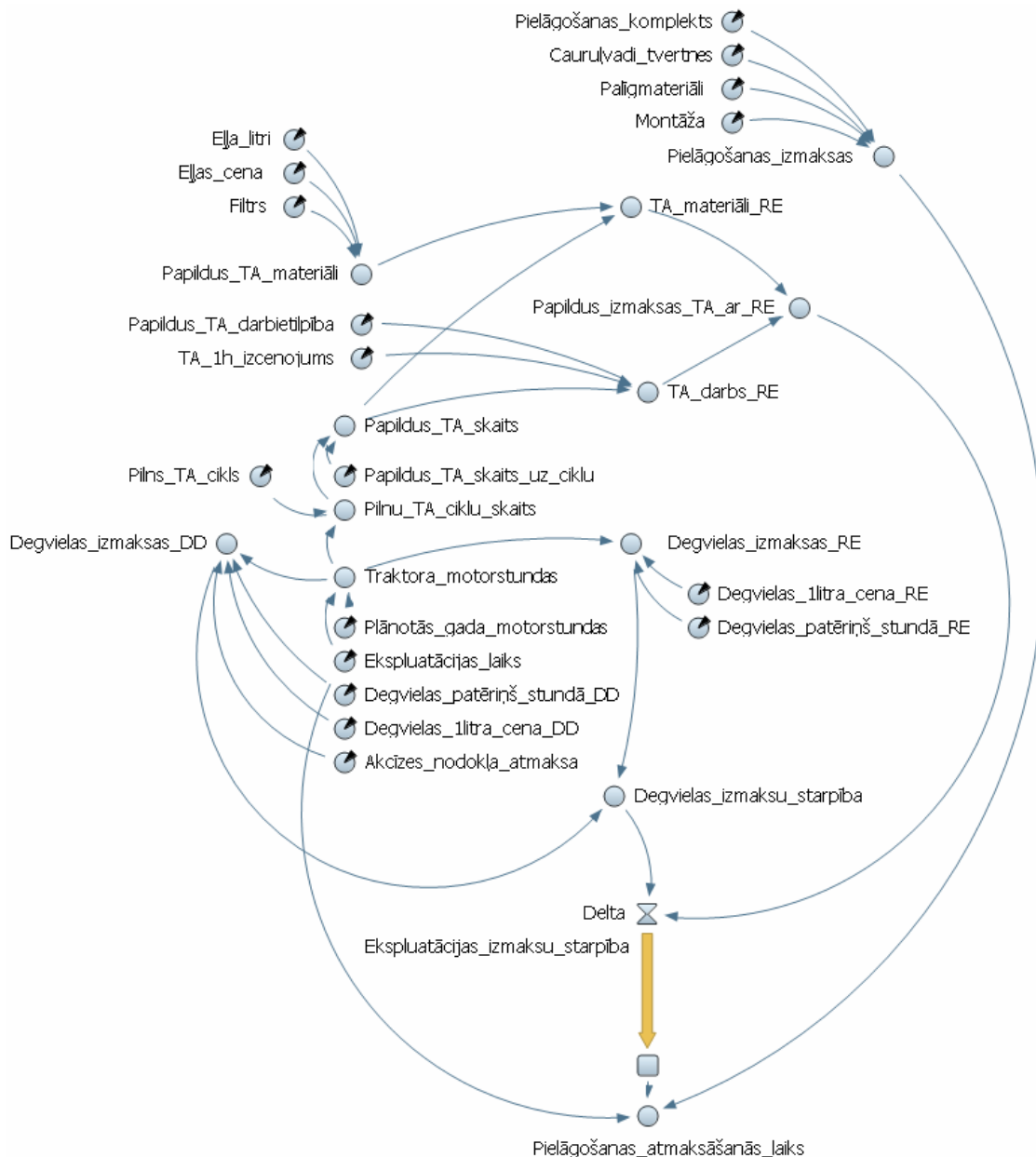
$$I_{DegvT} = Q_h \cdot t \cdot C_l, \quad (4.8)$$

kur Q_h – degvielas patēriņš stundā, l;
 t – darba stundas izvēlētajā laika periodā, h;
 C_l – viena litra degvielas cena, LVL.

Degvielas stundas patēriņš un darba stundu skaits modelī pieņemts, balstoties uz SIA „Latvijas lauku konsultāciju un izglītības centrs”, SIA „Konekesko Latvija” un citos pētījumos (Kalniņš, 2009) gūto informāciju.

Modelī ņemts vērā, ka lauksaimnieks varētu saņemt bezakcīzes dīzeļdegvielu par to platību (hektāros), kurai ir nodrošināti LVL 200.00 ieņēmumi (Skaidrojums par akcīzes..., 2012). Tikai katra gada beigās šis dīzeļdegvielas daudzums tiek precizēts. Tā, piemēram, 2011. gada sākumā tika nolemts piešķirt akcīzes atbrīvojumu 50 litriem dīzeļdegvielas par katru hektāru, bet gada beigās šis skaitlis tika paaugstināts līdz 99.90 litriem (Akcīzes degviela, 2012). Tāpat katru gadu mainās arī pats akcīzes nodoklis. Piemēram, 2012. gadā Latvijā akcīzes nodokļa likme dīzeļdegvielai ir LVL 234.00 par 1000 litriem (Akcīzes nodokļa likmju samazināšana..., 2012).

Traktoru ekspluatācijas izmaksu novērtēšanas modeļa attēlojums *AnyLogic Advanced 6.2.0* vidē dots 4.5. attēlā.



4.5. att. Traktoru ekspluatācijas izmaksu novērtēšanas modelis programmā *AnyLogic*

17. pielikumā parādīts modelēšanas piemērs traktora *Massey Ferguson 8480 T2* pielāgošanas ekonomiskajai novērtēšanai. Aplūkotajā scenārijā pieņemts, ka traktoru

izmanto 1000 stundas gadā, vidējais dīzeļdegvielas patēriņš ir 20 l h^{-1} , bet akcīzes nodoklis par fosilo dīzeļdegvielu netiek atmaksāts. Šādā gadījumā firmas ATG pārbūves komplekta izmantošana atmaksājas 2.7 gados. Ja plānoto motorstundu skaitu gadā palielina līdz 1500, atmaksāšanās laiks samazinās līdz 1.8 gadiem, ja motorstundu skaitu samazina līdz 600, pielāgošana atmaksājas 4.5 gados. Ļoti „jutīgs” modelis ir attiecībā uz degvielas patēriņu. Ja vidējo dīzeļdegvielas patēriņu palielina uz 25 l h^{-1} , iekārtas atmaksāšanās laiks ir 1.4 gadi, bet, ja patēriņš ir 15 l h^{-1} , iekārta varētu atmaksāties tikai 21 gada laikā. Traktora pielāgošana un pirktas eļļas izmantošana neatmaksājas arī scenārijā, kad lauksaimnieks iegādājas bezakcīzes dīzeļdegvielu vismaz 15% apjomā no izmantotās fosilās degvielas.

Modelējot traktora MTZ-80 pielāgošanas (ar pašizgatavotām un Latvijā veikalos iegādājamām komponentēm) un rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomisko novērtējumu, pieņemts, ka traktoru izmanto 1000 stundas gadā, vidējais dīzeļdegvielas patēriņš ir 10 l h^{-1} (sk. 18. pielikumu). Pielāgošana atmaksājas aptuveni 7 mēnešu laikā. Ja plānoto motorstundu skaitu gadā samazina līdz 600, pielāgošana atmaksājas 1 gadā, bet atkal pie nosacījuma, ja netiek lietota bezakcīzes dīzeļdegviela.

Tāpēc izveidots vēl viens modelis ar mērķi noskaidrot rapša eļļas degvielas iegūšanas iespējamo pašizmaksu zemnieku saimniecībā.

4.2.2. Rapša eļļas degvielas iegūšanas modelis

Rapša eļļas pašizmaksu ietekmē ļoti daudzi faktori, piemēram, sēklas, minerālmēsli, herbicīdu un fungicīdu iegādes cenas un normas, tehnisko pakalpojumu izmaksas aršanai, pirmssējas apstrādei, sēšanai, mēslošanai, smidzināšanai, ražas novākšanai, transportēšanai, sēklu tīrīšanai, žāvēšanai, eļļas izspiešanai, vidējās rapša ražības, rapša raušu pārdošanas cenas, vidējie starpproduktu un galaproduktu transportēšanas attālumi, rapša eļļas spiešanas jaudas, atbalsta maksājumi utt. Daudzi procesa ietekmējošie faktori ir ļoti mainīgi, piemēram, rapša sēklas, ķīmikāliju, tehnisko pakalpojumu, fosilās degvielas u.c. cenas variē ļoti plašās robežās un pie tam ir ļoti strauji mainīgas laikā. Tāpat izmaksas ietekmē arī konkrētās saimniecības platības, izmantojamā tehnika u.tml.

Lai atvieglotu modeļa izveidi, izmantotas SIA „Latvijas lauku konsultāciju un izglītības centrs” apkopotās tehnisko pakalpojumu cenas (Tehnisko pakalpojumu cenas, 2011) un rapša audzēšanas ieteiktās tehnoloģijas.

Rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas modelī rapša eļļas pašizmaksas noteikšanai aprēķinātas fiksētās un mainīgās izmaksas. Modeļa atsevišķos blokos izmaksu aprēķini veikti uz 1 ha.

Pie fiksētajām pieder, piemēram, tehnikas iegādes un renovācijas izmaksas, pastāvīgo darbinieku darba alga, apdrošināšanas maksājumi, zemes nodoklis, ražošanas ēku uzturēšana, vadīšanas izmaksas, kredītprocenti u.c. Pie mainīgajām izmaksām pieder, piemēram, sēklas materiāls, pirktais mēslojums, augu aizsardzības izmaksas, specifiskās augkopības izmaksas (kaltēšanas, šķirošanas, pārdošanas, apdrošināšanas u.c.), maksas pakalpojumi, degvielas, smērvielas u.tml.

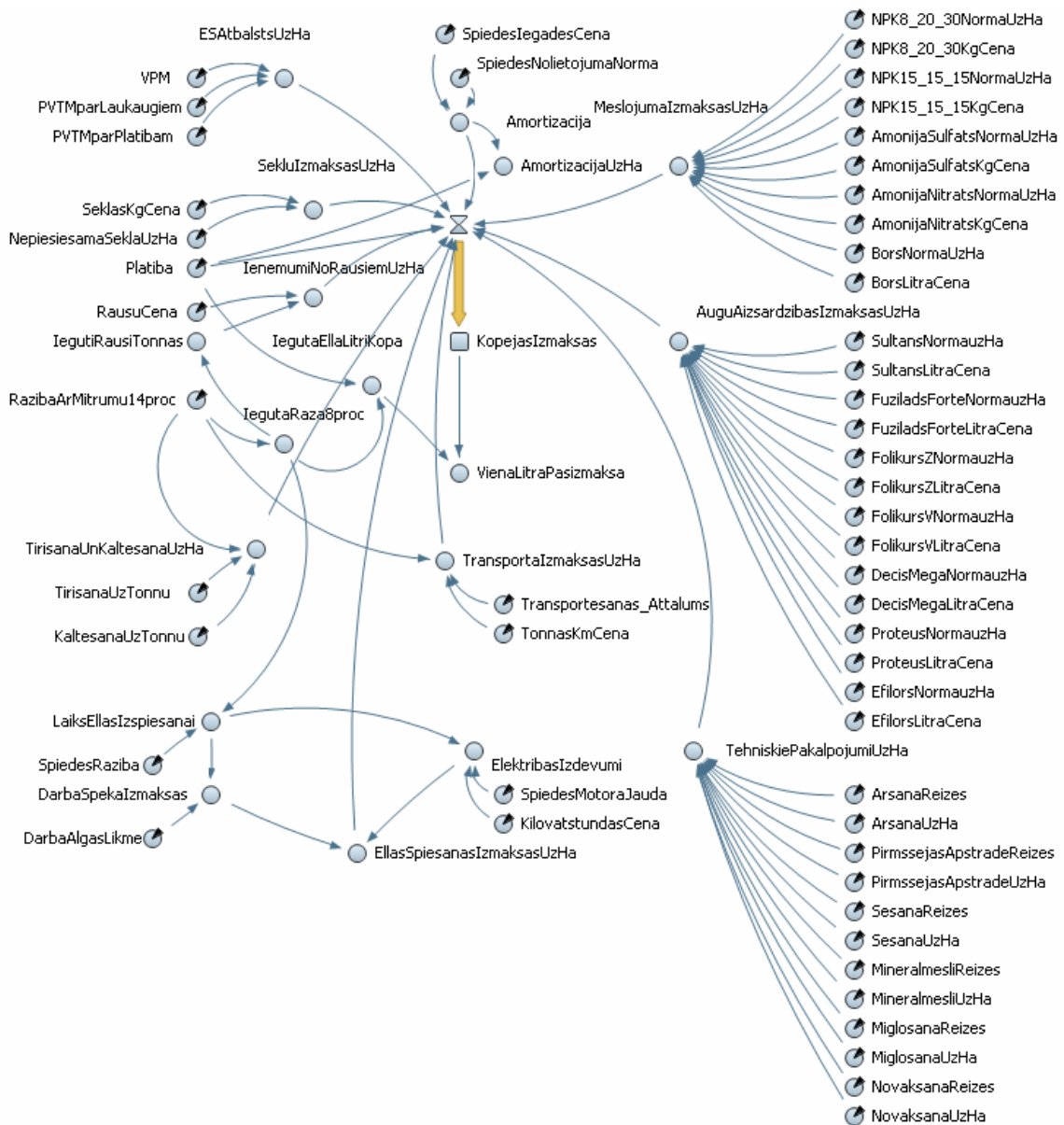
Kopējās rapša eļļas iegūšanas izmaksas $I_{kop.}$ modelī aprēķina pēc sakarības:

$$I_{kop.} = I_{main.} + I_{fiks.}, \quad (4.9)$$

kur $I_{main.}$ – mainīgās izmaksas, LVL;

$I_{fiks.}$ – fiksētās izmaksas, LVL.

Rapša eļļas degvielas iegūšanas izmaksu modelis *AnyLogic* vidē dots 4.6. attēlā.



4.6. att. Rapša eļļas iegūšanas izmaksu modelis programmā *AnyLogic*

Mainīgās rapša eļļas iegūšanas izmaksas $I_{main.}$ aprēķina pēc sakarības:

$$I_{main.} = I_{sekla} + I_{mesl.} + I_{aizs.} + I_{tir.} + I_{kalt.} + I_{tehn.pak.} + I_{transp.} + I_{spies.}, \quad (4.10)$$

- kur I_{sekla} – sēklu izmaksas, LVL;
 $I_{mesl.}$ – mēslojuma izmaksas, LVL;
 $I_{aizs.}$ – augu aizsardzības izmaksas, LVL;
 $I_{tir.}$ – sēklu tīrīšanas izmaksas, LVL;
 $I_{kalt.}$ – sēklu kaltēšanas izmaksas, LVL;
 $I_{tehn.pak.}$ – tehnisko pakalpojumu izmaksas, LVL;
 $I_{transp.}$ – sēklu transportēšanas izmaksas, LVL;
 $I_{spies.}$ – eļļas spiešanas izmaksas, LVL.

Fiksētās rapša eļļas iegūšanas izmaksas $I_{fiks.}$ aprēķina pēc sakarības:

$$I_{fiks.} = I_{amort.} + I_{d.alga} + I_{elektr.} + I_{apk.} + I_{apdr.} + I_{z.nod.} + I_{rem.uzt.} + I_{vad.} + I_{kred.}, \quad (4.11)$$

kur $I_{amort.}$ – amortizācijas atskaitījumi, LVL;
 $I_{d.alga}$ – pastāvīgo darbinieku darba alga, LVL;
 $I_{elektr.}$ – elektrības izmaksas, LVL;
 $I_{apk.}$ – apkures izmaksas, LVL;
 $I_{apdr.}$ – apdrošināšanas maksājumi, LVL;
 $I_{z.nod.}$ – zemes nodoklis, LVL;
 $I_{rem.uzt.}$ – ražošanas ēku un tehnikas remonta un uzturēšanas izmaksas, LVL;
 $I_{vad.}$ – vadīšanas izmaksas, LVL;
 $I_{kred.}$ – kredītprocenti, LVL.

Sēkļu izmaksas I_{seklas} aprēķina pēc sakarības:

$$I_{sekla} = c_{sekla} \cdot n_{sekla}, \quad (4.12)$$

kur c_{sekla} – sēkļu 1 kg cena, LVL;
 n_{sekla} – sēkļu izsējas norma uz 1 ha, kg.

Mēslojuma izmaksas $I_{mesl.}$ aprēķina pēc sakarības:

$$I_{mesl.} = \sum_{i=1}^n c_{mesl.i} \cdot n_{mesl.i}, \quad (4.13)$$

kur $c_{mesl.i}$ – mēslojuma veida 1 kg cena, LVL;
 $n_{mesl.i}$ – mēslojuma veida norma uz 1 ha, kg.

Augu aizsardzības izmaksas $I_{aizs.}$ aprēķina pēc sakarības:

$$I_{aizs.} = \sum_{i=1}^n c_{aizs.i} \cdot n_{aizs.i}, \quad (4.14)$$

kur $c_{aizs.i}$ – augu aizsardzības līdzekļa veida 1 kg cena, LVL;
 $n_{aizs.i}$ – augu aizsardzības līdzekļa veida norma uz 1 ha, kg.

Sēkļu tīrīšanas izmaksas $I_{tir.}$ aprēķina pēc sakarības:

$$I_{tir.} = c_{tir.} \cdot R_{14\%}, \quad (4.15)$$

kur $c_{tir.}$ – 1 tonnas sēkļu tīrīšanas izmaksas, LVL;
 $R_{14\%}$ – rapša raža ar 14% mitrumu, t.

Sēkļu kaltēšanas izmaksas $I_{kalt.}$ aprēķina pēc sakarības:

$$I_{kalt.} = c_{kalt.} \cdot R_{14\%}, \quad (4.16)$$

kur $c_{kalt.}$ – 1 tonnas sēkļu kaltēšanas izmaksas no 14% uz 8%, LVL.

Tehnisko pakalpojumu izmaksas $I_{tehn.pak.}$ aprēķina pēc sakarības:

$$I_{tehn.pak.} = \sum_{i=1}^n c_{tehn.pak.i} \cdot n_{tehn.pak.i}, \quad (4.17)$$

kur $c_{tehn.pak.i}$ – tehniskā pakalpojuma veida 1 ha izmaksas, LVL;
 $n_{tehn.pak.i}$ – tehniskā pakalpojuma izmantošanas reižu skaits.

Sēkļu transportēšanas izmaksas $I_{transp.}$ aprēķina pēc sakarības:

$$I_{transp.} = c_{transp.} \cdot s_{transp.} \cdot R_{14\%}, \quad (4.18)$$

kur $c_{transp.}$ – 1 tonnkilometra izmaksas, LVL;
 $s_{transp.}$ – transportēšanas attālums, km.

Eļļas spiešanas izmaksas $I_{spies.}$ aprēķina pēc sakarības:

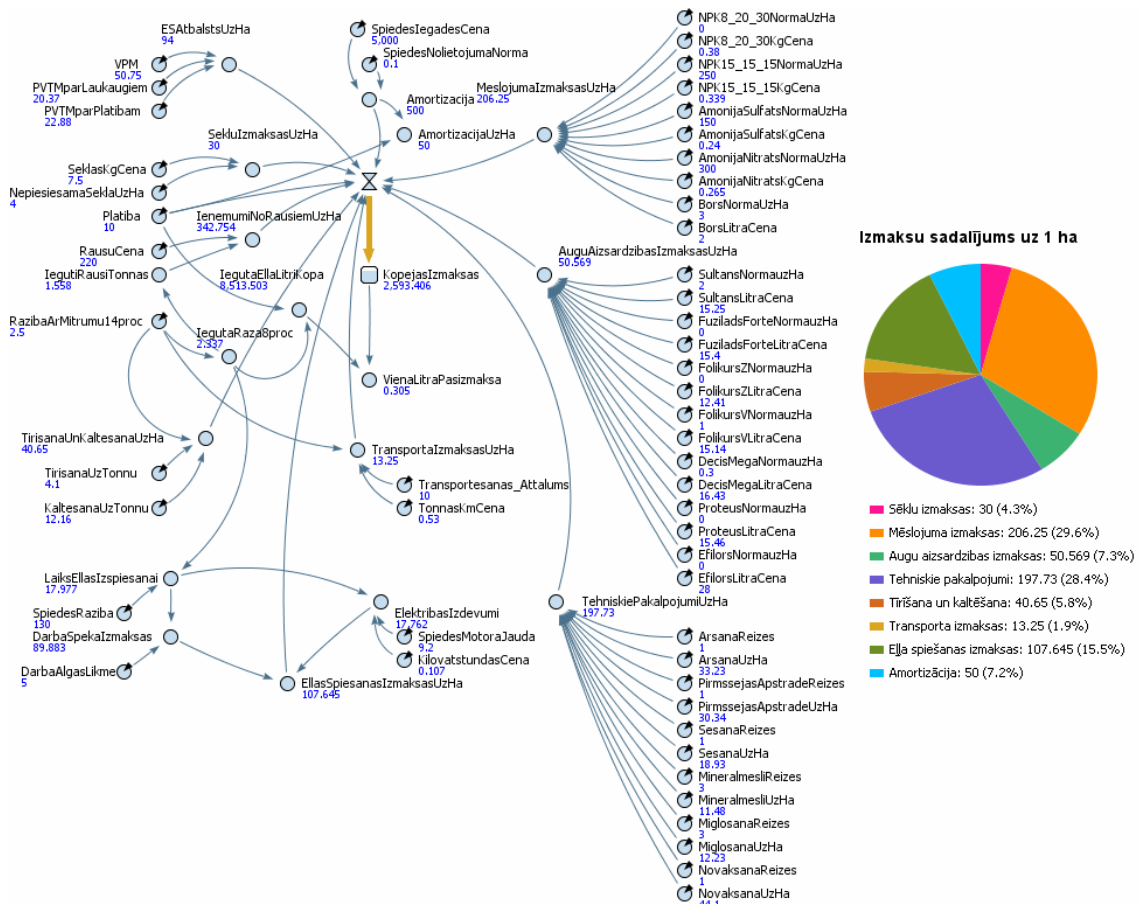
$$I_{spies.} = \frac{R_{8\%}}{W_{spiedes}} (c_{el.} \cdot N_{spiedes} + c_{da}), \quad (4.19)$$

kur $W_{spiedes}$ – eļļas spiedes ražība, t h⁻¹;
 $R_{8\%}$ – rapša raža ar 8% mitrumu, t;
 $c_{el.}$ – 1 kW h elektroenerģijas cena, LVL;
 $N_{spiedes}$ – eļļas spiedes motora jauda, kW;
 $c_{da.}$ – vienas stundas darba algas likme eļļas izspiešanai, LVL.

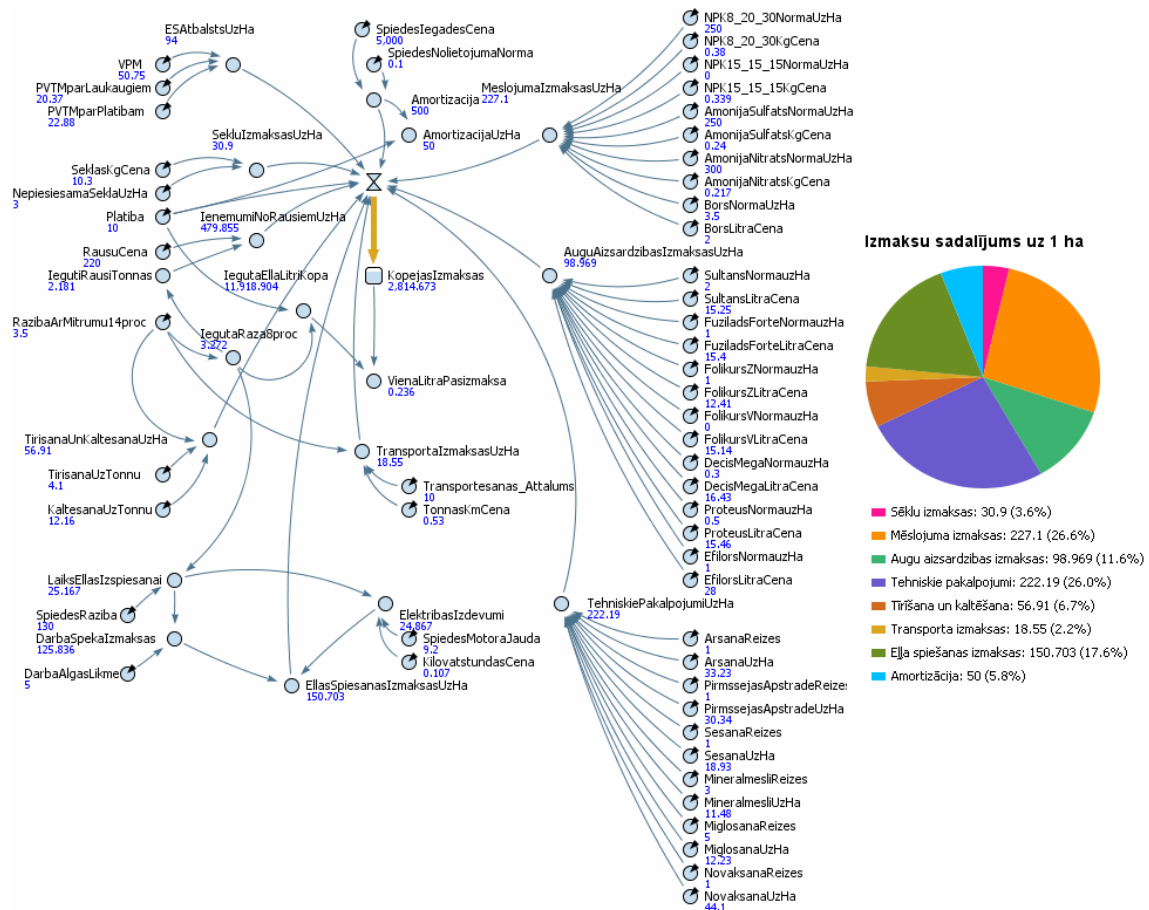
Mainīgie ieņēmumi modelī – pieejamie ES tiešie atbalsta maksājumi – vienotais platības maksājums (VPM), atdalītais PVTM par platībām (APL) un atdalītais PVTM par laukaugu platībām (ALA) (ES atbalsts..., 2012), kā arī ieņēmumi no raušu realizācijas. Ja rauši tiktu izlietoti savā saimniecībā, par līdzīgu summu samazinātos izdevumi pirktās lopbarības iegādei un kopējā saimniecības bilance nemainītos.

Modelī pieņemts, ka zemnieks jau līdz šim nodarbojies ar rapša audzēšanu, tāpēc papildus kapitālieguldījumi nepieciešami tikai spiedes iegādei. Spiedes normatīvais lietošanas laiks – 10 gadi, tāpēc nolietojuma norma – 10% gadā. Vairumu pārējo fiksēto izmaksu pozīciju (piemēram, zemes nodokli, apdrošināšanas maksājumus, vadīšanas izmaksas, ražošanas ēku un tehnikas remonta un uzturēšanas izmaksas u.tml.) eļļas izspiešana ietekmē maz, tāpēc modelī tās netiek ņemtas vērā. Spiešanas izmaksas elektrībai un darba algai ievērtētas mainīgo izdevumu blokā „Eļļas spiešanas izmaksas”.

Rapša eļļas iegūšanas izmaksu modelēšanas piemēri eļļas ieguvē no vasaras un ziemas rapša zemnieku saimniecībā doti 4.7. un 4.8. attēlā.



4.7. att. Rapša eļļas iegūšanas izmaksu modelēšanas piemērs eļļas ieguvē no vasaras rapša zemnieku saimniecībā



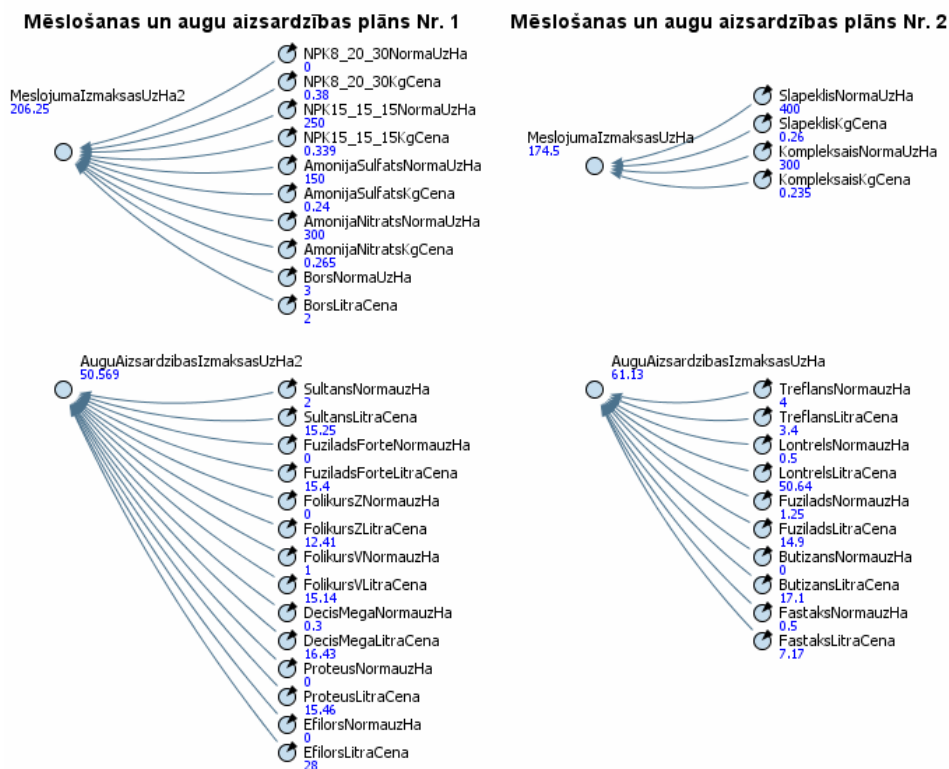
4.8. att. Rapša eļļas iegūšanas izmaksu modelēšanas piemērs eļļas ieguvē no ziemas rapša zemnieku saimniecībā

Pieņemot, ka rapsis tiek audzēts 10 ha platībā, rapša rauši tiek realizēti, un zemnieks saņem visus pieejamos ES tiešos atbalsta maksājumus, rapša eļļas pašizmaksa no ziemas rapša pie ražības 3.5 t ha⁻¹ ir 0.24 LVL l⁻¹, bet no vasaras rapša pie ražības 2.5 t ha⁻¹ – 0.31 LVL l⁻¹. Rapša eļļas iegūšanas izmaksas citos modelēšanas scenārijos un zemnieku saimniecībā iegūtās eļļas izmantošanas izdevīgums spēkratos aplūkots 4.3. nodaļā.

4.3. Rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas modelpētījumi

Veicot modelpētījumus, var simulēt dažādus rapša eļļas loģistikas sistēmas scenārijus. Piemēram, tehniskie pakalpojumi (aršana, mēslošana, miglošana, ražas novākšana, transportēšana utt.) var tikt veikti ar paša zemnieka tehniku vai modelēti kā ārēji pakalpojumi. Līdzīgus scenārijus var izveidot saistībā ar sēklu tīrīšanu, kaltēšanu un eļļas izspiešanu. Var iegādāties citu – jaudīgāku spiedi, tādējādi mainot vērtības modeļa eļļas spiešanas izmaksu un amortizācijas blokos. Iespējami arī dažādi mēslošanas un augu aizsardzības plāni.

4.9. attēlā parādīts modelēšanas piemērs, lietojot dažādus mēslošanas un augu aizsardzības līdzekļus vasaras rapša audzēšanā. Mēslojuma izmaksas, salīdzinot ar bāzes scenāriju, samazinās no 206.25 uz 174.50 LVL ha⁻¹, bet augu aizsardzības izmaksas palielinās no 50.57 uz 61.13 LVL ha⁻¹. Šādas izmaiņas eļļas pašizmaksu samazinātu par 0.02 LVL l⁻¹.



4.9. att. Dažādu mēslošanas un augu aizsardzības plānu modelēšanas piemērs

Dotajā piemērā par mainīgajiem parametriem modeļpētījumos izmantoti rapša ražība un platība. 18 dažādu modelēšanas scenāriju rezultāti doti 4.1. tabulā.

4.1. tabula. Rapša eļļas iegūšanas izmaksu modelēšanas rezultāti

Scenārija Nr.	Rapsis	Platība, ha	Ražība, t ha ⁻¹	Rapša eļļas pašizmaksa, LVL l ⁻¹	Iegūtā eļļa, l
1	Vasaras	5	1.5	0.75	2554
2			2.0	0.51	3405
3			2.5	0.36	4257
4		10	1.5	0.65	5108
5			2.0	0.43	6811
6			2.5	0.31	8513
7		20	1.5	0.60	10216
8			2.0	0.40	13621
9			2.5	0.28	17027
10	Ziemas	5	2.5	0.48	4257
11			3.0	0.36	5108
12			3.5	0.28	5959
13		10	2.5	0.42	8513
14			3.0	0.31	10216
15			3.5	0.24	11918
16		20	2.5	0.39	17027
17			3.0	0.29	20432
18			3.5	0.22	23838

Lai atlasītu piemērotākos scenārijus, jānoskaidro, vai iegūtais eļļas daudzums ir pietiekams saimniecībā esošo spēkratu darbināšanai, tāpēc 4.1. tabulas rezultāti salīdzināti ar datiem, kas iegūstami no spēkratu ekspluatācijas izmaksu modeļiem. Pieņemts, ka saimniecībā līdztekus traktoram *Massey Ferguson 8480 T2* vai *MTZ-80* tiek ekspluatēts automobilis *VW Golf III 1.9TD*. Parasti pieņem, ka traktoriem ar divu tvertņu sistēmu kopējā degvielas patēriņa struktūrā 90% ir rapša eļļa, bet 10% – fosilā dīzeļdegviela. Tikpat dīzeļdegvielas paredzēts izmantot arī vieglajā automobilī – ziemas mēnešos piejaukšanai rapša eļļai vai īpaši aukstā laikā tīrā veidā. Rapša eļļas iegūšanas piemērotākie modelēšanas scenāriji apkopoti 4.2. tabulā.

4.2. tabula. Rapša eļļas iegūšanas piemērotāko scenāriju noteikšana

Traktors	Plānotās motorstundas gadā	RE gadā traktoram, l	RE gadā automobilim, l	RE gadā kopā, l	Piemērotākie scenāriji
<i>MF 8480 T2</i>	1000	19800	900	20700	17., 18.
	600	11880	900	12780	8., 9., 16.
<i>MTZ-80</i>	1000	9900	900	10800	7., 8., 14., 15.
	600	5940	900	6840	5., 6., 12., 13.

Lai noteiktu, kuri no scenārijiem ekonomiski izdevīgāki, jāņem vērā, ka rapsi augsekā nerekomendē audzēt atkārtoti vienā laukā biežāk kā pēc 4 gadiem, tātad kopējā saimniecības lauksaimniecības kultūru struktūrā tā īpatsvars nedrīkst pārsniegt 20 – 25%. Tāpat jānovērtē, vai ar modelēšanā izmantoto traktoru plānotajās motorstundās var apstrādāt aprēķināto platību.

Piemēram, saimniecībā, kurā izmanto traktoru *Massey Ferguson 8480 T2* 1000 motorstundas gadā, kopējā kultūraugu platība varētu būt 160 – 200 ha. 40 ha platībā varētu audzēt ziemas rapsi. Lai nodrošinātu traktoru un automobili ar rapša eļļas degvielu, pietiktu ar 20 ha (ražībai jābūt vismaz 3 t ha⁻¹). No pārējās platības iegūto rapša sēklu varētu pārdot. Veicot traktora ekspluatācijas izmaksu modeļpētījumus, noskaidrots, ka šādā scenārijā traktora pielāgošana atmaksātos 4 mēnešos (modelējot pieņemts, ka, izmantojot fosilo dīzeļdegvielu, zemnieks saņem akcīzes nodokļa kompensāciju). Audzējot vasaras rapsi ar ražību 2 t ha⁻¹ šajā pašā saimniecībā degvielas nodrošināšanai būtu nepieciešami 30 ha, bet traktora pielāgošana atmaksātos 6 mēnešos.

Ekonomiski izdevīgāko scenāriju spēkratu ekspluatācijas izmaksu modeļpētījumu rezultāti doti 4.3. tabulā.

4.3. tabula. Ekonomiski izdevīgākie rapša eļļas izmantošanas scenāriji

Traktors, plānotās motorstundas gadā	Rapsis (Z/V) un minimālā ražība, t ha ⁻¹	Rapša platība degvielai, ha	Rapša platība pārdošanai, ha	Kopējā kultūraugu platība, ha	Traktora pielāgošanas atmaksāšanās laiks, g	Automobiļa pielāgošanas atmaksāšanās laiks, g
<i>MF 8480 T2</i> , 1000 mh	Z	20	20	160 – 200	0.3	0.9
	3.0					
<i>MF 8480 T2</i> , 600 mh	V	20	0	80 – 100	0.7	1.1
	2.0					
<i>MTZ-80</i> , 1000 mh	Z	10	10	80 – 100	0.1	0.9
	3.0					
<i>MTZ-80</i> , 600 mh	V	10	10	80 – 100	0.1	1.2
	2.0					

Arī daudzu citu scenāriju gadījumā rapša eļļas izmantošana ir ekonomiski izdevīga, taču pielāgošana atmaksājās ilgākā laika periodā. Piemēram, saimniecībā, kurā izmanto traktoru *Massey Ferguson 8480 T2* 1000 motorstundas gadā, audzējot vasaras rapsi 40 ha platībā ar ražību tikai 1.5 t ha^{-1} , visa izaudzētā sēkla būtu jāpārstrādā degvielā, bet pielāgošana atmaksātos tikai pēc 7 gadiem. Daudz ātrāk parasti atmaksājas traktora pārbūve pašu spēkiem, bet tad vairāk vēribas jāvelta traktora ekspluatācijai, jo tikai rūpnieciski ražoti pārbūves komplekti automātiski nodrošina pārslēgšanos no viena degvielas veida uz citu atkarībā no degvielas temperatūras.

Ekonomiskās efektivitātes novērtējuma kopsavilkums

Nodaļā izmantotas ekonomiskās novērtēšanas, analīzes, sintēzes un modelēšanas pētījumu metodes.

1. Programmas *AnyLogic Advanced 6.2.0* vidē izveidoti 3 dažādi modeļi, kas ļauj novērtēt jebkuras markas automobiļa vai traktora ekspluatācijas izmaksas, darbinot spēkratus ar dažādām degvielām, un noteikt veiktās pārbūves atmaksāšanās laiku, kā arī aprēķināt rapša eļļas iegūšanas pašizmaksu, audzējot ziemas un vasaras rapsi uz dažādām platībām un ar atšķirīgām rapša ražībām.
2. Modelēšanā noskaidrots, ka vieglā automobiļa *VW Golf III 1.9TD* pielāgošana darbināšanai ar rapša eļļu, izmantojot rūpnieciski ražotu pārbūves komplektu, un ekspluatācija ar centralizētajās Latvijas ražotnēs pirktu rapša eļļu nav ekonomiski izdevīga, jo pārbūve atmaksāsies tikai pēc 6.2 gadiem, kad konkrētais automobilis var būt jau norakstīts.
3. Modelējot ar rūpnieciski ražotu pārbūves komplektu pielāgota traktora *Massey Ferguson 8480 T2* un ar pašpārbūvēta traktora *MTZ-80* rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomisko novērtējumu, var secināt, ka pārbūve zemnieku saimniecībā var atmaksāties tikai gadījumā, ja saimniecība neizmanto bezakcīzes dīzeļdegvielu.
4. Modelējot rapša eļļas iegūšanas iespējamo pašizmaksu, noskaidroti piemērotākie rapša audzēšanas scenāriji dažādās saimniecībās, kur līdztekus traktoram *Massey Ferguson 8480 T2* vai *MTZ-80* tiek ekspluatēts automobilis *VW Golf III 1.9TD*.
5. Saimniecībā, kurā izmanto traktoru *Massey Ferguson 8480 T2* 1000 motorstundas gadā, visizdevīgākais scenārijs ir:
 - kopējā kultūraugu platība 160 – 200 ha;
 - ziemas rapsis tiek audzēts 40 ha platībā. Traktora un automobiļa nodrošināšanai ar rapša eļļas degvielu no tās izmantoti 20 ha;
 - traktora pielāgošanas atmaksāšanās laiks 0.3 gadi, bet automobiļa – 0.9 gadi.
6. Saimniecībā, kurā izmanto traktoru *MTZ-80* 1000 motorstundas gadā, visizdevīgākais scenārijs ir:
 - kopējā kultūraugu platība 80 – 100 ha;
 - ziemas rapsis tiek audzēts 20 ha platībā. Traktora un automobiļa nodrošināšanai ar rapša eļļas degvielu no tās izmantoti 10 ha;
 - traktora pielāgošanas atmaksāšanās laiks 0.1 gads, bet automobiļa – 0.9 gadi.
7. Atšķirībā no pirktas eļļas, zemnieku saimniecībā iegūtu rapša eļļas degvielu var izmantot arī citos saimniekošanas scenārijos, taču pielāgošana atmaksājās ilgākā laika periodā. Galvenais faktors, lai rapša eļļas degvielas izmantošana būtu ekonomiski izdevīga, ir saskaņot visus saistītos parametrus, t.i., traktora jaudu, plānoto darbu apjomu, nepieciešamo degvielas daudzumu, prognozējamo kultūraugu ražību un platību, kas jāapsēj, lai iegūtu pietiekami daudz rapša eļļas degvielas saimniecībā esošās tehnikas darbināšanai.

SECINĀJUMI

1. Programmas *ExtendSim Suite* vidē izveidots oriģināls matemātiskais modelis, kas piemērots ar dīzeļmotoriem darbināmu spēkratu galveno ekspluatācijas parametru noteikšanai, izmantojot rapša eļļu un tās maisījumdegvielas ar fosilo dīzeļdegvielu. Izveidotas analītiskas sakarības atliku gāzu molārās siltumietilpības noteikšanai, kā arī precizēti dīzeļmotoru jaudas raksturlīkņu konstruēšanai izmantojamie empīriskie koeficienti.
2. Modelēšanā noskaidrots:
 - ar tīru rapša eļļu spēkratus var ekspluatēt līdz $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$, ar maisījumu RE80 – līdz $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ utt. Ja apkārtējās vides temperatūra samazinās zem $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, var lietot maisījumdegvielas ar rapša eļļas saturu ne lielāku par 30%;
 - nepielāgota automobiļa *VW Golf III 1.9TD* un traktora *MTZ-80* motoru jaudas un griezes momenta samazinājumam ir lineārs raksturs – katri pievienotie 10% rapša eļļas maisījumdegvielā samazina maksimālo efektīvo jaudu un maksimālo griezes momentu par aptuveni 0.5%. Ar tīru rapša eļļu samazinājums ir aptuveni 5%.
3. Izstrādāta pētījumu metodika, kas ļauj pārbaudīt dažādas alternatīvas rapša eļļas degvielas izmantošanā – spēkratu pielāgošanu, izmantojot vienas un divu degvielas tvertņu sistēmas, un rapša eļļas lietošanu bez spēkratu pielāgošanas.
4. Izmantojot firmas *ELSBETT* pārbūves komplektu, pirmo reizi Latvijā veikta spēkratu pielāgošana darbināšanai ar rapša eļļu un vienas degvielas tvertnes sistēmu. Laika posmā no 2009. gada februāra līdz 2012. gada februārim ar pielāgoto automobili *VW Golf 1.9TD*, darbinot to ar rapša eļļu, nobraukti 38 000 km. Automobiļa ekspluatācijas laikā nekādi bojājumi vai atteikumi nav konstatēti.
5. Izstrādāta speciāla eksperimentu metodika automobiļu testēšanai uz jaudas stenda ar mērķi noteikt galvenos ekspluatācijas parametrus un salīdzināt tos ar modelēšanā un ceļizmēģinājumos konstatētajiem. Metodikas ietvaros izstrādāta braukšanas cikla izveides procedūra, kas ietver reālo ceļizmēģinājumu datu uzkrāšanu, pašizveidotā cikla programmēšanu un pievienošanu jaudas stenda *Mustang MD-1750* vadības sistēmas programmatūrai.
6. Veicot atgāzu sastāva pētījumus rapša eļļas izmantošanā spēkratiem, kas pielāgoti ar vienas un divu degvielas tvertņu sistēmām, konstatēts, ka lielākajai daļai atgāzu komponentu izmaiņu tendences, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu un biodīzeļdegvielu ir līdzīgas – samazinās NO_x un SO_2 , bet pieaug CO , CO_2 , nesadegušo oglekļa dioksīdu un mehānisko daļiņu saturs.
7. Eksperimentos ar dažādiem spēkratiem laboratorijas un dabiskajos apstākļos noskaidrots, ka rapša eļļas patēriņš pieaug par 1...6.4%, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu, bet samazinās par 2.5...6%, salīdzinot ar biodīzeļdegvielu.
8. Laboratorijas testos konstatēts, ka, aprīkojot automobili ar speciālām sprauslām un mainot iesmidzināšanas momentu no ražotāja ieteiktajiem 10.5° uz 18.5° , darbinot automobili ar rapša eļļu, var nodrošināt līdzvērtīgu griezes momentu un jaudu, kā darbinot to ar fosilo dīzeļdegvielu pie ražotāja ieteiktā iesmidzināšanas momenta.
9. Eksperimentos noskaidrots, ka jauda un griezes moments, izmantojot rapša eļļas degvielu, nepielāgotam traktoram *MTZ-80* attiecībā pret abām pārējām testētajām degvielām samazinās. Salīdzinot ar biodīzeļdegvielu, vidējais jaudas un griezes momenta samazinājums ir 2.3...5.5%, bet, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu – līdz pat 7.0 – 10.0%.

10. Eksperimentāli pētīt rapša eļļas degvielas izmantošanu ziemā, noskaidrots, ka kritiskā temperatūra spēkratu ekspluatācijai ar tīru rapša eļļas degvielu ir -13 ± 2 °C. Lai darbinātu dīzeļmotoru pie zemākām temperatūrām, nepieciešams veidot rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījumus.
11. Teorētisko un eksperimentālo pētījumu rezultātu salīdzinājums liecina, ka izstrādātais teorētiskais modelis ir izmantojams, nosakot maksimāli pieļaujamo rapša eļļas saturu darbmaisījumā pie dažādām apkārtējās vides temperatūrām, kā arī, prognozējot spēkratu jaudas un griezes momenta izmaiņas, ja spēkratus darbina ar fosilo dīzeļdegvielu, rapša eļļu vai maisījumu degvielām. Teorētiski un eksperimentāli iegūto rezultātu sakritība ir augsta.
12. Programmas *AnyLogic* vidē izveidoti 3 dažādi modeļi, kas ļauj novērtēt jebkuras markas automobiļa vai traktora ekspluatācijas izmaksas, darbinot spēkratus ar dažādām degvielām, un noteikt veiktās pārbūves atmaksāšanās laiku, kā arī aprēķināt rapša eļļas iegūšanas pašizmaksu, audzējot ziemas un vasaras rapsi dažādās platībās un ar atšķirīgām rapša ražībām.
13. Modelēšanā noskaidrots, ka vieglā automobiļa *VW Golf III 1.9TD* pielāgošana darbināšanai ar rapša eļļu, lietojot rūpnieciski ražotu pārbūves komplektu, un tā ekspluatācija ar centralizētajās Latvijas ražotnēs pirktu rapša eļļu nav ekonomiski izdevīga, jo šāda pārbūve atmaksāsies tikai pēc 6.2 gadiem.
14. Lai rapša eļļas degvielas izmantošana konkrētā saimniecībā būtu ekonomiski izdevīga, ir jānosaka visi saistītie parametri, t.i., spēkratu jauda, plānotais darbu apjoms, nepieciešamais degvielas daudzums, prognozējamā kultūraugu ražība un platība, kas jāapsēj, lai iegūtu pietiekami daudz rapša eļļas degvielas saimniecībā esošās tehnikas darbināšanai.
15. Modelēšanā noskaidroti izdevīgākie scenāriji traktora *Massey Ferguson 8480 T2* vai *MTZ-80* un automobiļa *VW Golf III 1.9* nodrošināšanai ar saimniecībā ražotu rapša eļļas degvielu. Optimālā rapša sējumu platība ir 20...40 ha, spēkratu pielāgošanas atmaksāšanās laiks – 0.9 gadi.

IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI

1. Aatola H., Larmi M., Sarjoavaara T., Mikkonen S. (2008) Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a Renewable Diesel Fuel: Trade-off between NO_x, Particulate Emission, and Fuel Consumption of a Heavy Duty Engine. SAE Technical Paper 2008-01-2500, 12 p.
2. Aboltins A., Berjoza D., Pirs V. (2010) Theoretical Model of Exploitation of Automobiles operated with Bioethanol-Gasoline Mixture Fuels. **In:** 9th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings, Volume 9, May 27 – 28, 2010. Jelgava: LUA, p. 133. – 138.
3. Ajanovic A. (2011) Biofuels versus food production: Does biofuels production increase food prices? *Energy*, No. 36, p. 2070 – 2076.
4. Ajanovic A., Haas R. (2010) Economic challenges for the future relevance of biofuels in transport in EU countries. *Energy*, No. 35, p. 3340 – 3348.
5. *Akcīzes degviela* (2012) [tiešsaiste]. LAD. [Skatīts 20.03.2012]. Pieejams: <http://www.lad.gov.lv/lv/akcizes-degviela/>
6. *Akcīzes nodokļa likmju samazināšana nav risinājums augstajām degvielas cenām* (2012) [tiešsaiste]. FM. [Skatīts 20.03.2012]. Pieejams: <http://www.diena.lv/bizness/likumi-nodokli/fm-akcizes-nodokla-likmju-samazinasa-nav-risinajums-augstajam-degvielas-cenam-13937419>
7. Allen J., Browne M., Hunter A., Boyd J., Palmer H. (1998) Logistics management and costs of biomass fuel supply. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 28, No. 6, p. 463 – 477.
8. Altin R., Çetinkaya S., Serdar H.Y. (2001) The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. *Energy Conversion and Management*, No. 42, p. 529 – 538.
9. An H., Wilhelm W.E., Searcy S.W. (2011) Biofuel and petroleum-based fuel supply chain research: A literature review. *Biomass and Bioenergy*. No. 35, p. 3763 – 3774.
10. Andre M., Joumard R., Vidon R., Tassel P., Perret P. (2006) Real-world European driving cycles, for measuring pollutant emissions from high- and low-powered cars. *Atmospheric Environment*, No. 40, p. 5944 – 5953.
11. *Arena Simulation Software by Rockwell Automation* (S.a.) [online] [cited 03.12.2012]. Available: http://www.arenasimulation.com/Arena_Home.aspx
12. Arhipova I., Bāliņa S. (2003) Statistika ekonomikā. Risinājumi ar SPSS un Microsoft Excel: mācību līdzeklis. Rīga: Datorzinību centrs, 352 lpp.
13. Armah P., Archer A., Phillips G.C. (2011) Drivers Leading to Higher Food Prices: Biofuels are not the Main Factor. **In:** *Biofuels. Global Impact on Renewable Energy, Production Agriculture, and Technological Advancements*. Editors D. Tomes, P. Lakshmanan, D. Songstad. New York: Springer Science+Business Media, LLC, p. 19 – 36.
14. Arvidsson R., Persson S., Fröling M., Svanström M. (2011) Life cycle assessment of hydrotreated vegetable oil from rape, oil palm and Jatropha. *Journal of Cleaner Production*, No. 19, p. 129 – 137.
15. *ATG Vegetable Oil-Kit* (S.a.) Converting Diesel Vehicles to Straight Vegetable Oil (SVO/PPO/WVO) with the ATG 2-tank system! [online] [cited 26.01.2012]. Available: <http://www.diesel-therm.com/vegetable-oil-kit.htm>
16. *Atjaunojamo energoresursu potenciāls Latvijā* (2009) Būvniecības, enerģētikas un mājokļu valsts aģentūra. SIA „Grands”. 59 lpp.
17. Autodata CDA-3 (2007) Autodata Limited 2007. Version 5.373.

18. AVL KMA Mobile Fuel Consumption Measuring System (2008). Operating Instructions Product Guide. AVL List GmbH, Graz, Austria, June 2008, AT2262E, Rev. 02, 96 p.
19. AVL SESAM FTIR (2007). User's Manual. AVL Emission Test Systems GmbH, Gaggenau, Germany, June 2007, AT2547E, Rev. 10, 104 p.
20. Azian M.N., Kamal A.A.M., Panau F., Ten W.K. (2001) Viscosity estimation of triacylglycerols and of some vegetable oils, based on their triacylglycerol composition. *Journal of the american chemical society*, No. 78, p. 1001 – 1005.
21. Awudu I., Zhang J. (2012) Uncertainties and sustainability concepts in biofuel supply chain management: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. No. 16, p. 1359 – 1368.
22. Babu A.K., Devaradjane G. (2003) *Vegetable Oils And Their Derivatives As Fuels For CI Engines*. SAE Technical Paper No. 2003-01-0767.
23. Baka J., Roland-Hols D. (2009) Food or fuel? What European farmers can contribute to Europe's transport energy requirements and the Doha Round. *Energy Policy*, No. 37, p. 2505 – 2513.
24. Baks V., Dukulis I., Birkavs A. (2011) Emission and Fuel Consumption Studies Using Separated at Low Temperatures Pure Rapeseed Oil. **In:** *10th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings, Volume 10*, May 26 – 27, 2011. Jelgava: LUA, p. 239 – 243. ISSN 1691-3043.
25. Balat M., Balat H. (2008) A critical review of bio-diesel as a vehicular fuel. *Energy Conversion and Management*, No. 49, p. 2727 – 2741.
26. Bao Y.D., He Y. (2006) Study on noise of rapeseed oil blends in a single-cylinder diesel engine. *Renewable Energy*. No. 31, p. 1789 – 1798.
27. Baquero G., Esteban B., Riba J.-R., Rius A., Puig R. (2011b) An evaluation of the life cycle cost of rapeseed oil as a straight vegetable oil fuel to replace petroleum diesel in agriculture. *Biomass and Bioenergy*, No. 35, p. 3687 – 3697.
28. Baquero G., Esteban B., Riba J.-R., Puig R., Rius A. (2011a) Use of Rapeseed Straight Vegetable Oil as Fuel Produced in Small-Scale Exploitations. **In:** *Biofuel's Engineering Process Technology*. Editors Aurélio M., Bernardes D.S., D. Songstad. Rijeka, Croatia: InTech, p. 85 – 102.
29. Baquero G., Esteban B., Rius A., Riba J.-R., Puig R. (2010) Small-scale production of straight vegetable oil from rapeseed and its use as biofuel in the Spanish territory. *Energy Policy*, No. 38, p. 189 – 196.
30. Berjoza D. (2008) *Automobiļu teorija*. Jelgava: LLU, 200 lpp.
31. Bewersox D.J., Closs D.J., Helferich O.K. (1991) *Logistical Management – A Systems of Physical Distribution, Manufacturing Support, and Materials Procurement*. 3rd. Ed., New York: McMillan Publishing Company, 586 p.
32. *Biodegviela* (2011) [tiešsaiste]. LR Ekonomikas Ministrija. [Skatīts 10.01.2012]. Pieejams: <http://www.em.gov.lv/em/2nd/?cat=30171>
33. *Biodegvielas izmantošanas iespējas Latvijā* (2007). ES projekts Nr. EIE/05/190/SI2.420028 „Bio-NETT – Developing local supply chain networks, linking bio-fuel producers with public sector users”. Rīga: Rīgas menedžeru skola. 99 lpp.
34. Biodegvielas likums (2005). LR likums. Spēkā ar 15.04.2005. *Latvijas Vēstnesis*, Nr. 52.
35. *Biodegvielas patēriņš Latvijā* (2009) [tiešsaiste]. LR Ekonomikas Ministrija. [Skatīts 28.07.2009]. Pieejams: <http://www.em.gov.lv/em/2nd/?cat=19017>
36. *Biodegvielas ražošana un lietošana Latvijā (2003. – 2010.)* (2003). Latvijas Republikas programma. Rīga: Zemkopības Ministrija. 42 lpp.

37. Biodiesel Handling and Use Guidelines (2004). **In:** *Energy Efficiency and Renewable Energy*. U.S. Department of Energy, November 2004. 68 p. DOE/GO-102004-1999.
38. *Biofuels in the EU: potential and obstacles* (2007). Discussion paper for the regional PREMIA workshop. PREMIA Project, January 2007. 45 p.
39. *Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond* (2006). Final draft report of the Biofuels Research Advisory Council. 32 p.
40. Birzietis G., Kunkule D. (2003) Izmaksas biodīzeļdegvielas ķēdē Latvijā. **No:** *Starptautiskās zinātniskās konferences „Spēkrati, loģistika un alternatīvās degvielas” rakstu krājums*, 2003. gada 24. aprīlis. Jelgava: LLU, 81. – 84. lpp.
41. Bugge J. (2000) *Rape seed oil for transport: Energy balance and CO₂ balance*. Danish Center for Plant Oil Technology [online] [cited 03.08.2009]. Available: http://www.folkecenter.dk/plant-oil/publications/energy_co2_balance.htm
42. Calais Ph., Clark A.R. (S.a.) *Waste Vegetable Oil as a Diesel Replacement Fuel* [online] [cited 26.07.2008]. Available: <http://www.shortcircuit.com.au/warfa/paper/paper.htm>
43. Calis H.P.A., Haan H., Boerrigter H., Broek R., Drift A., Faaij A.P.C., Pepkin G., Venderbosch R.J. (2003) Preliminary technoeconomic analysis of large-scale synthesis gas manufacturing from imported biomass feedstock. **In:** *Pyrolysis and Gasification of Biomass and Waste* (PGBW). Brigevater, A.V. (ed.), Newbury, United Kingdom, p. 403 – 417.
44. *CANYON CNS-GPS2*. GPS Outdoor Trainer (S.a.) [online] [cited 10.04.2009]. Available: <http://www.canyon-tech.com/products/sports/navigation/CNS-GPS2>
45. Carere C.R., Sparling R., Cicek N., Levin D.B. (2008) Third Generation Biofuels via Direct Cellulose Fermentation. *International Journal of Molecular Sciences*, No. 9, p. 1342 – 1360.
46. Carriquiry M.A., Du X., Timilsina G.R. (2011) Second generation biofuels: Economics and policies. *Energy Policy*, No. 39, p. 4222 – 4234.
47. Çelikten I. Koca A., Arslan M.A. (2010) Comparison of performance and emissions of diesel fuel, rapeseed and soybean oil methyl esters injected at different pressures. *Renewable Energy*. No. 35, p. 814 – 820.
48. *Centrālās statistikas pārvaldes datu bāzes*, 2011. [tiešsaiste] [skatīts 11.01.2012]. Pieejams: <http://data.csb.gov.lv/DATABASE/lauks/Ikgad%C4%93jie%20statistikas%20dati/03Augk/03Augk.asp>
49. Chakraborty A. (2008) *Secret report: biofuel caused food crisis*. Guardian [online] [cited 05.01.2012]. Available: <http://www.guardian.co.uk/environment/2008/jul/03/biofuels.renewableenergy>
50. Chiaramonti D., Prussi M. (2009) Pure vegetable oil for energy and transport. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, Vol. 2, No. 2, p. 186 – 198.
51. Combs J. (1981) Fuels from plants. Energy Conservation and use of Renewable Energies in the Bio-industries. **In:** *Proceedings of International Seminar on Energy Conservation and the Use of Solar and Other Renewable Energies in Agriculture, Horticulture, and Fishculture*. Editor F.Vogt Oxford: Pergamon Press, 574 p.
52. *Converting cars with the ELSBETT 1-tank system* (S.a.) [online] [cited 12.01.2012] Available: <http://www.elsbett.com/gb/elsbett-conversion-technology/cars-and-vans.html>
53. De Mol R.M., Jogems M.A.H., Van Beek P., Gigler J.K. (1997) Simulation and optimization of the logistics of biomass fuel collection. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, No. 45, p. 219 – 228.

54. *Deciding the Future: Energy Policy Scenarios to 2050* (2007) London: World Energy Council. 104 p.
55. *Degvielas patēriņš Latvijā* (2009) [tiešsaiste]. LR Ekonomikas Ministrija. [Skatīts 28.07.2009]. Pieejams: <http://www.em.gov.lv/em/2nd/?cat=19016>
56. Demirbas A. (2008) Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*, No. 49, p. 2106 – 2116.
57. Demirbas A. (2011) Competitive liquid biofuels from biomass. *Applied Energy*, No. 88, p. 17 – 28.
58. Demirbas M.F. (2011) Biofuels from algae for sustainable development. *Applied Energy*, No. 88, p. 3473 – 3480.
59. Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport (2003). *Official Journal of the European Union* L 123, 17 May, p. 42 – 46.
60. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources (2009). *Official Journal of the European Union* L 140, 6 May, p. 16 – 62.
61. Dukulis I. (2008) Using of AnyLogic and ExtendSim in Modelling of Biofuel Logistic Systems. **In:** *Proceedings of the 14th International Scientific Conference „Research for Rural Development”*, May 21 – 23, 2008. Jelgava: LUA, p. 249 – 257.
62. Dukulis I., Birkavs A., Birzietis G. (2010) Investigation of Flowability of Rapeseed Oil and Diesel Fuel Blends in Winter Conditions. **In:** *Agricultural Engineering: Proceedings of the International Scientific Conference „Mobile Machines”*, September 23 – 24, 2010. Kaunas: Lithuanian University of Agriculture, p. 204 – 213.
63. Dukulis I., Birkavs A., Birzietis G., Pirs V. (2009a) Adapting of Automobile VW Golf for Using Pure Rape Oil As a Fuel. **In:** *8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings*, May 28 – 29, 2009. Jelgava: LUA, p. 141 – 147.
64. Dukulis I., Birzietis G., Kanaska D. (2008) Optimization Models for Biofuel Logistic Systems. **In:** *7th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings*, May 29 – 30, 2008. Jelgava: LUA, p. 283 – 289.
65. Dukulis I., Pirs V. (2009) Development of Driving Cycles for Dynamometer Control Software Corresponding to Peculiarities of Latvia. **In:** *Proceedings of the 15th International Scientific Conference „Research for Rural Development”*, May 20 – 22, 2009. Jelgava: LUA, p. 95 – 102. ISSN 1691-4031.
66. Dukulis I., Pirs V., Jesko Z., Birkavs A., Birzietis G. (2009b) Development of Methodics for Testing Automobiles Operating on Biofuels. **In:** *8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings*, May 28 – 29, 2009. Jelgava: LUA, p. 148 – 155.
67. Dukulis I., Pirs V., Jesko Z., Birkavs A., Birzietis G. (2009c) Testing of Automobile VW Golf Operating on Three Different Fuels. **In:** *8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings*, May 28 – 29, 2009. Jelgava: LUA, p. 7 – 13.
68. *ELSBETT Conversion Technology* (S.a.) [online] [cited 26.01.2012]. Available: <http://www.elsbett.com/gb/elsbett-conversion-technology/fundamentals.html>
69. *ELSBETT Diesel Technology – ELSBETT Injection System* (S.a.) [online] [cited 12.08.2009]. Available: <http://www.elsbett.com/gb/elsbett-diesel-technology/elsbett-injection-system.html>
70. *Emission Test Cycles*. Summary of worldwide engine and vehicle test cycles (S.a.) [online] [cited 19.03.2009]. Available: <http://www.dieselnet.com/standards/cycles/>

71. *ES atbalsts. Tiešie maksājumi* (2012) [tiešsaiste]. LAD. [Skatīts 20.03.2012]. Pieejams: <http://www.lad.gov.lv/lv/es-atbalsts/tiesie-maksajumi/>
72. Escobar J.C., Lora E.S, Venturini O.J, Yanez E.E, Castillo E.F, Almazan O. (2009) Biofuels: environment, technology and food security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 13, p. 1275 – 1287.
73. Escobar J.C., Lora E.S, Venturini O.J, Yanez E.E, Castillo E.F, Almazan O. (2009) Biofuels: environment, technology and food security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 13, p. 1275 – 1287.
74. Esteban B., Riba J.R., Baquero G., Rius A., Pui R. (2012) Temperature dependence of density and viscosity of vegetable oils. *Biomass and Bioenergy*, No. 42, p. 164 – 171.
75. *EU biofuels policy* (2010) [online] [cited 08.06.2011] Available: <http://www.epure.org/policy/eubiofuels>
76. *Flexsim Simulation Software* (S.a.) [online] [cited 03.12.2012]. Available: <http://www.flexsim.com/software/>
77. Fore S.R., Lazarus W., Porter P., Jordan N. (2011) Economics of small-scale on-farm use of canola and soybean for biodiesel and straight vegetable oil biofuels. *Biomass and Bioenergy*. No. 35, p. 193 – 202.
78. *Fosilā degviela* (2011) [tiešsaiste]. LR Ekonomikas Ministrija. [Skatīts 10.01.2012]. Pieejams: <http://www.em.gov.lv/em/2nd/?cat=30172>
79. *Fuel Oils – Viscosities* (S.a.). [online] [cited 13.12.2012]. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/viscosity-fuel-oils-d_1143.html
80. Garraín D., Herrera I., Lago C., Lechón Y., Sáez R. (2010) Renewable Diesel Fuel from Processing of Vegetable Oil in Hydrotreatment Units: Theoretical Compliance with European Directive 2009/28/EC and Ongoing Projects in Spain. *Smart Grid and Renewable Energy*, No. 1, p. 70 – 73.
81. Gill S.S., Tsolakis A., Dearn K.D., Rodríguez-Fernández J. (2011) Combustion characteristics and emissions of FischereTropsch diesel fuels in IC engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, No. 37, p. 503 – 523.
82. Girard P., Fallot A. (2006) Review of existing and emerging Technologies for the production of biofuels in developing countries. *Energy for Sustainable Development*, Vol. 102, No. 2, p. 92 – 108.
83. Gong Y., Kaario O., Tilli A., Larimi M., Tanner F.X. (2010) A Computational Investigation of Hydrotreated Vegetable Oil Sprays Using RANS and a Modified Version of the RNG $k - \epsilon$ Model in OpenFOAM. SAE Technical Paper 2010-01-0739, 16 p.
84. Gulbis V. (2007) *Biodegvielu izmantošana motoros*. Jelgava: LLU. 79 lpp.
85. Gulbis V. (2008) *Iekšdedzes motoru biodegvielas*. Jelgava: LLU. 318 lpp.
86. Hazar H., Aydin H. (2010) Performance and emission evaluation of a CI engine fueled with preheated raw rapeseed oil (RRO) – diesel blends. *Applied Energy*. No. 26, p. 786 – 790.
87. He Y., Bao Y.D. (2003) Study on rapeseed oil as alternative fuel for a single-cylinder diesel engine. *Renewable Energy*. No. 28, p. 1447 – 1453.
88. *Heating the Oil*. (2004) [online] Vegburner. [cited 26.01.2012]. Available: vegburner.co.uk/heat.htm
89. Hellmann F., Verburg P.H. (2011) Spatially explicit modelling of biofuel crops in Europe. *Biomass and Bioenergy*. No. 35, p. 2411 – 2424.
90. Heywood J.B. (1988) *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill, 930 p.

91. Hung W.T., Tong H.Y., Lee C.P., Ha K., Pao L.Y. (2007) Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 12, Issue 2, March, p. 115 – 128.
92. IEA (International Energy Agency) (2010) *World Energy Outlook 2010*. OECD/IEA, Paris. 731 p.
93. *Internal Combustion Engine Handbook: Basics, Components, Systems and Perspectives* (2004). Ed. by R. van Basshuysen and F. Scäfer. SAE International, 874 p.
94. Jessup R.W. (2011) Development and Status of Dedicated Energy Crops in the United States. **In:** *Biofuels. Global Impact on Renewable Energy, Production Agriculture, and Technological Advancements*. Editors D. Tomes, P. Lakshmanan, D. Songstad. New York: Springer Science+Business Media, LLC, p. 97 – 112.
95. Jones S.T., Peterson C.L., Thompson J.C. (2001) Used Vegetable Oil Fuel Blend Comparisons Using Injector Coking in a DI Diesel Engine. **In:** *ASAE Annual International Meeting Proceedings*, Sacramento, California, USA, July 30 – August 1, 2001. ASAE Paper No. 01-6051.
96. Judd J.D., Sarin S.C., Cundiff J.S. (2012) Design, modeling, and analysis of a feedstock logistics system. *Bioresource Technology*. No. 103, p. 209 – 218.
97. Kalniņš A. (2005) *Biodegviela: ražošanas un izmantošanas iespējas Latvijā*. Rīga: Latvijas Republikas Ekonomikas ministrija. 168 lpp.
98. Kalniņš A. (2009) Augu eļļas degvielas iespējas. *Saimnieks Lv*, Nr. 9, 594. – 60. lpp.
99. Kerschbaum S., Rinke G. (2004) Measurement of the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels. *Fuel*, No. 83, p. 287 – 291.
100. Kleinová A., Vailing I., Lábaj J., Mikulec J., Cvengroš J. (2011) Vegetable oils and animal fats as alternative fuels for diesel engines with dual fuel operation. *Fuel Processing Technology*. No. 92, p. 1980 – 1986.
101. Kyyt A., Olt J. (2009) Production of Vegetable Oil As a Fuel. **In:** *8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*: Proceedings, May 28 – 29, 2009. Jelgava: LUA, p. 118 – 123.
102. Labeckas G., Slaviskas S. (2005) Performance and exhaust emissions of direct-injection diesel engine operating on rapeseed oil and its blends with diesel fuel. *Transport – 2005*, No. 5, p. 186 – 194.
103. Labeckas G., Slaviskas S. (2006) Performance of direct-injection off-road diesel engine on rapeseed oil. *Renewable Energy*, No 31, p. 849 – 863.
104. Labeckas G., Slaviskas S. (2009a) Comparative performance of direct injection diesel engine operating on ethanol, petrol and rapeseed oil blends. *Energy Conversion and Management*, No. 50, p. 792 – 801.
105. Labeckas G., Slaviskas S. (2009b) Performance and emission characteristics of off-road diesel engine operating on rapeseed oil and petrol blends. **In:** *8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*: Proceedings, May 28 – 29, 2009. Jelgava: LUA, p. 135 – 140.
106. Lapuerta M., Armas O., Hernández J.J., Tsolakis A. (2010) Potential for reducing emissions in a diesel engine by fuelling with conventional biodiesel and Fischer – Tropsch diesel. *Fuel*, No. 89, p. 3106 – 3113.
107. Lapuerta M., Villajos M., Agudelo J.R., Boehman A.L. (2011) Key properties and blending strategies of hydrotreated vegetable oil as biofuel for diesel engines. *Fuel Processing Technology*, No. 92, p. 2406 – 2411.

108. Lin J., Niemeier D.A. (2002) An exploratory analysis comparing a stochastic driving cycle to California's regulatory cycle. *Atmospheric Environment*, No 36, p. 5759 – 5770.
109. *LPS ZW 500. Power Take-Off Dynamometer for Tractors* (S.a.) [online] [cited 20.02.2012] Available: http://www.maha.de/cps/rde/xchg/SID-D916EA4A-06AAA5E6/maha_internet/hs.xsl/power_take_off_dynamometer_for_tractors_LP_S_ZW_500.htm
110. Maier M., Rehtin E. (2000) *The Art of Systems Architecting*. Second Edition. CRC Press, 313 p.
111. *MD-1750 Chassis Dynamometer* (2004). Maintenance & Service Manual. Twinsburg, USA, 68 p.
112. Moser B.R. (2011) Biodiesel Production, Properties, and Feedstocks. **In:** *Biofuels. Global Impact on Renewable Energy, Production Agriculture, and Technological Advancements*. Editors D. Tomes, P. Lakshmanan, D. Songstad. New York: Springer Science+Business Media, LLC, p. 285 – 347.
113. Nigam P.S., Singh A. (2011) Production of liquid biofuels from renewable resources. *Progress in Energy and Combustion Science*, No. 37, p. 52 – 68.
114. No C.-Y. (2011) Inedible vegetable oils and their derivatives for alternative diesel fuels in CI engines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 15, p. 131 – 149.
115. Noteikumi par benzīna un dīzeļdegvielas atbilstības novērtēšanu (2009): Ministru kabineta noteikumi Nr. 648 „Grozījumi Ministru kabineta 2000. gada 26. septembra noteikumos Nr. 332”. Spēkā ar 03.07.2009. *Latvijas Vēstnesis*, Nr. 102, 2. jūl.
116. Noteikumi par biodegvielas kvalitātes prasībām, atbilstības novērtēšanu, tirgus uzraudzību un patērētāju informēšanas kārtību (2009): Ministru kabineta noteikumi Nr. 649 „Grozījumi Ministru kabineta 2005. gada 18. oktobra noteikumos Nr. 772”. Spēkā ar 03.07.2009. *Latvijas Vēstnesis*, Nr. 102, 2. jūl.
117. Noteikumi par biodegvielas kvalitātes prasībām, atbilstības novērtēšanu, tirgus uzraudzību un patērētāju informēšanas kārtību (2007): Ministru kabineta noteikumi Nr. 515 „Grozījumi Ministru kabineta 2005. gada 18. oktobra noteikumos Nr. 772”. Spēkā ar 28.07.2007. *Latvijas Vēstnesis*, Nr. 121, 27. jūl.
118. Nwafor O.M.I. (2004) Emission characteristics of diesel engine running on vegetable oil with elevated fuel inlet temperature. *Biomass and Bioenergy*. No. 27, p. 507 – 511.
119. *Oil Expeller Press – XP100* (S.a.). [online] Alvan Blanch [cited 13.01.2012]. Available: <http://www.alvanblanch.co.uk/Oil%20Expeller%20Press%20XP100.pdf>
120. *OPUS 40. OPUS Prodox AB*, Sweden (S.a.) [online] [cited 10.04.2009]. Available: www.opus.se/download/40_d_e.pdf
121. *Overview of ExtendSim* (S.a.) [online] [cited 03.12.2012]. Available: http://www.extendsim.com/prods_overview.html
122. *Par atjaunojamo energoresursu patēriņu 2010. gadā* (2011). Centrālā Statistikas pārvalde. [tiešsaiste] [skatīts 11.01.2012]. Pieejams: <http://www.csb.gov.lv/print/32094>
123. Par enerģijas patēriņa, kas ražota no atjaunojamajiem energoresursiem, nodrošināšanu transportā 2020. gadā vismaz 10% apmērā no enerģijas galapatēriņa transportā (2011) [tiešsaiste]. LR Ekonomikas Ministrija. [Skatīts 08.06.2011]. Pieejams: <http://www.em.gov.lv/em/2nd/?lang=lv&id=31696&cat=621>

124. Paulsen H.M., Wichmann V., Schuemann U., Richter B. (2011) Use of straight vegetable oil mixtures of rape and camelina as on farm fuels in agriculture. *Biomass and Bioenergy*. No. 35, p. 4015 – 4024.
125. Pētījuma „Latvijas iespēju izvērtējums sasniegt 10% biodegvielas patēriņu no kopējās degvielas patēriņa transportam līdz 2020. gadam” gala ziņojums (2007). SIA „Baltijas Konsultācijas”. 83 lpp.
126. Pirs V., Berjoza D., Birzietis G., Dukulis I. (2010) Fuel Consumption Studies of Spark Ignition Engine Using Blends of Gasoline with Bioethanol. **In:** *Agronomy Research, Volume 8, Biosystems Engineering, Special Issue 1*. Tartu: Estonian University of Life Sciences, p. 208 – 215. ISSN 1406-894X.
127. Pirs V., Dukulis I. (2010) Emission Reduction Potential of Using Biofuels. **In:** *Proceedings of the 16th International Scientific Conference „Research for Rural Development”, Volume 1*, May 19 – 21, 2010. Jelgava: LUA, p. 85 – 90. ISSN 1691-4031.
128. Pirs V. (2011) *Bioetanola izmantošana ottomotoros: promocijas darbs inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) zinātniskā grāda iegūšanai*. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 190 lpp.
129. Pommers J., Liberts G. (1985) *Automobiļa teorija*. Rīga: Zvaigzne, 245 lpp.
130. Pommers J. (1989) *Studentu zinātniskā darba pamati*. Rīga: Zvaigzne, 296 lpp.
131. Priekulis J., Strautnieks N. (2000) Lauksaimniecības darbu mehanizācijas ekonomiskais vērtējums. 1. daļa. Jelgava: LLU, 29 lpp.
132. *ProModel Home – Simulation Software for Manufacturing, Logistics and Business Reengineering* (S.a.) [online] [cited 03.12.2012]. Available: <http://www.promodel.com/products/promodel/>
133. Pulkrabek W.W. (2003) *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. 2nd ed. University of Wisconsin, 426 p.
134. *Quality Standard for Rapeseed Oil as a Fuel* (2000). Weihenstephan: Vegetable Oil Production [online] [cited 26.07.2008]. Available: <http://www.elsbett.com/gb/vegetable-oil/vegetable-oil-standard.html>
135. Ramadhas A.S., Jayaraj S., Muraleedharan C. (2004) Use of vegetable oils as I.C. engine fuels – A review. *Renewable Energy*, No. 29, p. 727 – 742.
136. Ree R., Drift A., Zwart R.W.R., Boerrigter H. (2005) Market competitive Fischer-Tropsch diesel production. **In:** *1st International Biorefinery Workshop*, Washington, USA, 20 – 21 July, 2005. 13 p. [online] [cited 09.08.-2008]. Available: <http://www.ecn.nl/publications/default.aspx?nr=ECN-RX--05-132>
137. *Rīcības plāns programmas „Biodegvielas ražošana un lietošana Latvijā” īstenošanai* (2004). Ministru kabineta 2004. gada 22. jūlija rīkojums Nr. 511. Rīga: Zemkopības Ministrija. 15 lpp.
138. Samuelson D.A., Macal C.M. (2006) Agent-Based Simulation Comes of Age. *OR/MS Today*, Vol. 33, No. 4, p. 34 – 38.
139. Scragg A.H. (2009) *Biofuels Production, Application and Development*. Cambridge: Cambridge University Press, 250 p.
140. *ServiceModel Home* (S.a.) [online] [cited 03.12.2012]. Available: <http://www.promodel.com/products/servicemodel/>
141. Sidibe S.S., Blin J., Vaitilingom G., Azoumah Y. (2010) Use of crude filtered vegetable oil as a fuel in diesel engines state of the art: Literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 14, p. 2748 – 2759.
142. Sims R.E.H., Mabee W., Saddler J.N., Taylor M. (2010) An overview of second generation biofuel technologies. *Bioresource Technology*, No. 101, p. 503 – 523.

143. *SIMUL8 Simulation Software Feature List* (S.a.) [online] [cited 03.12.2012]. Available: <http://www.simul8.com/products/features/index.htm>
144. *Simulation Software Survey* (2012) [online] [cited 04.12.2012]. Available: <http://www.orms-today.org/surveys/Simulation/Simulation.html>
145. *Simulation Software Tool - AnyLogic* (S.a.) [online] [cited 03.12.2012]. Available: <http://www.xjtek.com/anylogic/>
146. Singh A., Nigam P.S., Murphy J.D. (2011) Renewable fuels from algae: An answer to debatable land based fuels. *Bioresource Technology*, No. 102, p. 10 – 16.
147. *Skaidrojums par akcīzes nodokļa atbrīvojumu dīzeļdegvielai* (2012) [tiešsaiste]. LAD. [Skatīts 20.03.2012]. Pieejams: http://www.lad.gov.lv/files/skaidrojums_par_akcizes_nodokla_atbrivojumu_dizel_degvielai.doc
148. Soltic P., Edenhauser D., Thurnheer T., Schreiber D., Sankowski A. (2009) Experimental investigation of mineral diesel fuel, GTL fuel, RME and neat soybean and rapeseed oil combustion in a heavy duty on-road engine with exhaust gas aftertreatment. *Fuel*. No. 8, p. 1 – 8.
149. Swain J.J. (2005) Gaming Reality: Biennial survey of discrete-event simulation software tools. *ORMS Today*, Vol. 32, No. 6, p. 44 – 55.
150. *System and Method for Using Vegetable Oil as Fuel for Diesel Engines*. (2008) Triska J. (inventor). Int. CI. F02M1/16. Pub. date. 9 oct. 2008. Pub. No. US 2008/0245350 A1
151. Šimáček P., Kubička D., Šebora G., Pospíšil M. (2010) Fuel properties of hydroprocessed rapeseed oil. *Fuel*, No. 89, p. 611 – 615.
152. Šmigins R. (2010) *Biodīzeļdegvielas ietekme uz motora darba parametriem: promocijas darbs inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) zinātniskā grāda iegūšanai*. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 159 lpp.
153. Tangermann S. (2008) *What's causing global food price inflation?* Vox [online] [cited 05.01.2012]. Available: <http://www.voxeu.org/index.php?q=node/1437>
154. *Tehnisko pakalpojumu cenas* (2011) [tiešsaiste]. LLKC. [Skatīts 20.03.2012]. Pieejams: http://www.llkc.lv/upload_file/400458/Tehnikas_pak_cenu_apkopojums_2011.pdf
155. *Third and Fourth Generation Biofuels: Technologies, Markets and Economics Through 2015* (2010) [online] [cited 09.06.2011]. Available: <http://www.gtmresearch.com/report/third-and-fourth-generation-biofuels>
156. Thuijl E. van, Ree R. van, Lange T.J de. (2003) *Biofuel production chains*. Background document for modelling the EU biofuel market using the BIOTRANS model [online]. Energieonderzoek Centrum Nedeland, ECN-C--03-088. 40 p. [cited 26.07.2008]. Available: <http://www.ecn.nl/publicaties/default.aspx?nr=ECN-C--03-088>
157. Thuneke K. (2006) Rapeseed Oil Fuel – Production, Quality Demands and Use Experience [online]. In: *Biomass for Energy – Challenges for Agriculture*, September 25 – 26, 2006, Bruges, Belgium [cited 10.04.2009.]. Available: http://www.northseabioenergy.org/files/17397/Klaus_Thuneke.pdf.
158. *Transportlīdzekļu. CSDD Statistika* (2009) [tiešsaiste] [skatīts 03.03.2009]. Pieejams: <http://csdd.lv/default.php?pageID=1098883023>
159. Transportlīdzekļu pārbūves noteikumi (2004): Ministru kabineta noteikumi Nr. 725. Spēkā ar 28.08.2004. *Latvijas Vēstnesis*, Nr. 136, 27. aug.
160. Tzirakis E., Pitsas K., Zannikos F., Stournas S. (2006) Vehicle emissions and driving cycles: comparison of the Athens driving cycle (ADC) with ECE-15 and European driving cycle (EDC). *Global NEST Journal*, Vol. 8, No. 3, p. 282 – 290.

161. Ußner M., Müller-Langer F. (2009) Biofuels today and tomorrow: effects of fuel composition on exhaust gas emissions. *Accreditation and Quality Assurance*, No. 14, p. 685 – 691.
162. Van Thuijl E., Roos C.J., Beurskens L.W.M. (2003) *An Overview of Biofuel Technologies, Markets and Policies in Europe*. Amsterdam: Energy Research Centre of the Netherlands. 64 p.
163. Vītola Ī., Soopa A. (2002) Vadības grāmatvedība. Jelgava: LLU, 222 lpp.
164. Wakker A., Egging R., Van Thuijl E., Van Tilburg X., Deurwaarder E.P., De Lange T.J., Berndes G., Hansson J. (2005) *Biofuel and bioenergy implementation scenarios*. Final report of VIEWLS WP5 modelling studies. Energieonderzoek Centrum Nederland, 2005. ECN-RX--05-141, 104 p.
165. Wang Y.D., Al-Shemmeri T., Eames P., McMullan J., Hewitt N. (2006) An experimental investigation of the performance and gaseous exhaust emissions of a diesel engine using blends of a vegetable oil. *Applied Thermal Engineering*. No. 26, p. 1684 – 1694.
166. World Bank. *Rising food prices: policy options and world bank response*. (2008) [online] [cited 05.01.2012]. Available: http://siteresources.worldbank.org/NEWS/Resources/risingfoodprices_backgroudnote_apr08.pdf
167. Xin Q. (2011) *Diesel engine system design*. Woodhead Publishing Limited, 1088 p.
168. Zhang F., Johnson D.M., Sutherland J.W. (2011) A GIS-based method for identifying the optimal location for a facility to convert forest biomass to biofuel. *Biomass and Bioenergy*. No. 35, p. 3951 – 3961.
169. Zhu X., Li X., Yao Q., Chen Y. (2011) Challenges and models in supporting logistics system design for dedicated-biomass-based bioenergy industry. *Bioresource Technology*. No. 102, p. 1344 – 1351.
170. Zhu X., Yao Q. (2011) Logistics system design for biomass-to-bioenergy industry with multiple types of feedstocks. *Bioresource Technology*. No. 102, p. 10936 – 10945.
171. Zihmane-Rītiņa K. (2008) *Fosilo un augu eļļu maisījumi dīzeļmotoriem, to izpēte un novērtējums: promocijas darbs inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) zinātniskā grāda iegūšanai*. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 151 lpp.
172. Веденяпин Г.В. (1967) *Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных*. Издание второе, дополненное. Москва: Колос, 195 с.
173. Гаврилов А.А., Игнатов М.С., Эфрос В.В. (2003) *Расчет циклов поршневых двигателей: Учебное пособие*. Владим. гос. ун-т., Владимир, 124 с.
174. Колчин А.И. Демидов В.П. (2008) *Расчет автомобильных и тракторных двигателей*. Учебное пособие. 4-е изд. Москва: Высшая школа, 496 с.
175. Кулманакон С.П., Семенов Р.С. (2007) Особенности рабочего процесса дизельного двигателя при использовании смесей рапсового масла и дизельного топлива. *Ползуновский вестник*. No. 4, p. 55 – 58.
176. Луканин В.Н., Шатров М. (2010) *Двигатели внутреннего сгорания: Теория рабочих процессов*. 3-е изд. Москва: Высшая школа, 480 с.
177. Тракторы „Беларусь” МТЗ-80, МТЗ-82 и их модификации. (1988) Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию. Минск: Ураджай, 174 с.

PIELIKUMI

1. pielikums. **Divu degvielas tvertņu sistēmas patents motora darbināšanai ar rapša eļļu**



US 20080245350A1

(19) **United States**

(12) **Patent Application Publication**
TRISKA

(10) **Pub. No.: US 2008/0245350 A1**

(43) **Pub. Date: Oct. 9, 2008**

(54) **SYSTEM AND METHOD FOR USING VEGETABLE OIL AS FUEL FOR DIESEL ENGINES**

Publication Classification

(51) **Int. Cl.**
F02M 1/16 (2006.01)
(52) **U.S. Cl.** 123/575; 123/576; 701/103

(76) **Inventor:** John TRISKA, Bradenton, FL, (US)

(57) **ABSTRACT**

Correspondence Address:
STITES & HARBISON PLLC
1199 NORTH FAIRFAX STREET, SUITE 900
ALEXANDRIA, VA 22314 (US)

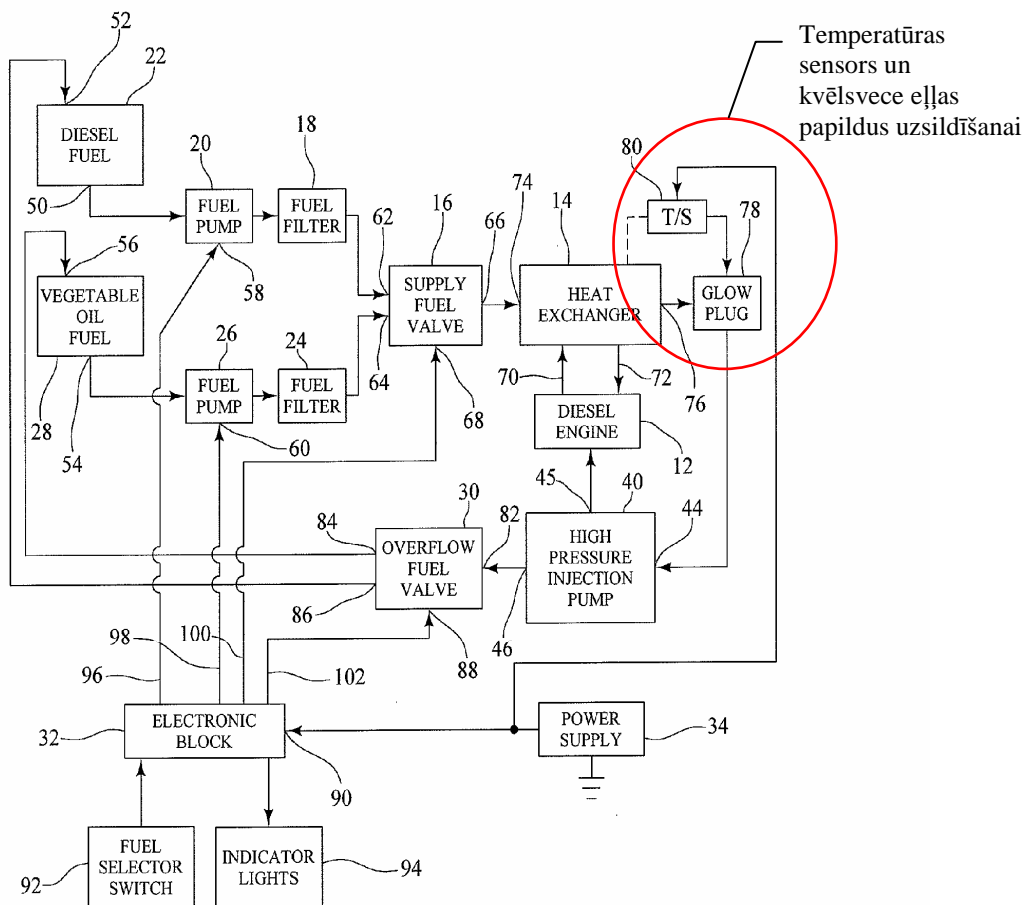
A system and method for using vegetable oil as fuel for a diesel engine includes: a diesel fuel tank; a vegetable oil fuel tank, a supply fuel valve for switching a supply fuel output port between a diesel fuel input port and a vegetable oil fuel input port; an overflow fuel valve for switching an overflow fuel input port between a vegetable oil fuel output port and a diesel fuel output port; a fuel selector switch; and an electronic block controller. The electronic block controller is for, in response to a user changing the fuel selector switch from diesel fuel to vegetable oil fuel, waiting a predetermined amount of time to allow the vegetable oil fuel to flush the diesel fuel to the overflow fuel valve, and then setting the overflow fuel valve to direct overflow vegetable oil fuel to the vegetable oil fuel tank. Cross-contamination of the fuel tanks is avoided.

(21) **Appl. No.: 12/098,042**

(22) **Filed: Apr. 4, 2008**

Related U.S. Application Data

(60) **Provisional application No. 60/910,617, filed on Apr. 6, 2007.**



2. pielikums. **Darbināšanai ar rapša eļļu pārbūvēto spēkratu modeļi, izmantojot firmas ATG divu degvielas tvertņu sistēmu**

Vieglie un apvidus automobiļi, mikroautobusi

- Audi 80 1.6 TD, Audi 100 2.5 TDI, Audi A2 1.2 TDI 3L, Audi A3 1.9 TDI, Audi A4 1.9 TDI, Audi A4 2.5 TDI, Audi A6 2.5 TDI
- BMW 320 D, BMW 320 TD, BMW 324 TD, BMW 325 TD, BMW 325 TDS, BMW 524 TD, BMW 525 TDS
- Chevrolet Blazer K5 V8
- Citroen AX 1.4 D, Citroen BX 17 TD, Citroen BX 19 D, Citroen C 15 1.8 D, Citroen CX 25 TD, Citroen Evasion 1.9 TD, Citroen Jumper 1.9 TD, Citroen Saxo 1.5 D, Citroen Xantia 1.9 TD
- Daihatsu Rocky 2.8 TD
- Fiat Doblo 1.9 D, Fiat Ducato 1.9 D, Fiat Ducato 2.5 D, Fiat Ducato 2.8 TD, Fiat Fiorino, Fiat Scudo 1.9 D
- Ford F350 7.3 TD, Ford Escort 1.8 D, Ford Fiesta 1.8 D, Ford Focus 1.8 TD, Ford Focus 1.8 TDDi, Ford Turnier, Ford Mondeo 1.8 TD, Ford Ranger, Ford Scorpio 2.5 TD, Ford Transit 2.4 TDE, Ford Transit 2.5 D, Ford Transit 2.5 TD
- Hyundai Gallopper 2.5 TCI
- Isuzu Trooper 2.8 TD
- Iveco Daily 2.8 D
- Jeep Grand Cherokee 3.1 TD
- Kia Carnival 2.9 TD, Kia Carnival 2.9 TDI, Kia Pregio, Kia Retona 2.0 TD
- Land Rover Defender 90 2.5 D, Land Rover Defender 110 2.5 TD, Land Rover Defender 110 2.5 TD5, Land Rover Freelander 2.0 D, Land Rover Range Rover
- Mazda 323F 2.0 D, Mazda E 2.2 D
- Mercedes 190 D, Mercedes 200 D, Mercedes 208 D, Mercedes 210 D, Mercedes 220 D, Mercedes 220 CDI, Mercedes 240 D, Mercedes 250 D, Mercedes 300 GD, Mercedes E 300 TD, Mercedes 308 D, Mercedes 310 D, Mercedes 407 D, Mercedes 410 D, Mercedes 709 D, Mercedes 814 D, Mercedes 817 D, Mercedes A-Klasse 140 CDI, Mercedes A-Klasse 170 CDI, Mercedes Sprinter 208 D, Mercedes Sprinter 210 D, Mercedes Sprinter 211 CDI, Mercedes Sprinter 212 D, Mercedes Sprinter 312 D, Mercedes Sprinter 313 CDI, Mercedes Sprinter 316 CDI, Mercedes Vario 815 D, Mercedes Vito 108 D, Mercedes Vito 110 D
- Mitsubishi Carisma 1.9 TD, Mitsubishi L200 2.5 TD, Mitsubishi Pajero 2.5 TD
- Nissan Almera 2.0 D, Nissan Almera 2.2 TD, Nissan King Cap MD22, Nissan Patrol 2.8 TD, Nissan Sunny 2.0 D, Nissan Terrano II 2.7 TD
- Opel Astra 1.7 TD, Opel Astra 1.7 DTI, Opel Combo 1.7 DI, Opel Corsa 1.5 D, Opel Corsa 1.7 DI, Opel Frontera 2.5 TDS, Opel Frontera 2.8 TDI, Opel Kadett 1.6 D, Opel Omega 2.5 TD, Opel Omega 2.2 DTI, Opel Vectra 1.7 TD, Opel Vectra 2.0 DTI
- Peugeot 106 1.5 D, Peugeot 205 1.9 D, Peugeot 306 1.9 D, Peugeot 309 1.9 D, Peugeot 405 1.9 TD, Peugeot 605 2.1 TD, Peugeot Boxer, Peugeot Expert 1.9 TD
- Renault Espace, Renault Kangoo 1.9 DTI, Renault Laguna, Renault Master, Renault Megane 1.9 DTI, Renault R 5 1.6 D, Renault R 21 D, Renault Rapid 1.9 D, Renault Safrane 2.5 TD, Renault Scenic 1.9 DCI
- Seat Alhambra 1.9 TDI, Seat Arosa 1.4 TDI, Seat Ibiza 1.9 TDI, Seat Inca
- Skoda Fabia 1.9 SDI, Skoda Felicia 1.9 D, Skoda Octavia 1.9 TDI
- Smart CDI
- Ssangyong Musso 2.9 D
- Toyota Avensis 2.0 TD, Toyota Corolla 1.8 D, Toyota Land Cruiser 3.0 TD, Toyota Hilux
- Vauxhall Combo 1.7
- Volkswagen VW Caddy 1.9 TDI, VW Golf II 1.6 TD, VW Golf III 1.9 TD, VW Golf III 1.9 TDI, VW Golf IV 1.9 TDI, VW Jetta 1.9 TD, VW Lupo 1.4 TDI, VW Lupo 1.7 SDI, VW LT 28, VW LT 35 2.8 TDI, VW Passat 1.6 TD, VW Passat 1.9 TDI, VW Polo 1.9 SDI, VW Sharan 1.9 TDI, VW T2 1.7 D, VW T3 1.6 TD, VW T4 1.9 TD, VW T4 2.4 D, VW T4 2.5 TDI
- Volvo 240 D, Volvo 740 2.4 TD, Volvo 850 2.5 TDI, Volvo S80 2.5 TDI, Volvo V70 2.5 TDI

Kravas automobiļi un autobusi

- DAF, MAN, Mercedes, Neoplan, Iveco, Renault, Scania, Setra, Volvo

Traktori un lauksaimniecības tehnika

- Case, Deutz-Fahr, Fendt, Fiat, IHC, JCB Fastrac, John Deere, Lamborghini, Massey Ferguson, MB-Trac, New Holland, Pasquali, Renault, Same, Steyr

3. pielikums. Modelēšanas rīku atšķirīgo īpašību apkopojums

Programmatūra	Izejas datu analīze	Eksperimentāla konstrukciju (scenāriju) veidošana un palaišana	Rīki modeļa kompaktēšanai un apskatei	Animācijas eksporta iespēja
<i>AnyLogic</i>	Iekļauti statistikas rīki, dažādu diagrammu un histogrammu veidošanas iespējas u.c.	Iespēja veidot scenārijus ar dažādām parametru variācijām (Montekarlo un jutīguma analīzes rīki). Simulācijas, optimizācijas iespējas	Integrēta iespēja veidot <i>Java</i> sīklietotnes, kuras var funkcionēt ar pilnām simulācijas un optimizācijas iespējām ārpus programmas	+
<i>Arena</i>	Iekļauts <i>Arena Output Analyzer</i> izejas datu analīzei	Iekļauts <i>Arena Process Analyzer</i> tehnoloģisko procesu analīzei	Modeļi tiek kompaktēti pašā programmatūrā, papildus rīki nav nepieciešami	+
<i>ExtendSim Suite</i>	Integrēts ticamības intervālu noteikšanas rīks	Automatizēta dažādu scenāriju izpilde	Brīvi lejupielādējams atskaņotājs modeļa apskatei un darbināšanai	-
<i>Flexsim Simulation Software</i>	Dažādu diagrammu veidošanas iespējas. Izejas dati uz <i>MS Excel</i> un <i>Access</i>	Iekļauts <i>Flexsim Experimenter</i> scenāriju veidošanai un darbināšanai	-	+
<i>ProModel Optimization Suite</i>	Izejas datu analīzes atskaišu un diagrammu veidošanas iespējas. Izejas dati uz <i>MS Excel</i> un <i>Access</i>	Iespējams neierobežots eksperimentu un parametru scenāriju skaits	Modeļi tiek kompaktēti pašā programmatūrā, integrēts atskaņotājs <i>ProModel Player</i>	-
<i>ServiceModel Optimization Suite</i>	Izejas datu analīzes atskaišu un diagrammu veidošanas iespējas. Izejas dati uz <i>MS Excel</i> un <i>Access</i>	Iespējams neierobežots eksperimentu un parametru scenāriju skaits	Modeļi tiek kompaktēti pašā programmatūrā, integrēts atskaņotājs <i>ProModel Player</i>	-
<i>SIMUL8 Professional</i>	Izejas datu analīzes rīks integrēts pamatproduktā	Scenāriju veidošanas rīks integrēts pamatproduktā	Modeļi tiek kompaktēti pašā programmatūrā	+

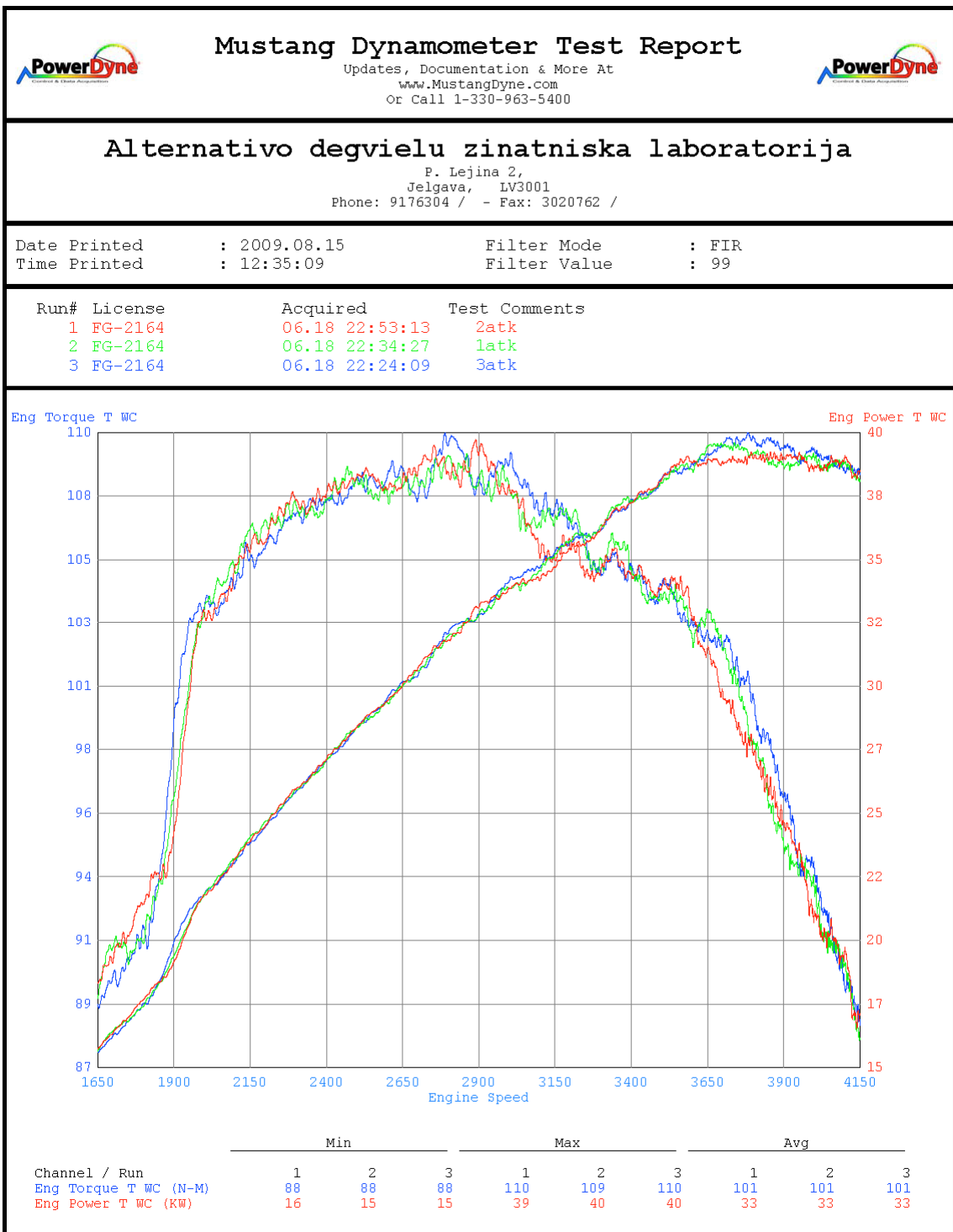
4. pielikums. **Atliku gāzu molārā siltumietilpība atkarībā no temperatūras un gaisa pāruma koeficienta**

$t, ^\circ\text{C}$	Vidējā molārā atliku gāzu siltumietilpība, kJ (kmol K) ⁻¹ (dīzeļdegvielai)											
	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6
100	22.545	22.398	22.275	22.169	22.078	21.999	21.929	21.812	21.717	21.640	21.574	21.519
200	22.908	22.742	22.602	22.482	22.379	22.289	22.210	22.077	21.970	21.882	21.808	21.745
300	23.324	23.142	22.989	22.858	22.745	22.647	22.560	22.415	22.300	22.202	22.121	22.052
400	23.750	23.554	23.390	23.249	23.128	23.022	22.930	22.774	22.648	22.544	22.457	22.384
500	24.192	23.985	23.811	23.662	23.533	23.421	23.322	23.157	23.023	22.914	22.822	22.743
600	24.631	24.413	24.229	24.073	23.937	23.819	23.716	23.541	23.401	23.285	23.188	23.106
700	25.069	24.840	24.648	24.484	24.342	24.218	24.109	23.927	23.780	23.659	23.557	23.471
800	25.490	25.251	25.050	24.879	24.731	24.602	24.488	24.298	24.144	24.018	23.912	23.822
900	25.896	25.648	25.439	25.261	25.107	24.973	24.855	24.657	24.487	24.366	24.256	24.162
1000	26.278	26.021	25.804	25.620	25.460	25.321	25.199	24.993	24.828	24.692	24.578	24.481
1100	26.641	26.375	26.151	25.960	25.795	25.652	25.525	25.313	25.142	25.001	24.883	24.783
1200	26.987	26.713	26.482	26.286	26.116	25.967	25.837	25.618	25.442	25.296	25.175	25.071
1300	27.311	27.029	26.792	26.589	26.415	26.262	26.128	25.903	25.722	25.572	25.447	25.341
1400	27.618	27.328	27.085	26.877	26.698	26.541	26.404	26.173	25.986	25.833	25.705	25.596
1500	27.907	27.610	27.361	27.148	26.965	26.805	26.664	26.427	26.237	26.080	25.948	25.836
1600	28.175	27.873	27.618	27.400	27.212	27.049	26.905	26.663	26.468	26.308	26.173	26.059
1700	28.432	28.123	27.863	27.641	27.449	27.282	27.135	26.888	26.690	26.526	26.389	26.272
1800	28.669	28.354	28.089	27.863	27.668	27.497	27.348	27.096	26.894	26.727	26.587	26.469
1900	28.895	28.575	28.305	28.076	27.877	27.704	27.552	27.296	27.090	26.921	26.781	26.658
2000	29.107	28.782	28.508	28.275	28.073	27.898	27.743	27.483	27.274	27.102	26.958	26.835
2100	29.310	28.980	28.703	28.466	28.262	28.083	27.926	27.663	27.451	27.276	27.130	27.005
2200	29.503	29.169	28.888	28.648	28.441	28.260	28.101	27.834	27.619	27.442	27.294	27.168
2300	29.680	29.342	29.057	28.815	28.605	28.422	28.261	27.991	27.774	27.595	27.444	27.317
2400	29.851	29.510	29.222	28.976	28.764	28.580	28.417	28.144	27.924	27.743	27.591	27.462
2500	30.011	29.666	29.375	29.127	28.913	28.726	28.562	28.286	28.064	27.881	27.728	27.598
2600	30.164	29.816	29.525	29.272	29.056	28.868	28.702	28.424	28.199	28.015	27.860	27.729
2700	30.311	29.960	29.664	29.412	29.194	29.004	28.837	28.557	28.331	28.144	27.988	27.856
2800	30.451	30.097	29.799	29.546	29.326	29.135	28.966	28.684	28.456	28.269	28.111	27.978

**5. pielikums. Astoņas izplatītākās tehniskā kārtībā esošās vieglo automobiļu
markas ar dīzeļmotoriem no 1985. līdz 2008. izlaiduma gadam**

Gads	VW	AUDI	MB	OPEL	BMW	FORD	VOLVO	TOYOTA	KOPĀ	%
1985	526	153	208	45	32	29	24	2	1019	0.78
1986	741	205	317	70	72	118	46	8	1577	1.20
1987	701	227	388	55	80	135	53	23	1662	1.27
1988	619	312	407	37	101	135	62	17	1690	1.29
1989	976	368	336	65	158	137	80	13	2133	1.63
1990	1413	672	364	104	214	219	72	14	3072	2.34
1991	2647	815	489	140	292	497	126	21	5027	3.83
1992	3481	1770	515	549	450	382	117	35	7299	5.57
1993	3108	1923	445	566	560	383	86	86	7157	5.46
1994	3825	2401	488	788	715	666	168	91	9142	6.97
1995	2657	2364	559	847	668	751	115	54	8015	6.11
1996	2490	2517	802	638	703	805	484	118	8557	6.53
1997	2429	1604	897	625	706	708	701	103	7773	5.93
1998	2452	1282	791	955	691	555	667	227	7620	5.81
1999	2194	1259	834	1449	1103	737	823	225	8624	6.58
2000	1750	1014	996	1285	1259	625	768	254	7951	6.06
2001	1520	833	967	1107	1075	538	441	344	6825	5.21
2002	1313	709	839	962	889	493	849	490	6544	4.99
2003	1277	561	773	887	988	369	710	606	6171	4.71
2004	1384	529	539	700	798	291	728	512	5481	4.18
2005	1049	321	448	562	428	277	382	726	4193	3.20
2006	1338	268	564	521	290	403	220	917	4521	3.45
2007	1557	333	613	549	410	403	388	1306	5559	4.24
2008	1094	170	318	282	300	279	212	830	3485	2.66
Kopā	42541	22610	13897	13788	12982	9935	8322	7022	131097	100

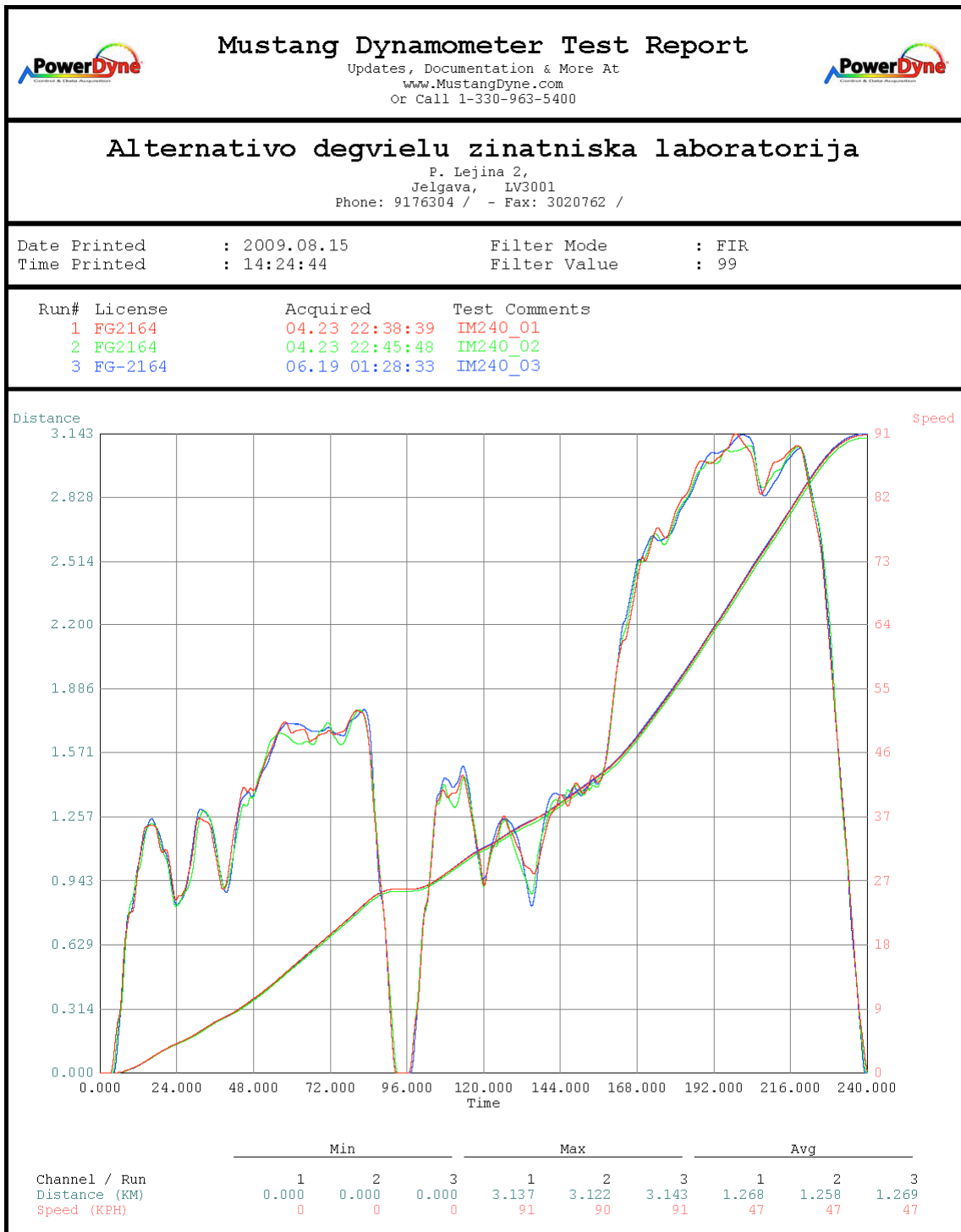
6. pielikums. Meklējumeksperimentu jaudas un griezes momenta raksturlīknes



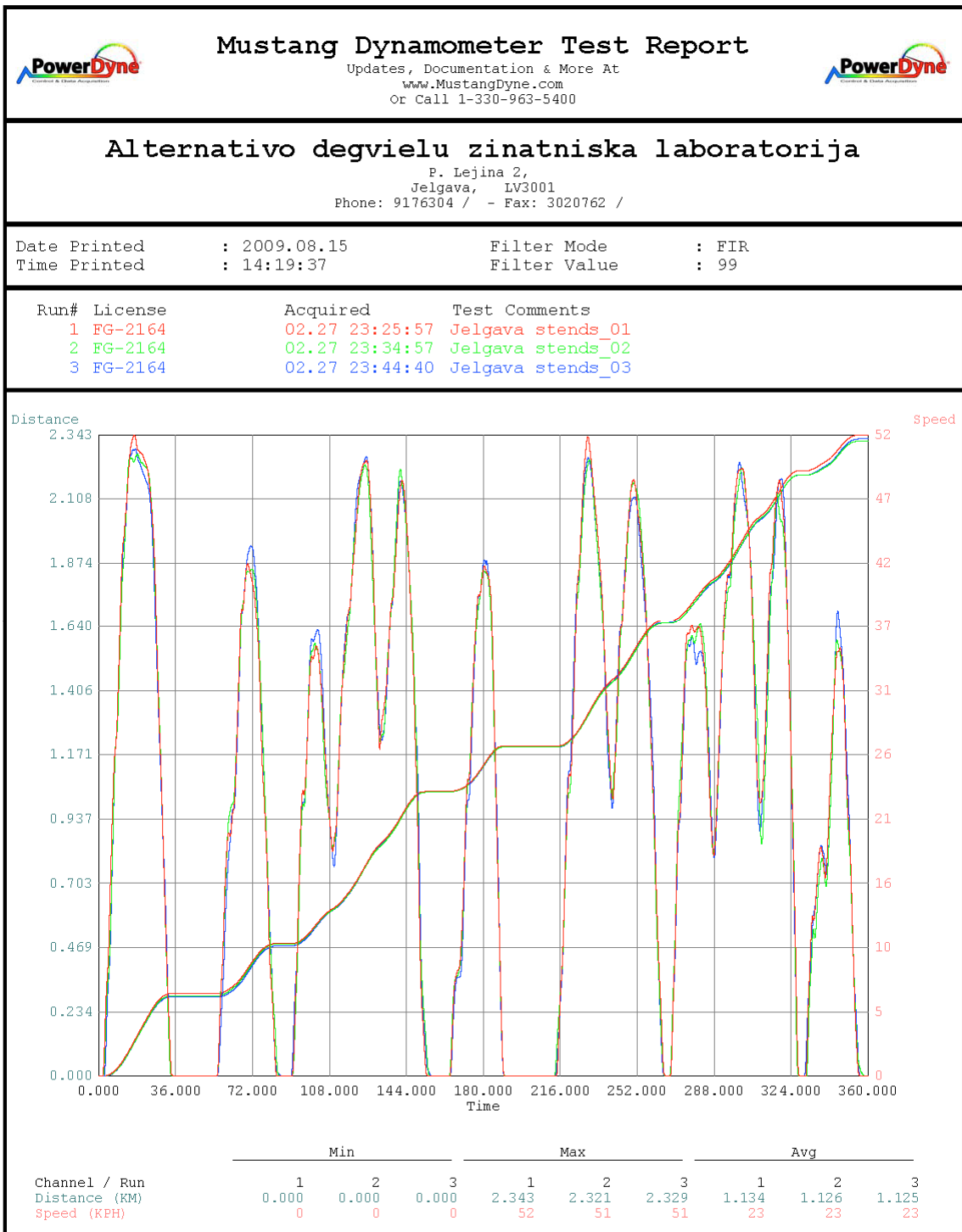
7. pielikums. **Meklējumeksperimentu jaudas un griezes momenta raksturlikņu datu tabulas fragments**

Motora apgr., min ⁻¹	Griezes moments, N m				Jauda, kW			
	1	2	3	vid.	1	2	3	vid.
1650	86.362	86.975	87.727	87.021	14.589	14.685	14.832	14.702
1660	87.038	87.087	88.025	87.383	14.752	14.745	14.928	14.808
1670	87.138	87.607	88.071	87.605	14.812	14.881	14.981	14.891
1680	87.974	87.840	88.485	88.100	15.014	14.979	15.105	15.033
1690	88.081	88.428	88.488	88.332	15.088	15.143	15.163	15.131
1700	88.526	88.727	88.685	88.646	15.234	15.253	15.263	15.250
1710	88.694	89.349	88.327	88.790	15.316	15.439	15.259	15.338
1720	88.926	89.421	89.083	89.143	15.436	15.513	15.460	15.470
1730	89.142	89.603	89.071	89.272	15.537	15.617	15.532	15.562
1740	89.057	89.565	89.265	89.296	15.590	15.684	15.637	15.637
1750	89.654	89.811	89.156	89.540	15.776	15.798	15.706	15.760
1760	89.955	89.987	89.275	89.739	15.907	15.912	15.794	15.871
1770	90.243	89.874	89.847	89.988	16.036	15.973	15.964	15.991
1780	90.299	90.340	89.728	90.122	16.139	16.131	16.037	16.102
1790	90.551	89.925	89.701	90.059	16.264	16.147	16.127	16.179
1800	90.665	90.462	90.027	90.385	16.371	16.330	16.254	16.318
1810	91.033	90.485	90.392	90.637	16.511	16.419	16.413	16.448
1820	91.187	90.861	90.796	90.948	16.643	16.575	16.567	16.595
1830	91.543	90.743	90.684	90.990	16.784	16.646	16.650	16.693
1840	91.632	90.909	90.801	91.114	16.897	16.768	16.745	16.803
1850	92.089	91.330	90.776	91.398	17.069	16.936	16.836	16.947
1860	92.254	91.696	90.802	91.584	17.196	17.075	16.914	17.062
1870	92.558	91.855	91.466	91.960	17.351	17.211	17.143	17.235
1880	92.681	92.001	91.718	92.133	17.468	17.329	17.272	17.356
1890	92.674	92.346	92.701	92.574	17.549	17.491	17.548	17.529
1900	92.784	92.574	93.148	92.835	17.664	17.618	17.725	17.669
1910	92.884	93.004	94.024	93.304	17.784	17.798	17.984	17.855
1920	93.024	93.498	94.766	93.763	17.891	17.974	18.229	18.031
1930	93.655	94.014	95.443	94.371	18.109	18.176	18.436	18.240
1940	94.261	95.107	95.918	95.095	18.318	18.481	18.619	18.473
1950	94.901	95.494	96.829	95.741	18.544	18.651	18.896	18.697
1960	95.716	96.045	97.328	96.363	18.788	18.855	19.101	18.915
...
...
...
3920	96.109	95.522	97.202	96.278	39.033	38.790	39.461	39.095
3930	96.078	95.523	97.206	96.269	39.132	38.903	39.565	39.200
3940	95.633	94.994	96.746	95.791	39.073	38.794	39.491	39.119
3950	95.375	94.637	96.243	95.418	39.057	38.759	39.388	39.068
3960	95.084	94.601	95.302	94.996	39.047	38.850	39.111	39.003
3970	94.981	94.316	95.118	94.805	39.108	38.830	39.164	39.034
3980	94.373	94.376	94.757	94.502	38.957	38.971	39.114	39.014
3990	93.804	93.842	94.785	94.144	38.844	38.852	39.232	38.976
4000	93.385	93.749	94.722	93.952	38.773	38.915	39.318	39.002
4010	93.133	93.756	94.246	93.712	38.770	39.020	39.222	39.004
4020	92.814	93.471	93.886	93.390	38.746	39.010	39.174	38.977
4030	92.426	92.973	93.712	93.037	38.694	38.905	39.211	38.937
4040	91.911	92.451	92.983	92.448	38.578	38.791	39.007	38.792
4050	91.994	92.152	92.887	92.344	38.709	38.774	39.069	38.851
4060	91.827	91.979	92.708	92.171	38.748	38.806	39.100	38.885
4070	91.894	91.548	92.386	91.943	38.874	38.731	39.061	38.889
4080	91.507	91.248	91.611	91.455	38.815	38.720	38.839	38.791
4090	91.263	91.248	91.348	91.286	38.800	38.796	38.830	38.809
4100	90.988	90.806	91.100	90.965	38.789	38.715	38.837	38.780
4110	91.022	90.838	90.405	90.755	38.905	38.836	38.637	38.793
4120	90.547	90.262	90.435	90.415	38.810	38.688	38.756	38.751
4130	89.989	89.831	90.004	89.941	38.681	38.607	38.679	38.656
4140	89.362	89.151	89.558	89.357	38.505	38.425	38.582	38.504
4150	89.012	88.705	89.397	89.038	38.457	38.317	38.616	38.463
Korelācijas koeficienta aprēķini								
Tests Nr. 1	N/A	0.9964	0.9928	0.9981	N/A	0.9997	0.9996	0.9999
Tests Nr. 2	0.9964	N/A	0.9957	0.9990	0.9997	N/A	0.9997	0.9999
Tests Nr. 3	0.9928	0.9957	N/A	0.9978	0.9996	0.9997	N/A	0.9999
vid.	0.9981	0.9990	0.9978	N/A	0.9999	0.9999	0.9999	N/A

8. pielikums. Cikla *IM-240* izbraukšanas precizitātes noteikšanas eksperimentu ātruma un nobrauktā attāluma līknes



9. pielikums. „Jelgavas cikla” izbraukšanas precizitātes noteikšanas eksperimentu ātruma un nobrauktā attāluma līknes



10. pielikums. Cikla *IM-240* izbraukšanas precizitātes noteikšanas eksperimentu datu tabulas fragments

Laiks, s Testa Nr.	Nobrauktais attālums, km			Ātrums, km h ⁻¹		
	1	2	3	1	2	3
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.150	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	2.448	0.852	0.192
6	0.002	0.001	0.001	5.539	4.351	2.872
7	0.004	0.003	0.002	8.586	7.239	7.054
8	0.007	0.005	0.005	14.284	12.260	13.067
9	0.012	0.010	0.009	18.514	17.845	18.775
10	0.017	0.015	0.015	21.297	21.770	21.290
11	0.023	0.022	0.021	22.847	24.256	23.836
12	0.030	0.029	0.029	25.968	26.831	27.000
13	0.038	0.037	0.036	29.258	28.519	29.426
14	0.046	0.045	0.045	32.338	30.851	31.911
15	0.056	0.054	0.054	34.103	33.267	33.804
16	0.065	0.063	0.064	34.858	34.665	35.208
17	0.075	0.073	0.074	35.202	35.221	35.750
18	0.085	0.083	0.083	35.018	35.199	35.382
19	0.094	0.092	0.093	33.531	34.090	34.659
20	0.103	0.102	0.103	32.316	32.651	33.205
21	0.112	0.111	0.112	32.073	31.414	32.119
22	0.121	0.119	0.120	31.142	29.740	30.400
23	0.129	0.127	0.128	28.798	27.193	28.078
24	0.137	0.134	0.136	26.305	25.134	25.755
25	0.144	0.141	0.143	25.698	24.497	24.829
26	0.151	0.148	0.149	25.549	24.812	24.817
27	0.158	0.155	0.156	25.970	25.495	25.480
28	0.166	0.162	0.164	27.427	26.144	26.937
29	0.174	0.169	0.172	29.231	27.316	29.526
30	0.182	0.177	0.180	31.911	29.710	32.578
31	0.191	0.186	0.190	34.574	32.907	35.234
32	0.201	0.196	0.200	35.613	35.386	36.742
33	0.211	0.206	0.210	35.863	36.623	37.109
34	0.221	0.216	0.220	35.836	36.817	36.975
35	0.231	0.226	0.231	35.376	36.381	36.394
36	0.241	0.236	0.240	33.612	35.150	34.850
37	0.250	0.245	0.250	31.500	32.992	32.710
38	0.258	0.254	0.259	28.991	30.271	30.335
39	0.266	0.262	0.267	27.324	28.012	28.058
40	0.273	0.270	0.274	27.275	27.285	26.682
...
...
...
225	2.960	2.942	2.965	78.785	80.406	80.285
226	2.981	2.964	2.987	76.252	78.049	77.562
227	3.002	2.985	3.008	72.280	74.760	73.667
228	3.021	3.006	3.028	67.381	70.600	69.002
229	3.039	3.024	3.046	62.147	65.674	63.711
230	3.056	3.042	3.063	56.792	59.456	57.422
231	3.071	3.057	3.078	51.341	52.444	51.594
232	3.084	3.071	3.092	45.857	45.576	46.269
233	3.096	3.082	3.104	40.396	39.570	40.934
234	3.106	3.093	3.114	35.210	34.251	35.145
235	3.115	3.101	3.123	29.514	28.802	28.387
236	3.123	3.108	3.130	23.385	23.133	22.180
237	3.128	3.114	3.135	17.259	17.367	16.688
238	3.132	3.118	3.139	11.871	11.628	11.066
239	3.135	3.120	3.141	7.534	6.543	5.478
240	3.136	3.122	3.142	3.642	2.734	2.152
Korelācijas koeficienta aprēķini						
Tests Nr. 1	N/A	0.999997	0.999997	N/A	0.999088	0.998942
Tests Nr. 2	0.999997	N/A	0.999995	0.999088	N/A	0.999140
Tests Nr. 3	0.999997	0.999995	N/A	0.998942	0.999140	N/A

11. pielikums. „Jelgavas cikla” izbraukšanas precizitātes noteikšanas eksperimentu datu tabulas fragments

Laiks, s Testa Nr.	Nobrauktais attālums, km			Ātrums, km h ⁻¹		
	1	2	3	1	2	3
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	1.133	0.436	0.000
4	0.001	0.001	0.000	4.671	3.536	1.900
5	0.003	0.002	0.001	7.921	6.343	5.416
6	0.006	0.004	0.003	12.962	10.049	9.051
7	0.010	0.008	0.007	18.688	15.421	14.860
8	0.016	0.013	0.012	23.349	21.691	21.417
9	0.023	0.020	0.019	26.668	25.464	25.377
10	0.031	0.028	0.026	31.347	29.664	29.746
11	0.041	0.037	0.035	36.894	34.963	35.111
12	0.052	0.047	0.046	40.930	38.982	39.972
13	0.064	0.058	0.057	43.836	42.659	42.850
14	0.076	0.071	0.070	46.420	46.400	46.027
15	0.089	0.084	0.083	48.970	48.828	48.745
16	0.103	0.098	0.097	50.663	49.745	50.042
17	0.118	0.112	0.111	51.604	49.946	50.623
18	0.132	0.126	0.125	51.632	50.316	50.829
19	0.146	0.140	0.139	51.220	50.502	50.441
20	0.160	0.154	0.153	50.975	50.256	50.031
21	0.175	0.168	0.167	50.746	50.075	49.567
22	0.189	0.182	0.181	50.362	49.841	49.077
23	0.203	0.195	0.194	49.946	49.652	48.633
24	0.216	0.209	0.207	49.123	49.185	48.031
25	0.230	0.223	0.221	47.638	47.859	46.652
26	0.243	0.236	0.233	45.584	45.364	43.902
27	0.255	0.248	0.245	42.031	41.449	39.700
28	0.266	0.258	0.255	36.524	36.693	34.972
29	0.275	0.268	0.264	31.079	31.489	30.034
30	0.283	0.276	0.272	25.951	26.106	24.937
31	0.289	0.282	0.278	20.133	20.159	20.282
32	0.294	0.287	0.283	14.394	14.182	15.296
33	0.297	0.290	0.286	9.244	8.357	9.649
34	0.299	0.291	0.288	4.458	3.522	4.213
35	0.300	0.292	0.289	1.775	1.386	1.658
36	0.300	0.292	0.289	0.697	0.543	0.651
37	0.300	0.292	0.289	0.274	0.214	0.256
38	0.300	0.292	0.289	0.108	0.084	0.101
39	0.300	0.292	0.289	0.042	0.033	0.039
40	0.300	0.292	0.289	0.017	0.013	0.015
...
...
...
347	2.289	2.268	2.273	33.982	34.140	35.960
348	2.299	2.277	2.282	34.084	33.886	35.291
349	2.308	2.286	2.292	32.435	32.395	33.483
350	2.317	2.295	2.301	28.643	28.663	30.140
351	2.324	2.302	2.309	24.287	23.709	26.051
352	2.330	2.308	2.315	20.875	20.150	21.735
353	2.335	2.313	2.320	16.161	15.433	16.353
354	2.339	2.316	2.324	10.388	10.522	11.022
355	2.341	2.319	2.326	5.655	6.069	7.028
356	2.342	2.320	2.328	2.317	3.053	3.264
357	2.342	2.320	2.328	0.910	1.423	1.282
358	2.343	2.321	2.329	0.357	0.621	0.504
359	2.343	2.321	2.329	0.140	0.243	0.198
360	2.343	2.321	2.329	0.055	0.096	0.078
Korelācijas koeficienta aprēķini						
Tests Nr. 1	N/A	0.999986	0.999980	N/A	0.998333	0.998073
Tests Nr. 2	0.999986	N/A	0.999991	0.998333	N/A	0.998023
Tests Nr. 3	0.999980	0.999991	N/A	0.998073	0.998023	N/A

12. pielikums. *Visual Basic for Application* programmas kodi datu apstrādes procedūras atvieglošanai




Makrokomandas teksts, kas ievietojams *Visual Basic for Application* izklājlapu lietotnes datnes objektā *ThisWorkbook*

```
Option Explicit
Private Sub Workbook_Activate()
    On Error Resume Next
        With Application.CommandBars("Datu apstrāde")
            .Enabled = True
            .Visible = True
        End With
    On Error GoTo 0
End Sub
Private Sub Workbook_Deactivate()
    On Error Resume Next
        Application.CommandBars("Datu apstrāde").Enabled = False
    On Error GoTo 0
End Sub
```

Makrokomandas teksts, kas ievietojams *Visual Basic for Application* izklājlapu lietotnes modulī *Module1*

```
Sub Dzest_1()
    ' Macro created 2009.01.09 by Ilmārs Dukulis
    Cells.Replace What:="μVolFlowComp=", Replacement:="", LookAt:=xlPart, _
        SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=False, SearchFormat:=False, _
        ReplaceFormat:=False
    Cells.Replace What:"VolFlowComp=", Replacement:="", LookAt:=xlPart, _
        SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=False, SearchFormat:=False, _
        ReplaceFormat:=False
    Cells.Replace What:"dm^3/h", Replacement:="", LookAt:=xlPart, _
        SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=False, SearchFormat:=False, _
        ReplaceFormat:=False
    Cells.Replace What:"sVol=", Replacement:="", LookAt:=xlPart, _
        SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=False, SearchFormat:=False, _
        ReplaceFormat:=False
    Cells.Replace What:"uVol=", Replacement:="", LookAt:=xlPart, _
        SearchOrder:=xlByRows, MatchCase:=False, SearchFormat:=False, _
        ReplaceFormat:=False
End Sub
Sub Delete_Odd_Rows()
    For i = 9001 To 1 Step -2
        Rows(i).Delete
    Next i
End Sub
Sub Ievietot_ierakstit()
    Rows("1:1").Select
    Selection.Insert Shift:=xlDown
    Range("A1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "VolFlowComp"
    Range("B1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "μVolFlowComp"
    Range("C1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "sVol"
    Range("D1").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "uVol"
    Range("A1").Select
    Columns("A:D").Select
    Columns("A:D").EntireColumn.AutoFit
    Range("A1").Select
End Sub
```

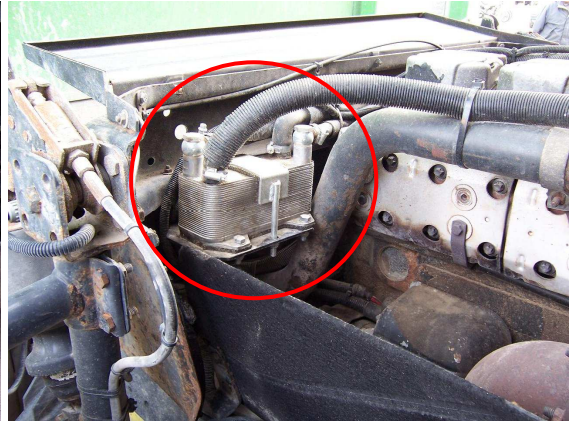
13. pielikums. **Rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījuma testēšanas pārskata paraugs**

	PRIVATIZĒJAMĀ VALSTS SABIEDRĪBA AR IEROBEŽOTU ATBILDĪBU "LATVIJAS SERTIFIKĀCIJAS CENTRS" Lāčplēša iela 87, Rīga, LV-1011, Latvija, Vienotais reģ. Nr.50003298751		
LABORATORIJA			
tālrunis 67217837, fakss 67217820, e-mail: laboratorija@latsert.lv			
Lapa 1 no 1			
TESTĒŠANAS PĀRSKATS Nr. 60196			
1. Klients, tā adrese	"LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE", Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001		
2. Klienta sniegtā informācija Pieteikumā produktu testēšanai Nr. L-4534			
Parauga nosaukums	4. Degviela RE + 50% D2 (2)		
Parauga lielums	1 litrs		
3. Parauga apraksts	Brūna stikla pudele ar etiķeti: Degviela RE + 50% D2 (2)		
4. Testēšanas laiki	Saņemts laboratorijā 02.03.2010.	Sākts testēt 04.03.2010.	Pabeigts 04.03.2010.
5. Testēšanas rezultāti un metodes			
Auksta filtra nosprostošanas punkts (CFPP)	-20.0grādi C	LVS EN 116+AC: 2002	
 D.Ēlerte Laboratorijas vadītāja 04.03.2010.			
<small>Testēšanas rezultāti attiecas tikai uz konkrētajiem testēšanas (objektiem) paraugiem. Bez testēšanas laboratorijas rakstiskas atļaujas nav atļauta testēšanas pārskata reproducēšana nepilnā apjomā.</small>			

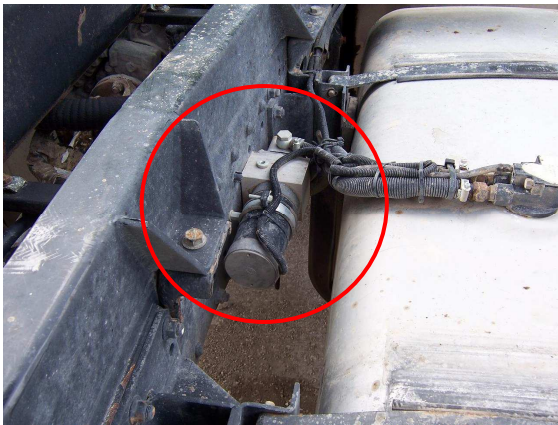
14. pielikums. Ar divu degvielas tvertņu sistēmu aprīkotā kravas automobiļa
MAN 19.464 degvielas padeves sistēmas galvenie mezgli



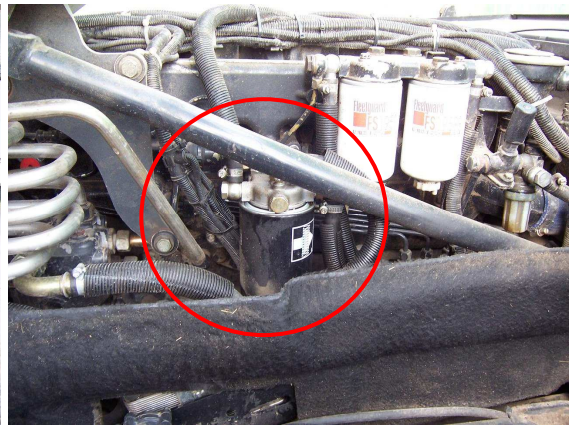
*Rapša eļļas un fosilās
dīzeļdegvielas tvertnes*



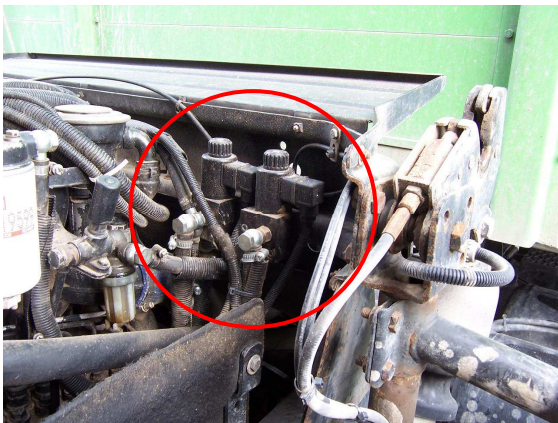
Siltummainis



*Papildus rapša eļļas
degvielas sūknis*



*Rapša eļļas degvielas
filtrs*



Elektromagnētiskie vārsti



*Izmantojamās degvielas uzraudzības
sistēmas displejs*

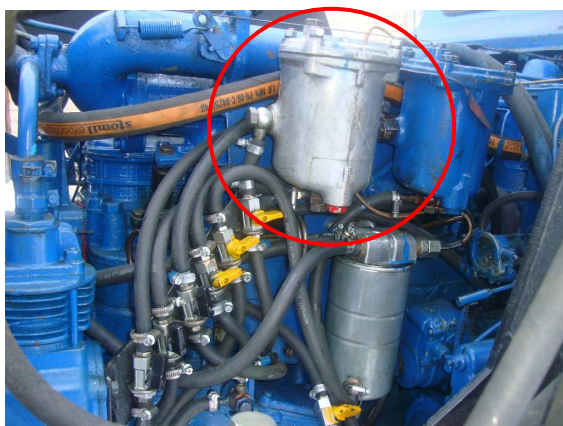
15. pielikums. Ar divu degvielas tvertņu sistēmu aprīkotā traktora *MTZ-80* degvielas padeves sistēmas galvenie mezgli



Rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas tvertnes



Siltinātie rapša eļļas cauruļvadi



Rapša eļļas smalkais degvielas filtrs



Rapša eļļas rupjais degvielas filtrs



Vārsti



Eļļas filtrs – siltummainis

16. pielikums. Jaudas stenda MAHA ZW-500 izdruku paraugs

LPS ZW 500 (V 1.04 GB)			LPS ZW 500 (V 1.04 GB)			LPS ZW 500 (V 1.04 GB)			LPS ZW 500 (V 1.04 GB)		
JELGAVA TF			JELGAVA TF			JELGAVA TF			JELGAVA TF		
11:48 Clock 19.01.2012			11:59 Clock 19.01.2012			12:08 Clock 19.01.2012			12:14 Clock 19.01.2012		
Vehicle Data			Vehicle Data			Vehicle Data			Vehicle Data		
Make MTZ 80			Make MTZ 80			Make MTZ 80			Make MTZ 80		
Operating hours 700			Operating hours 700			Operating hours 700			Operating hours 700		
Customer ILMARS			Customer ILMARS			Customer ILMARS			Customer ILMARS		
Result			Result			Result			Result		
n [U/min]	Md [Nm]	P [kW]	n [U/min]	Md [Nm]	P [kW]	n [U/min]	Md [Nm]	P [kW]	n [U/min]	Md [Nm]	P [kW]
449	650.7	30.5	450	659.1	31.0	451	660.2	31.1	453	650.4	30.8
474	655.6	32.5	474	661.7	32.8	478	665.4	33.3	475	652.7	32.4
502	658.5	34.6	503	667.5	35.1	500	673.2	35.2	500	659.2	34.5
527	666.6	36.7	527	674.8	37.2	527	682.3	37.6	525	666.7	36.6
552	672.5	38.8	549	681.7	39.1	550	689.8	39.7	550	677.1	38.9
574	674.1	40.5	577	686.0	41.4	575	694.1	41.7	577	684.2	41.3
600	671.9	42.2	600	682.0	42.8	600	688.8	43.2	600	681.6	42.8
624	661.4	43.2	624	674.1	44.0	624	683.1	44.6	624	673.2	43.9
649	651.6	44.2	652	664.0	45.3	652	671.0	45.8	649	665.3	45.2
674	639.9	45.1	674	654.3	46.1	673	659.9	46.5	673	655.5	46.1
699	627.6	45.9	701	642.8	47.1	702	648.6	47.6	701	645.0	47.3
726	612.9	46.5	727	629.3	47.9	727	636.3	48.4	726	630.4	47.9
748	600.2	47.0	749	614.3	48.1	749	622.7	48.8	748	615.7	48.2
776	582.9	47.3	774	601.0	48.7	776	606.3	49.2	776	599.8	48.7
801	571.7	47.9	802	585.0	49.1	801	592.4	49.6	802	582.6	49.3
825	564.5	48.7	826	575.6	49.7	826	575.0	49.7	826	573.6	49.6
852	539.6	48.1	848	551.7	48.9	850	554.5	49.3	851	552.5	49.2
876	520.5	47.7	875	534.8	49.0	875	531.9	48.7	875	533.6	48.8
900	503.0	47.4	900	517.1	48.7	901	514.5	48.5	900	513.9	48.4
926	499.6	48.4	926	509.9	49.4	925	510.5	49.4	923	511.1	49.3
948	495.5	49.1	950	501.2	49.8	948	505.4	50.1	950	502.9	50.5
976	482.5	49.3	975	485.2	49.5	976	481.3	49.1	976	477.8	48.8
997	257.2	26.8	997	241.6	23.2	997	221.0	23.0	997	227.5	23.7

17. pielikums. Modelēšanas piemērs traktora *Massey Ferguson 8480 T2* pielāgošanas ekonomiskajai novērtēšanai

Properties Console

Simulation - Simulation Experiment

General
 Name: Simulation Main active object class (root): Main Ignore

Advanced
 Random number generation:
 Random seed (unique experiments)
 Fixed seed (reproducible experiments) Seed Value: 1

Model Time

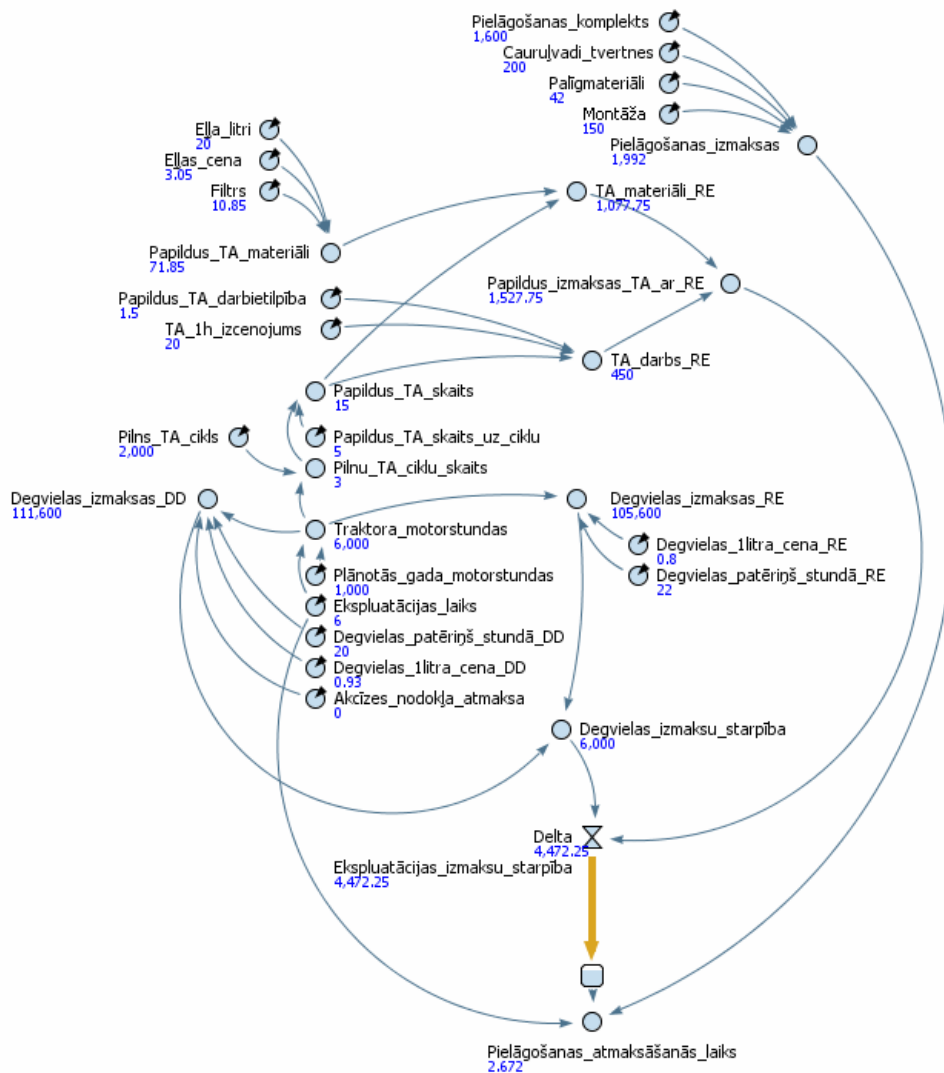
Presentation

Window

Parameters

Description

Pielāgošanas_komplekts	1600	Ekspluatācijas_laiks	6
Caurulvadi_tvertnes	200	Plānotās_gada_motorstundas	1000
Paligmateriāli	42	Papildus_TA_darbietipība	1.5
Montāža	150	Pilns_TA_cikls	2000
TA_1h_izcenojums	20	Papildus_TA_skaits_uz_ciklu	5
Degvielas_patēriņš_stundā_RE	22	Elļa_litri	20
Degvielas_1litra_cena_RE	0.80	Elļas_cena	3.05
Degvielas_patēriņš_stundā_DD	20	Filtrs	10.85
Degvielas_1litra_cena_DD	0.93	Akcīzes_nodokļa_atmaksa	0



18. pielikums. Modelēšanas piemērs traktora *MTZ-80* pielāgošanas ekonomiskajai novērtēšanai

Properties Console

Simulation - Simulation Experiment

General Name: Simulation Main active object class (root): Main Ignore

Advanced Random number generation:
 Random seed (unique experiments)
 Fixed seed (reproducible experiments) Seed Value: 1

Pielāgošanas_komplekts	0	Ekspluatācijas_laiks	6
Cauruļvadi_tvertnes	120	Plānotās_gada_motorstundas	1000
Paligmateriāli	35	Papildus_TA_darbietilpība	1.5
Montāža	50	Pilns_TA_cikls	1000
TA_1h_izcenojums	15	Papildus_TA_skaits_uz_ciklu	2
Degvielas_patēriņš_stundā_RE	11	Elļa_litri	15
Degvielas_1litra_cena_RE	0.80	Elļas_cena	3.05
Degvielas_patēriņš_stundā_DD	10	Filtrs	8.70
Degvielas_1litra_cena_DD	0.93	Akcizes_nodokļa_atmaksa	0

