



Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Tehniskā fakultāte
Spēkratu institūts

Latvia University of Agriculture
Faculty of Engineering
Motor Vehicle Institute

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

RAPŠA EĻĻAS DEGVIELAS IZMANTOŠANA DĪZELMOTOROS UN LOĢISTIKA

RAPESEED OIL FUEL APPLICATION IN DIESEL ENGINES AND LOGISTICS

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS

Dr.sc.ing. zinātniskā grāda iegūšanai

PROMOTION PAPER SUMMARY

for acquiring the scientific degree Dr.sc.ing.



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



Promocijas darba izstrāde līdzfinansēta
no Eiropas Savienības Sociālā fonda

_____ (I. Dukulis)

**Jelgava
2013**

Darbs izpildīts Latvijas Lauksaimniecības universitātes Tehniskās fakultātes Spēkratu institūtā.

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

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

Oficiālie recenzenti:

Dr.sc.ing. Dainis Viesturs – Latvijas Lauksaimniecības universitātes aģentūras „Lauksaimniecības tehnikas zinātniskais institūts” vadošais pētnieks.

Dr.habil.sc.ing. Juris Gunārs Pommers – Transporta un Sakaru institūta profesors.

Dr.sc.ing. Valentīns Biķernieks – Rīgas Tehniskās universitātes docents.

Promocijas darba aizstāvēšana notiks Latvijas Lauksaimniecības universitātes Lauksaimniecības nozares Inženierzinātņu apakšnozares promocijas padomes atklātā sēdē 2013. gada 19. aprīlī plkst. 10:00, Jelgavā, J. Čakstes bulv. 5, Tehniskajā fakultātē, 429. auditorijā.

Ar promocijas darbu, pielikumu un kopsavilkumu var iepazīties Latvijas Lauksaimniecības universitātes fundamentālajā bibliotēkā, Jelgavā, Lielā ielā 2.

Atsaukmes sūtīt promocijas padomes sekretāram, prof., Dr.sc.ing. Imantam Ziemelim, LLU, Tehniskā fakultāte, J. Čakstes bulv. 5, Jelgava, LV-3001.

Padomes priekšsēdētājs: prof., Dr.sc.ing. Juris Priekulis.

The research is carried out at the Latvia University of Agriculture, Institute of Motor Vehicle of the Faculty of Engineering.

The scientific advisor of the research: professor, Dr.sc.ing. Gints Birzietis.

Consultant: professor, Dr.sc.ing. Gunārs Vērdiņš.

The official reviewers:

Dr.sc.ing. Dainis Viesturs – Leading researcher of the Agency of Latvia University of Agriculture „Research Institute of Agriculture Machinery”.

Dr.habil.sc.ing. Juris Gunārs Pommers – Professor of the Transport and Telecommunication Institute.

Dr.sc.ing. Valentīns Biķernieks – Associate Professor of the Riga Technical University.

The promotion paper will be defended in an open meeting of the Promotion Council of the sub-branch of Engineering Sciences of the branch of Agriculture, at the Latvia University of Agriculture on 19th April, 2013 at 10 a.m. Venue – Jelgava, 5 J. Čakstes Blvd., Faculty of Engineering, room 429.

The promotion paper, the annex and summary are available at the Fundamental library of the Latvia University of Agriculture located at 2 Lielā street, Jelgava.

References should be sent to the secretary of the Promotion Council, professor, Dr.sc.ing. Imants Ziemelis. Address – Faculty of Engineering, Latvia University of Agriculture, 5 J. Čakstes Blvd., Jelgava, LV-3001.

Head of the Council: professor, Dr.sc.ing. Juris Priekulis.

SATURS

Darba aktualitāte.....	4
Pētījumu objekts, hipotēze, mērķis un uzdevumi.....	5
Pētījumu metodes.....	6
Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes.....	6
Promocijas darba aprobācija.....	6
Darba zinātniskā novitāte un praktiskās izmantošanas iespējas.....	10
1. Teorētiskie pētījumi.....	11
1.1. Degvielas sastāva noteikšana spēkratu ekspluatācijai pie dažādām apkārtējās vides temperatūrām.....	12
1.2. Dīzeļmotora termodinamiskais aprēķins.....	16
1.3. Dīzeļmotora jaudas un griezes momenta raksturlīkņu konstruēšana.....	18
2. Eksperimentālie pētījumi.....	21
2.1. Speciālās eksperimentu metodikas izstrāde.....	22
2.2. Rapša eļļas degvielas izmantošanas pētījumi, izmantojot vienas tvertnes sistēmu.....	23
2.3. Rapša eļļas degvielas izmantošanas pētījumi ziemā.....	27
2.4. Ar divu tvertņu sistēmu aprīkotu spēkratu atgāzu sastāva pētījumi.....	29
2.5. Nepielāgotu spēkratu pētījumi, tos darbinot ar rapša eļļu.....	29
3. Rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomiskais novērtējums.....	30
Secinājumi.....	36
Kopsavilkuma norādēs izmantotie informācijas avoti.....	72

TABLE OF CONTENTS

Topicality of the research.....	38
The object, hypothesis, aim and tasks of the research.....	39
Research methods.....	40
Theses for defence.....	40
Approbation of the research.....	40
Scientific novelty and practical application of the research.....	44
1. Theoretical research.....	45
1.1. The fuel content determination for motor vehicle operation at different ambient temperatures.....	46
1.2. Diesel engine operation thermodynamic calculation.....	50
1.3. Constructing of diesel engine effective power and torque curves.....	52
2. Experimental research.....	55
2.1. Development of automobile testing methodology.....	56
2.2. Investigation of rapeseed oil fuel application using a one fuel tank system.....	57
2.3. Investigation of rapeseed oil fuel application in winter.....	61
2.4. Investigation of exhaust emission content using rapeseed oil fuel and a two fuel tank system.....	63
2.5. Investigation of the rapeseed oil fuel use in the vehicle without adaptation.....	63
3. Economic evaluation of the use of rapeseed oil fuel.....	64
Conclusions.....	70
References used in summary.....	72

DARBA AKTUALITĀTE

Statistikas datu analīze liecina, ka ES un Latvijas biodegvielu ražošanas un izmantošanas pieauguma tempi transporta sektorā ir neapmierinoši. Tāpēc pētījumi biodegvielu ieviešanas veicināšanai mūsu valstī ir aktuāli.

Pasaulē tiek izstrādāti un attīstās jauni – otrās, trešās un ceturtās 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 (Aatola et al., 2008; Carere et al., 2008; Scragg, 2009; Gong et al., 2010; Sims et al., 2010; Šimáček et al., 2010; Third and Fourth Generation ..., 2010; Arvidsson et al., 2011; Carriquiry et al., 2011; Demirbas A, 2011; Demirbas M.F., 2011; Lapuerta et al., 2011; Nigam and Singh, 2011; Singh et al., 2011). Turklāt vairums Eiropas un ASV zinātnieku uzskata, ka apgalvojumam, ka pārtikas preču 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).

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. Rapša eļļas degvielai enerģijas patēriņa un CO₂ bilances ir izteikti pozitīvas pat tādos gadījumos, ja netiek izmantoti eļļas audzēšanas un izspiešanas blakusprodukti (Bugge, 2000; Wakker et al., 2005; Ajanovic and Haas, 2010; Jessup, 2011).

Par augu eļļas izmantošanas aktualitāti turpmākajos gados liecina arī fakts, ka zinātnieki visos kontinentos joprojām pēta dažāda veida augu eļļas kā dīzeļdegvielas aizvietošanu. 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).

Publikācijās sniegtie rezultāti par jaudas, degvielas patēriņa un atgāzu sastāva izmaiņām, izmantojot rapša eļļas degvielu (tīrā veidā un maisījumos), ir ļoti atšķirīgi (Altin et al., 2001; Labeckas and Slavinskas, 2006, 2009a; Thuneke, 2006; Wang et al., 2006; Chiaramonti and Prussi, 2009; Hazar and Aydin, 2010; Baquero et al., 2011a). 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 (Sidibe et al., 2010).

Vairums no pētījumiem rapša eļļas degvielas izmantošanā veikti, testējot motorus uz stenda (Nwafor, 2004; Bao and He, 2006; Кулманаков и Семенов, 2007; Labeckas and Slavinskas, 2006, 2009a, 2009b; Soltic et al., 2009; Hazar and Aydin, 2010; Paulsen et al., 2011), bet reti – visu automobili vai traktoru kopumā (Chiaramonti and Prussi, 2009; Kleinová et al., 2011; Thuneke, 2006).

Augu eļļas degvielas lietošanai Latvijā līdz šim izmantota tikai divu degvielas tvertņu sistēma. Šī sistēma nav ērta izmantošanai vieglajā transportā, taču Latvijā līdz šim vienas degvielas tvertnes sistēmas pētījumi nav veikti.

Parasti izmēģinājumi ir īslaicīgi, bet atsevišķos pētījumos norādīts, ka ilgstoša tīras rapša eļļas izmantošana var radīt motora darbības un ilgzturības problēmas (Babu and Devaradjane, 2003). Tāpēc 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 (Jones et al., 2001; Sidibe et al., 2010).

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 pētījumus, konkretizējot degvielas apgādes shēmas, precizējot ražošanas tehnoloģijas un apjomus (Thuijl et al., 2003; Baquero et al., 2010, 2011b; Fore et al., 2011).

PĒTĪJUMU OBJEKTS, HIPOTĒZE, 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 traktoru), izmantojot vienas un divu degvielas tvertņu sistēmas;
- izveidot modeli rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas izmaksu noteikšanai un veikt sistēmas modeļpētījumus rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomiskās efektivitātes novērtēšanai.

PĒTĪJUMU METODES

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

AIZSTĀVĒŠANAI IZVIRZĪTĀS TĒZES

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

PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA

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 Bio-fuel 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.

Uztāšanās 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.

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”.

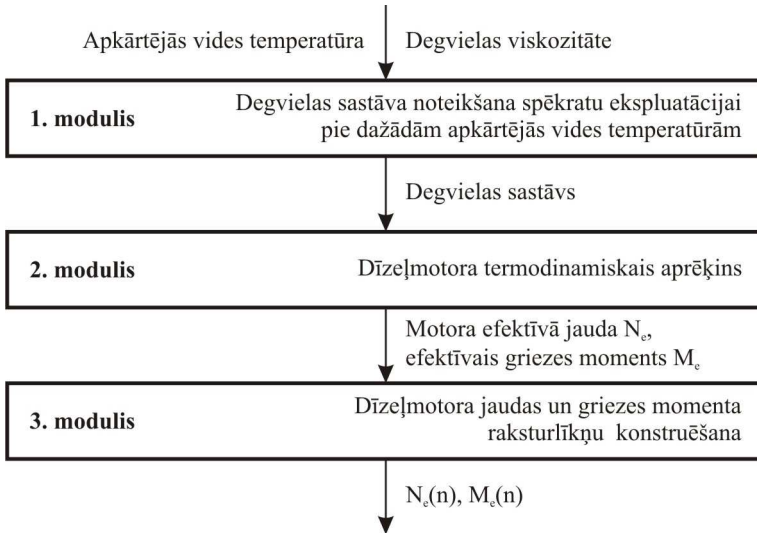
DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE UN PRAKTISKĀS IZMANTOŠANAS IESPĒJAS

1. Izveidots oriģināls matemātiskais modelis, kas piemērots ar dīzeļmotoriem darbināmu spēkratu galveno ekspluatācijas parametru noteikšanai, izmantojot rapša eļļu un tās maisījumdegvielas ar fosilo dīzeļdegvielu.
2. Izstrādāta pētījumu metodika, kas ļauj pārbaudīt dažādas alternatīvas rapša eļļas degvielas izmantošanā – spēkratu pielāgošanu ar vienas degvielas tvertnes sistēmu, pielāgošanu ar divu degvielas tvertņu sistēmu un rapša eļļas lietošanu bez spēkratu pielāgošanas.
3. Izstrādāta eksperimentu metodika automobiļu testēšanai uz jaudas stenda. Metodikas ietvaros izstrādāta un aprobēta braukšanas cikla izveides procedūra.
4. Noteiktas ar rapša eļļu darbināmu spēkratu degvielas patēriņa, jaudas, griezes momenta un atgāzu komponentu izmaiņas, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu un biodīzeļdegvielu.
5. Teorētiski un eksperimentāli noskaidrota kritiskā temperatūra spēkratu ekspluatācijai ar tīru rapša eļļas degvielu, kā arī noteiktas rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījumu proporcijas, darbinot spēkratus pie apkārtējās vides temperatūrām, kas zemākas par kritisko.
6. Eksperimentos pierādīts, ka spēkratu pielāgošana darbināšanai ar rapša eļļu, ir būtiski nepieciešama drošai ekspluatācijai. Konstatēts, ka, aprīkojot motoru ar speciālām sprauslām un mainot iesmidzināšanas momentu (iesmidzinot degvielu cilindros ātrāk), salīdzinot ar ražotāja ieteikto, var nodrošināt līdzvērtīgu griezes momentu un jaudu, kā darbinot to ar fosilo dīzeļdegvielu.
7. Izveidoti matemātiskie modeļi, kas ļauj novērtēt automobiļu un traktoru ekspluatācijas izmaksas, darbinot spēkratus ar rapša eļļas degvielu, un noteikt pielāgošanas atmaksāšanās laiku, kā arī aprēķināt rapša eļļas iegūšanas pašizmaksu.

1. TEORĒTISKIE PĒTĪJUMI

Teorētisko pētījumu mērķis ir izstrādāt matemātisko modeli ar rapša eļļu un tās maisījumdegvielām 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.

Analizējot modelēšanas rīkus, spēkratu ekspluatācijas parametru modelēšanai izvēlēta programma *ExtendSim Suite*. Izveidotais modelis sastāv no trīs nosacītām daļām jeb moduļiem (sk. 1.1. att.).



1.1. att. **Modeļa blokskāme**

Pirmajā modulī nosaka, vai atkarībā no apkārtējās vides temperatūras spēkratus var ekspluatēt ar tīru rapša eļļu, vai arī jāveido tās maisījumi ar fosilo dīzeļdegvielu. Būtiskākais rapša eļļas degvielas izmantošanu limitējošais faktors pie zemām temperatūrām ir degvielas viskozitāte.

Otrajā modulī ieejas parametrs ir degvielas sastāvs un īpašības. Dīzeļmotora termodinamiskais aprēķins balstīts uz metodiku, kas aprobēta vairākos promocijas darbos (Zihmane-Rītiņa, 2008; Šmigins, 2010), papildus izveidojot analītiskas sakarības atliku gāzu molārās siltumietilpības noteikšanai, kas nodrošina nepārtrauktu modelēšanas procesu.

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

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

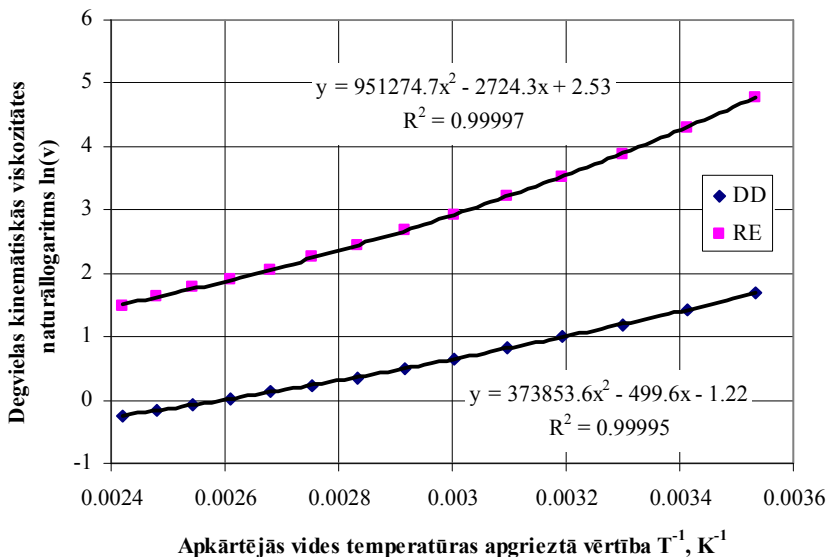
Lai nodrošinātu degvielas sūkņu darbību un degvielas plūsmu barošanas sistēmā, degvielas kinemātiskā viskozitāte nedrīkst pārsniegt 500 – 1000 mm² s⁻¹ (Fuel Oils – Viscosities, S.a.). Modelī kā kritiskā pieņemta šī intervāla zemākā vērtība, lai būtu neliela drošības rezerve spēkratu ekspluatācijai ziemā.

Lai noteiktu degvielas kinemātisko viskozitāti atkarībā no apkārtējās vides temperatūras, izmantota sakarība (Azian et al., 2001):

$$\ln(v) = A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2}, \quad (1.1)$$

kur v – degvielas kinemātiskā viskozitāte, mm² s⁻¹;
 T – apkārtējās vides temperatūra, K;
 A, B un C – koeficienti, kas atkarīgi no izmantojamās degvielas.

Koeficientu noteikšanai izmantoti Spānijā veiktie eksperimentālie pētījumi, kuros testēta fosilā dīzeļdegviela, rapša, saulespuķu, sojas pupiņu, palmu u.c. eļļas (Esteban et al., 2012). Koeficienti fosilajai dīzeļdegvielai (DD) un rapša eļļai (RE) iegūti, izmantojot regresijas analīzi (sk. 1.2. att.).



1.2. att. Degvielas kinemātiskās viskozitātes aprēķināšanai nepieciešamo koeficientu noteikšana

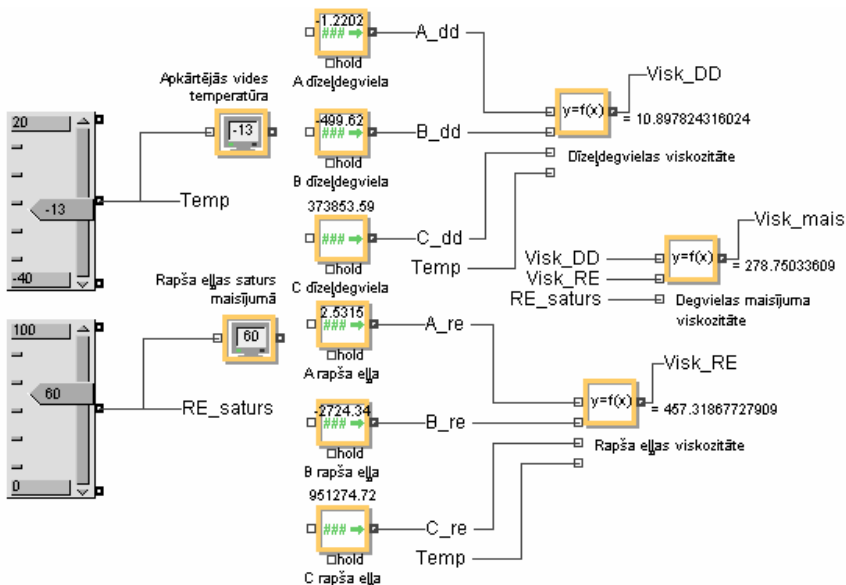
Pēc iegūtās sakarības aprēķinātās vērtības salīdzinātas arī ar citiem pētījumiem, piemēram, Vācijā noteikto rapša eļļas kinemātisko viskozitāti temperatūru diapazonā 260...325 K (-13...+52 °C) (Kerschbaum and Rinke,

2004). Šī pētījuma kinemātiskās viskozitātes eksperimentālās vērtības atbilst ar analītiskajām metodēm iegūtajām, tāpēc modelī ievadītas sakarības:

$$v_i = e^{A_i + \frac{B_i}{(t+273)} + \frac{C_i}{(t+273)^2}}, \quad (1.2)$$

kur v_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.

Mainoties degvielas saturam, tiek aprēķināta degvielu maisījuma vidējā svērtā kinemātiskā viskozitāte. Degvielas kinemātiskās viskozitātes noteikšanas modeļa bloki parādīti 1.3. attēlā.



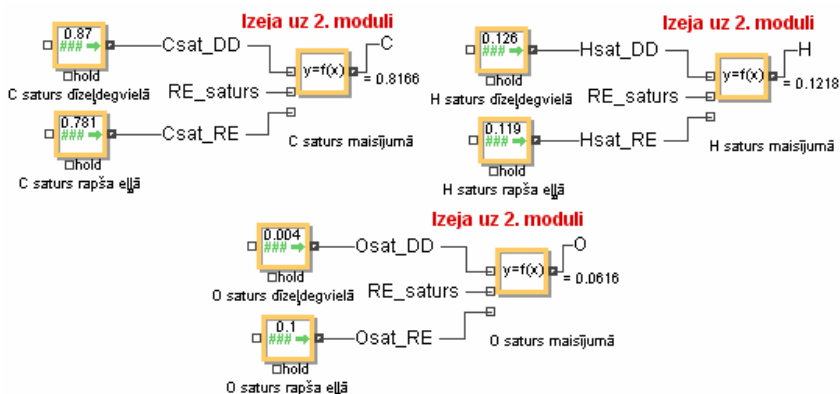
1.3. att. Degvielas kinemātiskās viskozitātes aprēķināšanas bloki

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

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad H = \frac{\sum_{i=1}^n H_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad O = \frac{\sum_{i=1}^n O_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (1.3)$$

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.

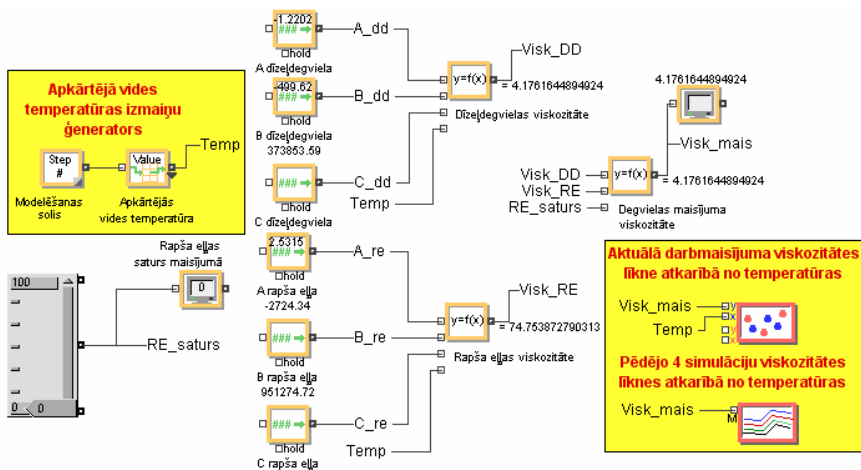
Aprēķinātās C , H un O vērtības tiek izvadītas uz modeļa otro moduli „Dīzeļmotora termodinamiskais aprēķins” (sk. 1.4. att.).



1.4. att. Degvielu maisījuma sastāva noteikšanas bloki

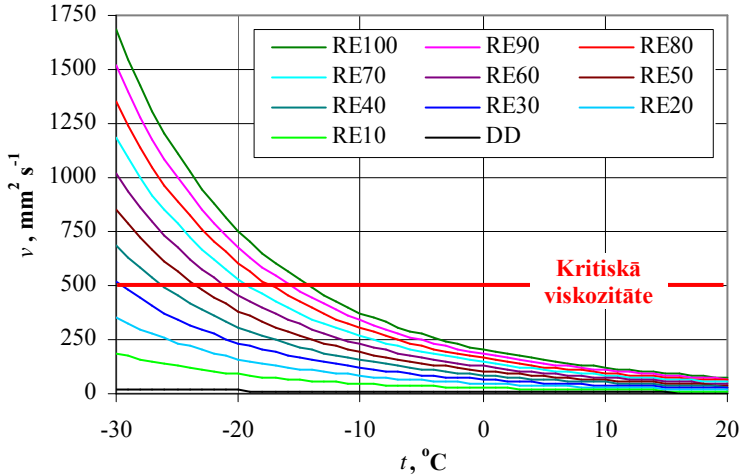
Pirmajā modelpētījumu solī noteikts maksimāli pieļaujamais rapša eļļas procentuālais saturs darbmaisījumā pie dažādām apkārtējās vides temperatūrām ar noteikumu, lai degvielas kinemātiskā viskozitāte nepārsniegtu $500 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$.

Lai atvieglotu simulāciju, modeļa pirmajā modulī veikta vairākas izmaiņas (sk. 1.5. att.): bīdnis apkārtējās vides temperatūras maiņai (sk. 1.3. att.) aizstāts ar skaitļu ģeneratoru, kas temperatūru maina robežās no $-30...+20^\circ\text{C}$ ar soli 1°C ; pievienots bloks aktuālā darbmaisījuma viskozitātes līknes konstruēšanai atkarībā no apkārtējās vides temperatūras; pievienots *MultiSim Plotter* bloks, kas dod iespēju grafiski aplūkot pēdējo četru simulāciju viskozitātes līknes.



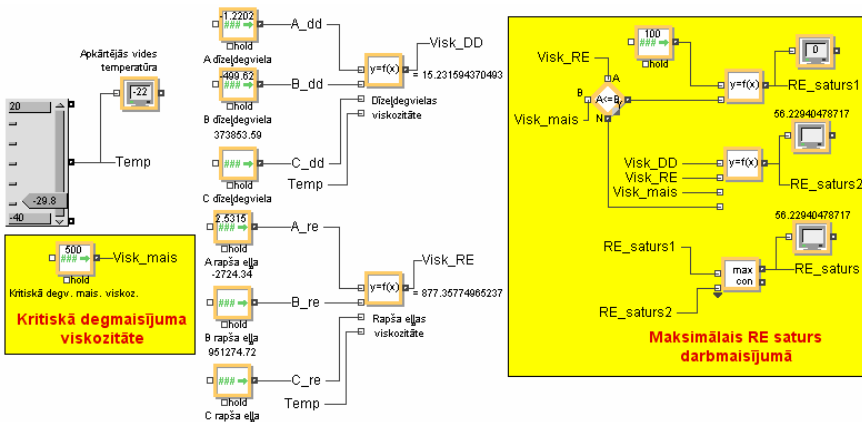
1.5. att. Modeļa pielāgošana maksimāli pieļaujamā rapša eļļas procentuālā satura noteikšanai darbmaisījumā

Simulāciju rezultātu apkopojums parādīts 1.6. attēlā.



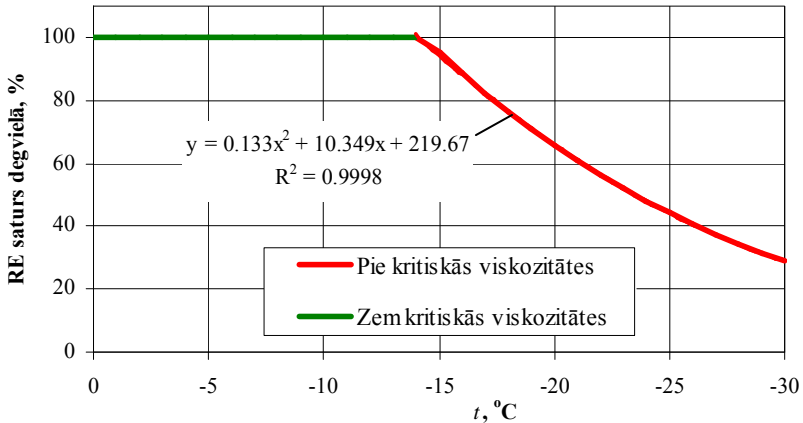
1.6. att. Darbmaisījuma viskozitāte atkarībā no apkārtējās vides temperatūras

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 mazāku par 30% vai dīzeļdegvielu. Lai iegūtu analītisku sakarību, modeļa pirmajā modulī vēlreiz veiktas izmaiņas: bīdnis RE saturs maiņai degmaisījumā (sk. 1.3. att.) aizstāts ar kritisko degmaisījuma viskozitāti, bet RE maksimālā saturs noteikšanai pievienots loģiskā operatora bloks (sk. 1.7. att.).



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

Simulāciju rezultātu apkopojums parādīts 1.8. attēlā.



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

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

1.2. 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). Vairākos no tiem atliku gāzu molārās siltumietilpības noteikšana atkarībā no temperatūras un gaisa pāruma koeficienta pamatojas uz interpolācijas metodes izmantošanu pēc empīrisku datu nolāsīšanas no tabulas. Tas nenodrošina nepārtrauktu modelēšanas procesu, jo noteiktos modeļa soļos vairāki parametri jāievada manuāli. Tāpēc minēto parametru iegūšanai veidojamajā modelī izveidotas analītiskas sakarības.

Konstruējot atliku gāzu temperatūras un molārās siltumietilpības korelācijas diagrammas pie dažādiem pāruma koeficientiem, noteikti šīs sakarības raksturojošie regresijas vienādojumi un determinācijas koeficienti.

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.

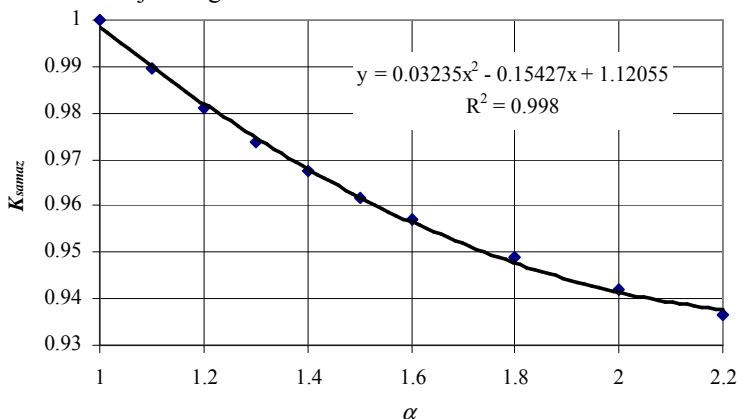
Tāpēc veikta vēl viena regresijas analīze ar mērķi noskaidrot, vai pastāv sakarība atliku gāzu molārās siltumietilpības samazinājumam, palielinoties gaisa pāruma koeficientam.

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

$$K_{samaz} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{Q_1}}{n}, \quad (1.4)$$

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 1.9. attēlā.



1.9. 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:

$$Q_{mol-t} = (A \cdot t^2 + B \cdot t + C) \cdot (D \cdot \alpha^2 + E \cdot \alpha + F), \quad (1.5)$$

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.

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. Sakarība (1.5) modelī izmantota arī siltuma bilances vienādojumā, lai aprēķinātu sadedzes produktu beigu temperatūru.

Izejas parametri no dīzeļmotora termodinamiskā aprēķina moduļa ir motora maksimālā efektīvā jauda $N_{e\max}$ (kW) pie motora kloķvārpstas rotācijas frekvences n_{\max} (min^{-1}), kad pēc spēkratu ražotāja datiem tiek sasniegta maksimālā jauda, degvielas patēriņš stundā G_T (kg h^{-1}) un griezes moments M_e (N m) pie motora kloķvārpstas rotācijas frekvences n_{\max} .

1.3. Dīzeļmotora jaudas un griezes momenta raksturliķņu 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):

$$N_e = N_{e\max} \cdot \left[X \cdot \frac{n_e}{n_{\max}} + Y \cdot \left(\frac{n_e}{n_{\max}} \right)^2 - Z \cdot \left(\frac{n_e}{n_{\max}} \right)^3 \right], \quad (1.6)$$

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.

Analītiska koeficientu aprēķināšana ir ļoti sarežģīta, jo jāatrisina divu vienādojumu sistēma, kurā ir trīs 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.

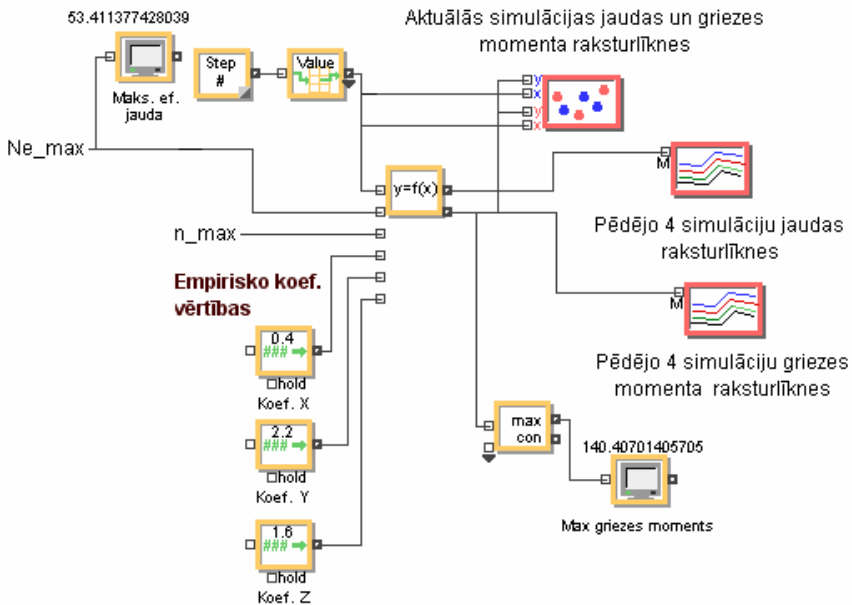
Ņemot vērā, ka eksperimentālajos pētījumos darbināšanai ar augu eļļu paredzēts pielāgot automobili ar netiešo iesmidzināšanu un turbopūti, tad analīzei izvēlēti spēkrati ar līdzīgiem parametriem, bet dažādiem darba tilpumiem – *Opel Astra-G 1.7TD*, *Mitsubishi Space Wagon 2.0D Turbo*, *BMW 525 TD*, *Mercedes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

Analīzes rezultātā iegūti dīzeļmotoru jaudas raksturliķņu empīriskie koeficienti: $X = 0.4$, $Y = 2.2$ un $Z = 1.6$, kas ievadīti atbilstošajos modeļa blokos.

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

$$M_e = 9549 \cdot \frac{N_e}{n} \quad (1.7)$$

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 (1.7) iegūtos rezultātus visā motora kloķvārpstas rotācijas frekvenču diapazonā. Jaudas un griezes momenta raksturliķņu konstruēšanas bloki parādīti 1.10. attēlā.

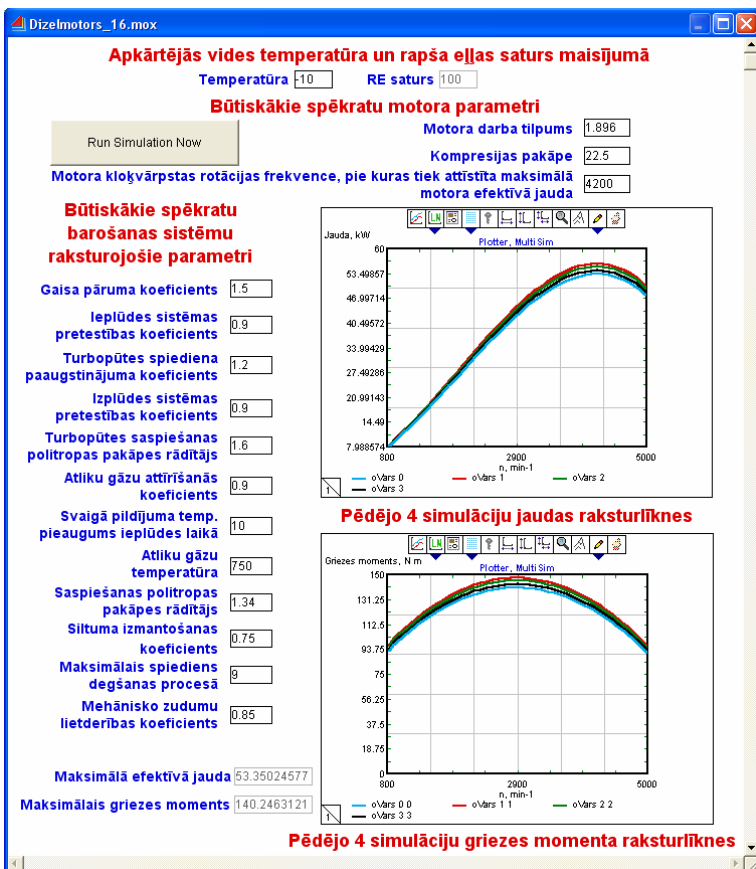


1.10. att. Jaudas un griezes momenta raksturliķņu konstruēšanas bloki

Modelpētījumos jauda un griezes moments noteikti spēkratiem, kuriem analogiski mērījumi veikti eksperimentālajos pētījumos, t.i., automobīlim *VW Golf III 1.9TD* un traktoram *MTZ-80*.

Laī atvieglotu mainīgo parametru ievadi un simulācijas rezultātu aplūkošanu, izveidots atsevišķs panelis jeb logs, kurā „klonēti” būtiskākie modeļa elementi. 1.11. attēlā parādīts tā piemērs automobiļa *VW Golf III 1.9TD* motora modelēšanā.

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 .



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

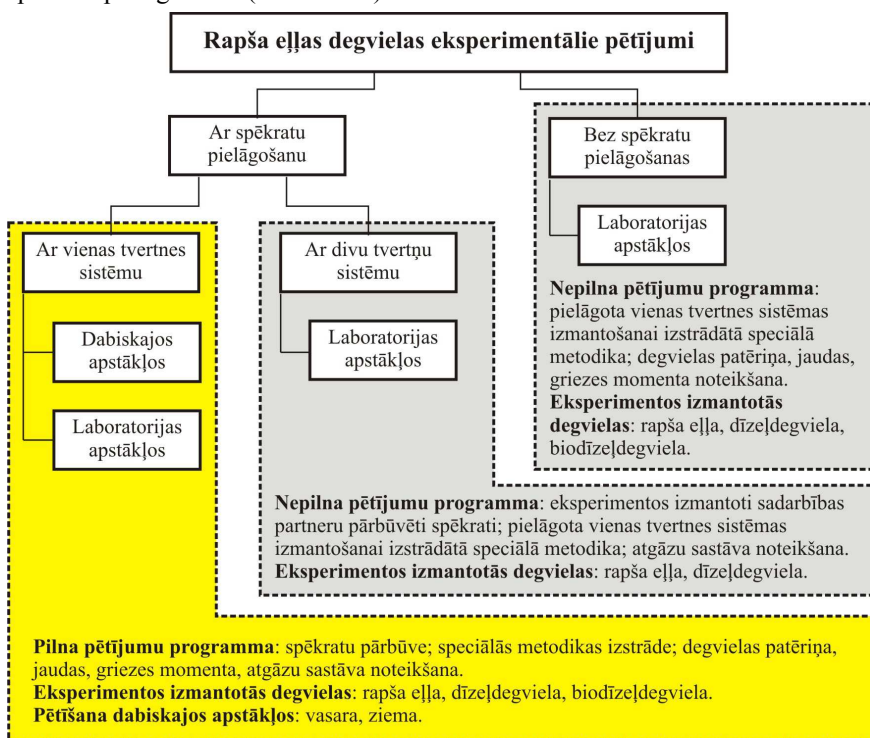
Traktora *MTZ-80* motors maksimālo jaudu sasniedz pie 2200 min^{-1} . Ja izmanto dīzeļdegvielu, tad tā ir 55.59 kW , rapša eļļu – 52.62 kW . Maksimālā jaudas starpība – 5.35% . Maksimālais griezes moments tiek attīstīts pie 1500 min^{-1} : ar dīzeļdegvielu – 279 N m , ar rapša eļļu – 264 N m .

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% .

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 parametru salīdzināšanai, lietojot dažādas degvielas.

2. EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI

Eksperimentālo pētījumu mērķis ir noteikt ar rapša eļļu darbināmu spēkratu galvenos ekspluatācijas parametrus. Lai to veiktu, vispirms izstrādāta pētījumu vispārīgā metodika, kura aptver dažādas alternatīvas rapša eļļas degvielas izmantošanā – spēkratu pielāgošanu ar vienas degvielas tvertnes sistēmu, pielāgošanu ar divu degvielas tvertņu sistēmu un rapša eļļas lietošanu bez spēkratu pielāgošanas (sk. 2.1. att.).



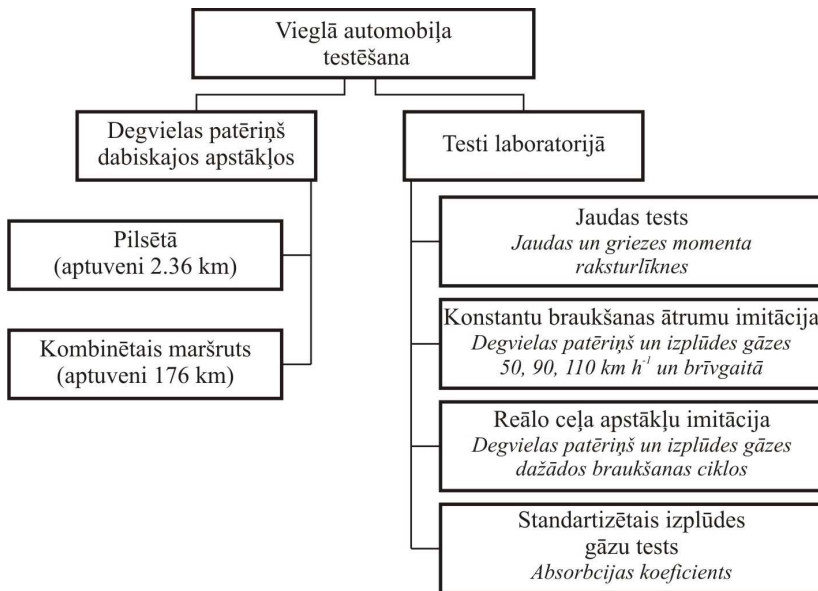
2.1. att. Eksperimentālo pētījumu blokhēma

Izmantojot firmas *ELSBETT* pārbūves komplektu, pirmo reizi Latvijā veikta spēkratu pielāgošana darbināšanai ar rapša eļļu un vienas tvertnes sistēmu. Būtiskākās pārbūves komplekta sastāvdaļas ir pašattīrošās eļļas sprauslas, kuru darba spiediens, salīdzinot ar automobiļa oriģinālajām sprauslām, ir palielināts par aptuveni 3.5%, bet izsmidzināšanas leņķis ir par 13° mazāks.

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. Ekspluatācijas laikā automobiļa bojājumi vai atteikumi nav konstatēti. Automobiļa *VW Golf III 1.9TD* pielāgošana izmaksā 500 LVL un to viens cilvēks var veikt aptuveni 10 stundās.

2.1. Speciālās eksperimentu metodikas izstrāde

Izstrādāta speciālā eksperimentu metodika automobiļu testēšanai uz jaudas stenda. Tā izmantota ne tikai šajā darbā, bet aprobēta vairākos citos dažādu spēkratu ekspluatācijas parametru pētījumos. Testēšanas vispārīgā struktūrshēma parādīta 2.2. attēlā..



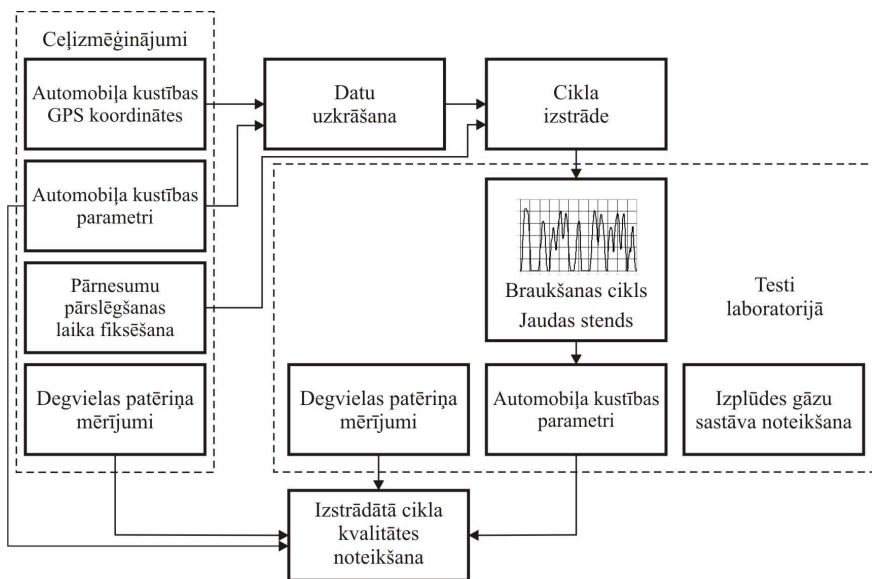
2.2. att. **Automobiļa testēšanas struktūrshēma**

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.

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*.

Speciālās eksperimentu metodikas ietvaros izstrādāta braukšanas cikla izveides procedūra (sk. 2.3. att.), 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.



2.3. att. Braukšanas cikla izstrādes procedūra

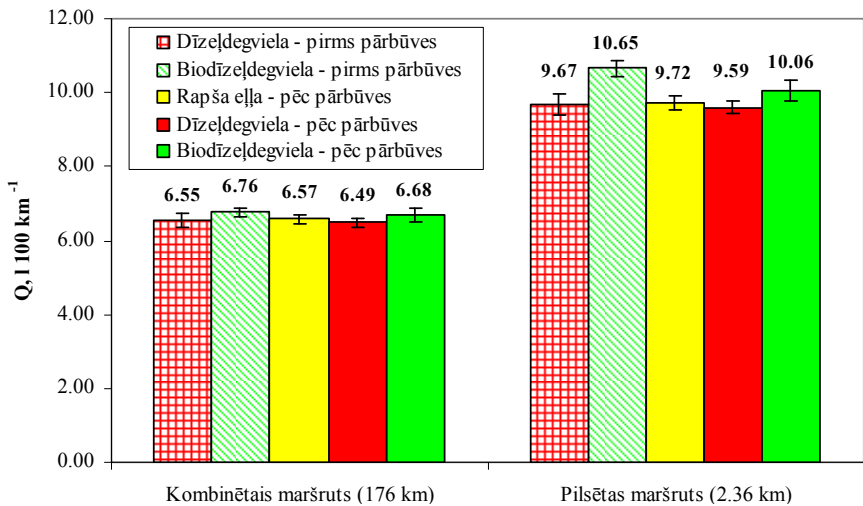
Eksperimentālie pētījumi veikti Jelgavā un tās apkārtnē, tāpēc, lai nodrošinātu laboratorijas un ceļizmēģinājumu mērījumu rezultātu salīdzināmību, tieši šai pilsētai izstrādāta reālās braukšanas imitācija jeb modelis, kas nosaukts par „Jelgavas ciklu” (Dukulis and Pirs, 2009).

Korelācija starp modeļa un reālo braucieni ātrumu līknēm ir aptuveni 97%. Nosakot modeļa kvalitāti, konstatēts, ka nobrauktā attāluma atšķirība pilsētā un uz stenda nepārsniedz 1.3%, vidējā ātruma atšķirība – 0.5%, degvielas patēriņa atšķirība uz 100 km – 0.9%.

2.2. 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.

Saskaņā ar izstrādāto metodiku, Jelgavas pilsētas centra 2.36 km maršrutā veikti 15 atkārtojumi 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 atkārtojumi. Degvielas patēriņa salīdzinājums šajos izmēģinājumos parādīts 2.4. attēlā.



2.4. att. Degvielas patēriņa salīdzinājums ceļizmēģinājumos

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

$$Q_{(l/100km^{-1})} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{100 \cdot t}{3600 \cdot s} \cdot \sum_{i=1}^t Q_{(l \cdot h^{-1}, mom)} \right), \quad (2.1)$$

kur n – atkārtojumu skaits;

s – atkārtojuma laikā nobrauktais attālums, km;

t – viena atkārtojuma laiks, s;

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

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.

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.

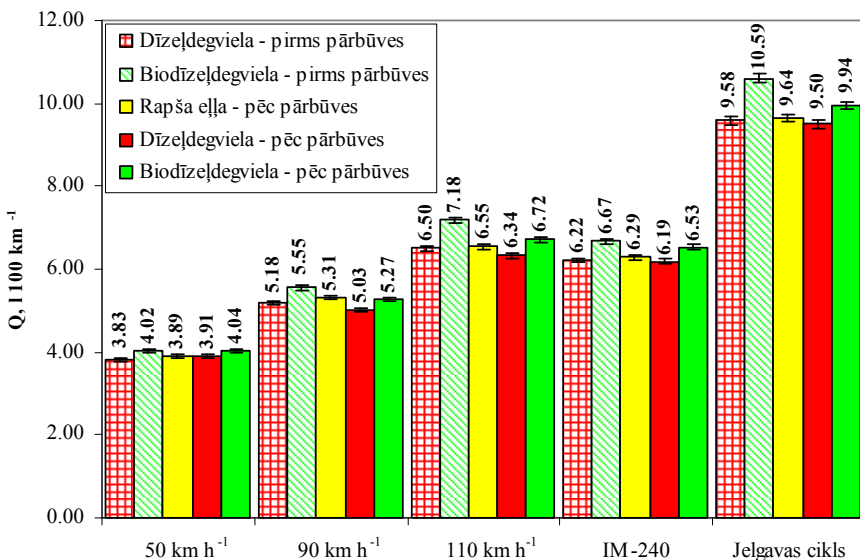
Vidējais degvielas patēriņš Q laboratorijas testos, braucot ciklus, noteikts tāpat kā ceļizmēģinājumos, t.i., pēc sakarības (2.1).

Vidējais degvielas patēriņš ($l/100km^{-1}$) konstanta ātruma režīmā noteikts pēc sakarības:

$$Q_{(l/100km^{-1})} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{100}{v \cdot t} \cdot \sum_{i=1}^t Q_{(l \cdot h^{-1}, mom)} \right)_i, \quad (2.2)$$

kur v – kustības ātrums, $km \ h^{-1}$.

Degvielas patēriņa salīdzinājums šajos izmēģinājumos parādīts 2.5. attēlā.



2.5. att. Degvielas patēriņa salīdzinājums laboratorijas testos

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.

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%.

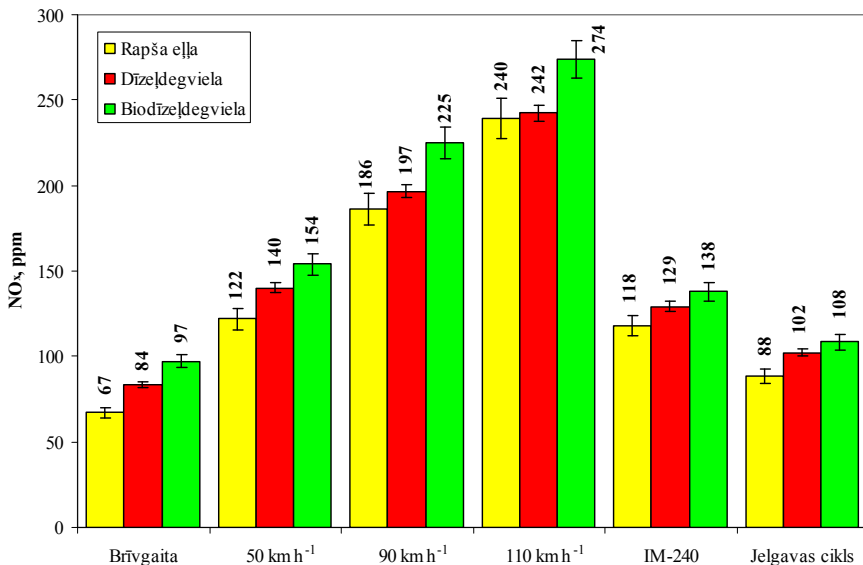
Pēc pārbūves paralēli degvielas patēriņa mērījumiem tika veikta atgāzu sastāva analīze, izmantojot *AVL SESAM FTIR* iekārtu.

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

$$Q_{(ppm \text{ vai } \%)} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^t Q_{(ppm \text{ vai } \%, mom)} \right)_i, \quad (2.3)$$

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

Kā piemērs 2.6. attēlā parādīts vidējais NO_x daudzums atgāzēs brīvgaitā, pie konstantiem braukšanas ātrumiem un ciklu veikšanas laikā.



2.6. att. NO_x saturs atgāzēs pēc automobiļa pārbūves

Lietojot rapša eļļas degvielu, NO_x samazinājums, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu, vidēji bija 10.3%, bet, salīdzinot ar biodīzeļdegvielu – 19.1%. SO_2 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 , CO_2 un mehānisko daļiņu daudzums atgāzēs, izmantojot rapša eļļas degvielu, salīdzinot ar abiem pārējiem degvielu veidiem, bija vislielākais. CO_2 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.

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°.

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 nesadedušo oglekļa dioksīdu (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.

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 automobīlim tehniskajos noteikumos noteiktā iesmidzināšanas momenta.

Veicot atgāzu mērījumus ar iekārtu *OPUS 40*, konstatēts, ka absorbcijas koeficienta prasības konkrētā gada izlaiduma automobīlim, lai sekmīgi izietu tehnisko apskati (3%), ir izpildītas ar visiem degvielu veidiem gan pirms, gan pēc pārūves. Vislabākie rezultāti absorbcijas koeficienta testā ir biodīzeļdegvielai, tad seko rapša eļļa un, visbeidzot, fosilā dīzeļdegviela.

2.3. Rapša eļļas degvielas izmantošanas pētījumi ziemā

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.

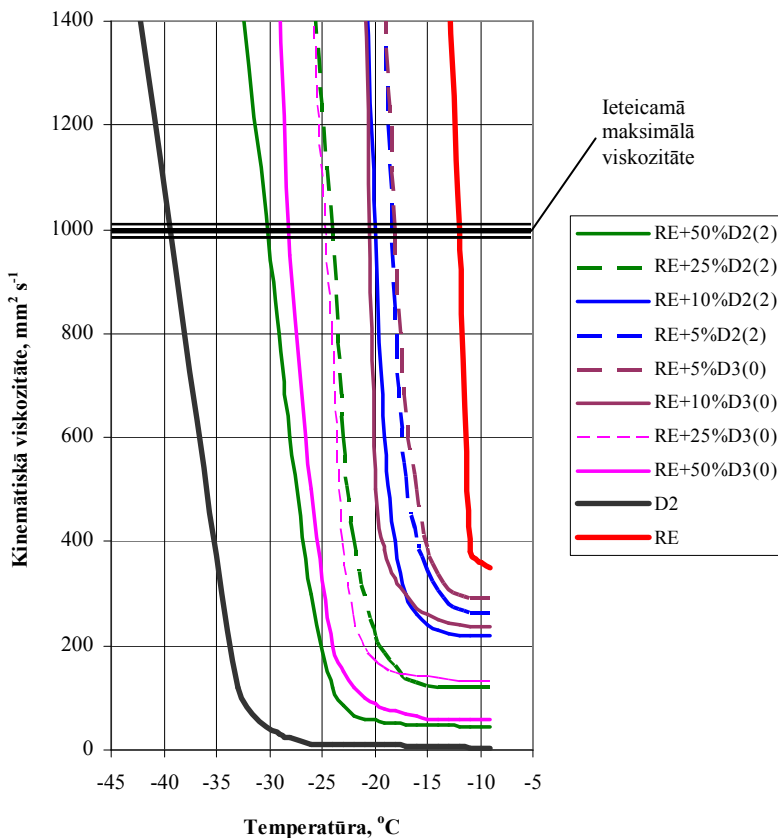
Eksperimentāli noteikts, ka kritiskā temperatūra automobiļa ekspluatācijai ar tīru rapša eļļas degvielu ir -13±2 °C. Šie rezultāti apstiprināja arī 2009. – 2011. gadā veiktos novērojumus un teorētisko pētījumu rezultātus.

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, kurā izveidoti 5, 10, 25, 50% rapša eļļas un arktiskās dīzeļdegvielas maisījumi, izmantojot 0. un 2. arktiskās klases dīzeļdegvielas, un noteikta maisījumu viskozitāte pie dažādām temperatūrām, kā arī sastingšanas un CFPP temperatūras.

Mērījumu rezultātā izveidota diagramma, ar kuras palīdzību var noteikt, kāds maisījums jāizmanto atkarībā no gaisa temperatūras (sk. 2.7. att.).



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

Eksperimentāli noteikts, ka „vienas tvertnes sistēmā” vēlams izmantot rapša eļļu, kuras kinemātiskā viskozitāte nepārsniedz $1000 \text{ mm}^2 \text{s}^{-1}$, jo pie šādas viskozitātes rapša eļļa brīvi tek pa 8 mm degvielas vadu (firmas *ELSBETT* ieteikums).

Noteikts, ka tīra rapša eļļa robežviskozitāti sasniedz pie $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. 10% maisījumi robežviskozitāti sasniedz pie $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 25% maisījumi – pie $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$, bet 50% maisījumi – pie $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, bet 50% maisījumu ar 0. klases arktisko dīzeļdegvielu – līdz $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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.

2.4. Ar divu tvertņu sistēmu aprīkotu spēkratu atgāzu sastāva pētījumi

Šo 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*.

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%;
- SO_2 saturs samazinās par 43.0%;
- CO_2 saturs palielinās par 1.7%;
- CO saturs palielinās 1.6 reizes;
- mehānisko daļiņu saturs palielinās 1.4 reizes;
- vienīgā komponente, kuras satura izmaiņas būtiski atšķiras, ir nesadeģušie oglekļa daļiņi. 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%.

2.5. Nepielāgotu spēkratu pētījumi, tos darbinot ar rapša eļļu

2011. gadā tika veikta traktora *T-40AM* apsekošana. Tas tika ekspluatēts vasaras sezonā Tukuma novada Zentenes pagasta z/s „Rubēni” un pirms darbināšanas ar rapša eļļu netika šai degvielai pielāgots. Traktors tika izmantots

lauku darbos tāpat, kā iepriekšējās sezonās. Traktora īpašnieks nekādas izmaiņas, salīdzinot ar fosilās dīzeļdegvielas izmantošanu, nenovēroja. Arī bojājumi, kurus varētu attiecināt uz rapša eļļas degvielas izmantošanu, netika konstatēti. Tā kā traktora ekspluatācijas parametri darba laikā netika mērīti, veikti darbināšanai ar rapša eļļu nepielāgota traktora *MTZ-80* pētījumi, nosakot tā jaudu, griezes momentu un īpatnējo degvielas patēriņu.

Eksperimentos izmantots degvielas patēriņa mērītājs *AVL KMA Mobile* un jaudas stends *MAHA ZW-500*, ar kuru traktora jauda tiek noteikta no jūgvārpstas.

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 apgriezīgu 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 $1700 - 2200 \text{ min}^{-1}$ kloķvārpstas apgriezīgu 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. Tāpēc 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.

3. RAPŠA EĻĻAS DEGVIELAS IZMANTOŠANAS EKONOMISKAIS NOVĒRTĒJUMS

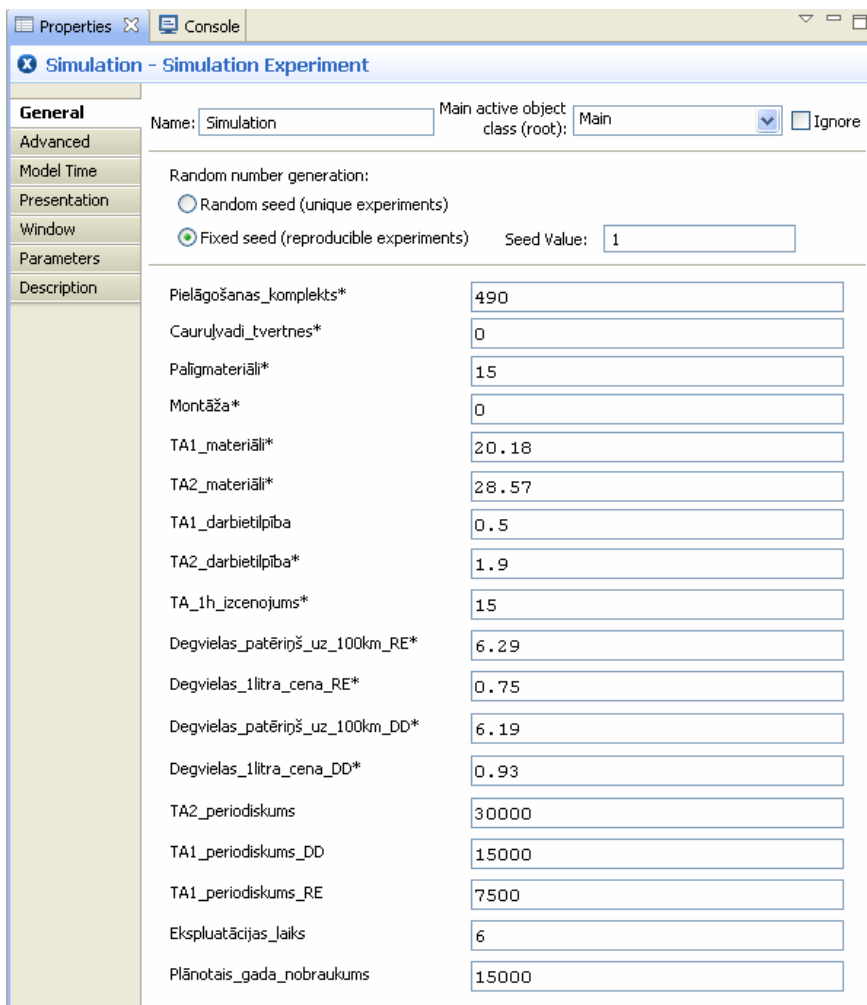
Analizējot modelēšanas rīkus, rapša eļļas loģistikas sistēmas modelēšanai izvēlēta programma *AnyLogic*. Lai novērtētu rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomisko efektivitāti, identificēti rapša eļļas degvielas apgādes (loģistikas) ķēžu varianti Latvijā.

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.

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 rapši uz dažādām platībām un ar atšķirīgām rapša ražībām.

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 3.1. attēlā.



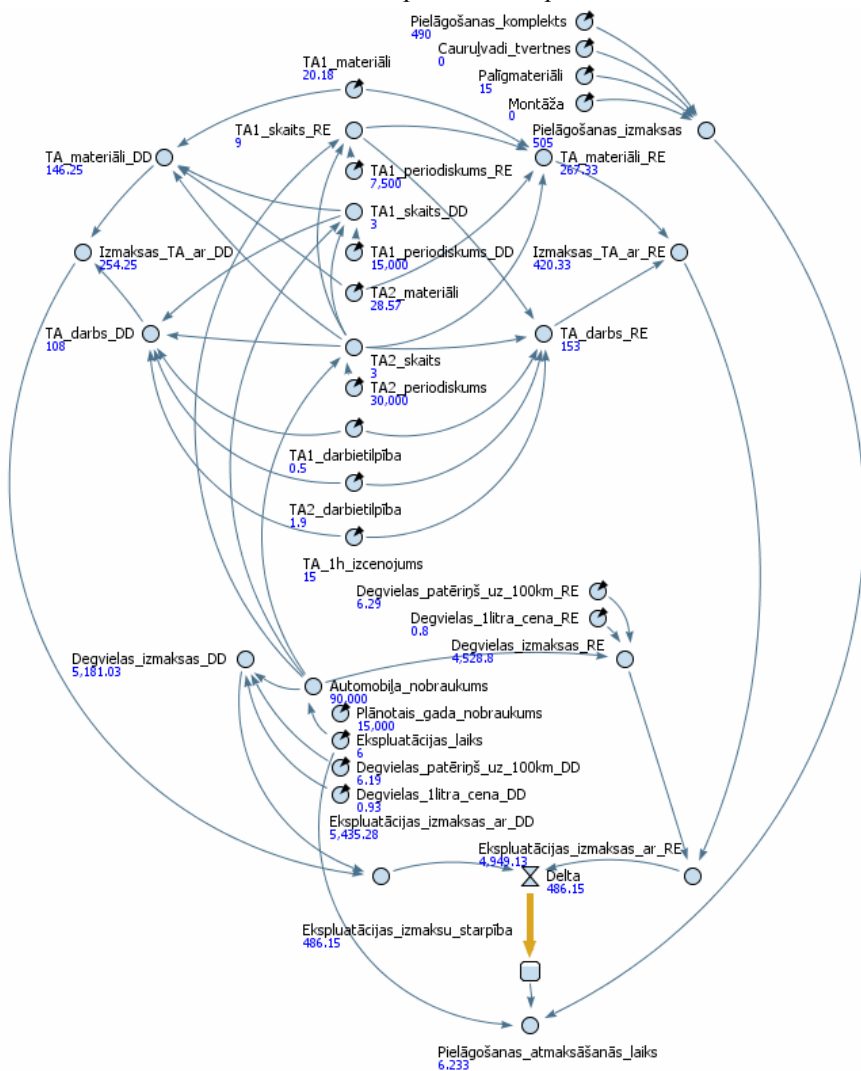
Parameter Name	Value
Pielāgošanas_komplekts*	490
Cauruļvadi_tvertnes*	0
Paligmateriāli*	15
Montāža*	0
TA1_materiāli*	20.18
TA2_materiāli*	28.57
TA1_darbietilpība	0.5
TA2_darbietilpība*	1.9
TA_1h_izcenojums*	15
Degvielas_patēriņš_uz_100km_RE*	6.29
Degvielas_1litra_cena_RE*	0.75
Degvielas_patēriņš_uz_100km_DD*	6.19
Degvielas_1litra_cena_DD*	0.93
TA2_periodiskums	30000
TA1_periodiskums_DD	15000
TA1_periodiskums_RE	7500
Eksploatācijas_laiks	6
Plānotais_gada_nobraukums	15000

3.1. 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 3.2. attēlā.



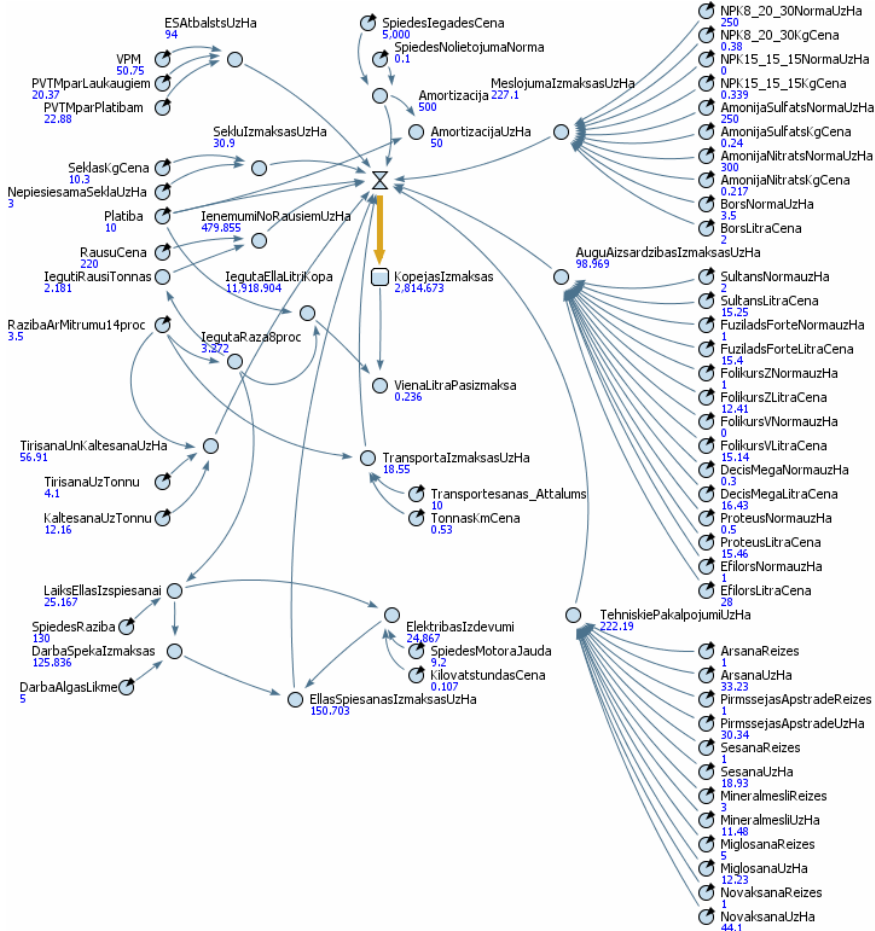
3.2. att. Modelēšanas piemērs automobiļa VW Golf III 1.9TD pielāgošanas ekonomiskajai novērtēšanai

Modelēšanā noskaidrots, ka vieglā automobiļa VW Golf III 1.9TD pielāgošana darbināšanai ar rapša eļļu, izmantojot rūpnieciski ražotu pārbūves komplektu, un eksploatācija 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.

Modelējot ar rūpnieciski ražotu pārbūves komplektu pielāgota traktora *Massey Ferguson 8480 T2* un ar pašpārbūvēta traktora *MTZ-80* pirktas rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomisko novērtējumu, var secināt, ka pārbūve zemnieku saimniecībā var atmaksāties tikai gadījumā, ja saimniecība neizmanto bezakcīzes dīzeļdegvielu.

Rapša eļļas degvielas loģistikas sistēmas modelī rapša eļļas pašizmaksas noteikšanai aprēķinātas fiksētās un mainīgās izmaksas. Modeļa atsevišķos blokus izmaksu aprēķini veikti uz 1 ha. Rapša eļļas iegūšanas izmaksu modelēšanas piemērs eļļas ieguvē no ziemas rapša zemnieku saimniecībā dots 3.3. attēlā.



3.3. 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 (mainīgie parametri – rapša ražība un platība) apkopotas 3.1. tabulā.

3.1. 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

Veicot modeļpētījumus, 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.

Lai atlasītu piemērotākos scenārijus, jānoskaidro, vai iegūtais eļļas daudzums ir pietiekams saimniecībā esošo spēkratu darbināšanai, tāpēc 3.1. 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

dīzeldegvielas paredzēts izmantot arī vieglajā automobilī – ziemas mēnešos piejaukšanai rapša eļļai vai īpaši aukstā laikā tīrā veidā.

Lai noteiktu, kuri no scenārijiem ekonomiski izdevīgāki, jāņem vērā, ka rapši 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 rapši. 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 0.3 gados. Audzējot vasaras rapši ar ražību 2 t ha⁻¹ šajā pašā saimniecībā degvielas nodrošināšanai būtu nepieciešami 30 ha, bet traktora pielāgošana atmaksātos 0.5 gados.

Ekonomiski izdevīgāko scenāriju spēkratu ekspluatācijas izmaksu modeļpētījumu rezultāti doti 3.2. tabulā.

3.2. 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					

Saimniecībā, kurā izmanto traktoru *MTZ-80* 1000 motorstundas gadā, visizdevīgākais scenārijs ir, ja kopējā kultūraugu platība 80 – 100 ha un ziemas rapši tiek audzēti 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.

Atšķirībā no pirktas eļļas, zemnieku saimniecībā iegūtu rapša eļļas degvielu var izmantot arī citos saimniekošanas scenārijos, taču pielāgošana atmaksājās ilgākā laika periodā.

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 raksturlielņu 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 *Mustang MD-1750* 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 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 , nesadeģušo ogļūdeņražu un mehānisko daļiņu saturs.
7. Eksperimentos ar dažādiem spēkratiem laboratorijas un dabiskajos apstākļos noskaidrots, ka rapša eļļas patēriņš pieaug par 1.0...6.4%,

- salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu, bet samazinās par 2.5...6.0%, 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 sakrītība ir augsta.
 12. Programmas *AnyLogic* vidē izveidoti trīs 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.

TOPICALITY OF THE RESEARCH

Statistical analysis of the data shows that the growth of production and use of biofuels in transport sector of the EU and Latvia is not satisfactory. That's why researches to promote the implementation of biofuels in our country are actual.

New – second, third and fourth generation biofuels are under investigation around the world, however, about ten next years first-generation biofuel, including rapeseed oil, will not lose its actuality as the next generation fuels disadvantage is a complex and expensive manufacturing technology, that requires heavy investments in large centralized plant building (Aatola et al., 2008; Carere et al., 2008; Scragg, 2009; Gong et al., 2010; Sims et al., 2010; Šimáček et al., 2010; Third and Fourth Generation ..., 2010; Arvidsson et al., 2011; Carriquiry et al., 2011; Demirbas A, 2011; Demirbas M.F., 2011; Lapuerta et al., 2011; Nigam and Singh, 2011; Singh et al., 2011). In addition, most European and US scientists consider that the statement that food price directly depends on the production of biofuels from edible materials, is not valid (Baka and Roland-Hols, 2009; Ajanovic, 2011; Armah et al., 2011).

The results of biofuels logistics system simulation show that until about the year 2020 the lowest prices supply chain status will remain to pure vegetable oil fuel and oil plants as a raw material for the production of biofuels from energy point of view, will not lose its relevance. Rapeseed oil fuel energy consumption and CO₂ balance is highly positive, even in cases when oil production and pressing by-products are not used (Bugge, 2000; Wakker et al., 2005; Ajanovic and Haas, 2010; Jessup, 2011).

The topicality of vegetable oil use in the next years confirms also the fact that scientists from all continents are still investigating different types of vegetable oil as a diesel fuel substitute. For example, soybean oil is tested and used in the US, rapeseed and sunflower oils in Europe, palm oil in Southeast Asia (Malaysia, Thailand and Indonesia), coconut oil in Philippines and cotton seed oil in West Africa, Greece and Turkey (Sidibe et al., 2010; No, 2011).

The analysis of publications shows that the results of the power, fuel consumption and exhaust gas composition changes using rapeseed oil fuel (pure and blended) in comparison with fossil diesel fuel are very different (Altin et al., 2001; Labeckas and Slavinskis, 2006, 2009a; Thuncke, 2006; Wang et al., 2006; Chiamonti and Prussi, 2009; Hazar and Aydin, 2010; Baquero et al., 2011a). The main differences are caused by diverse oil quality, testing conditions, measuring devices, and engine types used in experiments. This raises the research actuality in each country, including Latvia, based exactly on the region climatic conditions and produced oil, as well as on the typical vehicle and engine types (Sidibe et al., 2010).

Most of the studies investigating the use of rapeseed oil fuel are realized testing engines on the benches (Nwafor, 2004; Bao and He, 2006; Кулманаков и Семенов, 2007; Labeckas and Slavinskis, 2006, 2009a, 2009b; Soltic et al.,

2009; Hazar and Aydin, 2010; Paulsen et al., 2011), but rarely – the car or tractor in general (Chiaramonti and Prussi, 2009; Kleinová et al., 2011; Thuneke, 2006).

Until now vegetable oil fuel in Latvia is used only adapting vehicles with two fuel tank system. This system is inconvenient for use in cars, but one tank system has not been studied in our country. Usually rapeseed oil fuel studies are short-term, but some investigations have shown that long-term use of this fuel can cause engine performance and durability problems (Babu and Devaradjane, 2003). Therefore it's important to analyze how application of rapeseed oil fuel works for several years, including the winter months. Similarly, studies on rapeseed oil and fossil diesel fuel blends and optimum proportions in different climatic conditions are inconsistent (Jones et al., 2001; Sidibe et al., 2010).

Rapeseed oil fuel usage profitability is affected by the general characteristics of each farm, such as the technology used for rapeseed cultivation, harvesting, storage and processing, as well as a scale of production. That's why it is necessary to carry out a more detailed assessment of the costs specifying the fuel supply schemes, the production technologies, scale etc. (Thuijl et al., 2003; Baquero et al., 2010, 2011b; Fore et al., 2011).

THE OBJECT, HYPOTHESIS, AIM AND TASKS OF THE RESEARCH

Research object – rapeseed oil fuel supply or logistics chain.

Research hypothesis – rapeseed oil fuel is suitable for use in various types of diesel powered vehicles in Latvia, regardless of the ambient temperature.

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.

RESEARCH METHODS

Analysis, synthesis, modelling, prediction, experimentation (under natural and in laboratory conditions), statistical and economic evaluation **research methods** are used in the research.

THESES FOR DEFENCE

1. Developed mathematical model enables to predict diesel engine operating parameters running them on different fuels and at different ambient temperatures.
2. Using rapeseed oil fuel (pure or blended with fossil diesel) motor vehicle can be operated also during winter months.
3. Motor vehicle adaptation to run it on rapeseed oil as a fuel, using one or two fuel tank systems, is essential for the safe operation of the motor vehicle for a long-term period.
4. Developed driving cycle creation procedure allows convert any real driving data into the driving cycle and add it to the chassis dynamometer management system software.
5. Created rapeseed oil fuel logistic models allow assessment of rapeseed oil fuel economic efficiency.

APPROBATION OF THE RESEARCH

Generally recognized reviewed scientific publications

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 Bio-fuel 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.

Reports at the international scientific conferences

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.

Participation in the dissertation-related projects

1. Year 2009 – researcher in the project Nr. 09.1470 “Studies on options of biofuels extended use in internal combustion engines in Latvia”.
2. Years 2010 – 2012 – researcher in the project Nr. 09.1602 “Investigations of biofuel and biomass technologies”.

SCIENTIFIC NOVELTY AND PRACTICAL APPLICATION OF THE RESEARCH

1. An original mathematical model suitable to predict diesel engine operating parameters running them on rapeseed oil and its blends with fossil diesel fuel is developed.
2. A methodology that allows testing a variety of alternatives of rapeseed oil use – vehicle adaptation using one fuel tank system, adaptation using two tank system and the application of the oil in the vehicle without adaptation, is worked out.
3. Experimental methodology for testing cars on the chassis dynamometer is developed. The driving cycle creation procedure that allows converting any real driving data into the cycle is worked out and approbated.
4. The rapeseed oil powered vehicle fuel consumption, power, torque and exhaust components changes are compared with the analogue parameters running the same vehicles on fossil diesel and biodiesel.
5. Theoretically and experimentally a critical temperature for operation of motor vehicles on pure rapeseed oil fuel is found, as well as rapeseed oil and fossil diesel fuel blend ratios to operate vehicles at ambient temperatures below the critical.
6. Experiments proved that the adaptation of motor vehicles to use rapeseed oil as a fuel is essential for safe engine operation. It was found that the engine that is equipped with special nozzles and with changed injection timing (injecting fuel in cylinders earlier) in comparison with the value recommended by the manufacturer provides a similar power and torque than running the engine with fossil diesel.
7. Developed mathematical models allow evaluating exploitation costs of cars and tractors, running motor vehicles on rapeseed oil fuel, and calculate the investment payback time as well as the rapeseed oil production costs.

1. THEORETICAL RESEARCH

The aim of the theoretical research is to develop a mathematical model to determine the main diesel engine operating parameters running them on rapeseed oil and its blends with fossil diesel, as well as to establish suitable rapeseed oil and fossil diesel fuel blend ratios, operating motor vehicles at different ambient temperatures, including ones that meet Latvian winter conditions.

Analyzing simulation tools suitable for modelling of motor vehicle operating parameters the *ExtendSimSuite* software is selected. The developed model consists of three parts or modules (see Fig. 1.1.).

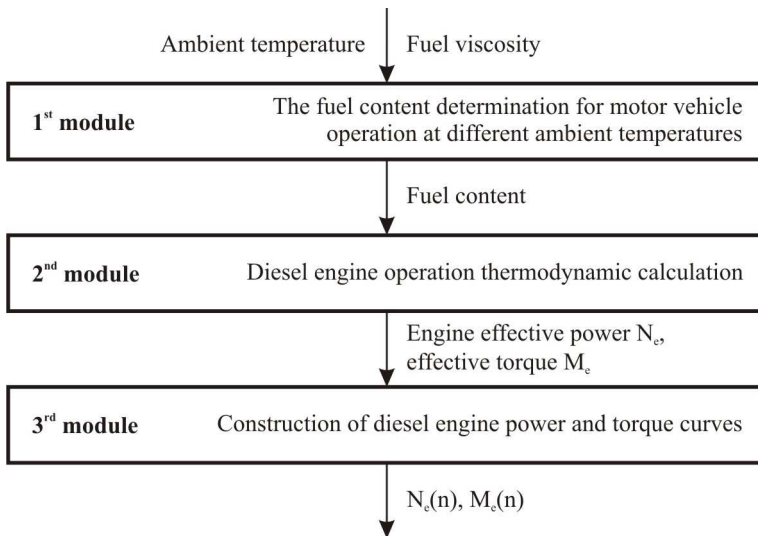


Fig. 1.1. Model's block diagram

The first module depending on the ambient temperature determines if motor vehicles can be operated on pure rapeseed oil, or oil should be mixed with fossil diesel. The most important rapeseed oil fuel usage limiting factor at low temperatures is the fuel viscosity.

Input parameter of the second module is the fuel content and properties. Diesel engine operation thermodynamic calculation is based on the methodology approved at several doctoral theses (Zihmane-Rītiņa, 2008; Šmigins, 2010), in addition creating analytical relationship to determine residual gas molar calorific value that provides a continuous modelling process.

An analogue of the third module is found in the thesis “Application of bioethanol in otto engines” (Pīrs, 2011). While there the petrol powered engine operation is modelled, the algorithm is suitable also for diesel engines specifying the coefficients for constructing of engine effective power and torque curves.

1.1. The fuel content determination for motor vehicle operation at different ambient temperatures

To ensure the fuel pump operation and the fuel flow in the fuel supply system, fuel kinematic viscosity should not exceed $500 - 1000 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ (Fuel Oils – Viscosities, S.a.). In the model as a critical the lowest value is assumed to have a small margin of safety operation of motor vehicle during the winter time.

To determine the kinematic viscosity of fuel depending on the ambient temperature, the following formula is used (Azian et al., 2001):

$$\ln(\nu) = A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2}, \quad (1.1)$$

where ν – kinematic viscosity of the fuel, $\text{mm}^2 \text{ s}^{-1}$;

T – ambient temperature, K;

A , B and C – coefficients that depend on the used fuel.

To determine these coefficients the experimental studies performed in Spain are used. Fossil diesel, rapeseed, sunflower, soybean, palm and other oils (Esteban et al., 2012) are tested. Coefficients for fossil diesel fuel (DF) and rapeseed oil (RO) are obtained using regression analysis (see Fig. 1.2.).

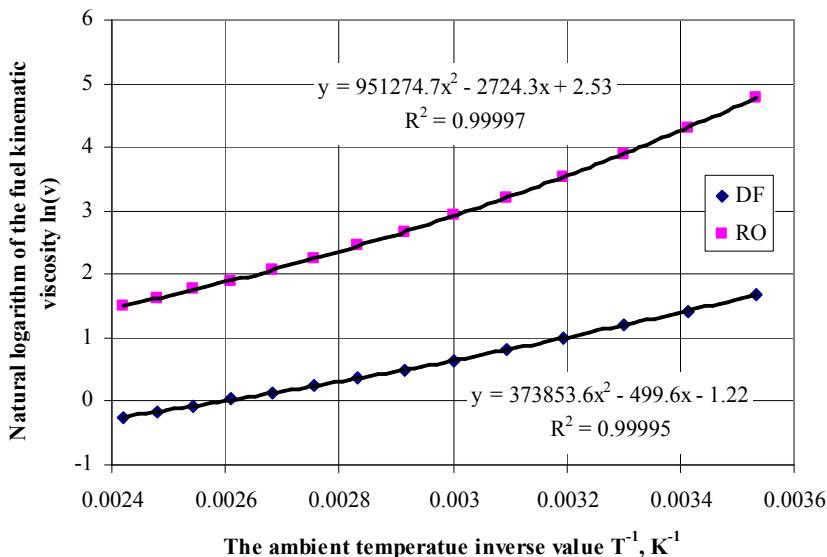


Fig. 1.2. Determination of coefficients for calculating of fuel kinematic viscosity

Values calculated using obtained formula are compared with other studies, for example, with the measurement of the kinematic viscosity of rapeseed oil at temperature range $260...325 \text{ K}$ ($-13...+52 \text{ }^\circ\text{C}$) carried out in Germany (Kerschbaum and Rinke, 2004). Kinematic viscosity of this study corresponds to

the values obtained by analytical methods, so the following relationships are used in the model:

$$v_i = e^{A_i + \frac{B_i}{(t+273)} + \frac{C_i}{(t+273)^2}}, \quad (1.2)$$

where $v_i - i_{th}$ -fuels kinematic viscosity, $\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$;
 t – ambient temperature, $^{\circ}\text{C}$;
 A_i, B_i and $C_i - i_{th}$ -fuels coefficients.

Depending on the fuel content the weighted average kinematic viscosity of the fuel blend is calculated. The model blocks for determination of the fuel kinematic viscosity are shown in Fig. 1.3.

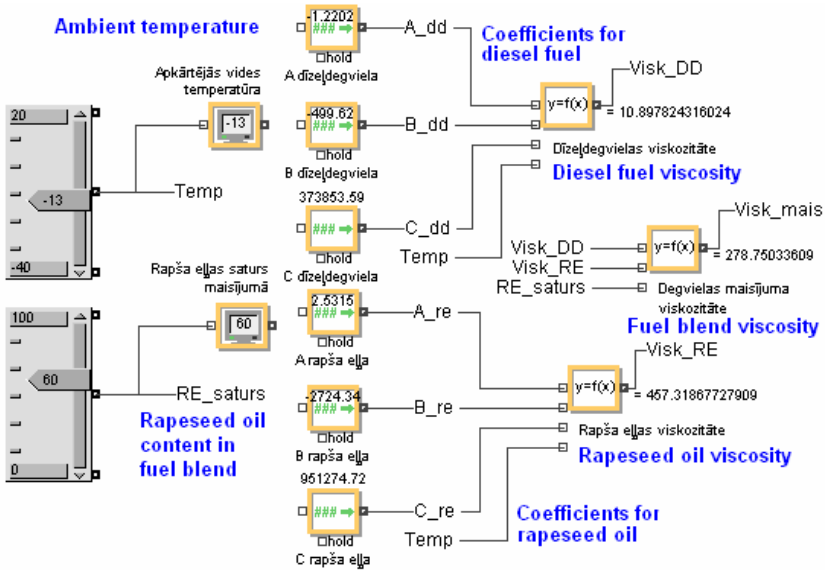


Fig. 1.3. The model blocks for calculation of the fuel kinematic viscosity

If the fuel blend percentage is known, content of carbon (C), hydrogen (H) and oxygen (O) content in fuel blend in fuel mass fractions can be calculated from the relationships:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad H = \frac{\sum_{i=1}^n H_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad O = \frac{\sum_{i=1}^n O_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (1.3)$$

where $m_i - i_{th}$ -fuels content in blend, mass %;
 C_{sat-i} – content of carbon in i_{th} -fuel, mass parts;
 H_{sat-i} – content of hydrogen in i_{th} -fuel, mass parts;
 O_{sat-i} – content of oxygen in i_{th} -fuel, mass parts.

Calculated C , H and O values serves as outputs to the second module of the model “Diesel engine operation thermodynamic calculation” (see Fig. 1.4.).

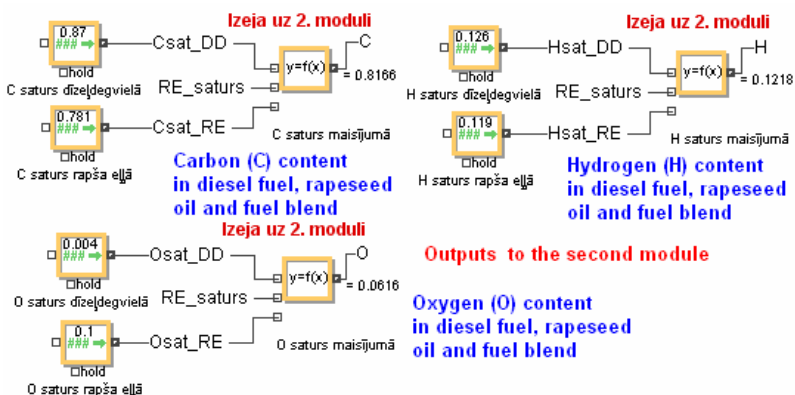


Fig. 1.4. The fuel blend content determination blocks

At the first step of the model studies the maximum percentage of rapeseed oil in the fuel blend at different ambient temperatures is estimated, providing that the fuel kinematic viscosity does not exceed $500 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$.

In order to make easier the simulation, several changes are made in the first module of the model (see Fig. 1.5.): ambient temperature slider (see Fig. 1.3.) is replaced by a number generator that changes the temperature in range of $-30...+20 \text{ }^\circ\text{C}$ in increments of $1 \text{ }^\circ\text{C}$; block for creating the current blend viscosity curve depending on the ambient temperature is added, as well as *MultiSim Plotter* block that allows graphical overview of the last four simulation graphs.

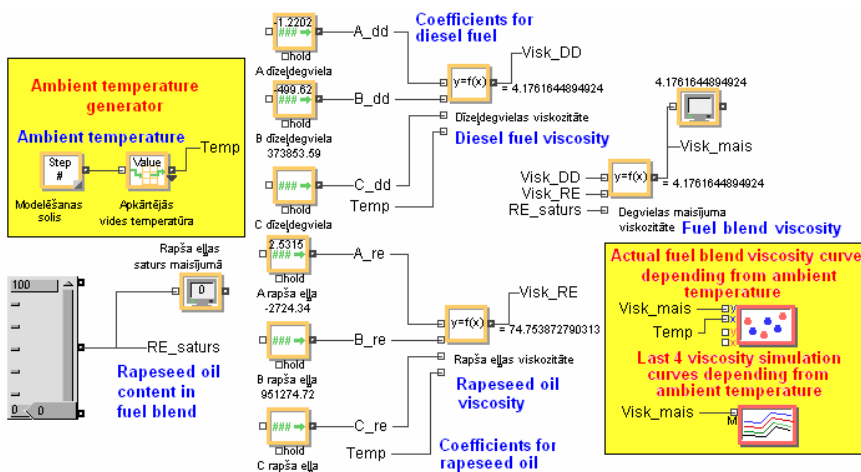


Fig. 1.5. Model adjustment to estimate the maximum percentage of rapeseed oil in fuel blend at different ambient temperatures

Summary of simulations is shown in Fig. 1.6.

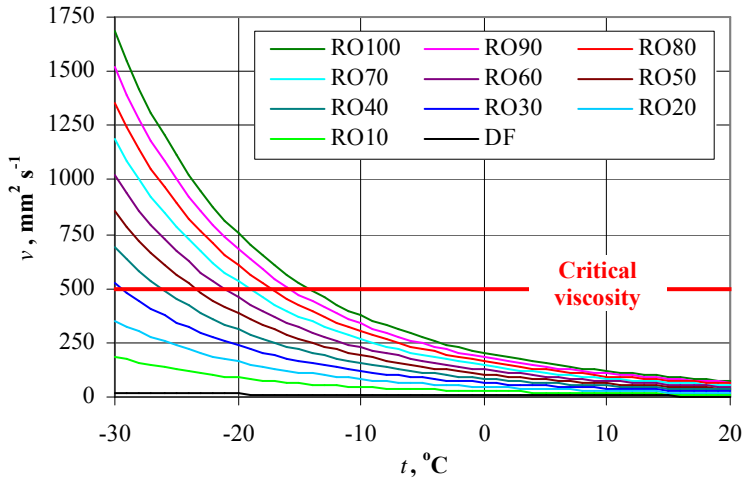


Fig. 1.6. The fuel blend viscosity depending on the ambient temperature

It is established that to provide fuel pump operation and the fuel flow in the fuel supply system with pure rapeseed oil vehicle can be operated up to -14°C , with a blend RE80 – up to -17°C and so on. If the ambient temperature drops below -30°C , blends with rapeseed oil content of less than 30% or pure diesel fuel can be used. In order to obtain an analytical correlation the first module of the model is changed again: rapeseed oil content slider (see Fig. 1.3.) is replaced by critical viscosity of a blend, and logical operator unit is added (see Fig. 1.7.).

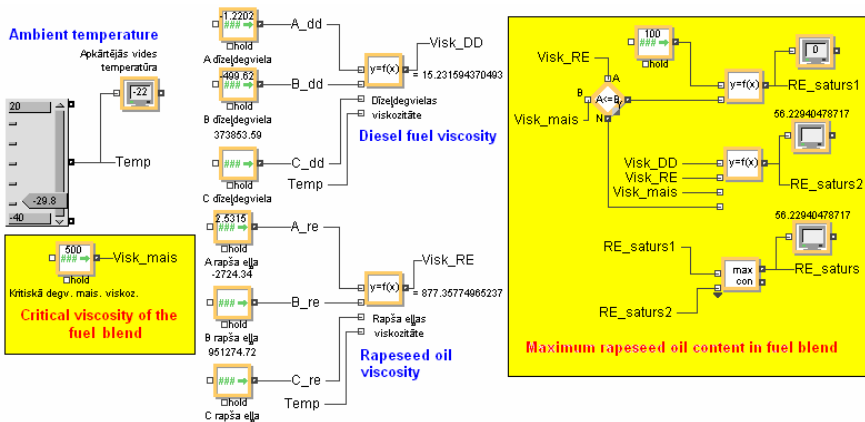


Fig. 1.7. Model adjustment to determine fuel blend content at a constant ambient temperature and with a critical viscosity

Summary of simulations is shown in Fig. 1.8.

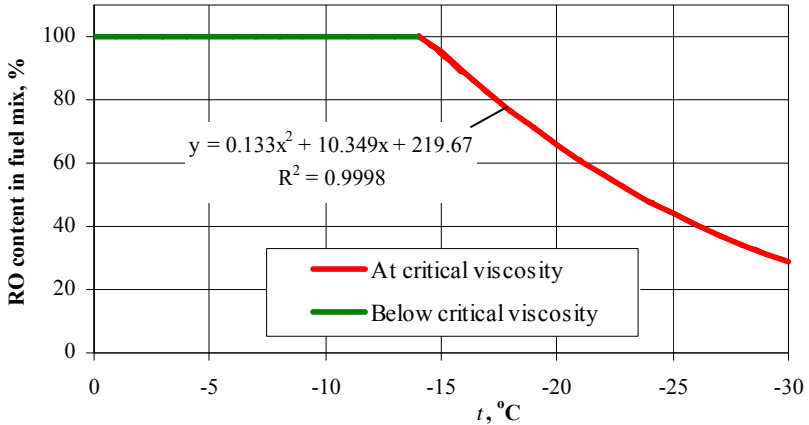


Fig. 1.8. Maximum rapeseed oil content in the blend depending on the ambient temperature

Thus, the correlation to determine maximum rapeseed content in the fuel blend if the temperature drops below -14 °C is found.

1.2. Diesel engine operation thermodynamic calculation

The thermodynamic calculation of diesel engine operation is based on the classic relationships, given in the various sources of information (Heywood, 1988; Pulkrabek, 2003; Гаврилов и др., 2003; Internal Combustion Engine Handbook, 2004; Zihmane-Rītiņa, 2008; Колчин и Демидов, 2008; Луканин и Шарпов, 2010; Šmigins, 2010; Xin, 2011). In some of them residual gas molar heat capacity calculation depending on the temperature and air-fuel ratio is based on interpolation method after empirical data are read from the table. It does not provide a continuous modelling process, as at certain modelling steps a number of parameters have to be entered manually. Therefore, to get residual gas molar calorific value analytical relationship is worked out.

Designing of residual gas temperature and molar calorific value correlation diagrams at different air-fuel ratios, regression equations and coefficients of determination are found.

However, a direct introduction of these equations in the model is not appropriate, because it leads to the use of number of logical operators. Besides the calculation would be incorrect in the case of the air-fuel ratios intermediate values such as 1.23, 1.56, etc.

Therefore, another regression analysis to determine whether there is a correlation between residual gas molar calorific value decrease with increasing the air-fuel ratio is performed.

At each air-fuel ratio calculations were made using the formula:

$$K_{decrease} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{Q_1}}{n}, \quad (1.4)$$

where Q_1 – residual gas molar calorific value at constant temperature and air-fuel ratio 1, kJ (kmol K)⁻¹;

Q_i – residual gas molar calorific value at the same temperature and air-fuel ratio α , kJ (kmol K)⁻¹;

n – number of different constant temperatures, where the calculations were made ($n = 21$, $t = 400 \dots 2400$ °C, step 100 °C).

The correlation diagram of molar residual gas calorific value reduction depending on air-fuel ratio is given in Fig. 1.9.

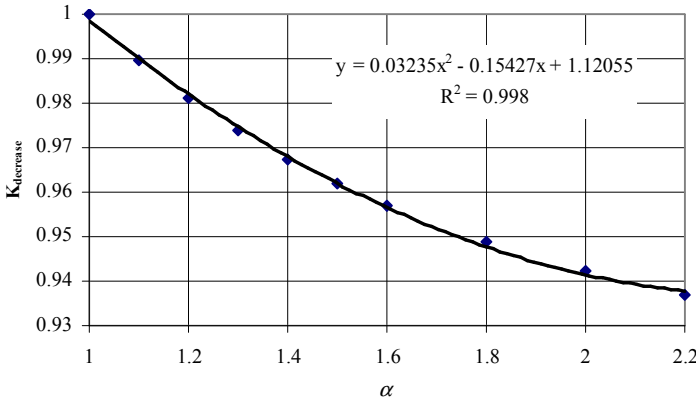


Fig. 1.9. The correlation diagram of residual gas molar calorific value reduction depending on air-fuel ratio

The final relationship introduced into the model is obtained combining both regression analyses: three coefficients are taken from the correlation diagram of residual gas molar calorific value at different temperatures and air-fuel ratio 1, another three coefficients – from the correlation diagram of residual gas molar calorific value reduction depending on air-fuel ratio:

$$Q_{mol-t} = (A \cdot t^2 + B \cdot t + C) \cdot (D \cdot \alpha^2 + E \cdot \alpha + F), \quad (1.5)$$

where Q_{mol-t} – residual gas molar calorific value at temperature t and air-fuel ratio α , kJ (kmol K)⁻¹;

A, B, C, D, E and F – coefficients obtained from the regression equations.

Since the analytical relationship is derived from the table, that represents only fossil diesel use, two correction factors K_1 and K_2 are introduced in the model. They take into consideration the fuel blend changes in fuel heating value

and molecular weight compared to diesel fuel. The equation (1.5) in the model is used also in the heat balance equation to calculate the final temperature of the combustion products.

The output parameters from the diesel engine thermodynamic calculation module are: a maximum effective power $N_{e\max}$ (kW) at engine crankshaft rotational frequency n_{\max} (min^{-1}) when the maximum power is reached, the fuel consumption per hour G_T (kg h^{-1}), and a effective torque M_e (N m) at the same crankshaft rotational frequency n_{\max} .

1.3. Constructing of diesel engine effective power and torque curves

If a maximum effective engine power $N_{e\max}$ and engine crankshaft rotational frequency n_{\max} at which this power is developed are known, the approximate shape of the engine effective power curve can be determined according the empirical relationship (Pommers un Liberts, 1985; Berjoza, 2008):

$$N_e = N_{e\max} \cdot \left[X \cdot \frac{n_e}{n_{\max}} + Y \cdot \left(\frac{n_e}{n_{\max}} \right)^2 - Z \cdot \left(\frac{n_e}{n_{\max}} \right)^3 \right], \quad (1.6)$$

where N_e – engine effective power at engine crankshaft rotational frequency n_e , kW;

n_e – engine crankshaft rotational frequency at the point to be determined, min^{-1} ;

X, Y, Z – the empirical coefficients describing the engine type ($X + Y - Z = 1$).

Empirical coefficient values for diesel engines from the literature data are: $X = 0.53$, $Y = 1.56$ and $Z = 1.09$. However, using them, the nature of the constructed power curve may differ from actual depending on the engine type, such as turbo charged or not, with direct fuel injection or with pre-chamber etc. That's why it is necessary to correct X, Y and Z values.

Analytical calculation of the coefficients is very difficult to resolve because there are two equations with three unknowns. One of the methods is using step-by-step approximation analyzing existing experimental power curves (Aboltins, Berjoza and Pirs, 2010). Since at the Research Laboratory of Alternative Fuels (Latvia University of Agriculture, Faculty of Engineering) a lot of different vehicles are tested on the chassis dynamometer *Mustang MD-1750*, this method is used to find coefficient X, Y and Z values.

As a car with indirect injection and turbo charging is adapted to run on rapeseed oil fuel in the experimental studies, cars with similar characteristics, but different working volumes are selected for analysis – *Opel Astra-G 1.7TD*, *Mitsubishi Space Wagon 2.0D Turbo*, *BMW 525 TD*, *Mercedez Benz E290D Turbo*.

The following power curves empirical coefficients are obtained from analysis and entered in the appropriate model blocks: $X = 0.4$, $Y = 2.2$ un $Z = 1.6$.

If the value of the maximum engine power in the full crankshaft rotational frequency range is known, the torque can be calculated at any value of n :

$$M_e = 9549 \cdot \frac{N_e}{n} \quad (1.7)$$

Since the maximum torque is achieved at different crankshaft rotational frequency than the maximum power, the additional block is placed in the model. This block outputs the maximum torque value checking the formula (1.7) results in the full crankshaft rotational frequency range. The model blocks for constructing of diesel engine power and torque curves are shown in Fig. 1.10.

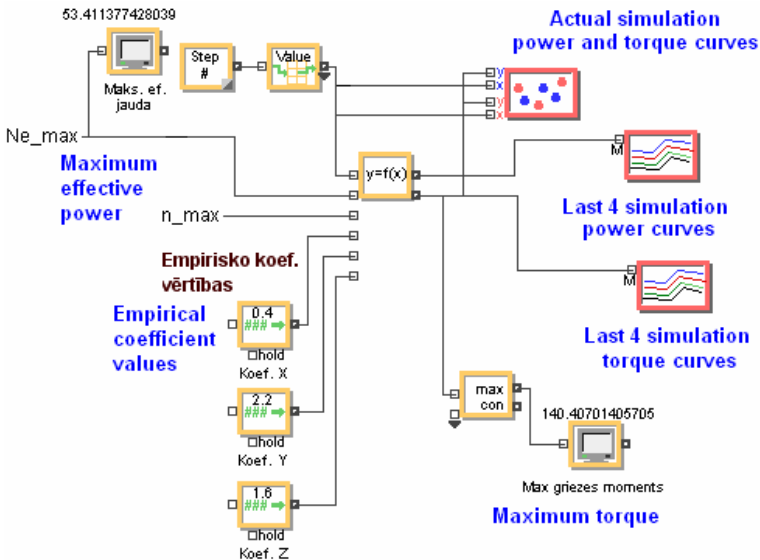


Fig. 1.10. The model blocks for constructing of diesel engine power and torque curves

Engine power and torque modelling studies are carried out for the same vehicles, that are used in experimental studies, i.e., car *VW Golf III 1.9TD* and tractor *MTZ-80*.

In order to facilitate the input of variables and viewing the simulation results, a separate panel or window is set up. The essential elements of the model are “cloned” in this window. Figure 1.11. shows an example of the car *VW Golf III 1.9TD* engine modelling.

Simulation results show, that car *VW Golf III 1.9TD* engine maximum power is reached at 4200 min^{-1} . Using diesel fuel it is 56.25 kW, using rapeseed oil – 53.35 kW. The maximum torque this engine develops at 2900 min^{-1} : running on diesel fuel – 147.9 N m, on rapeseed oil – 140.3 N m. Maximum power and torque difference – 5.15%.

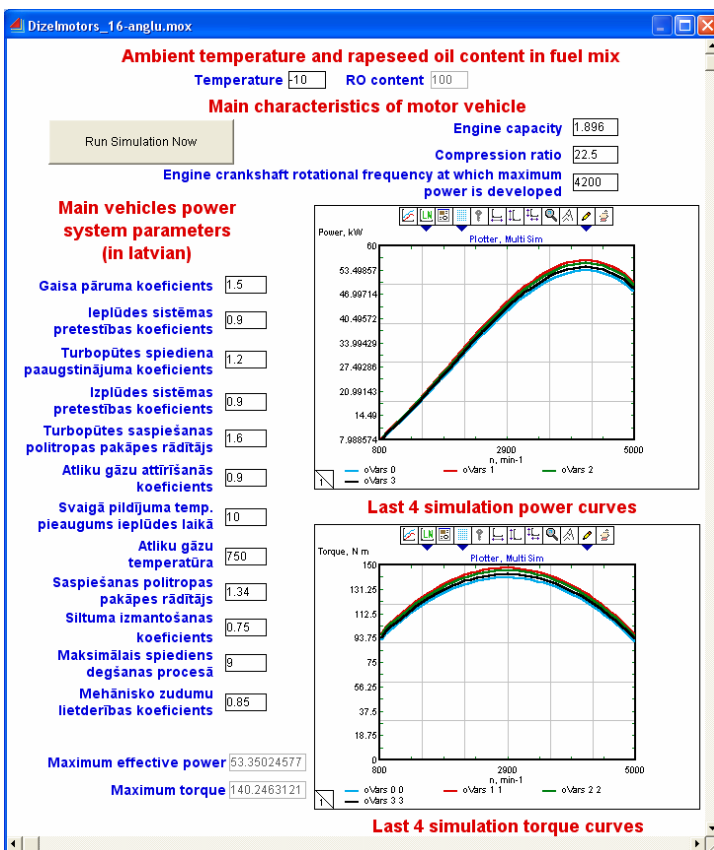


Fig. 1.11. Example of the window for variables input and viewing of the simulation results (VW Golf III 1.9TD)

The maximum engine power of the tractor *MTZ-80* in modelling studies is reached at 2200 min^{-1} . Using diesel fuel it is 55.59 kW , using rapeseed oil – 52.62 kW . The maximum torque this engine develops at 1500 min^{-1} : running on diesel fuel – 279 N m , on rapeseed oil – 264 N m . Maximum power and torque difference – 5.35% .

The power and torque reduction for the car *VW Golf III 1.9TD* and the tractor *MTZ-80* engines is linear – each 10% of rapeseed oil in fuel blend reduces maximum power and torque of around 0.5% .

Comparing acquired engine power and torque modelling values with the data given by motor vehicle manufacturers operating the vehicle with fossil diesel, differences in any of the modelling scenarios do not exceed 2.3% . Such cutoff is permissible and does not disturb to identify differences operating motor vehicles with various fuels.

2. EXPERIMENTAL RESEARCH

The aim of the experimental research is to determine the main diesel engine powered vehicle operating parameters using rapeseed oil fuel. To realize this, initially the general methodology of research is developed, that covers a variety of alternatives using rapeseed oil fuel – motor vehicle adaptation with a single fuel tank system, adaptation with two fuel tank system and the use of rapeseed oil in the vehicle without adaptation (see Fig. 2.1.).

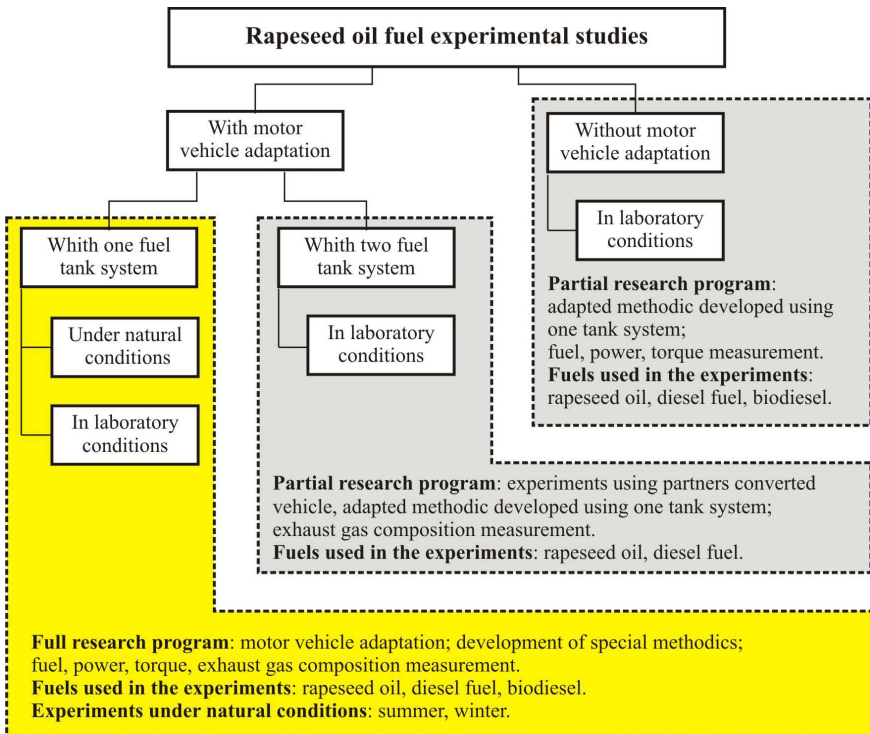


Fig. 2.1. Experimental research block diagram

Using companies *ELSBETT* conversion kit for the first time in Latvia the car adaptation to run it on rapeseed oil using a one fuel tank system is realized. The most significant components of the kit are self-cleaning oil nozzles with an increased operating pressure by about 3.5% compared to vehicle original fuel nozzles, and with the 13° less spray angle than for original ones.

During the period from February 2009 to February 2012 with a converted car *VW Golf 1.9TD*, running it with rapeseed oil fuel, approximately 38 000 km has been driven. During operation damage of the car or operation rejection have not been detected. Car's *VW Golf III 1.9TD* conversion cost is around 500 LVL and the one person can do rebuilding in about 10 hours.

2.1. Development of automobile testing methodology

The special experimental methodology for testing automobiles on the chassis dynamometer is developed. It is used not only in this work, but is approved also at several other vehicle operating parameters studies. The flow chart of the procedure for automobile testing is shown in Fig. 2.2.

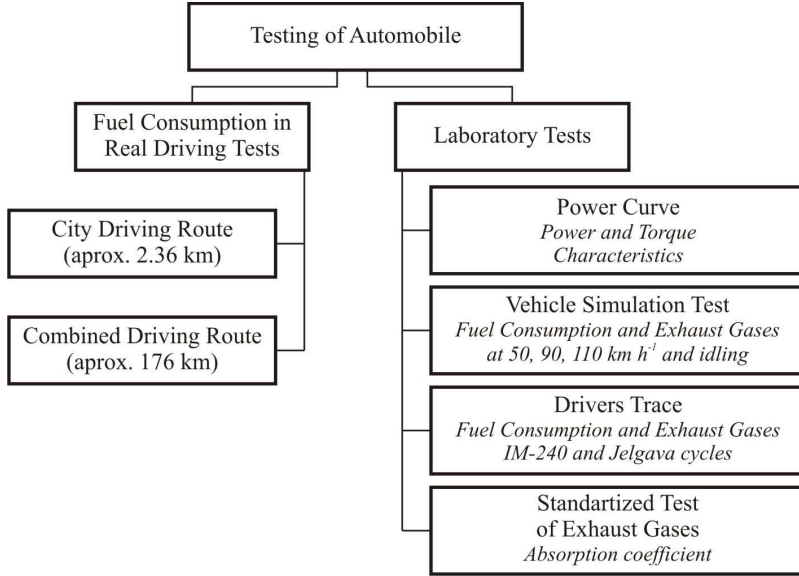


Fig. 2.2. Flow chart of the procedure for automobile testing

To achieve simultaneous measurement of fuel consumption and exhaust gas content performing constant running speed tests and real road simulations, special attention is paid to the choice of measurement devices.

The following basic equipment is chosen for the experiments:

- *Mustang MD-1750* laboratory chassis dynamometer with control platform *MDSP-7000*;
- *AVL KMA Mobile* fuel consumption meter;
- *AVL SESAM FTIR* (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) multi-component exhaust gas measurement system;
- *OPUS 40* exhaust gas analyzer.

Within the special experimental methodology framework the driving cycle creation procedure is worked out (see Fig. 2.3.). It includes real road driving data collection, cycle development, programming and adding to the software of chassis dynamometer's *Mustang MD-1750* management system. Using the developed method any real driving data can be converted into the cycle or model in order to obtain accurate and relevant data to the real situation on the car's fuel consumption and exhaust emission content.

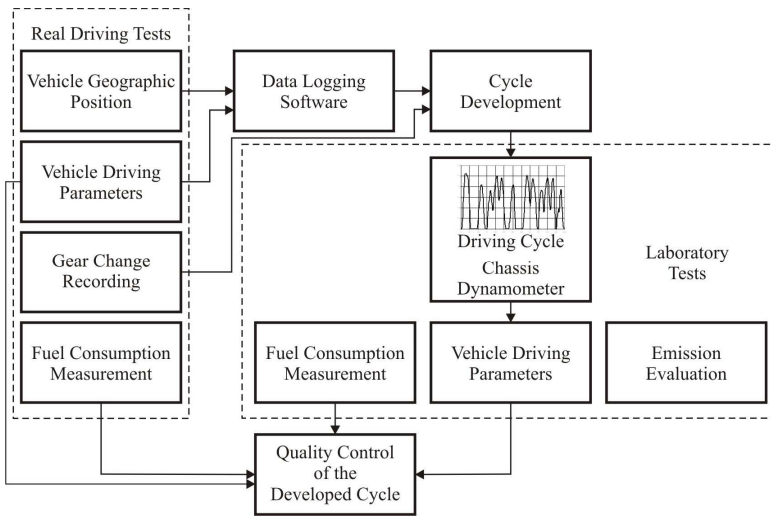


Fig. 2.3. Flow chart of the procedure for cycle development

As the experimental studies are carried out in Jelgava and its area, in order to ensure the comparability of laboratory and road test measurement results, exactly for this city the real driving simulation or model is developed, named “Jelgava cycle”. (Dukulis and Pirs, 2009). The characteristics of the cycle match the overall summary characteristics of the data up to 97%. Determining the model quality it was found that the difference in the distance covered in the city and on the chassis dynamometer does not exceed 1.3%, the average speed difference – 0.5%, difference in fuel consumption per 100 km – 0.9%.

2.2. Investigation of rapeseed oil fuel application using a one fuel tank system

The car *VW Golf 1.9TD* was tested before and after the conversion to run it on rapeseed oil. Although the immediate aim of the study was to evaluate the use of rapeseed oil fuel, comparing the engine power, torque, fuel consumption and exhaust gas content with the fossil diesel, to increase results representability the third one fuel – biodiesel – was used.

Performing real driving tests fuel consumption was estimated in two different routes – in intensive traffic conditions in Jelgava city and outside the urban area. In the first selected route (2.36 km) 15 drive repetitions using each fuel were made. Three trips with the highest speed curves correlations were selected for comparison. The second route includes driving in the cities (Jelgava and Tukums), non-urban area, as well as driving through small villages. As the total route distance was large (approximately 176 km), it was covered three times with each type of fuel. The comparison of fuel consumption in these experiments is summarized in Fig. 2.4.

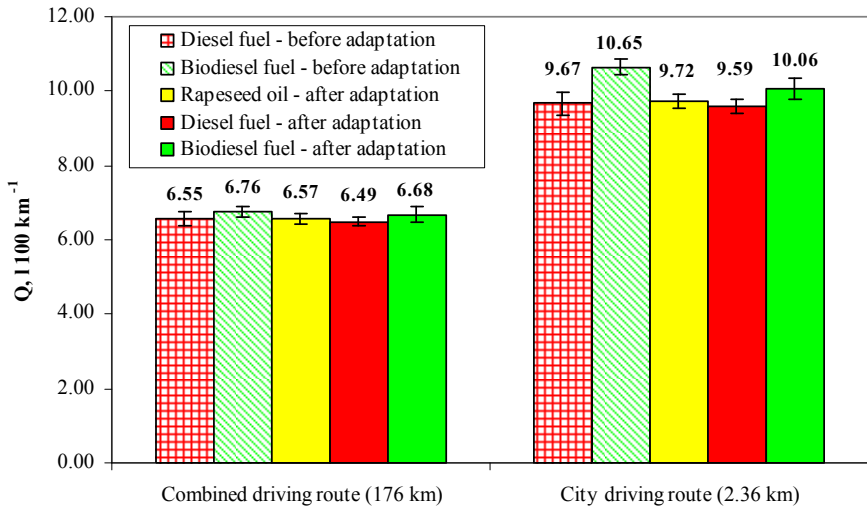


Fig. 2.4. Fuel consumption comparison during real driving tests

An average fuel consumption Q (l 100km⁻¹) in real driving tests was calculated by formula:

$$Q_{(l \cdot 100 km^{-1})} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{100 \cdot t}{3600 \cdot s} \cdot \sum_{i=1}^t Q_{(l \cdot h^{-1}, mom)} \right)_i, \quad (2.1)$$

where n – number of repetitions;

s – distance covered during the repetition, km;

t – one repetition time, s;

$Q_{(l \cdot h^{-1}, mom)}$ – momentary fuel consumption, l h⁻¹.

Consumption of rapeseed oil in real driving tests after motor vehicle adaptation is about 1% higher than fossil diesel consumption before the conversion, but about 6% lower than biodiesel consumption. When testing the car after the adaptation, diesel and biodiesel consumption has decreased, but the fuel consumption trends remain, i.e., compared to fossil diesel fuel, rapeseed oil fuel consumption is 1.3% higher, but compared to biodiesel – 2.5% less.

Although the dispersion of the results of individual repetitions performing real driving tests was relatively small (it did not exceed 3%) taking into account the small fuel consumption differences between the various fuels, these results can not be as indisputable. Therefore, the reliability of the results was verified in laboratory tests, measuring fuel consumption at three different constant driving speeds (50, 90 and 110 km h⁻¹) and two driving cycles (standardized cycle *IM-240* and “Jelgava cycle”) simulations.

An average fuel consumption Q (l 100km⁻¹) driving cycles was estimated by the same formula (2.1) as in real driving tests.

An average fuel consumption Q ($l/100km^{-1}$) at constant driving speeds was calculated by formula:

$$Q_{(l/100km^{-1})} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{100}{v \cdot t} \cdot \sum_{i=1}^t Q_{(l \cdot h^{-1}, mom)} \right), \quad (2.2)$$

where v – driving speed, $km\ h^{-1}$.

The comparison of fuel consumption in these experiments is summarized in Fig. 2.5.

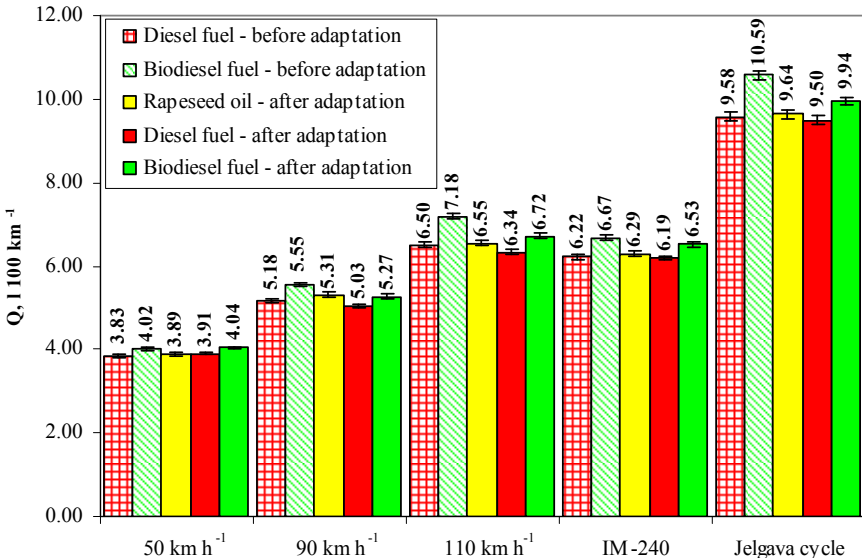


Fig. 2.5. Fuel consumption comparison during laboratory tests

For each measurement repetition at constant speed the variation coefficient was calculated. As it was usually less than 0.3%, the measurement accuracy is classified as very high. The differences between the mean values of individual repetitions did not exceed 1.5%. Therefore, fuel consumption results with a probability of 95% can be considered as reliable.

Comparing rapeseed oil fuel consumption for the adapted car with consumption before the conversion, then compared to fossil diesel, it is larger in average by 1.3%, compared with biodiesel – in average less by 6.2%.

Since the car after the conversion can be operated not only with rapeseed oil, but also with the other two types of fuel, then in this case, rapeseed oil fuel consumption is in average by 2.3% higher than fossil diesel fuel consumption, but compared to biodiesel, it is in average less by 2.5%.

After conversion simultaneously with fuel consumption measurement, an exhaust gas composition was analysed using *AVL SESAM FTIR* equipment.

The relative amount of each exhaust gas component (ppm or %) in all test modes was calculated by formula:

$$Q_{(ppm\ or\ \%)} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{t} \cdot \sum_{i=1}^t Q_{(ppm\ or\ \%,mom)} \right), \quad (2.3)$$

where $Q_{(ppm\ or\ \%,mom)}$ – momentary relative amount of exhaust gas component, ppm or %.

As an example the average content of NO_x in exhaust gases idling, driving at constant speeds and cycles is shown in Fig. 2.6.

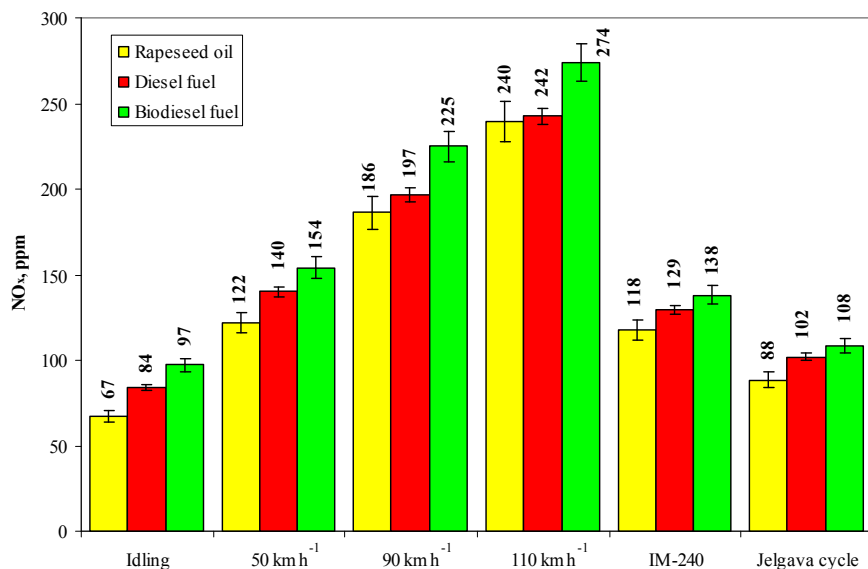


Fig. 2.6. Content of NO_x in exhaust gases after vehicle conversion

In comparison with fossil diesel, running on rapeseed oil fuel the average reduction of NO_x was 10.3%, but compared with biodiesel – 19.1%. The amount of SO_2 in exhaust gases was also lower – in average by 59.2% lower than using fossil diesel and 66.8% lower than using biodiesel. The CO, HC, CO_2 and mechanical particle (MP) emissions were higher with pure rapeseed oil fuel, comparing with fossil diesel and biodiesel fuel.

The amount of CO_2 compared with fossil diesel, increased in average by 5.6%, but compared with the biodiesel by 3.1%. Mechanical particles in the exhaust gases compared to fossil diesel fuel, increased almost 3 times, but compared to biodiesel – almost 3.5 times. CO increased correspondingly 1.2 and 2.4 times, while HC – 1.8 and 2.9 times.

In the publications of other researchers it is mentioned that using vegetable oil fuels more complete combustion can be reached by increasing injection

timing (Bao and He, 2006). Till now the injection timing in tests was set as it is required by the vehicle specification, i.e., 10.5° before the piston reaches top dead centre (TDC).

Injection timing was changed in the range from 10.5° to 21.0° , when, based on the dynamometer readings, the power and torque reduction was observable.

Investigation results show that the optimal injection timing, running the car *VW Golf 1.9TD* on rapeseed oil fuel, is 18.5° , because there is the engine power and torque peak, is the minimum CO content in exhaust gases (reduced about 35% comparing with the 10.5° injection timing), significantly reduced unburned hydrocarbon (about 66%), methane (59%) and mechanical particles (68%) content. Further increase of the injection timing is not desirable because, starting with a 19.5° , significantly increases the amount of CO and SO₂, moreover, the more is increased the injection timing, the greater is the NO_x content. The analyses of engine power and torque curves show that the change of fuel injection timing running car on rapeseed oil and using special nozzles allows to provide up to 3200 min^{-1} approximately the same power and torque, as using fossil diesel and injection timing as it is specified by the vehicle manufacturer.

Performing smoke analyses using *OPUS 40* exhaust gas analyzer the best results were obtained using biodiesel fuel. Pure rapeseed oil was slightly behind, but at the same time, ahead of the fossil diesel fuel. Regardless of it, all of the used fuels satisfy the absorption coefficient norms (3%) for the car to successfully pass the roadworthiness tests.

2.3. Investigation of rapeseed oil fuel application in winter

In order to determine the lowest temperature at which the car can be operated with pure rapeseed oil on January and February, 2012 the car's starting experiments at low temperatures were carried out. The car was kept in an open parking place, and at least once a day was started. The highest temperature during this period was $+6^\circ\text{C}$ on the 12th of January, but the lowest one -27°C in the evening of February 4th. In order to ascertain whether any of the fuel system components are not frost over during operation, each engine starting was supplemented by a control driving of 11.0 km route.

It was experimentally determined that the critical temperature operating the car with pure rapeseed oil fuel is $-13\pm 2^\circ\text{C}$. These results were confirmed also by the observations made during years 2009 – 2011 and in the theoretical studies.

In order to ensure a diesel engine start-up and normal operation at low temperatures, rapeseed oil and fossil fuel blends have to be used. In such circumstances, the use of fuel depends on two key parameters: viscosity and CFPP (*Cold Filter Plugging Point*) or the lowest temperature at which fuel still passes through a fuel filter.

The blends with 5%, 10%, 25% and 50% fossil diesel fuel (0th and 2nd arctic classes) admixture were tested. Besides kinematic viscosity the freezing temperature and cold filter plugging point of each blend was determined.

Kinematic viscosity graphs of different content rapeseed oil and diesel fuel blends depending on ambient temperature are shown in Fig. 2.7.

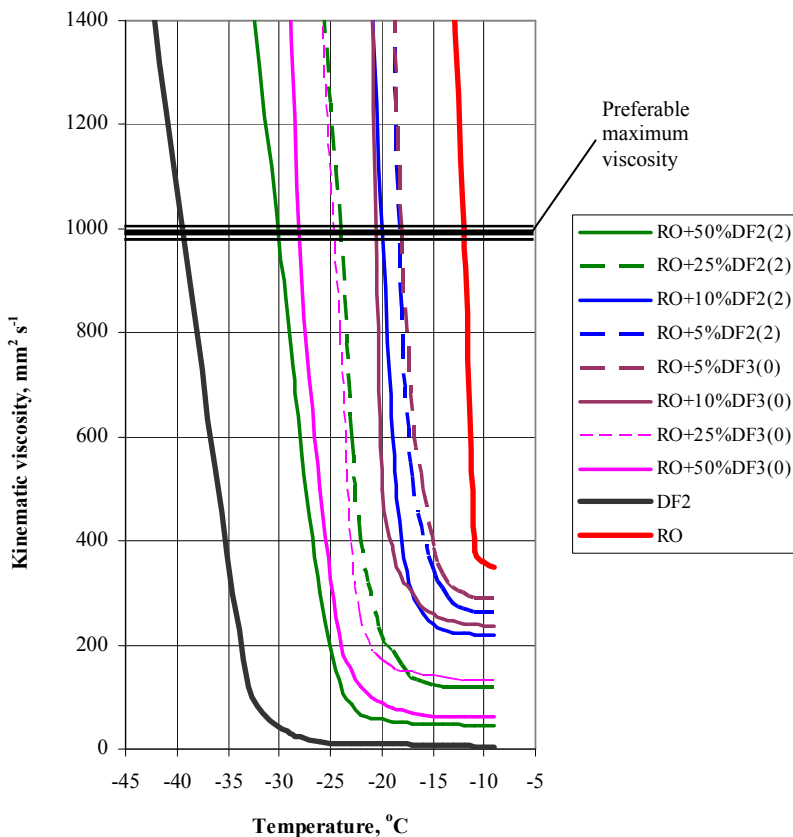


Fig. 2.7. Viscosity graphs of rapeseed oil and diesel fuel blends

Experimentally was established that the kinematic viscosity of rapeseed oil have to be less than $1000 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$, because such viscosity allows rapeseed oil freely flow through the fuel pipe with diameter 8 mm as it's recommended by *ELSBETT* (rapeseed oil conversion kit producer) for using a one tank system.

During viscosity measurements it was determined that a pure rapeseed oil reaches the viscosity of $1000 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ at -12°C , and, to operate a diesel engine at lower temperatures, it is necessary to make rapeseed oil and fossil diesel fuel blends. Adding 5% of arctic diesel fuel to rapeseed oil, the limit of viscosity was reached at -15°C . Critical temperature operating the engine with blend RO90 (90% rapeseed oil and 10% fossil diesel) is -20°C and for 25% blend – -24°C .

Measurements of blends with 50% arctic diesel fuel content convincingly proved that the 2nd arctic class diesel fuel more effectively reduces the viscosity of rapeseed oil and the engine operation is possible up to -30°C .

Analyzing the CFPP measurement data the difference for blends with different arctic diesel fuel classes is significant. If the 50% blend with 2nd class arctic diesel fuel without a filter heating could be used up to -20°, then a 50% blend with 0th class arctic diesel – only up to -10°C.

During CFPP determination it was observed that the CFPP temperature is not so much affected by crystal formation process, but by the rapeseed oil large viscosity, that hampers the fuel filtration process. So, to ensure the smooth operation of diesel engine under Latvian climatic conditions, the heating of rapeseed oil and diesel fuel blends before filtration is necessary, because only by the heating a rapid reduction in viscosity can be achieved.

2.4. Investigation of exhaust emission content using rapeseed oil fuel and a two fuel tank system

The purpose of the study was to determine whether the trends of exhaust gas changes using fossil diesel and rapeseed oil and adapting vehicles with one tank and two tank systems are similar. Truck *MAN 19.464* (year of production 2000, rebuilt to run on rapeseed oil with a two tank system) was used as the study object in these experiments.

Comparing the obtained data with the one tank system investigations, it can be concluded that the trends of exhaust component changes in the average are similar:

- NO_x content, using rapeseed oil fuel and the two fuel tank system compared to fossil diesel fuel, is reduced by 19.6%;
- SO₂ content decreases by 43.0%;
- CO₂ content increases by 1.7%;
- CO content increases 1.6 times;
- mechanical particle content increases 1.4 times;
- the only exhaust gas component, that changes differently, is unburned hydrocarbons. If using one tank system and rapeseed oil an increase of 1.8 times compared with fossil diesel was observed, then with two tank system the content of the unburned hydrocarbons was reduced by 46.9%.

2.5. Investigation of the rapeseed oil fuel use in the vehicle without adaptation

In 2011 inspection of the tractor *T-40AM* was performed. It was operated using rapeseed oil without any adaptation during the summer season at the farm “Rubeņi” (Tukums region, Zentenes small rural district). The tractor was used for farm work the same way as in previous seasons. Compared to fossil diesel fuel use, owner of the tractor didn’t observe any changes. The damages that could be related to rapeseed oil fuel usage were not stated. As the tractor’s operating parameters during operation time were not measured, investigation of

another unadapted tractor *MTZ-80* was carried out determining the engine power, torque and specific fuel consumption.

AVL KMA Mobile fuel consumption meter and power take-off dynamometer *MAHA ZW-500* were used during these experiments.

Performing research of the unadapted for rapeseed oil fuel usage tractor *MTZ-80*, it is established:

- specific fuel consumption of rapeseed oil fuel in different loading modes is in average 6.4% higher than for fossil diesel. Compared with biodiesel, specific fuel consumption in average is by 4.0% lower;
- engine power and torque using rapeseed oil fuel decreases relative to the other two tested fuels. Compared with biodiesel, the average power and torque reduction is 2.3%. Towards the nominal crankshaft rotation frequency (2200 min⁻¹), the reduction is more significant – about 5.5%. The engine power and torque reduction compared to fossil diesel fuel is even higher – in average by 5.9%, but from 1700 to 2200 min⁻¹ engine speed range – 7.0 to 10.0%.

Running engine with not preheated rapeseed oil, five seconds holding in a loading point is problematic – oil is filling the fuel filter with difficulties and the engine runs unevenly, so adapting of engine to run on rapeseed oil for the tractor *MTZ-80* is necessary, but, as can be seen from the tractor's *T-40AM* survey during the summer season, some motor vehicle models can be operated without rebuilding.

3. ECONOMIC EVALUATION OF THE USE OF RAPESEED OIL FUEL

Analyzing simulation tools suitable for modelling of rapeseed oil fuel logistic system the *AnyLogic* software is selected. To evaluate economic efficiency of investigated fuel usage, rapeseed oil fuel supply (logistics) chain versions in Latvia are identified.

Basing on the experience of studies carried out in other countries (Baquero et al., 2010, 2011a, 2011b; Fore et al., 2011) and adapting it to Latvian peculiarities, rapeseed oil fuel economic efficiency assessment is carried out for decentralized production.

Three different models are developed in *AnyLogic* software environment to evaluate any brand of car or tractor operating costs running the vehicles on a variety of fuels, as well to establish the vehicle adaptation payback time and to calculate the extraction cost of rapeseed oil, cultivating the winter and summer rapeseed cultures on different areas and with different yields.

Modelling variables are entered in the *AnyLogic* program simulation parameters dialog window *Simulation – Simulation Experiment*. An example of entering simulation parameters for the car *VW Golf III 1.9TD* economic evaluation is given in Fig. 3.1.

Properties Console

Simulation - Simulation Experiment

General Name: Simulation Main active object class (root): Main Ignore

Random number generation:
 Random seed (unique experiments)
 Fixed seed (reproducible experiments) Seed Value: 1

Adaptation kit	490
Pipelines, tanks	0
Auxiliary materials	15
Mounting	0
Materials for maintenance No. 1	20.18
Materials for maintenance No. 2	28.57
Labour-consuming for maint. No. 1	0.5
Labour-consuming for maint. No. 2	1.9
Maintenance rate	15
RO consumption per 100 km	6.29
RO 1 liter price	0.75
DF consumption per 100 km	6.19
DF 1 liter price	0.93
Periodicity of maintenance No. 2	30000
Periodicity of maintenance No. 1 (DF)	15000
Periodicity of maintenance No. 1 (RO)	7500
Exploitation time	6
Estimated annual mileage (km)	15000

Fig. 3.1. Example of entering simulation parameters for the car *VW Golf III 1.9TD* economic evaluation

Conversion kit is mounted on a used car with the forecasted remaining mileage 90000 km before the retirement or sale. Assuming that the average annual mileage of car is about 15000 km, a 90000 km mileage will be reached in 6 years.

The simulation results with the mentioned parameters are shown in Fig. 3.2.

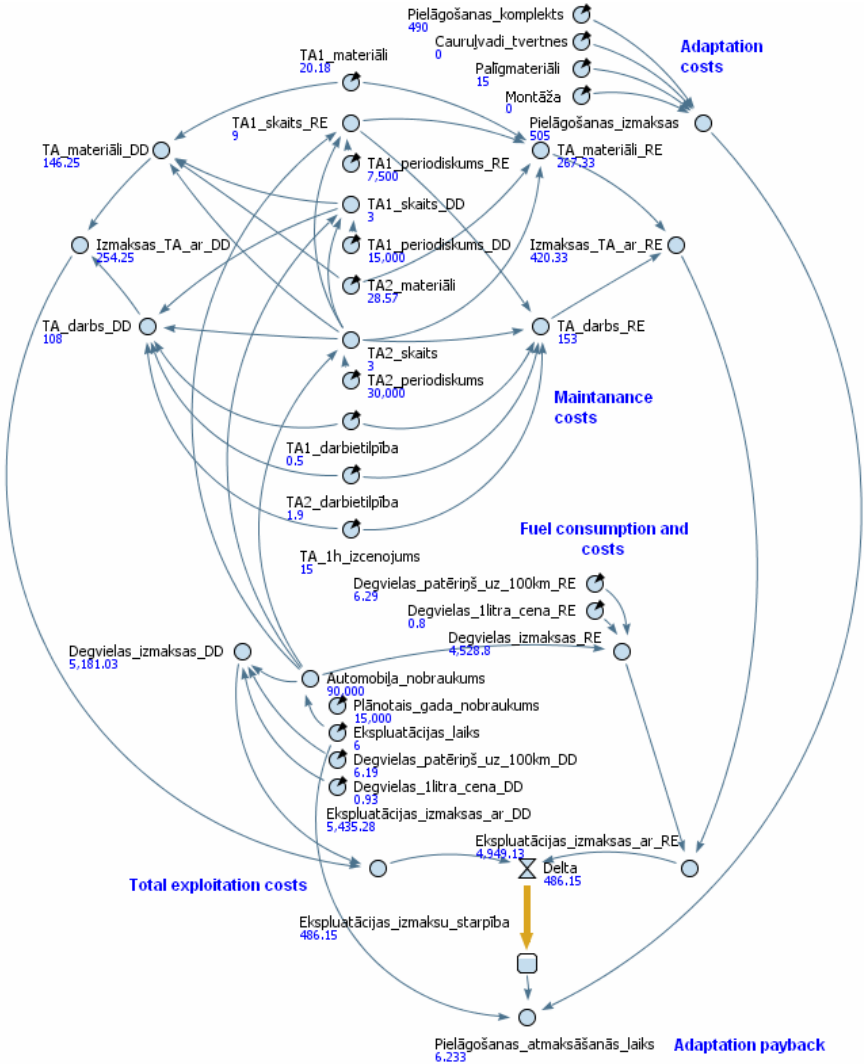


Fig. 3.2. Modelling example of car VW Golf III 1.9TD economic evaluation

Simulations show that car VW Golf III 1.9TD adaptation to run on rapeseed oil using a factory-built conversion kit, and running the vehicle on oil that is bought in centralized Latvian rapeseed oil plants is not economically profitable, as the adaptation can pay back only after 6.2 years when the particular vehicle may be already written off.

Modelling economic assessment of rapeseed oil fuel usage in tractor *Massey Ferguson 8480 T2* (adapted using a factory-built conversion kit) and *MTZ-80* (self adapted at farm without any conversion kit) buying the rapeseed oil fuel can be profitable only if the farm does not use duty-free diesel fuel.

Modelling rapeseed oil production at farm the fixed and variable costs are estimated. All cost calculations in the individual model blocks are related to 1 ha. Modelling example of rapeseed oil production from winter rapeseed at farm is shown Fig. 3.3.

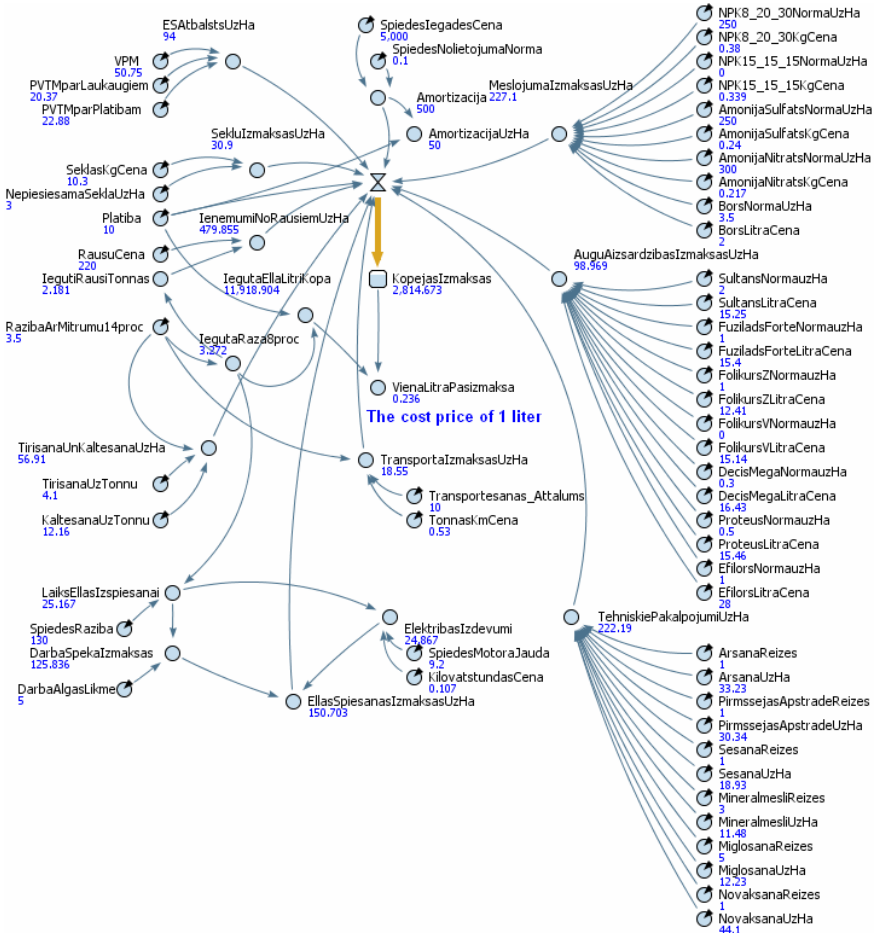


Fig. 3.3. Modelling example of rapeseed oil production from winter rapeseed at farm

Assuming that rape is growing on 10 ha area, rape cakes are realized, and the farmer receives all available EU direct payments, the rapeseed oil prime cost

from winter rape is 0.24 LVL l⁻¹ if rapeseed yield is 3.5 t ha⁻¹, but from summer rape – 0.31 LVL l⁻¹ if rapeseed yield is 2.5 t ha⁻¹.

Rapeseed oil prime cost in other modelling scenarios (variables – rapeseed yield and cultivation area) is summarized in Table 3.1.

Table 3.1. Rapeseed oil production simulation results

Scenario Nr.	Rape	Area, ha	Yield, t ha ⁻¹	Rapeseed oil prime cost, LVL l ⁻¹	Volume of oil, l
1	Summer	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	Winter	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

In the modelling studies a variety of rapeseed oil logistics system scenarios can be simulated. For example, technical services (ploughing, fertilizing, spraying, harvesting, transportation, etc.) can be made with the farm machinery or modelled as external services.

Similar scenarios can be created in relation to seed cleaning, drying and oil extraction. A more powerful press can be bought, thereby changing the value of the model oil press costs and depreciation blocks. As well a variety of fertilizing and plant protection plans are possible.

To select the most appropriate scenarios, determination whether the resulting oil volume is sufficient for the motor vehicle operation at farm have to be carried out. For that reason the data from Table 3.1. is compared with the data obtained from motor vehicle operating cost models.

It is assumed that at farm a tractor *Massey Ferguson 8480 T2* or *MTZ-80* and a car *VW Golf III 1.9TD* is operated.

Usually for the tractor adapted using a two tank system the structure of the fuel consumption is 90% rapeseed oil and 10% fossil diesel fuel. The same proportion is predicted for use in a car to make blends with rapeseed oil or to use own in especially cold weather.

To determine which of the scenarios are economically most profitable and considering that it is not recommended to grow rape again on the same field earlier than after 4 years, the rape in the total farm crop structure have not to exceed 20 – 25%. It is also necessary to assess whether the calculated area using particular tractor can be cultivated.

For example, at a farm in which a tractor *Massey Ferguson 8480 T2* is used 1000 hours per year, the total crop area could be 160 – 200 ha. On 40 ha winter rape could be grown. To ensure the tractor and car with rapeseed oil fuel, 20 ha are sufficient (yield have to be at least 3 t ha⁻¹). The rest of the rapeseed could be sold. In such scenario tractor adaptation payback time could be 0.3 years. Growing summer rape with the yield of 2 t ha⁻¹ at the same farm fuel provision would require 30 ha, but tractor adaptation will pay back in 0.5 years.

The most cost-effective scenarios of rapeseed oil fuel use are summarized in Table 3.2.

Table 3.2. **Most cost-effective scenarios of rapeseed oil fuel use**

Tractor, scheduled motor hours per year	Rape (Winter/Summer) and minimal yield, t ha ⁻¹	Rape cultivation area for fuel, ha	Rape cultivation area for fuel sale, ha	Total cultivated plant area, ha	Adaptation payback time for tractor, years	Adaptation payback time for car, years
<i>MF 8480 T2</i> , 1000 mh	W	20	20	160 – 200	0.3	0.9
	3.0					
<i>MF 8480 T2</i> , 600 mh	S	20	0	80 – 100	0.7	1.1
	2.0					
<i>MTZ-80</i> , 1000 mh	W	10	10	80 – 100	0.1	0.9
	3.0					
<i>MTZ-80</i> , 600 mh	S	10	10	80 – 100	0.1	1.2
	2.0					

For the farm, that uses a tractor *MTZ-80* 1000 hours per year, the most profitable scenario is if the total cultivated area is 80 – 100 ha and winter rape is grown on 20 hectares of land. For tractor and car supply with the fuel 10 ha are required. Tractor adaptation could pay back in 0.1 years, but the car – 0.9 years.

Rapeseed oil fuel can be used on a farm also in other scenarios, but the adaptation payback will take a longer period.

CONCLUSIONS

1. An original mathematical model suitable to predict diesel engine operating parameters running them on rapeseed oil and its blends with fossil diesel fuel is developed using *ExtendSim Suite* software. The relationship that allows to calculate residual gas molar calorific value depending on temperature and air-fuel ratio is established, as well as empirical coefficients for constructing of diesel engine effective power and torque curves.
2. Modelling results show:
 - using pure rapeseed oil vehicles can be operated up to $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$, with a blend RO80 (80% rapeseed oil and 20% fossil diesel fuel) – up to $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ and so on. If the ambient temperature drops below $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, blends with rapeseed oil content of less than 30% or pure diesel fuel have to be used;
 - the reduction of engine power and torque for unadapted car *VW Golf III 1.9TD* and tractor *MTZ-80* engines is linear – each 10% of rapeseed oil in fuel blend reduces maximum power and torque of around 0.5%. Using pure rapeseed oil the decrease is about 5%.
3. A developed general methodology of research allows to test a variety of alternatives of rapeseed oil use – vehicle adaptation using one fuel tank system, adaptation using two fuel tank system and the application of the oil in the vehicle without adaptation.
4. Using companies *ELSBETT* conversion kit for the first time in Latvia the car adaptation to run it on rapeseed oil using a one fuel tank system is realized. During the period from February 2009 to February 2012 with a converted car *VW Golf 1.9TD*, running it with rapeseed oil fuel, approximately 38 000 km has been driven. During operation damage of the car or operation rejection have not been detected.
5. The special experimental methodology for testing automobiles on the chassis dynamometer *Mustang MD-1750* is developed. In order to ensure the comparability of laboratory and road test measurement results the driving cycle creation procedure is worked out. It includes real road driving data collection, cycle development, programming and adding to the software of chassis dynamometer management system.
6. Analyzing the exhaust gas content of vehicles adapted with one and two fuel tank systems for running with rapeseed oil fuel, it is concluded that the trends of exhaust component changes comparing to the operation with fossil diesel and biodiesel in the average are similar – NO_x and SO_2 content, using rapeseed oil fuel, decreases, but the content of CO , CO_2 , unburned hydrocarbons and mechanical particles increases.
7. Experiments with a variety of vehicles within the laboratory and under natural conditions show that rapeseed oil fuel consumption compared to

fossil diesel grows in average by 1.0...6.4%, but compared to biodiesel reduces by 2.5...6.0%.

8. Laboratory tests show that equipping a car with special nozzles and changing injection timing to 18.5° , i.e., injecting fuel in cylinders earlier, using rapeseed oil fuel it is possible to provide a similar engine power and torque than running the engine with fossil diesel and injecting fuel at the manufacturer's recommended 10.5° before the piston reaches top dead centre.
9. Performing research of the unadapted for rapeseed oil fuel usage tractor *MTZ-80*, it is established that engine power and torque using rapeseed oil fuel decreases relative to the other two tested fuels. Compared with biodiesel, the average power and torque reduction is 2.3...5.5%, but compared to fossil diesel fuel – 7.0...10.0%.
10. It was experimentally determined that the critical temperature operating the car with pure rapeseed oil fuel is $-13 \pm 2^\circ\text{C}$. In order to ensure a diesel engine start-up and normal operation at lower temperatures, rapeseed oil and fossil fuel blends have to be used.
11. Comparison of the theoretical and experimental results shows that the theoretical model can be used to determine the maximum rapeseed oil content in fuel blends at different ambient temperatures, as well as to predict engine power and torque changes operating vehicles with different fuels. Coincidence of theoretical and experimental results is high.
12. Using *AnyLogic* software three different models are developed. They allow to evaluate any brand of car or tractor operating costs running the vehicles on a variety of fuels, as well to establish the vehicle adaptation payback time and to calculate the extraction cost of rapeseed oil, cultivating the winter and summer rapeseed cultures on different areas and with different yields.
13. Simulations show that car *VW Golf III 1.9TD* adaptation to run on rapeseed oil using a factory-built conversion kit, and running the vehicle on oil that is bought in centralized Latvian rapeseed oil plants is not economically profitable, as the adaptation can pay back only after 6.2 years.
14. Rapeseed oil fuel in a particular farm can be economically profitable, if all related parameters, i.e., engine power, planned scope of work, required amount of fuel, expected crop yields and areas sown to produce enough rapeseed oil fuel, have to be harmonized.
15. Simulations have cleared the most profitable scenarios to provide operation of tractor *Massey Ferguson 8480 T2* or *MTZ-80* and car *VW Golf III 1.9* with rapeseed oil fuel. Optimum rape cultivation area is 20...40 ha and adaptation payback time for tractor and car – 0.9 years.

KOPSAVILKUMA NORĀDĒS IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI

REFERENCES USED IN SUMMARY

1. Aatola H., Larmi M., Sarjovaara 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. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Babu A.K., Devaradjane G. (2003) *Vegetable Oils And Their Derivatives As Fuels For CI Engines*. SAE Technical Paper No. 2003-01-0767.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
 14. 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.
 15. Berjoza D. (2008) *Automobiļu teorija*. Jelgava: LLU, 200 lpp.
 16. 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.folkcenter.dk/plant-oil/publications/energy_co2_balance.htm
 17. 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.
 18. Carriquiry M.A., Du X., Timilsina G.R. (2011) Second generation biofuels: Economics and policies. *Energy Policy*, No. 39, p. 4222 – 4234.
 19. 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.
 20. Demirbas A. (2011) Competitive liquid biofuels from biomass. *Applied Energy*, No. 88, p. 17 – 28.
 21. Demirbas M.F. (2011) Biofuels from algae for sustainable development. *Applied Energy*, No. 88, p. 3473 – 3480.
 22. 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.
 23. 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.
 24. 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.
 25. *Fuel Oils – Viscosities* (S.a.). [online] [cited 13.12.2012]. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/viscosity-fuel-oils-d_1143.html
 26. Gong Y., Kaario O., Tilli A., Larmi 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.
 27. 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.

28. Heywood J.B. (1988) *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill, 930 p.
29. *Internal Combustion Engine Handbook: Basics, Components, Systems and Perspectives* (2004). Ed. by R. van Basshuysen and F. Scafer. SAE International, 874 p.
30. 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.
31. 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.
32. Kerschbaum S., Rinke G. (2004) Measurement of the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels. *Fuel*, No. 83, p. 287 – 291.
33. 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.
34. Labeckas G., Slavinskas S. (2006) Performance of direct-injection off-road diesel engine on rapeseed oil. *Renewable Energy*, No. 31, p. 849 – 863.
35. Labeckas G., Slavinskas 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.
36. Labeckas G., Slavinskas 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.
37. 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.
38. Nigam P.S., Singh A. (2011) Production of liquid biofuels from renewable resources. *Progress in Energy and Combustion Science*, No. 37, p. 52 – 68.
39. 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.
40. 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.
41. 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.

42. Pīrs V. (2011) *Bioetanola izmantošana ottomotoros*: promocijas darbs inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) zinātniskā grāda iegūšanai. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 190 lpp.
43. Pommers J., Liberts G. (1985) *Automobiļa teorija*. Rīga: Zvaigzne, 245 lpp.
44. Pulkrabek W.W. (2003) *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. 2nd ed. University of Wisconsin, 426 p.
45. Scragg A.H. (2009) *Biofuels Production, Application and Development*. Cambridge: Cambridge University Press, 250 p.
46. 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.
47. 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.
48. 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.
49. 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.
50. Šimáček P., Kubička D., Šebora G., Pospíšil M. (2010) Fuel properties of hydroprocessed rapeseed oil. *Fuel*, No. 89, p. 611 – 615.
51. 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.
52. *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>
53. Thuijl E. van, Ree R. van, Lange T.J. de. (2003) *Biofuel production chains*. Background document for modelling the EU biofuel market using the BIO-TRANS model [online]. Energieonderzoek Centrum Nederland, ECN-C--03-088. 40 p. [cited 26.07.2008]. Available: <http://www.ecn.nl/publicaties/default.aspx?nr=ECN-C--03-088>
54. Thuncke 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_Thuncke.pdf.
55. 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.

56. 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.
57. Xin Q. (2011) *Diesel engine system design*. Woodhead Publishing Limited, 1088 p.
58. 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.
59. Гаврилов А.А., Игнатов М.С., Эфрос В.В. (2003) *Расчет циклов поршневых двигателей*: Учебное пособие. Владим. гос. ун-т., Владимир, 124 с.
60. Колчин А.И. Демидов В.П. (2008) *Расчет автомобильных и тракторных двигателей*. Учебное пособие. 4-е изд. Москва: Высшая школа, 496 с.
61. Кулманаков 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.
62. Луканин В.Н., Шатров М. (2010) *Двигатели внутреннего сгорания: Теория рабочих процессов*. 3-е изд. Москва: Высшая школа, 480 с.