



LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVRSITĀTE  
TEHNISKĀ FAKULTĀTE  
SPĒKRATU INSTITŪTS  
LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE  
FACULTY OF ENGINEERING  
INSTITUTE OF MOTOR VEHICLE



Promocijas darba izstrāde un noformēšana līdzfinansēta  
no Eiropas Savienības Sociālā fonda

Mg.sc.ing. **Vilnis Pīrs**

**BIOETANOLA IZMANTOŠANA OTTOMOTOROS**

**APPLICATION OF BIOETHANOL IN OTTO ENGINES**

**Promocijas darba  
KOPSAVILKUMS**

Dr.sc.ing. zinātniskā grāda iegūšanai

**Promotion paper  
RESUME**

For awarding the scientific degree Dr.sc.ing.

**Jelgava 2011**

**Darbs izpildīts** Latvijas Lauksaimniecības universitātē, Tehniskās fakultātes Spēkratu institūtā.

**Darba zinātniskais vadītājs:**

Dr.sc.ing., asociētais profesors **Dainis Berjoza**.

**Oficiālie recenzenti:**

Dr.sc.ing. **Ainārs Galiņš** – Latvijas Lauksaimniecības universitātes asociētais profesors.

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** LLU Lauksaimniecības nozares Inženierzinātņu apakšnozares promocijas padomes atklātā sēdē 2011. gada 25. augustā plkst. 10<sup>00</sup>, Jelgavā, J.Čakstes bulv. 5, Tehniskajā fakultātē, 429. auditorijā.

**Ar promocijas darbu, pielikumu un kopsavilkumu var iepazīties LLU fundamentālajā bibliotēkā**, Jelgavā, Lielā ielā 2.

**Atsauksmes sūtīt:** promocijas padomes sekretāram, profesoram, Dr.sc.ing. Imantam Ziemelim, LLU, Tehniskā fakultāte, J.Čakstes bulv. 5, Jelgava, LV – 3001.

**Padomes priekšsēdētājs:** profesors, 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:**

associated professor, Dr.sc.ing. **Dainis Berjoza**.

**The official reviewers:**

Dr.sc.ing. **Ainārs Galiņš** – Associated Professor of the Latvia University of Agriculture.

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

Dr.sc.ing. **Valentīns Biķernieks** – Assistant 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 Agriculture, at the Latvia University of Agriculture on 25 august 2011 at 10 a.m. Venue – Jelgava, 5 J.Čakstes blvd., Faculty of Engineering, room 429.

**The promotion Paper, the annex and resume are available at the Fundamental library of the Latvia University of Agriculture** located at 2 Lielā street, the city of Jelgava.

**References should be sent to** the secretary of the Promotion Council Professor, Dr.sc.ing. Imants Ziemelis. Address – Faculty of Engineering of the 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
Pētījuma mērķis un uzdevumi .....	5
Darba zinātniskā novitāte .....	6
Zinātniskā darba aprobācija .....	6
1. Teorētiskie pētījumi.....	9
1.1. Teorētiskā modeļa matemātiskā algoritma pamatstruktūra .....	9
1.2. Teorētiskā modeļa uzbūve un funkcionālās iespējas .....	11
1.3. Modelēšanas rezultāti .....	12
2. Eksperimentālie pētījumi.....	14
2.1. Eksperimentos izmantotās iekārtas un materiāli.....	14
2.2. Automobiļu izmēģinājumu metodika .....	15
2.3. Bioetanolā un benzīna maisījumu degvielu izmantošanas pētījumi nepielāgotos motoros.....	17
2.4. Bioetanolā un benzīna maisījumu degvielas pielāgošanas komplekta izmantošanas pētījums.....	20
3. Degvielas E85 izmantošanas ekonomiskais novērtējums.....	24
4. Degvielas E85 izmantošanas ekoloģiskais novērtējums .....	26
Secinājumi.....	27
Izmantotie informācijas avoti.....	54

## Contents

Topicality of the research .....	29
The aim of the research and tasks .....	30
Scientific novelty of the thesis .....	31
Approbation of the research .....	31
1. Theoretical research .....	34
1.1. Basic structure of the mathematical algorithm of the theoretical model.....	35
1.2. The structure and functional possibilities of the theoretical model .....	311
1.3. Modelling results .....	37
2. Experimental research .....	39
2.1. Equipment and materials used in the experiments.....	39
2.2. Methodology of automobile testing .....	40
2.3. Research on the use of the bioethanol and gasoline fuel mixtures in non adapted engines .....	42
2.4. Research on the use of the bioethanol and gasoline fuel mixtures conversion kit .....	45
3. Economic evaluation of the use of fuel type E85.....	49
4. Ecological evaluation of the use of fuel type E85.....	51
Conclusions.....	52
Sources of information.....	54

## DARBA AKTUALITĀTE

Pasaulē fosilo degvielu krājumi izsīkst. Pēdējo 20 gadu laikā degvielas cenas ir pieaugušas vairākkārtīgi. Arī spēkratu izplūdes gāzu radītais piesārņojums pieaug, veicinot negatīvu ietekmi uz klimata pārmaiņām. Arvien aktuālāks kļūst jautājums, kā aizstāt izsīkstošos fosilās degvielas krājumus un kā samazināt transporta radīto negatīvo ietekmi uz apkārtējo vidi. Lai risinātu šos jautājumus, pasaulē tiek veikti daudz pētījumu, tostarp dažādu alternatīvo degvielu – biodīzeļdegvielas, rapša eļļas, bioetanola, bioūdeņraža iegūšanas un izmantošanas pētījumi, kā arī elektroenerģijas un hibrīdtehnoloģiju izmantošanas pētījumi spēkratos. Ņemot vērā, milzīgo automobiļu skaitu, kuri paredzēti darbināšanai ar fosilo degvielu, ir jāmeklē risinājumi šo automobiļu pielāgošanai ar kādu no alternatīvo degvielu veidiem. Viens no perspektīvākajiem alternatīvās degvielas veidiem, izmantošanai automobiļos, kas aprīkoti ar ottomotoriem, ir bioetanol. Bioetanolam kā motordegvielai ir vairākas priekšrocības salīdzinot ar benzīnu. To var sarāzot valstī uz vietas, pārstrādājot bioloģiskas izcelsmes produktus vai atkritumus. Aizstājot fosilo degvielu ar bioetanolu, tiek iegūta lielāka neatkarība no fosilās degvielas piegādātājiem, kā arī samazināta negatīvā ietekme uz apkārtējo vidi. Latvijā ir daudz brīvas un neapstrādātas zemes platības, kuras iespējams izmantot biodegvielu izejmateriālu ražošanai, tādējādi veicinot lauksaimniecībai izmantojamo zemju iekopšanu, brīvā darbaspēka nodarbināšanu un tautsaimniecības attīstību.

Arī Eiropas Savienība pievērš lielu uzmanību biodegvielu īpatsvara palielināšanai. Ir izveidota un sekmīgi darbojas Eiropas biodegvielu tehnoloģijas komisija (*European Biofuels Technology Platform*), kuras darba grupa analizē visus jautājumus sākot ar izejvielu ieguvu un degvielas ražošanas tehnoloģijām un beidzot ar biodegvielu attīstību veicinošu likumdošanu. Ir izvirzīti konkrēti mērķi, no kuriem daļa ir kļuvusi par direktīvām un tātad būtu obligāti jāizpilda visām dalībvalstīm (Kampars, 2008). Eiropas direktīvas paredz noteiktu biodegvielu īpatsvaru transporta degvielā. Tā, piemēram, Direktīva 2003/30/EC nosaka, ka līdz 2005. gada 31. decembrim biodegvielu īpatsvaram jābūt vismaz 2.0%, bet līdz 2010. gada 31. decembrim – 5.75% no visa transporta vajadzībām izlaistā benzīna un dīzeļdegvielas kopējās energoietilpības (Directive 2003/30/EC ...). Tomēr noteiktais mērķis saistībā ar biodegvielu īpatsvaru transporta degvielā Latvijā nav sasniegts. 2008. gadā biodegviela sastādīja tikai 0.17% no kopējā degvielas patēriņa valstī, bet 2009. gadā – 0.48%.

Būtiskākie faktori, kas kavē bioetanola un arī citu biodegvielu plašāku pielietojumu, ir sabiedrības ierobežotā informētība par bioetanola izmantošanas iespējām spēkratos, to priekšrocībām un trūkumiem, kā arī salīdzinoši nelielais valsts atbalsts biodegvielu izmantošanas veicināšanai. Objektīvas informācijas pieejamība ir cieši saistīta ar veiktajiem pētījumiem biodegvielu izpētes jomā. Pieejamo informācijas avotu un zinātnisko pētījumu analīze liecina par bieži vien atšķirīgiem un pat pretrunīgiem rezultātiem. Vairums bioetanola izmantošanas pētījumi veikti režīmos, kuri maz saistīti ar reāliem automobiļa ekspluatācijas

apstākļiem. Iepriekšminētie argumenti pamato objektīvu bioetanola izmantošanas pētījumu nepieciešamību režīmos un apstākļos, kuri tuvināti reāliem automobiļa ekspluatācijas apstākļiem. Lietderīgi izveidot arī teorētisku modeli, kurš analītiski aprēķina automobiļa barošanas sistēmas piemērotību bioetanola un benzīna maisījumu degvielu izmantošanai un nosaka nozīmīgākos automobiļa ekspluatācijas rādītājus.

Bioetanola izmantošanas analītiskā un eksperimentālā izpēte cieši saistīta ar paša bioetanola īpašību izpēti. Apkopojot zinātniskos pētījumus iegūto informāciju noteiktas bioetanola pozitīvās un negatīvās īpašības. Bioetanola ķīmiskajā formulā ( $C_2H_5OH$ ) ietilpst skābekļa atoms, kas veicina šīs degvielas pilnīgāku un tīrāku sadegšanu motoros (Gulbis, 2008). Bioetanolam ir par 10 – 15 vienībām augstāks oktānskaitlis, kas pie atbilstoša motora izveidojuma un regulējuma paaugstina motora efektīvo lietderības koeficientu un dod iespēju attīstīt lielāku motora jaudu un griezes momentu (Hammond, Kallu and McManus, 2008; Yücesu at al., 2006). Turpretī bioetanola zemākā siltumspēja  $26.8 \text{ MJ kg}^{-1}$  izsauc nepieciešamību palielināt motorā iesmidzinātās degvielas daudzumu par  $\sim 30 - 40\%$  (Koç at al., 2009). Bioetanola agresīvā ietekme uz atsevišķiem automobiļa barošanas sistēmas materiāliem (alumīniju, misiņu, gumijas materiāliem), izsauc nepieciešamību veikt šo materiālu nomaiņu, pielāgojot automobili bioetanola izmantošanai (Yüksel and Yüksel, 2004). Salīdzinoši zemais bioetanola piesātināto tvaiku spiediens pasliktina automobiļa iedarbināšanas iespējas pie zemām apkārtējās vides temperatūrām. Šī iemesla dēļ mūsu klimatiskajos apstākļos netiek izmantots tīrs bioetanol, bet gan to maisījumi ar fosilo benzīnu (Gulbis, 2008).

Informācijas avotu izpētes rezultātā, kā vienkāršākais un piemērotākais veids automobiļa pielāgošanai darbam ar degvielu E85 noteikts – pielāgošanas komplektu izmantošana. Neskatoties uz to, ka šādi pielāgošanas komplekti plaši pieejami gan ASV, gan arī Eiropas valstīs, zinātnisku pētījumu par to izmantošanas iespējām un efektivitāti nav pieejami. Tas pamato nepieciešamību veikt šādu pielāgošanas komplektu darbības izpēti.

## **PĒTĪJUMA MĒRĶIS UN UZDEVUMI**

### **Pētījuma mērķis**

Zinātniski pamatot bioetanola izmantošanas iespējas modernajos ottomotoros un analizēt to ietekmi uz automobiļu ekspluatācijas parametriem, lai sekmētu atjaunojamo energoresursu plašāku izmantošanu spēkratu darbināšanai.

### **Pētījuma uzdevumi**

1. Izstrādāt un aprobēt matemātisko modeli spēkratu ekspluatācijas parametru noteikšanai, izmantojot bioetanola un benzīna maisījumu degvielas, kā arī novērtēt šī modeļa darbību, veicot eksperimentālos pētījumus ar automobili.
2. Izstrādāt ar biodegvielām darbināmu automobiļu izmēģinājumu metodiku.

3. Izpētīt un novērtēt bioetanola izmantošanas iespējas nepielāgotā ottomotorā automobilī.
4. Eksperimentāli novērtēt biodegvielas pielāgošanas komplektu izmantošanas iespējas un efektivitāti automobiļos.
5. Definēt galvenos kritērijus, kas nosaka maksimāli pieļaujamo bioetanola saturu biodegvielas izmantošanai nepielāgotā automobiļa motorā.
6. Novērtēt degvielas E85 izmantošanas priekšrocības un trūkumus vadoties no ekonomiskā un ekoloģiskā aspekta.

## DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE

1. Izstrādāts matemātiskais modelis datorprogrammā *ExtendSim* ar bioetanola un benzīna maisījumu degvielām darbināmu automobiļu motora ārējo raksturlielumu noteikšanai, kuru iespējams izmantot, modelējot ar elektronisko iesmidzināšanas sistēmu aprīkota automobiļa darbību.
2. Izstrādāta ar biodegvielām darbināmu automobiļu izmēģinājumu metodika.
3. Izmēģinājumu metodikas ietvaros izstrādāts automobiļa braukšanas simulācijas cikls – *Jelgavas* cikls, kurš piemērots izmantošanai uz veltņu tipa jaudas stenda *Mustang MD-1750* un kurš imitē reālus automobiļa braukšanas režīmus pa Jelgavas pilsētas centru.
4. Eksperimentāli noteikta degvielu E0 – E85 izmantošanas ietekme uz biodegvielām nepielāgota automobiļa *VW Passat* jaudu, griezes momentu, degvielas patēriņu, izplūdes gāzu sastāvu u.c. motora darbību raksturojošiem parametriem. Noteikts, ka šādā automobilī iespējams izmantot bioetanola benzīna maisījumu degvielu ar bioetanola saturu līdz pat 50%.
5. Eksperimentāli pārbaudītas pielāgošanas komplekta *Etanizer* izmantošanas iespējas un efektivitāte automobiļa darbināšanai ar degvielu E85.
6. Novērtēta degvielas E85 izmantošana no ekonomiskā un ekoloģiskā viedokļa. Pamatots E85 degvielas izmantošanas ekonomiskais neizdevīgums pie pastāvošām degvielas cenām un valsts atbalsta.

## ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA

Pētījumi veikti laika posmā no 2007. līdz 2011. gadam. Iegūtie rezultāti apkopoti 13 zinātniskās publikācijās, kuras atbilst Latvijas Zinātnes padomes vispārārstīto zinātnisko izdevumu prasībām. Disertācijas tēmas pētījumu rezultātu aprobācija tika veikta uzstājoties starptautiskās zinātniskās konferencēs Latvijā, Lietuvā, Igaunijā un Čehijā.

### **Publikācijas vispārārstītos recenzējamajos zinātniskos izdevumos:**

1. Pirs V., Berjoza D. (2007) Research in engine power parameters when changing the adjustment of the distribution phases. **In:** *6th International*

- Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings*, May 24 – 25, 2007. Jelgava: LUA, p. 357-360.
2. Berjoza D., Jurgena I., Pirs V. (2008) Economical and ecological aspect of biofuel use in Latvia. **In:** International Scientific conference „*International agriculture and rural development (II)*”, Serbia, p. 505-513.
  3. Pirs V., Jesko Ž., Lācekliis-Bertmanis J. (2008) Determination Methods of Fuel Consumption in Laboratory Conditions. **In:** *7th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings*, May 29 – 30, 2008. Jelgava: LUA, p. 154-159. ISSN 1691-3043.
  4. 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.
  5. 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.
  6. 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.
  7. 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.
  8. 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.
  9. 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.
  10. 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.
  11. 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.
12. Berjoza D., Pirs V. (2010) Mathematical Model of Motor Vehicle Exploitation Parameter Calculation using Bio Ethanol Fuels. **In:** *4th International Scientific Conference „Trends in Agricultural Engineering”*, Proceedings, Sep. 7 – 10, 2010. Czech Republic, p. 78-83. ISBN 978-80-213-2088-8.
  13. Pirs V., Malnicenko V. (2010) Bioethanol Gasoline Fuel Blends Effect on Standard Spark-Ignition Engine Operating Parameters. **In:** *Agricultural Engineering: Proceedings of the International Scientific Conference „Mobile Machines”*, September 23 – 24, 2010. Kaunas: Lithuanian University of Agriculture, p. 115-126. ISSN 1392-1134.

### **Uzstāšanās starptautiskās zinātniskās konferencēs ar ziņojumiem**

1. Pirs V., Berjoza D. Research in engine power parameters when changing the adjustment of the distribution phases. 6th International Scientific Conference „Engineering for rural development”. Jelgava: LUA, Latvia, May 24 – 25, 2007.
2. Pirs V., Jesko Ž., Lācekļis-Bertmanis J. Determination Methods of Fuel Consumption in Laboratory Conditions. 7th International Scientific Conference „Engineering for rural development”. Jelgava: LUA, Latvia, May 29 – 30, 2008.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Dukulis I., Birzietis G., Pirs V., Birkavs A., Jesko Z. Exhaust Emissions from Vehicles Operating on Rapeseed Oil Fuel. International Scientific Conference „Biosystems Engineering”. Tartu: EMU, Estonia May 13 – 14, 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: EMU, Estonia May 13 – 14, 2010.
9. 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.
10. Aboltins A., Berjoza D., Pirs V. Theoretical Model of Exploitation of Automobiles operated with Bioethanol-Gasoline Mixture Fuels. 9th International Scientific Conference „*Engineering for Rural Development*”. Jelgava: LUA, Latvia May 27 – 28, 2010.
11. Berjoza D., Pirs V. Mathematical Model of Motor Vehicle Exploitation Parameter Calculation using Bio Ethanol Fuels. 4th Internaciona Conference „*Trends in Agricultural Engineering 2010*”. Prague, Czech Republic, Sep. 7 – 10, 2010.
12. Pirs V., Malnicenko V. Bioethanol Gasolinefuel Blends Effect on Standard Spark-Ignition Engine Operating Parameters. International Scientific Conference „*Mobile Machines*”. Kaunas: Lithuanian University of Agriculture, Lithuania, Sep. 23 – 24, 2010.

## 1. TEORĒTISKIE PĒTĪJUMI

Pirmajā nodaļā aprakstītās bioetanola izmantošanas iespējas nenoliedzami parāda perspektīvas šī degvielas veida izmantošanā. Atsevišķas bioetanola fizikāli ķīmiskās īpašības būtiski atšķiras no benzīna īpašībām, tādēļ specifiska kļūst arī bioetanola kā motordegvielas izmantošana, kā arī mainās daudzi motora un visa automobiļa darba parametri: motora jauda, griezes moments, degvielas patēriņš, dažādi automobiļa vilces un ieskriešanās laika rādītāji un citi parametri.

Šīs nodaļas galvenais uzdevums ir teorētisko aprēķinu ceļā parādīt, kādas izmaiņas notiks, lietojot vienu vai citu degvielas veidu ottomotoros.

Teorētisko pētījumu nodaļa ir iedalīta vairākās apakšnodaļās. Pirmajā apakšnodaļā aprakstīti darbā izmantotie modelēšanas rīki un to īpašības. Otrajā apakšnodaļā izstrādāts teorētiskais modelis *ExtendSim* programmā automobiļa maksimālās jaudas, griezes momenta, maksimālā degvielas patēriņa un citu ar motora barošanas sistēmu saistītu elementu īpašību noteikšanai.

### 1.1. Teorētiskā modeļa matemātiskā algoritma pamatstruktūra

Izstrādātajā teorētiskajā modelī, ar bioetanolu darbināmu automobiļu ietekmes noteikšanai uz dažādiem motora darbības rādītājiem izmantotas vairākas sakarības. Šajā apakšnodaļā apskatītas būtiskākās pamat sakarības, kas tiek izmantotas modeļa algoritmam.

Pirmajā solī tiek noteikts motora patērētā gaisa daudzums pēc sekojošas sakarības (Aboltins, Berjoza and Pirs, 2010):

$$Q_g = \frac{V_l \cdot n_{\max} \cdot \eta_v \cdot \rho_g}{500 \cdot \tau}, \quad (1.1)$$

kur  $Q_g$  – patērētā gaisa daudzums laika vienībā,  $\text{kg min}^{-1}$ ;  
 $V_l$  – motora darba tilpums, jeb litrāža, l;  
 $n_{\max}$  – maksimālā motora kloķvārpstas rotācijas frekvence,  $\text{min}^{-1}$ ;  
 $\tau$  – motora taktu skaits;  
 $\eta_v$  – pildījuma koeficients;  
 $\rho_g$  – gaisa blīvums,  $\text{kg m}^{-3}$ .

Zinot patērētā gaisa daudzumu laika vienībā un konkrētās izmantotās degvielas stehiometrisko gaisa un degvielas attiecību  $\lambda$ , iespējams noteikt teorētiski nepieciešamo degvielas daudzumu pēc sakarības (Aboltins, Berjoza and Pirs, 2010):

$$Q_{d,v} = \frac{2 \cdot V_l \cdot n_{\max} \cdot \eta_v \cdot \rho_g}{\tau \cdot \lambda_x \cdot \rho_d}, \quad (1.2)$$

kur  $Q_{d,v}$  – maksimālais degvielas patēriņš,  $\text{l min}^{-1}$ ;  
 $\lambda_x$  – konkrētas ( $x$ -tās) degvielas 1 kg sadedzināšanai nepieciešamā gaisa daudzuma proporcija.

Sakarībā (1.2.) aprēķinātā vērtība ir būtiska dažādu citu automobiļa raksturlielumu aprēķinam. Piemēram, pēc iegūtā parametra vērtības iespējams noteikt automobiļa nepieciešamā degvielas sūkņa un sprauslu ražīgumu. Bioetanola maisījumu degvielu izmantošanas gadījumā, sprauslu ražīgums jāizvēlas lielāks, nekā fosilā benzīna izmantošanas gadījumā. Salīdzinot aprēķināto maksimālo degvielas patēriņu ar automobiļa sprauslu kopējo ražīgumu pie konkrētas izmantotās degvielas, iespējams noteikt arī iesmidzināšanas sprauslas noslogojumu un tās atbilstību izmantotajam degvielas veidam.

Ja ir zināma degvielas siltumspēja un laika vienībā patērētā degviela, ievērtējot enerģijas zudumus, iespējams noteikt motora maksimālo efektīvo jaudu:

$$N_{e,\max} = \frac{60}{3.6} \cdot Q_{z,s} \cdot Q_{d,m} \cdot \eta_e, \quad (1.3)$$

kur  $N_{e,\max}$  – maksimālā motora efektīvā jauda, kW;  
 $Q_{z,s}$  – degvielas zemākā siltumspēja,  $\text{MJ kg}^{-1}$ ;  
 $\eta_e$  – motora efektīvais lietderības koeficients.

Zinot maksimālo motora efektīvo jaudu un motora kloķvārpstas rotācijas frekvenci pie kuras šī jauda tiek attīstīta, iespējams noteikt motora jaudas līknes aptuveno formu pēc empīriskas sakarības:

$$N_e = N_{e,\max} \cdot \left( a \cdot \frac{n_e}{n_{\max}} + b \left( \frac{n_e}{n_{\max}} \right)^2 - c \left( \frac{n_e}{n_{\max}} \right)^3 \right), \quad (1.4)$$

kur  $N_e$  – motora efektīvā jauda pie meklējamās kloķvārpstas rotācijas frekvences  $n_e$ , kW;

$n_e$  – motora kloķvārpstas rotācijas frekvence meklējamam punktam,  $\text{min}^{-1}$ ;  
 $a, b, c$  – motora tipu raksturojoši empīriski koeficienti (Pommers un Liberts 1985; Aboltins, Berjoza and Pirs, 2010).

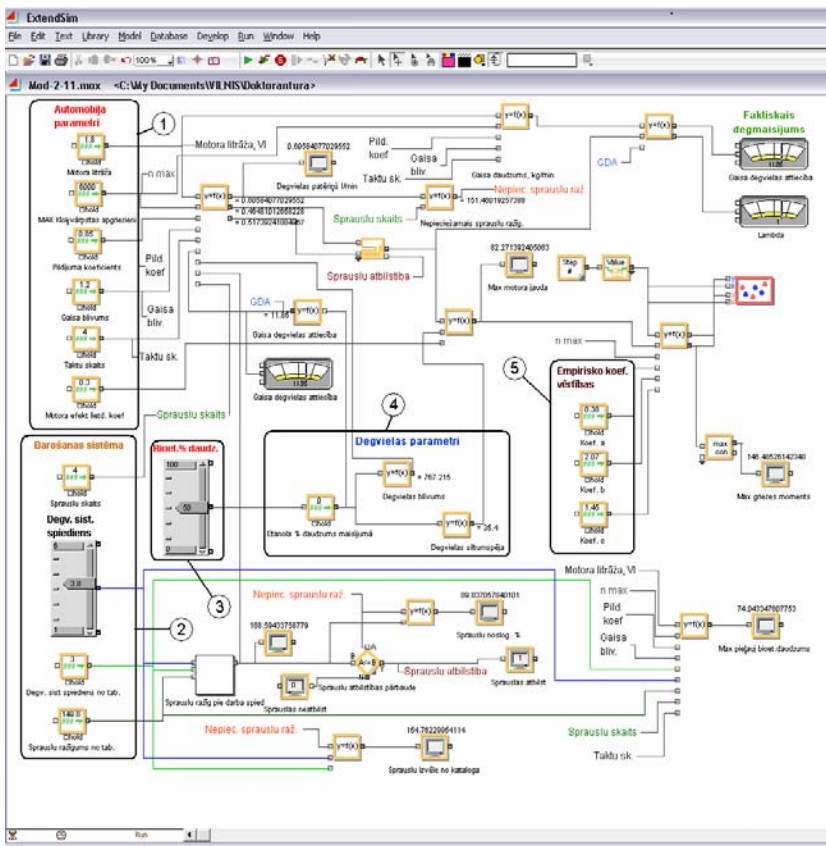
Izmantojot sakarības 1.1. – 1.4., to izvedumus, kā arī izmantojot citas promocijas darbā dotās un empīriskā ceļā izvestās sakarības, izveidots teorētiskais modelis.

## 1.2. Teorētiskā modeļa uzbūve un funkcionālās iespējas

Teorētiskā modeļa (sk. 1. att.) struktūrā izveidoti vairāki ievades parametru un aprēķinu bloki. Automašīna motora vispārējo parametru blokā (1) ietilpst tādi parametri, kā motora litrāža  $V_l$ , maksimālie kloķvārpstas apgriezieni  $n_{max}$ , pildījuma koeficients  $\eta_v$ , motora efektīvais lietderības koeficients  $\eta_e$  u.c. Motora barošanas sistēmas parametru blokā (2) ietilpst sprauslu skaits, sprauslu tehniskie dati no ražotāju tabulām un degvielas sistēmas spiediens  $p_d$ . Modelī izveidota degvielas sistēmas spiediena maiņas iespēja robežās no 1 līdz 6 bar. Tāpat izveidots atsevišķs bloks (3) bioetanola saturs degvielu maisījumā. Degvielas parametru blokā (4) ietilpst tādi parametri, kā degvielas blīvums  $\rho_d$  un degvielas zemākā siltumspēja  $Q_{z,s}$ . Motora maksimālās jaudas un griezes momenta raksturlīkņu konstruēšanai izveidots empīrisko koeficientu ievades parametru bloks (5).

Modelējot motora darbību ar degvielām E0 (A95) – E85, iespējams noteikt:

- motora maksimālo jaudu un griezes momentu, kā arī jaudas un griezes momenta ārējās raksturlīknes visā kloķvārpstas rotācijas frekvences diapazonā;
- maksimāli iespējamo degvielas patēriņu;
- iesmidzināšanas sprauslu noslogojumu pie jebkuras no modelētajām degvielām;
- maksimāli pieļaujamo bioetanola saturu degvielu maisījumā, kādu iespējams izmantot, lietojot konkrētu degvielas veidu;
- degvielas sistēmas spiediena ietekmi uz maksimāli pieļaujamo bioetanola saturu izmantojamajā degvielu maisījumā;
- nepieciešamo sprauslu ražīgumu konkrēta bioetanola un benzīna maisījuma izmantošanas gadījumā.



1.1. att. Bioetanola un benzīna maisījumu degvielu izmantošanas teorētiskais modelis ar ievades parametru blokiem:

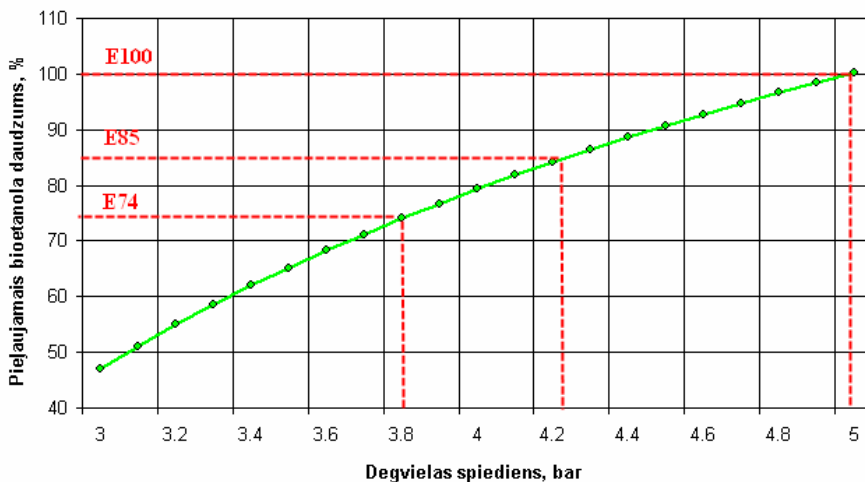
1 – automobiļa motora vispārējie parametri; 2 – motora barošanas sistēmas parametri; 3 – bioetanola saturs degvielu maisījumā; 4 – degvielas parametri; 5 – empīrisko koeficientu vērtības.

### 1.3. Modelēšanas rezultāti

Veicot modelēšanu ar ievades parametriem, kas atbilst eksperimentālajos pētījumos izmantotā automobiļa *VW Passat* parametriem, iegūti sekojoši rezultāti. Maksimālais bioetanola saturs kādu teorētiski iespējams izmantot izvēlētajā automobiļī ir 74% jeb degviela E74. Pie šāda bioetanola piejaukuma maksimālās slodzes režīmā automobiļa sprauslas tiks noslogotas par 100%. Optimālais bioetanola saturs pētījumos analizētā automobiļa degvielu maisījumā ir 36%. Stehiometriska degmaisījuma gadījumā pie šāda bioetanola satura degvielu

maisījumā, sprauslas tiks noslogotas par 85%. Šāds sprauslu noslogojums tiek rekomendēts, automobilim darbojoties pilnas slodzes režīmā.

Viens no paņēmieniem, kā panākt nepieciešamā degvielas daudzuma iesmidzināšanu motorā, automobilim darbojoties ar E85 degvielu, ir degvielas spiediena paaugstināšana (sk. 1.2. att.). Šajā gadījumā degvielas spiediens jāpaaugstina no rūpnīcas noteiktajiem 3.8 bar līdz 4.3 bar. Pie spiediena 4.3 bar automobiļa degvielas sprauslas spēs iesmidzināt tādu degvielas daudzumu, kas pilnas slodzes režīmā nodrošinās stehiometrisku degmaisiņu.



1.2. att. Degvielas spiediena ietekme uz maksimāli pieļaujamo bioetanola saturu degvielu maisījumā.

Lai biodegvielu izmantošanai nepielāgotu automobili varētu darbināt ar degvielu E85, nemainot degvielas spiedienu, vai citus parametrus, esošo sprauslu vietā ar ražīgumu  $149.8 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$  nepieciešams izvēlēties sprauslas, kuru ražīgums nav mazāks par  $182 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$ .

Ja motorā tiek nodrošināts stehiometrisks degmaisiņš, tad maksimālā jauda un griezes moments mainās nebūtiski. Maksimālā jauda modelējot motora darbību ar degvielu E0 ir 82.4 kW, bet ar degvielu E75 – 81.8 kW. Tātad maksimālās jaudas vērtību izmaiņas šajā izmantoto degvielu diapazonā nepārsniedz 1%. Paaugstinot bioetanola saturu degvielu maisījumā, samazinās degvielas siltumspēja un līdz ar to arī degvielai piemītošā enerģija, kas jākompensē ar degvielas padeves daudzuma palielināšanu. Lietojot degvielu E85, motora maksimālā jauda samazināsies par 5.6%, bet degvielas E100 izmantošanas gadījumā, jauda samazināsies par 13%. Šīs jaudas samazinājums veidojas tādēļ, ka iesmidzināšanas sprauslu ražīgums ir nepietiekošs, lai ievadītu cilindros nepieciešamo degvielas daudzumu. Motora maksimālā jauda lietojot degvielu E85 būs 77.8 kW, bet degvielu E100 – 71.6 kW.

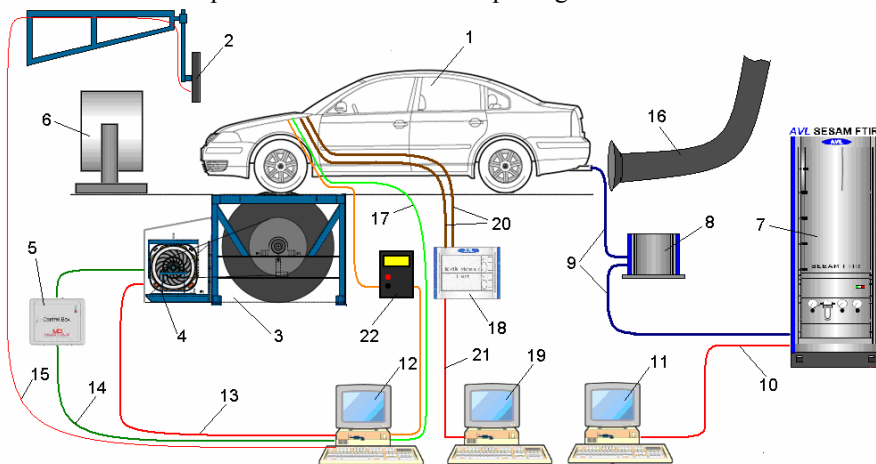
## 2. EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI

Ekspierimentālie pētījumi veikti Latvijas Lauksaimniecības universitātes Alternatīvo degvielu zinātniskā laboratorijā. Promocijas darbā veiktos eksperimentālos pētījumus var iedalīt vairākās daļās. Vispirms izstrādāta izmēģinājumu metodika ar biodegvielām darbināmu automobiļu izpētei. Noteiktas atsevišķas eksperimentos izmantoto degvielu fizikālās īpašības, kā arī veikti nepielāgota automobiļa pētījumi, lietojot degvielas E0 – E85, kā arī veikti motoru pielāgošanas komplektu pētījumi darbā ar degvielu E85. Eksperimentālo pētījumu nodaļas beigās veikts teorētisko un eksperimentālo rezultātu salīdzinājums.

Ekspierimentālie pētījumi veikti izmantojot modernu Alternatīvās degvielas zinātniskās laboratorijas tehnisko aprīkojumu. Lai iegūtu augstu mērījumu atkārtojumu precizitāti, lielākā daļa eksperimentu veikti uz veltņu tipa jaudas stenda Mustang MD-1750 imitējot reālus automobiļa kustības režīmus.

### 2.1. Eksperimentos izmantotās iekārtas un materiāli

Ekspierimentālie pētījumi veikti vienlaicīgi izmantojot vairākas mērīšanas iekārtas. Mērīšanas procesā izmantoto iekārtu pieslēguma shēma dota 2.1. attēlā.



2.1. att. Mēriekārtu slēguma shēma nepielāgota automobiļa eksperimentiem:

1 – eksperimentālais automobilis *VW Passat*; 2 – testa ciklu simulācijas sekundārais monitors; 3 – jaudas stends *Mustang MD-1750*, 4 – sloģošanas motors; 5 – jaudas stenda kontroles bloks; 6 – dzesēšanas ventilators; 7 – atģazu analītiskā sistēma *AVL SESAM FTIR*; 8 – apsildāms filtrs; 9 – apsildāma atģazu caurule; 10 – *AVL SESAM FTIR* datu pārraides kabelis; 11 – atģazu analītiskās sistēmas vadības dators ar speciālu programmatūru; 12 – jaudas stenda vadības dators ar programmatūru; 13 – jaudas stenda datu pārraides kabelis; 14 – jaudas stenda

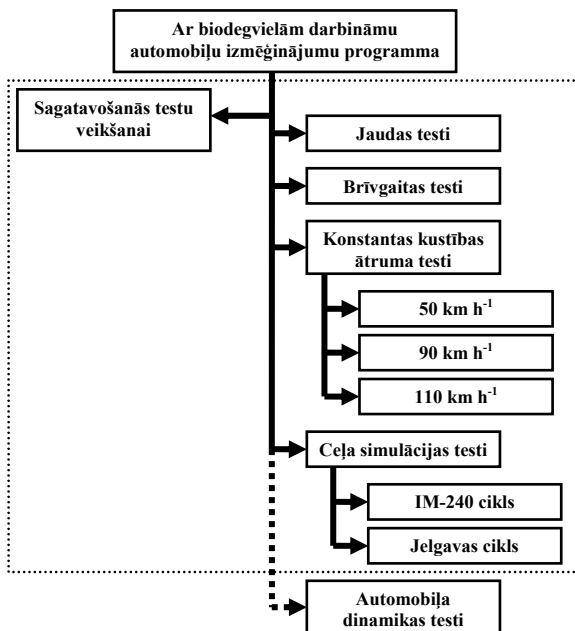
vadības kabelis; 15 – sekundārā monitora kabelis; 16 – atgāzu nosūkšanas caurule; 17 – atgāzu temperatūras datu pārraides kabelis; 18 – degvielas patēriņa mēriekārta *AVL KMA Mobile*; 19 – degvielas patēriņa mēriekārtas vadības dators ar speciālu programmatūru; 20 – degvielas cauruļvadi; 21 – degvielas patēriņa mēriekārtas datu pārraides kabelis; 22 – digitālā gaisa un degvielas attiecības mērierīce *LM-1*.

Pirms mērījumu uzsākšanas automobilis tiek nostiprināts uz veltnu tipa jaudas stenda *Mustang MD-1750* (3) (sk. 2.1. att.). Starp automobiļa degvielas tvertni un degvielas maģistrāli, tiek pieslēgta degvielas patēriņa mēriekārta *AVL KMA Mobile* (18) un izplūdes sistēmas galā – pievienota atgāzu analītiskā sistēma *AVL SESAM FTIR* (7). Mērījumu datu nolasišanu un reģistrāciju veic šo iekārtu vadības sistēmas datori ar speciālām programmatūrām (11, 12, 19). Automobiļa motora vadības blokam paralēli pieslēgts arī *BOSCH KTS 570* sistēmtesteris, kas nodrošina iespēju mērīšanas laikā sekot līdzi motora vadības sistēmas darbībai.

## 2.2. Automobiļu izmēģinājumu metodika

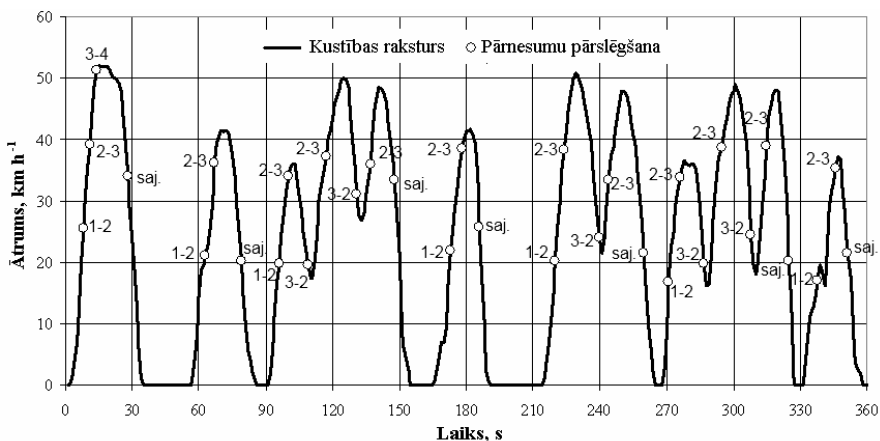
Veicot fosilās degvielas, bioetanolu un arī citu biodegvielu izpēti, radās nepieciešamība pēc vienotas izmēģinājumu metodikas izstrādes. Gatavas un standartizētas izmēģinājumu metodikas, kas atbilstu gan pieejamam tehniskam nodrošinājumam, gan arī iepļānotajiem izpētes mērķiem, nav pieejamas. Šāda izmēģinājumu metodika nepieciešama, lai būtu iespējams salīdzināt dažādu eksperimentālo testu rezultātus, kas iegūti dažādos laika periodos, izmantojot atšķirīgas degvielas un atšķirīgus motora regulējumus, vai pat veicot eksperimentus ar dažādiem automobiļiem. Sadarbībā ar LLU Tehniskās fakultātes doktorantu I. Dukuli izstrādāta ar biodegvielām darbināmu automobiļu izmēģinājumu metodika. Šī metodika paredz dažādu automobiļu testēšanu, lietojot LLU Alternatīvo degvielu zinātniskās laboratorijas tehnisko aprīkojumu un par degvielu izmantojot gan fosilās degvielas – benzīnu un dīzeļdegvielu, gan arī biodegvielas – bioetanolu, rapša eļļu un biodīzeļdegvielu. Izstrādātā metodika paredz un pamato nepieciešamo testu veidus, testu ilgumus un atkārtojumu skaitu.

Izstrādātā izmēģinājumu metodika (sk. 2.2. att.) ietver sekojošus testu veidus – jaudas testu, brīvgaitas testu, konstantas kustības ātruma testus ( $50 \text{ km h}^{-1}$ ,  $90 \text{ km h}^{-1}$  un  $110 \text{ km h}^{-1}$ ), kā arī ceļa simulācijas testus (*IM-240* un *Jelgavas* ciklu). Konstantas kustības ātruma režīmi atspoguļo tipiskākos Latvijas vienmērīgas kustības ātruma režīmus gan pilsētas, gan arī ārpuspilsētas apstākļos. Cikls *IM-240* ir standartizēts cikls, kas atspoguļo automobiļa kustību gan pilsētas, gan ārpuspilsētas režīmos, bet *Jelgavas* cikls ir šī promocijas darba autora V. Pīra un doktoranta I. Dukuļa kopēji izstrādāts cikls, kas imitē automobiļa braukšanas režīmu atbilstošu Jelgavas pilsētas centram. Šāds režīms var tikt attiecināts arī uz citām Latvijas pilsētām.



2.2. att. Izmēģinājumu programma.

Izstrādātā *Jelgavas* cikla kustības ātruma raksturlīkne ar fiksētiem pārnesumu pārslēgšanas momentiem attēlota 2.3. attēlā.

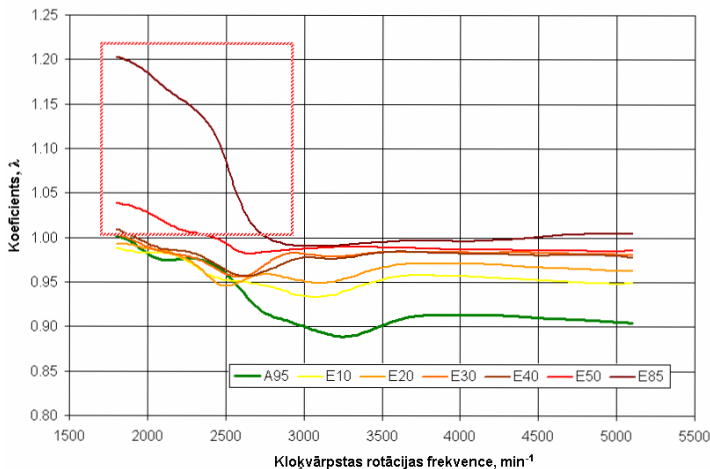


2.3. att. Kustības ātrums un pārnesumu pārslēgšanas momenti *Jelgavas* ciklā.



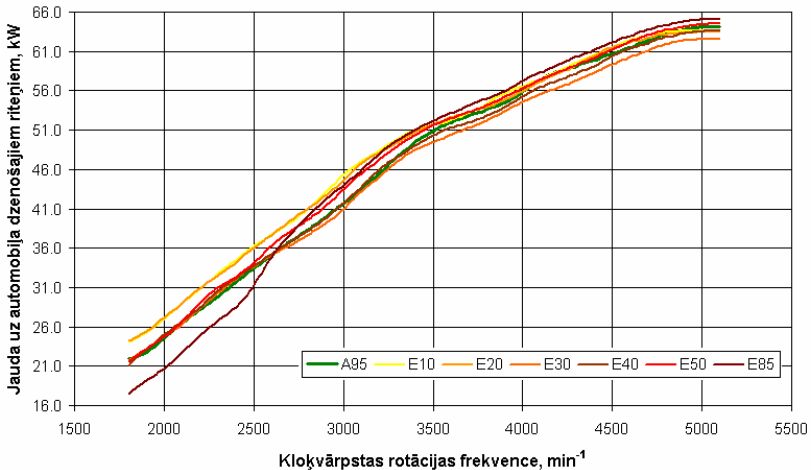
### 2.3. Bioetanola un benzīna maisījumu degvielu izmantošanas pētījumi nepielāgotos motoros

Ekspimentālie pētījumi realizēti ar degvielām E0 (A95), E10, E20, E30, E40, E50 un E85 biodegvielu darbināšanai nepielāgotā automobiļi *VW Passat*. Pētījumu rezultāti liecina par to, ka automobiļis ir spējīgs darboties ar visām izmēģinātajām degvielām, tomēr nav ieteicams šādā automobiļi izmantot bioetanola un benzīna maisījumu degvielas ar bioetanola saturu virs 50%, jo pie zemas kloķvārpstas rotācijas frekvences pilnas slodzes režīmā veidojās pārmērīgi liess degmaisījums (sk. 2.4. att.).



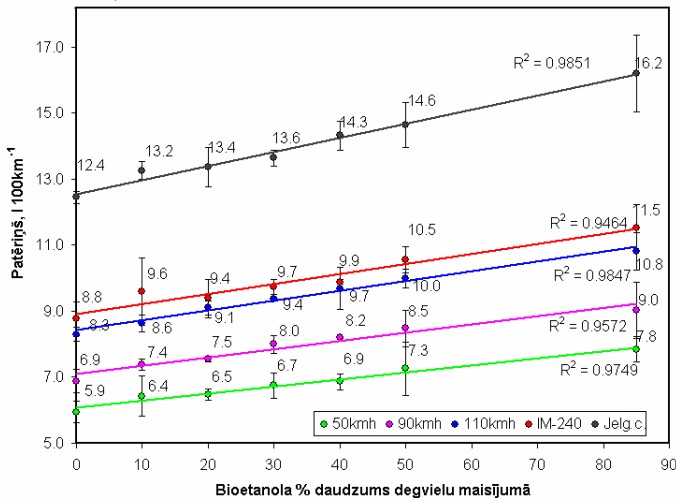
#### 2.4. att. Degvielas veida ietekme uz degmaisījuma sastāvu.

Pārmērīgi liess degmaisījums ( $\lambda = 1.18$ ), eksperimentos izmantojot degvielu E85, ir par iemeslu, kādēļ pie zemas kloķvārpstas rotācijas frekvences (piem. 2000 min<sup>-1</sup>), par 16% samazinās automobiļa jauda un par 15% samazinās griezes moments. Jaudas izmaiņas pie vidējiem un lieliem kloķvārpstas apgriezieniem ir nebūtiskas (sk. 2.5. att.). Labākie jaudas un griezes momenta rādītāji pilnas slodzes režīmā pie zemas kloķvārpstas rotācijas frekvences iegūti, izmantojot degvielas E10 un E20. Degvielas E20 izmantošanas gadījumā, pie 2000 min<sup>-1</sup> automobiļa jauda palielinās par 11%, bet griezes moments – par 12%. Kopējā degmaisījuma veidošanās tendences liecina par to, ka motoru darbinot pilnas slodzes režīmā, un palielinot bioetanola saturu degvielu maisījumā, degmaisījums kļūst liesāks, bet pārējos kustības režīmos automobiļa elektroniskais vadības bloks nodrošina stehiometrisku degmaisījumu, pie visām eksperimentētajām degvielām. Izplūdes gāzu temperatūras mērījumi motora pilnas slodzes režīmā liecina par izplūdes gāzu temperatūras paaugstināšanos, lietojot bioetanola un benzīna maisījumu degvielas, tomēr šāds temperatūras pieaugums neatstāj negatīvu ietekmi uz motora darbību vai ilgmūžību.



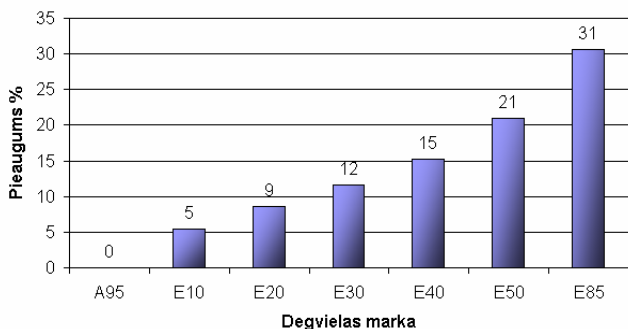
2.5. att. Degvielas veida ietekme uz eksperimentālā automobiļa VW *Passat* jaudu.

Degvielas patēriņa mērījumi dažādos kustības režīmos, liecina par to, ka palielinot bioetanola saturu degvielu maisījumā, pakāpeniski pieaug arī degvielas patēriņš (sk. 2.6. att.).



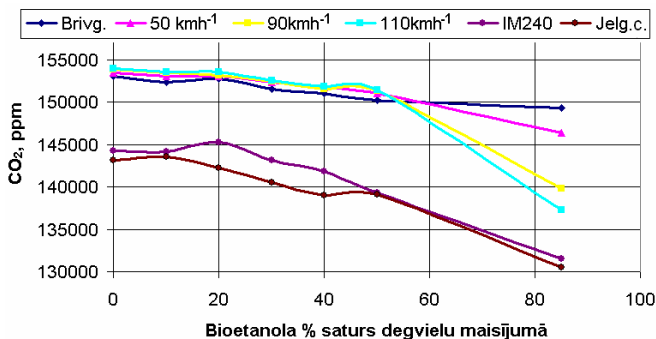
2.6. att. Degvielas patēriņa izmaiņas atkarībā no degvielas veida un kustības režīma.

2.6. attēlā redzams, ka degvielas patēriņa pieaugums visos testa režīmos ir līdzīgs. Bioetanola saturu palielinot par katrām 10%, degvielas patēriņš vidēji palielinās par 3 – 6%. Apkopojot visos testa režīmos iegūtās vidējās degvielas patēriņa vērtības, noteikts procentuālais degvielas patēriņa pieaugums attiecībā pret degvielas patēriņu, izmantojot fosilo benzīnu (sk. 2.7. att.).



2.7. att. Degvielas patēriņa procentuālais pieaugums.

Paralēli iepriekš aprakstītajiem parametriem noteikts arī eksperimentālā automobiļa izplūdes gāzu sastāvs. Mērījumi veikti ar *AVL SESAM FTIR* atgāzu analītisko sistēmu, kas vienlaicīgi spēj noteikt līdz pat 25 atgāzu komponentēm. Analizējot toksiskās izplūdes gāzu komponentes ( $CO$ ,  $HC$  un  $NO_x$ ), kuras sastāda salīdzinoši nozīmīgu īpatsvaru no kopējā izmešu daudzuma, secināts, ka palielinot bioetanolā saturu degvielu maisījumā, samazinās  $CO$  izmešu daudzums,  $HC$  izmešu daudzums paliek nemainīgs, bet  $NO_x$  izmešu daudzums pieaug. Būtisks  $NO_x$  izmešu daudzuma pieaugums ir degvielu maisījumiem, kuros bioetanolā piejaukums ir lielāks par 50%. Tas izskaidrojams ar to, ka  $NO_x$  komponente pastiprināti veidojās pie liesāka degmaisījuma un augstākas sadegšanas temperatūras, kas raksturīga nepielāgotam motoram darbojoties ar bioetanolā un benzīna maisījumu degvielām ar augstu bioetanolā piejaukumu. Neskatoties uz to, ka  $CO_2$  komponente nav toksiska, tomēr tā ir siltumnīcas efektu veicinoša gāze, un  $CO_2$  izmešu daudzumu pasaulē cenšas samazināt ar dažādiem paņēmieniem. Bioetanolā izmantošanas gadījumā,  $CO_2$  izmešu daudzums izplūdes gāzēs samazinās (sk. 2.8. att.).

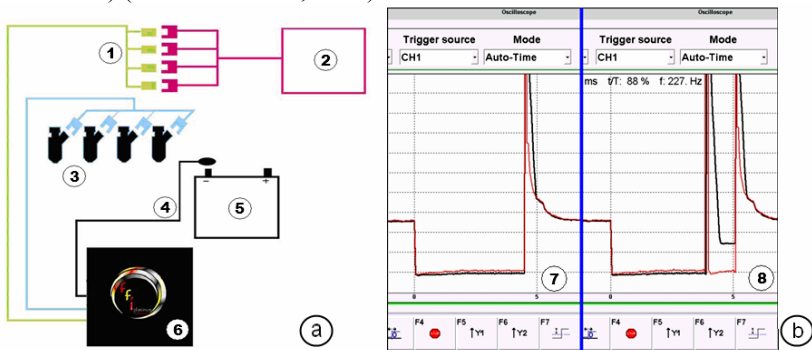


2.8. att. Izmantotās degvielas veida ietekme uz  $CO_2$  izmešu daudzumu.

## 2.4. Bioetanola un benzīna maisījumu degvielas pielāgošanas komplekta izmantošanas pētījums

Viens no vienkāršākajiem veidiem, kā pielāgot standarta automobili darbam ar E85 degvielu ir speciālu pielāgošanas komplektu izmantošana. Šādu komplektu uzstādīšana plaši tiek reklamēta un izmantota ASV, pamazām šīs tehnoloģijas tiek ieviestas arī Eiropā. Lai noskaidrotu, kā šī ierīce darbojas, un vai tā pilda uzdotās funkcijas, eksperimentu nolūkā iegādāts pielāgošanas komplekts *Etanizer*.

Ierīces pamatā ir elektroniska mikroshēma un elektrisko vadu starpgabals ar speciāliem spraudņiem. Elektroniskā mikroshēma tiek ieslēgta elektroinstalācijas ķēdē starp automobiļa elektronisko vadības bloku un iesmidzināšanas sprauslām (sk. 2.9. att. a.) (FFI Platinum ..., 2007).

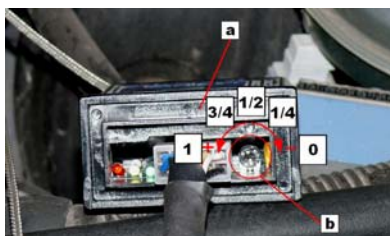


2.9. att. Pielāgošanas komplekta pieslēguma shēma motoram un darbības princips:

a – pieslēguma shēma; b – iesmidzināšanas signāla koriģēšana; 1 – kontaktspraudņi; 2 – motora elektroniskais vadības bloks; 3 – sprauslas; 4 – masas vads; 5 – akumulatoru baterija; 6 – pielāgošanas komplekta mikroshēma; 7 – nekoriģēts iesmidzināšanas signāls; 8 – koriģēts iesmidzināšanas signāls.

Pielāgošanas komplektu darbības pamatā ir iesmidzināšanas sprauslas papildus „masas” impulsa ģenerēšana (sk. 2.9. att. b), nodrošinot papildus degvielas devas iesmidzināšanu. Papildus ģenerētā impulsa ilgums atkarīgs no pamatiesmidzināšanas impulsa ilguma un pielāgošanas komplekta regulēšanas reostata stāvokļa (sk. 2.10. att).

Pēc pielāgošanas komplekta uzstādīšanas uz eksperimentālā automobiļa *VW Passat*, veikta testu sērija, kas nedaudz atšķirīga no iepriekš izstrādātās automobiļu izmēģinājumu metodikas. Lai detalizētāk izpētītu pielāgošanas komplekta piemērotību un efektivitāti automobiļa darbināšanai ar degvielu E85, veikti izmēģinājumi motoram darbojoties gan brīvgaitā, gan pilnas slodzes režīmā, pie dažādiem pielāgošanas komplekta reostata stāvokļiem. Pie tam motors tika darbināts gan ar atgriezenisko vadības saiti gan bez tās, t.i. ar pieslēgtu un atslēgtu skābekļa devēju.

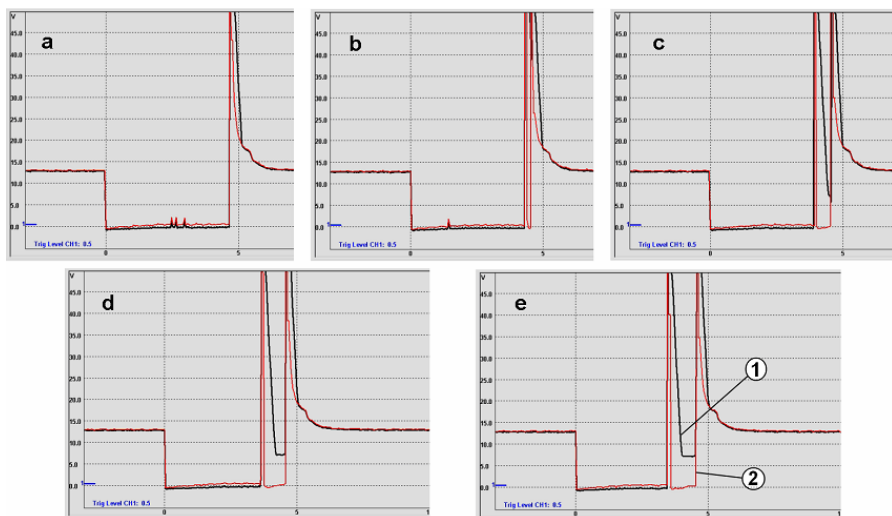


2.10. att. Reostata pozīcijas maiņa:

a – *Etanizer* pielāgošanas komplekts; b – reostats iesmidzināšanas signāla ilguma koreģēšanai.

Eksperimenti sākti ar auksta motora iedarbināšanas testu. Eksperimentu rezultātā noskaidrots, ka pielāgošanas komplekts atvieglo auksta motora iedarbināšanu, bagātinot degmaistījumu 8 – 10 s no automobiļa iedarbināšanas („startēšanas”) brīža. Izmantojot degvielu E85, aukstu motoru bez pielāgošanas komplekta nav iespējams iedarbināt.

2.11. attēlā dotas degvielas iesmidzināšanas signāla oscilogrammas pie dažādām reostata pozīcijām, motoram darbojoties brīvgaitā ar atgriezenisko vadības saiti.

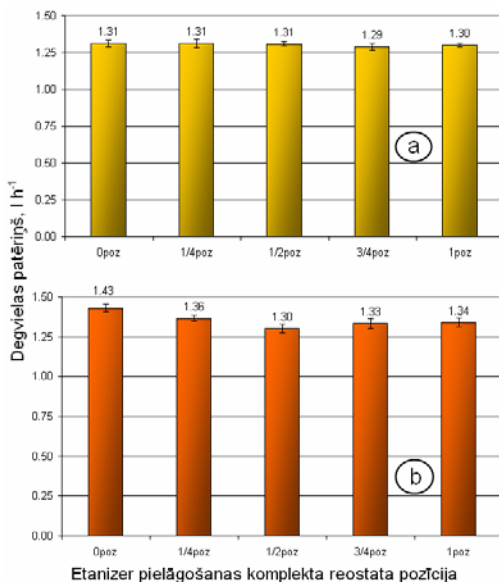


2.11. att. Iesmidzināšanas signāla oscilogramma pie dažādām reostata pozīcijām, motoram darbojoties ar atgriezenisko vadības saiti:

a – 0 poz., b –  $\frac{1}{4}$  poz., c –  $\frac{1}{2}$  poz., d –  $\frac{3}{4}$ , e – 1 poz.; 1 – spriegums elektriskajā ķēdē no elektroniskā vadības bloka uz *Etanizer* pielāgošanas komplektu; 2 – spriegums elektriskajā ķēdē no *Etanizer* pielāgošanas komplekta uz sprauslām.

No 2.11. attēla redzams, ka, griežot reostatu no pozīcijas 0 uz 1, papildus ģenerētā iesmidzināšanas signāla ilgums palielinās, tomēr kopējais iesmidzināšanas signāla ilgums paliek nemainīgs. Tas izskaidrojams ar to, ka automobiļa vadības bloks, izmantojot skābekļa devēja signālu, uztur stehiometrisku degmaisījumu. Jo papildus ģenerētais iesmidzināšanas signāls būs ilgāks, jo vadības bloks vairāk koriģēs pamatiesmidzināšanas signālu, samazinot tā ilgumu. Līdz ar to var secināt, ka šāda veida motoram konkrētajos darbības režīmos nav nekāda nozīme izmantot pielāgošanas komplektu.

Analizējot degvielas patēriņu un izplūdes gāzu izmešu sastāvu, motoram darbojoties ar atgriezenisko vadības saiti, secināts, ka pielāgošanas komplekta darbība pie jebkuras no reostata pozīcijām, neatstāj nekādu ietekmi uz automobiļa degvielas patēriņu un izplūdes gāzu sastāvu. Atšķirīga situācija veidojas motoram darbojoties bez atgriezeniskās vadības saites. Šādā režīmā zemākais brīvgaitas degvielas patēriņš iegūts pie pielāgošanas komplekta reostata pozīcijas 1/2 ( $Q = 1.30 \pm 0.02 \text{ l h}^{-1}$ ), savukārt, pie reostata pozīcijas 0 degvielas patēriņš ir  $1.43 \pm 0.02 \text{ l h}^{-1}$ . Brīvgaitas degvielas patēriņš pie dažādām pielāgošanas komplekta reostata pozīcijām, motoram darbojoties gan ar atgriezenisko vadības saiti, gan bez tās, dots 2.12. attēlā.



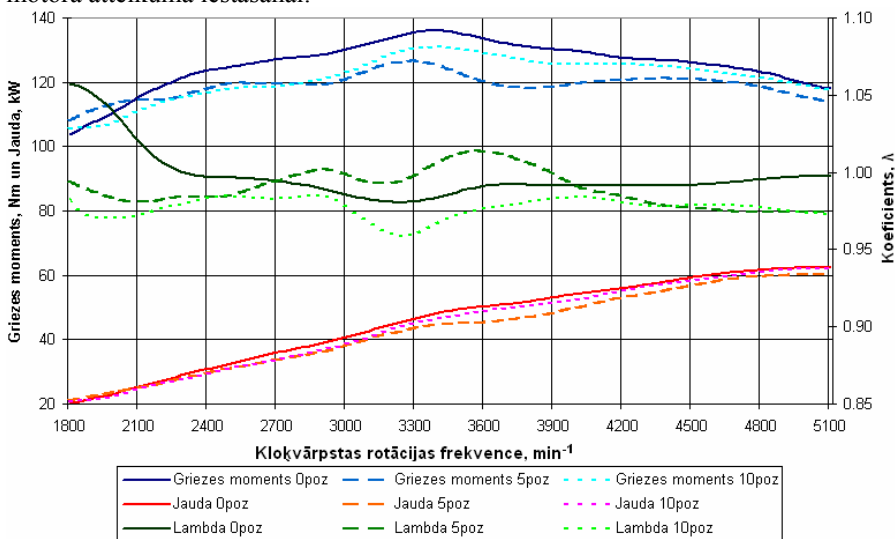
2.12. att. **Pielāgošanas komplekta reostata pozīcijas stāvokļa maiņas ietekme uz automobiļa brīvgaitas degvielas patēriņu:**

a – motora darbība ar atgriezenisko vadības saiti; b – motora darbība bez atgriezeniskās vadības saites.

Degvielas patēriņa palielināšanās, motoram darbojoties bez atgriezeniskās saites, vairākkārtīgi palielina nesadeģušo ogļūdeņražu (HC) daudzumu izplūdes 22

gāzēs, kā arī  $CO$  izmešu daudzumu, turpretī  $CO_2$  un  $NO_x$  izmešu daudzums samazinās.

Augstākie automobiļa jaudas un griezes momenta rādītāji visā motora kloķvārpstas rotācijas frekvences diapazonā iegūti motoram darbojoties pie pielāgošanas komplekta reostata pozīcijas – 0, jeb brīdī, kad pielāgošanas komplekts nekoriģē degmaisījumu (sk. 2.13. att.). Pie citām reostata pozīcijām daļējas un pilnas slodzes režīmā motors darbojas ar pārtraukumiem (raustās). Automobiļa ekspluatācija šādā režīmā nav pieļaujama, jo pastāv lielāka varbūtība motora atteikuma iestāšanās.



2.13. att. Jaudas, griezes momenta un degmaisījuma sastāva izmaiņas pie dažādiem Etanizer reostata regulējumiem.

### 3. DEGVIELAS E85 IZMANTOŠANAS EKONOMISKAIS NOVĒRTĒJUMS

Šī darba teorētiskajos un eksperimentālajos pētījumos, analizētas bioetanola izmantošanas iespējas automobiļos, kas paredzēti darbināšanai ar fosilo degvielu – benzīnu A95. Pētījumi pierāda, ka, veicot noteiktas izmaiņas automobiļa barošanas sistēmā, ir iespējams šos automobiļus darbināt arī ar bioetanola un benzīna maisījumu degvielām, tai skaitā arī degvielu E85. Šajā nodaļā veikts pētījumos izmantotā automobiļa ekspluatācijas izmaksu novērtējums, automobiļi ekspluatējot gan ar fosilo benzīnu A95, gan arī degvielu E85.

Ekonomiskajos aprēķinos izmantotas tikai tās izmaksu pozīcijas, kuras atkarīgas no izmantotā degvielas veida. Pie šīm izmaksām pieskaitāmas sekojošas izmaksu pozīcijas: automobiļa pielāgošanas izmaksas, tehnisko apkopju izmaksas un degvielas izmaksas. Skaitliskās vērtības, kuras iegūtas veicot ekonomisko izvērtējumu uz plānoto ekspluatācijas periodu jeb 100000 km, dotas 1. tabulā.

1. tabula. **Automobiļa VW Passat mainīgo ekspluatācijas izmaksu aprēķins uz plānoto ekspluatācijas periodu jeb 100000 km**

Parametra nosaukums	Apzīm.	Mērv.	Vērtība	
			A95	E85
<b>Kopējās automobiļa pielāgošanas izmaksas</b>	$I_P$	LVL	-	<b>160.01</b>
Pielāgošanas komplekta iegādes izmaksas	$I_{PK}$	LVL	-	90
Degvielas cauruļvadu izmaksas	$I_{DC}$	LVL	-	17.01
Palīgmateriālu izmaksas	$I_{PM}$	LVL	-	8
Uzstādīšanas izmaksas	$I_U$	LVL	-	45
<b>Kopējās TA izmaksas</b>	$I_{TA}$	LVL	<b>277.29</b>	<b>510.32</b>
<b>Kopējās TA darbu izmaksas</b>	$I_{TA-D}$	LVL	120	190
TA-1 darbietilpība	$T_{TA-1}$	cilv.h.	0.5	0.5
TA-2 darbietilpība	$T_{TA-2}$	cilv.h.	1.5	1.5
TA-1 skaits izvēlētajā laika periodā	$n_{TA-1}$	-	3	10
TA-2 skaits izvēlētajā laika periodā	$n_{TA-2}$	-	3	3
Vidējais vienas cilv.h. izcenojums autoservisā	$I_{cilv.st.}$	LVL	20	20
<b>Kopējās TA materiālu izmaksas</b>	$I_{TA-M}$	LVL	157.29	320.32
TA-1 nepieciešamo materiālu izmaksas	$I_{TA-1M}$	LVL	23.29	23.29
TA-2 nepieciešamo materiālu izmaksas	$I_{TA-2M}$	LVL	29.14	29.14
<b>Kopējās degvielas izmaksas</b>	$I_D$	LVL	<b>7603.2</b>	<b>7923.5</b>
Degvielas patēriņš kombinētajā ciklā IM240	$Q_D$	l 100km <sup>-1</sup>	8.8	11.5
Automobiļa nobraukums	$S$	km	100000	100000
Viena litra degvielas cena	$D_C$	LVL	0.864	0.689
<b>Kopējās ekspluatācijas izmaksas</b>	$I_E$	LVL	<b>7880.49</b>	<b>8593.83</b>

Objektīvākai ekspluatācijas izmaksu salīdzināšanai jāaprēķina gada ekspluatācijas izmaksas. Pieņemot, ka vidējais automobiļu gada nobraukums ir 14000 -15000 km, 100000 km nobraukums tiks sasniegts 7. gados.

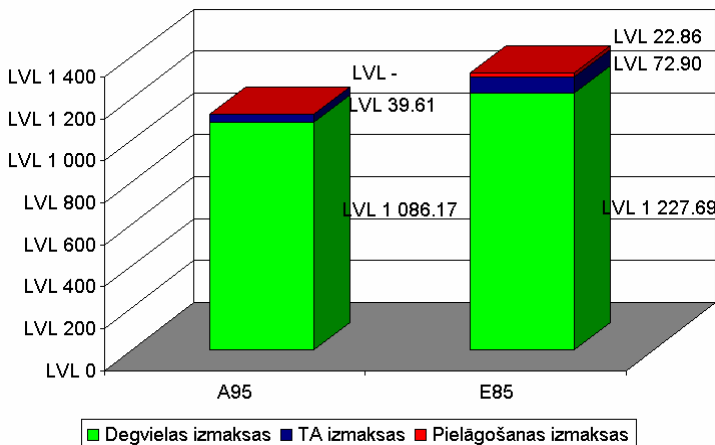


Konkrētās kopējo izmaksu pozīciju (sk. 1. tab.) izdalot uz plānoto ekspluatācijas periodu T, iegūstam izmaksas gadā (sk. 2. tab.).

1. tabula. **Automobiļa VW Passat mainīgās ekspluatācijas izmaksas gadā**

Parametra nosaukums	Apzīm.	Mērv.	Vērtība	
			A95	E85
Automobiļa pielāgošanas izmaksas, kas attiecinātas uz gadu	$I_{P,G}$	LVL	-	22.86
Tehnisko apkopju izmaksas gadā	$I_{TA,G}$	LVL	39.61	72.90
Degvielas izmaksas gadā	$I_{D,G}$	LVL	1086.17	1131.93
<b>Kopējās ekspluatācijas izmaksas gadā</b>	$I_{E,G}$	LVL	<b>1125.78</b>	<b>1227.69</b>

Kā redzams 2. tabulā un 3.1. attēlā, kopējās automobiļa mainīgās ekspluatācijas izmaksas gadā, to ekspluatējot ar degvielu E85, palielinās par 9% jeb 101.91 LVL, salīdzinājumā ar automobiļa mainīgajām gada izmaksām, izmantojot degvielu A95. Izdevumu palielinājumu veido gan automobiļa pielāgošanas izdevumi, kas attiecināti uz gadu (22.86 LVL), gan arī par 84% jeb 33.29 LVL palielinātās automobiļa gada TA izmaksas, gan arī par 4% jeb 45.15 LVL palielinātās degvielas izmaksas.

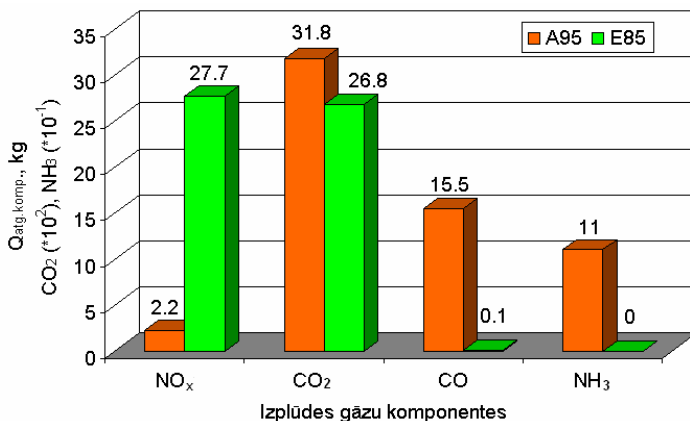


3.1. att. **Eksperimentālā automobiļa VW Passat mainīgās ekspluatācijas izmaksas gadā.**

Ekonomiskais izvērtējums pamato pastāvošo situāciju valstī degvielas E85 pieprasījuma un izmantošanas jomā. Kamēr vien izdevumi, automobili ekspluatējot ar degvielu E85, pārsniegs izdevumus, automobili ekspluatējot ar degvielu A95, degvielas E85 pieprasījums Latvijas tirgū būs zems.

## 4. DEGVIELAS E85 IZMANTOŠANAS EKOLOĢISKAIS NOVĒRTĒJUMS

Lai novērtētu un salīdzinātu degvielas E85 izmantošanas ekoloģisko efektu, jeb ietekmi uz apkārtējo vidi, ir noteikts kaitīgo izplūdes gāzu izmešu daudzums un tas salīdzināts ar izmešu daudzumu fosilā benzīna izmantošanas gadījumā. Automašīna izplūdes gāzu izmešu komponentes, kuras būtiski iespaido apkārtējo vidi, ir  $NO_x$ ,  $NH_3$ ,  $CO_2$  un  $CO$ . Šīs komponentes sastāda nozīmīgu īpatsvaru no kopējām izplūdes gāzēm. Līdzīgi kā ekonomiskajā aprēķinā, arī šajā aprēķinā izmešu procentuālais daudzums izplūdes gāzēs paņemts no eksperimentālajiem pētījumiem. Aprēķinos izmantots izplūdes gāzu procentuālais daudzums, kas iegūts automobili ekspluatējot gan ar A95 degvielu, gan ar E85 degvielu *IM-240* cikla laikā. Līdzīgi kā ekonomiskajā aprēķinā, arī ekoloģiskais efekts tiks noteikts uz ekspluatācijas gadu, pieņemot, ka vidējais automobiļa gada nobraukums ir ~ 15000 km. Izplūdes gāzu izmešu daudzums masas vienībās aprēķināts izejot no teorētiski aprēķinātā patērētā degmaisījuma daudzuma gadā un eksperimentāli noteiktajām izplūdes gāzu komponentu procentuālajām attiecībām. Iegūtie rezultāti doti sekojošā attēlā.



### 4.1. att. Izmantotā degvielas veida ietekme uz automobiļa izplūdes gāzu izmešu daudzumu gadā.

Kā redzams 4.1. attēlā, ekspluatējot pielāgotu automobili ar degvielu E85, par 500 kg gadā samazinās  $CO_2$  emisija, par 15.4 kg samazinās  $CO$  emisija un par 11 kg –  $NH_3$  emisija, turpretī,  $NO_x$  emisija palielinās par 25.5 kg.

Pēc iegūtajiem kontrolskaitļiem, nepieciešamības gadījumā, var noteikt viena automobiļa radīto izplūdes gāzu izmešu daudzumu gramus uz kilometru ( $g\ km^{-1}$ ), kā tas tiek deklarēts Eiropas normatīvos.

## SECINĀJUMI

1. Izstrādātais aprēķinu algoritms un teorētiskais modelis *ExtendSim* programmā piemērojams ar bioetanola un benzīna maisījumu degvielām darbināmu automobiļu motoru darba parametru: maksimālās jaudas, griezes momenta, degvielas patēriņa, iesmidzināšanas sprauslu noslogojuma utt. noteikšanai.
2. Modelēšanas rezultāti parāda, ka maksimāli pieļaujamo bioetanola piejaukumu benzīnam ietekmē automobiļa iesmidzināšanas sprauslu ražīgums, degvielas sistēmas spiediens, degvielas īpašības, kā arī motora konstruktīvie parametri. Modelēšanai izmantojot vieglā automobiļa *VW Passat* tehniskā raksturojuma datus, šim automobilim maksimāli pieļaujamais bioetanola piejaukums benzīnam nedrīkst pārsniegt 74%, bet optimālais piejaukums – 36%. Lai eksperimentālajā automobilī varētu izmantot E85 degvielu, nepieciešams palielināt degvielas spiedienu no rūpnīcas noteiktiem 3.8 bar līdz 4.3 bar, vai arī izmantot iesmidzināšanas sprauslas ar augstāku ražīgumu no 149.8 cm<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> uz 182 cm<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>.
3. Izstrādātā universālā, ar biodegvielām darbināmu automobiļu izmēģinājumu metodika, izmantojama vieglo automobiļu izmēģināšanai, lietojot ne tikai fosilās degvielas – benzīnu un dīzeļdegvielu, bet arī biodegvielas – bioetanolu, biodīzeļdegvielu un rapša eļļu.
4. Biodegvielām nepielāgota automobiļa *VW Passat* eksperimentālie pētījumi darbā ar degvielām – A95, E10, E20, E30, E40, E50, E85 liecina par sekojošo:
  - 4.1. automobilis var darboties ar visām izmēģinātajām degvielām, tomēr nav ieteicams šādā automobilī izmantot bioetanola un benzīna maisījumu degvielas ar bioetanola saturu virs 50%, jo tas sekmē pārmērīgi liesa degmaisījuma veidošanos pilnas slodzes režīmā pie zemas kloķvārpstas rotācijas frekvences;
  - 4.2. maksimālās jaudas izmaiņas pie visām eksperimentu degvielām ir nebūtiskas un nepārsniedz 3%. Izmantojot degvielas E10 un E20, pie zemas kloķvārpstas rotācijas frekvences (2000 min<sup>-1</sup>) iegūts jaudas pieaugums par 11% un griezes momenta pieaugums par 12%, bet, izmantojot degvielu E85, jauda samazinās par 16%;
  - 4.3. palielinot bioetanola saturu degvielu maisījumā, degvielas patēriņš pieaug visos testa režīmos. Ja bioetanola saturs palielinās par 10%, degvielas patēriņš vidēji palielinās par 3 – 6%;
  - 4.4. palielinot bioetanola saturu degvielu maisījumā, samazinās CO, CO<sub>2</sub> un NH<sub>3</sub> izmešu daudzums izplūdes gāzēs, HC izmešu izmaiņas ir nenozīmīgas, bet NO<sub>x</sub> īpatsvars pieaug (īpaši E50 un E85 degvielas izmantošanas gadījumā).

5. Pielāgojot vieglo automobili *VW Passat* darbināšanai ar degvielu E85, t.i. šim nolūkam izmantojot speciāli ražoto pielāgošanas komplektu *Etanizer*, konstatēts sekojošais:
  - 5.1. ja netiek izmantots speciāls pielāgošanas komplekts, pat pie apkārtējās vides temperatūras 18°C nav iespējams iedarbināt aukstu motoru;
  - 5.2. motoram strādājot brīvgaitas režīmā ar motora vadības atgriezenisko saiti, E85 degvielas pielāgošanas komplekta darbība neatstāj nekādu ietekmi uz automobiļa degvielas patēriņu un izplūdes gāzu sastāvu;
  - 5.3. motora pielāgošanas komplekta *Etanizer* uzstādīšana uz automobiļa atvieglo auksta motora iedarbināšanu, bet padara nestabilu motora darbību slodzes režīmos.
6. Galvenie kritēriji, kas nosaka maksimāli pieļaujamo bioetanol saturu biodegvielām nepielāgotā automobiļī, ir: degvielas iesmidzināšanas sprauslu un degvielas sūkņa ražīgums, motora elektroniskā vadības bloka rūpnīcas iestatījumi un darbības specifika, kā arī speciālo pielāgošanas komplektu izmantošanas iespējas un saderība ar automobiļa elektronisko vadības bloku.
7. Veicot degvielas E85 izmantošanas ekonomisko izvērtējumu, kopējie mainīgie ekspluatācijas izdevumi gadā palielinās par 9% jeb 101.91 LVL, salīdzinot ar izdevumiem, automobili ekspluatējot ar fosilo benzīnu.
8. Ja degvielas E85 izmantošana netiks papildus subsidēta vai atbalstīta ar citiem ekonomiskiem paņēmieniem, tā izmantošana autotransporta nozarē nav ekonomiski izdevīga.
9. Ja benzīna vietā izmanto E85 degvielu, tad gadā  $CO_2$  izmešu daudzums samazinās par 16%,  $CO$  izmešu daudzums – par 99% un  $NH_3$  izmeši – par 100%, savukārt,  $NO_x$  daudzums izplūdes gāzēs palielinās 11 reizes.

## TOPICALITY OF THE RESEARCH

The resources of the world's fossil fuels are running out. Over the last 20 years fuel costs have increased several times. The pollution created by the exhaust gases from power vehicles is also increasing, thus contributing to the negative impact on the planet's climate. The question of replacing the disappearing sources of fossil fuels and decreasing the negative impact of transport on the environment is becoming more topical. In order to solve these questions, a lot of research is being carried out in the world, including research on obtaining and using different alternative fuels, such as biodiesel fuel, rapeseed oil, bioethanol and biohydrogen. The research on the use of electric energy and hybrid technology in vehicles is also being carried out. Taking into account the huge number of automobiles which are intended to be run on fossil fuel, solutions should be found for adapting these vehicles to a type of alternative fuel. One of the most perspective types of alternative fuel for automobiles, which are equipped with Otto engines, is bioethanol. Bioethanol as an engine fuel has several advantages over gasoline. It can be produced locally by processing products of biological origin or by processing waste. By replacing fossil fuels with bioethanol, greater independence from fossil fuel suppliers is gained and the negative impact on the environment is reduced. In Latvia there are lots of uncultivated free territories which can be used for the production of biofuel raw material, thus promoting the tending and cultivation of agricultural lands, providing jobs and developing the economy of the country.

In the European Union great attention is paid to the increase in the share of use of biofuel. A biofuel technological commission has been set up (*European Biofuels Technology Platform*) in Europe which is successfully functioning and its working group analyses a wide range of questions starting with the obtaining of raw material and fuel production technologies and ending with the legislation promoting the development of biofuel. Definite targets have been set and a part of them have become directives, and they should be mandatory to all the member states (Kampars, 2008). The European directives stipulate the share of biofuels in the transport fuel. Thus, for instance, according to the Directive 2003/30/EC the share of biofuel shall be at least 2 % by December 31 st of 2005, but by the 31st December of 2010 the biofuel share was envisaged to be 5.75% from the total energy capacity of the produced gasoline and diesel fuel for transport needs. (Directive 2003/30/EC ...). However, in Latvia the target with regard to the share of biofuel in transport has not been achieved. In 2008 the biofuel made up only 0.17% from the total fuel consumption in the state, but in the year 2009 it was 0.48% per year.

The most essential factors preventing wider use of bioethanol and other types of biofuels are society's limited amount of information on the use of bioethanol in vehicles, its advantages and disadvantages and a comparatively low level of state support in promoting the use of bioethanol. The access to objective information is closely connected with the research carried out in the field of

biofuels. The analysis of the available sources of information and scientific research testify that the results are often different and contradicting. Most of the research on the use of bioethanol has been carried out under the conditions which are not closely related to the real conditions of automobile exploitation. The arguments mentioned above justify the necessity of carrying out objective research on the use of bioethanol under the conditions which are approximated to real automobile exploitation conditions. It is also useful to make a theoretical model which analytically calculates the adaptability of an automobile's fuel system to the use of a bioethanol and gasoline mixture as a fuel and which determines the most significant parameters of automobile exploitation.

The analytical and experimental research of the use of bioethanol is closely connected with the research on the properties of bioethanol itself. Summarizing the information gathered from the scientific research the positive and negative characteristics of bioethanol have been determined. The chemical formula of bioethanol ( $C_2H_5OH$ ) includes an atom of oxygen, which provides a more complete and cleaner combustion of this fuel in engines (Gulbis, 2008). Bioethanol has a 10 – 15 units higher octane number, which at the appropriate type and adjustment of the engine, increases the efficiency coefficient of the engine and enables it to develop a higher power and torque (Hammond, Kallu and McManus, 2008; Yücesu at al., 2006). However, the low thermal capacity of bioethanol  $26.8 \text{ MJ kg}^{-1}$  is the reason why the amount of fuel injected into the engine should be increased by  $\sim 30 - 40\%$  (Koç at al., 2009). The aggressive influence of bioethanol on the separate automobile fuel system materials (aluminium, brass, rubber materials), creates the necessity to replace these materials, adjusting the automobile for the use of bioethanol (Yüksel and Yüksel, 2004). The comparatively low pressure of bioethanol saturated fumes worsens the possibility of starting an automobile at lower environmental temperatures. Due to this reason pure ethanol is not used in our climatic conditions. The mixtures with fossil gasoline are used instead (Gulbis, 2008).

As a result of the studies of information sources, the simplest and most suitable type of automobile conversion for the fuel type E85 – the use of a conversion kit was determined. Despite the fact that such conversion kits are widely available both in the USA and European countries, the scientific research on the possibilities of their use and effectiveness are not available. That justifies the necessity to carry out research on the operation of these kits.

## **THE AIM OF THE RESEARCH AND TASKS**

### **The aim of the research**

Scientifically justify the possibilities of using bioethanol on modern Otto engines and to analyse their affect on the operational characteristics of automobiles to promote the greater application of renewable energy resources for vehicles.

### **The tasks of the research**

1. to develop and approbate a mathematical model of motor vehicle operating parameters, using a mixture of bioethanol and gasoline fuels, and to evaluate the operation of this model by experimental studies of an automobile;
2. to develop a methodology for testing biofuel-powered automobiles;
3. to investigate and evaluate the possibilities of using bioethanol on an Otto engine automobile unadapted to biofuel;
4. to determine experimentally the possibilities and efficiency of exploiting equipment for adaptation of automobiles to biofuel;
5. to define the main criteria determining the maximum content of bioethanol in fuel mixtures used on an automobile unadapted to biofuel;
6. to evaluate the advantages and disadvantages of using flex-fuel E85 from economic and environmental aspects.

### **SCIENTIFIC NOVELTY OF THE RESEARCH**

1. A mathematical model in computer programme *ExtendSim* has been developed for determining the external parameters of automobile engines which operate on bioethanol and gasoline mixture fuels, which are possible to use by modelling the operation of automobiles equipped with an electronic injection system.
2. The testing methodology for automobiles operating on biofuels has been developed.
3. Within the framework of testing methodology a simulation of automobile driving cycle – the *Jelgava* cycle has been developed. This cycle is suitable for the use on a chassis dynamometer *Mustang MD-1750* and it imitates real automobile driving conditions around the city centre of Jelgava.
4. The impact of the use of E0 – E85 on the automobile *VW Passat* - which is not adapted for biofuels – power, torsional moment, fuel consumption, composition of exhaust gases, and other parameters characterising the operation of the engine has been experimentally determined. It has been discovered that in such an automobile it is possible to use a mixture of bioethanol gasoline fuel with the content of bioethanol of up to even 50%.
5. The possibilities of using the conversion kit *Etanizer* and the effectiveness of operating the car with the fuel E85 have been experimentally tested.
6. The use of fuel E85 has been evaluated from the environmental and economical viewpoints. The economical disadvantage of the use of E85 has been justified at the existing fuel prices and state support policy.

### **APPROBATION OF THE RESEARCH**

The research was carried out over the period from 2007 to 2011. The results obtained have been summarised in 13 scientific publications, which correspond to

the requirements of scientific publications set by the Latvian Council of Science. The approbation of the results of the thesis was carried out by participation and giving presentations in international scientific conferences in Latvia, Lithuania, Estonia, and the Czech republic.

### **Generally recognized reviewed scientific publications**

1. Pirs V., Berjoza D. (2007) Research in engine power parameters when changing the adjustment of the distribution phases. **In:** *6th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings*, May 24 – 25, 2007. Jelgava: LUA, p. 357-360.
2. Berjoza D., Jurgena I., Pirs V. (2008) Economical and ecological aspect of biofuel use in Latvia. **In:** International Scientific conference „*International agriculture and rural development (II)*”, Serbia, p. 505-513.
3. Pirs V., Jesko Ž., Lācekliis-Bertmanis J. (2008) Determination Methods of Fuel Consumption in Laboratory Conditions. **In:** *7th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings*, May 29 – 30, 2008. Jelgava: LUA, p. 154-159. ISSN 1691-3043.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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*



- I. Tartu: Estonian University of Life Sciences, p. 208 – 215. ISSN 1406-894X.
10. 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.
  11. 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.
  12. Berjoza D., Pirs V. (2010) Mathematical Model of Motor Vehicle Exploitation Parameter Calculation using Bio Ethanol Fuels. **In:** *4th International Scientific Conference „Trends in Agricultural Engineering”*, *Proceedings*, Sep. 7 – 10, 2010. Czech Republic, p. 78-83. ISBN 978-80-213-2088-8.
  13. Pirs V., Malnicenko V. (2010) Bioethanol Gasoline Fuel Blends Effect on Standard Spark-Ignition Engine Operating Parameters. **In:** *Agricultural Engineering: Proceedings of the International Scientific Conference „Mobile Machines”*, September 23 – 24, 2010. Kaunas: Lithuanian University of Agriculture, p. 115-126. ISSN 1392-1134.

#### **Reports at the international scientific conferences**

1. Pirs V., Berjoza D. Research in engine power parameters when changing the adjustment of the distribution phases. 6th International Scientific Conference „*Engineering for rural development*”. Jelgava: LUA, Latvia, May 24 – 25, 2007.
2. Pirs V., Jesko Ž., Lāceklis-Bertmanis J. Determination Methods of Fuel Consumption in Laboratory Conditions. 7th International Scientific Conference „*Engineering for rural development*”. Jelgava: LUA, Latvia, May 29 – 30, 2008.
3. 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.
4. 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.
5. 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.

6. 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.
7. Dukulis I., Birzietis G., Pirs V., Birkavs A., Jesko Z. Exhaust Emissions from Vehicles Operating on Rapeseed Oil Fuel. International Scientific Conference „*Biosystems Engineering*”. Tartu: EMU, Estonia May 13 – 14, 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: EMU, Estonia May 13 – 14, 2010.
9. 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.
10. Aboltins A., Berjoza D., Pirs V. Theoretical Model of Exploitation of Automobiles operated with Bioethanol-Gasoline Mixture Fuels. 9th International Scientific Conference „*Engineering for Rural Development*”. Jelgava: LUA, Latvia May 27 – 28, 2010.
11. Berjoza D., Pirs V. Mathematical Model of Motor Vehicle Exploitation Parameter Calculation using Bio Ethanol Fuels. 4th International Conference „*Trends in Agricultural Engineering 2010*”. Prague, Czech Republic, Sep. 7 – 10, 2010.
12. Pirs V., Malnicenko V. Bioethanol Gasolinefuel Blends Effect on Standard Spark-Ignition Engine Operating Parameters. International Scientific Conference „*Mobile Machines*”. Kaunas: Lithuanian University of Agriculture, Lithuania, Sep. 23 – 24, 2010.

## **1. THEORETICAL RESEARCH**

The possibilities of using bioethanol, described in Chapter I undoubtedly show that this fuel has a good perspective. Certain physical-chemical properties of bioethanol differ substantially from those of gasoline, therefore the issue of using bioethanol as an engine fuel is a specific issue. Many operational parameters of the entire automobile and engine change: engine power, torque, consumption of fuel, different parameters of traction and take off speed, etc.

The main task of this chapter is to show by means of theoretical calculations what changes will happen when using one or another kind of fuel in Otto engines.

The theoretical research chapter is divided into several subchapters. The first subchapter deals with the modelling tools used in the research and their characteristics. The second subchapter presents the developed theoretical model in *ExtendSim* programme for determining an automobile's maximum power, torque, maximum fuel consumption and other characteristics of the elements with regard to engine's fuel systems.

## 1.1. Basic structure of the mathematical algorithm of theoretical model

In the developed theoretical model of determining the influence of bioethanol operated automobiles on different parameters of engine operation, several equations were used. This subchapter deals with the significant basic equations which are used for the algorithm of the model.

In the first step the amount of air consumed by the engine is determined by means of the following equation (Aboltins, Berjoza and Pirs, 2010):

$$Q_g = \frac{V_l \cdot n_{\max} \cdot \eta_v \cdot \rho_g}{500 \cdot \tau}, \quad (1.1)$$

where  $Q_g$  – amount of air consumed per unit of time, kg min<sup>-1</sup>;  
 $V_l$  – capacity of engine - or volume in litres, l;  
 $n_{\max}$  – maximum frequency of engine's crankshaft rotation, min<sup>-1</sup>;  
 $\tau$  – number of engine strokes ;  
 $\eta_v$  – filling coefficient;  
 $\rho_g$  – air density, kg m<sup>-3</sup>.

Knowing the amount of the consumed air per unit of time and the stoichiometric air and fuel proportion  $\lambda$ , it is possible to determine the theoretical amount of fuel according to the equation (Aboltins, Berjoza and Pirs, 2010):

$$Q_{d,v} = \frac{2 \cdot V_l \cdot n_{\max} \cdot \eta_v \cdot \rho_g}{\tau \cdot \lambda_x \cdot \rho_d}, \quad (1.2)$$

Where  $Q_{d,v}$  – maximum consumption of fuel, l min<sup>-1</sup>;  
 $\lambda_x$  – the required proportion of the amount of air for burning 1 kg of definite (x) fuel.

In the equation (1.2) the calculated value is significant for calculating different other automobile's parameters. For example, according to the value of the obtained parameter it is possible to determine the productivity of the necessary fuel pump and injectors. When using the bioethanol mixture the productivity of the injectors should be chosen higher than in the case of using fossil gasoline. Comparing the calculated maximum consumption of fuel with the total productivity of the automobile's injectors at the definite fuel consumed. It is also possible to determine the loading of the injector and its suitability to the type of fuel.

If the thermal capacity and the fuel consumed per time unit are known, it is possible to determine the maximum effective power of the engine, evaluating the energy loss:

$$N_{e,\max} = \frac{60}{3.6} \cdot Q_{z,s} \cdot Q_{d,m} \cdot \eta_e, \quad (1.3)$$

where  $N_{e,\max}$  – maximum effective power of the engine, kW;  
 $Q_{z,s}$  – lowest thermal capacity of fuel, MJ kg<sup>-1</sup>;  
 $\eta_e$  – engine's efficiency coefficient.

Knowing the maximum engine's effective power and the engine's crankshaft rotation frequency at which this power is developed, it is possible to determine the approximate shape of the engine's power according to the following equation:

$$N_e = N_{e,\max} \cdot \left( a \cdot \frac{n_e}{n_{\max}} + b \left( \frac{n_e}{n_{\max}} \right)^2 - c \left( \frac{n_e}{n_{\max}} \right)^3 \right), \quad (1.4)$$

where  $N_e$  – engine's effective power at the required crankshaft rotation frequency  $n_e$ , kW;

$n_e$  – engine's crankshaft rotation frequency for the required point,  $\text{min}^{-1}$ ;

$a, b, c$  – empirical coefficients characterising the engine's type (Pommers un Liberts 1985; Aboltins, Berjoza and Pirs, 2010).

Basing on the the equations 1.1. – 1.4., their expansions, as well as other equations presented in the thesis and those obtained in the empirical way, a theoretical model has been developed.

## 1.2. The structure and functional possibilities of the theoretical model

In the structure of the theoretical model (Fig.1) several units of input parameters and calculations have been made. In the general automobile engine's unit, the following parameters are included: the capacity of the engine  $V_l$ , maximum crankshaft revolutions  $n_{\max}$ , filling coefficient  $\eta_v$ , engine's efficiency coefficient  $\eta_e$  and others. The parameter unit (2) of engine's fuel system includes the number of injectors, technical data about the injectors from the technical specification lists of the manufacturers and the pressure of the fuel system  $p_d$ . The model provides the possibility for the fuel system pressure changes within the limits of 1 to 6 bar. There is also a separate unit (3) for the change of bioethanol content in the fuel mixture. In the fuel parameters unit (4) there are such parameters as fuel density  $\rho_d$  and the lowest thermal capacity of fuel  $Q_{z,s}$ . For constructing the parameter curves of the engine's maximum power and torque an input unit (5) for the input of the empirical coefficients has been created.

Modelling the operation of the engine with the fuels E0 (A95) – E85, it is possible to determine:

- the engine's maximum power and torque, as well as external parameter curves of power and torque over the entire range of crankshaft rotation frequency;
- maximum possible fuel consumption
- loading of injector at any of the modelled fuels;
- maximum allowable content of bioethanol in the fuel mixture which is possible to consume using a definite type of fuel;
- the impact of the fuel system pressure on the maximum allowable content of bioethanol in the fuel mixture;

- the necessary productivity of the injectors in case of the use of bioethanol and gasoline mixture is used.

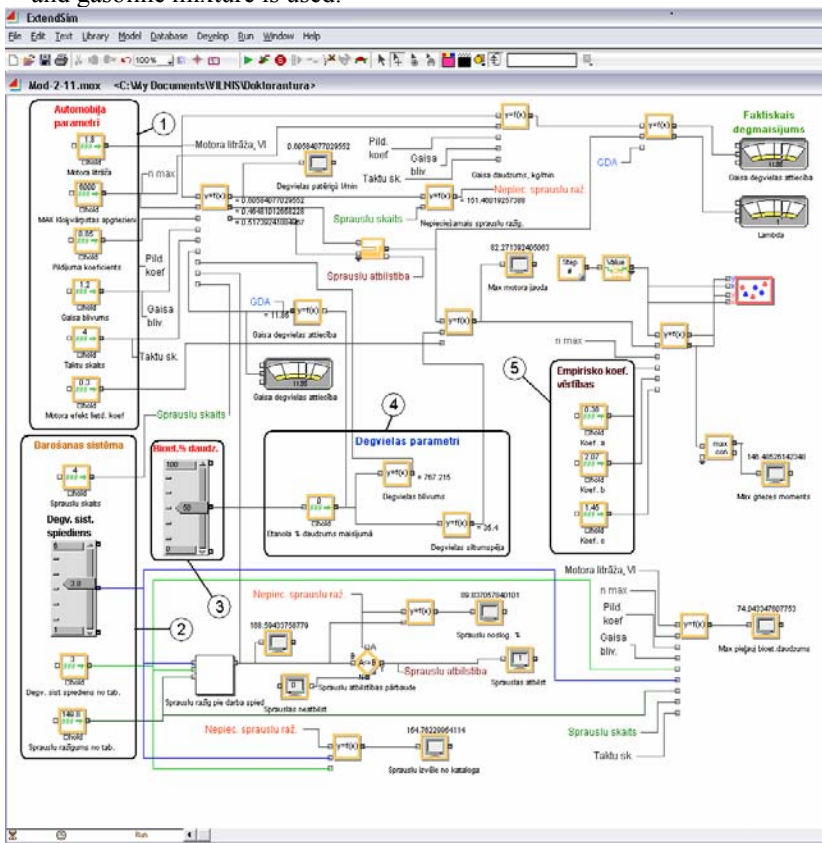


Fig. 1.1. Theoretical model of the use of bioethanol and gasoline mixture fuel with input parameter units:

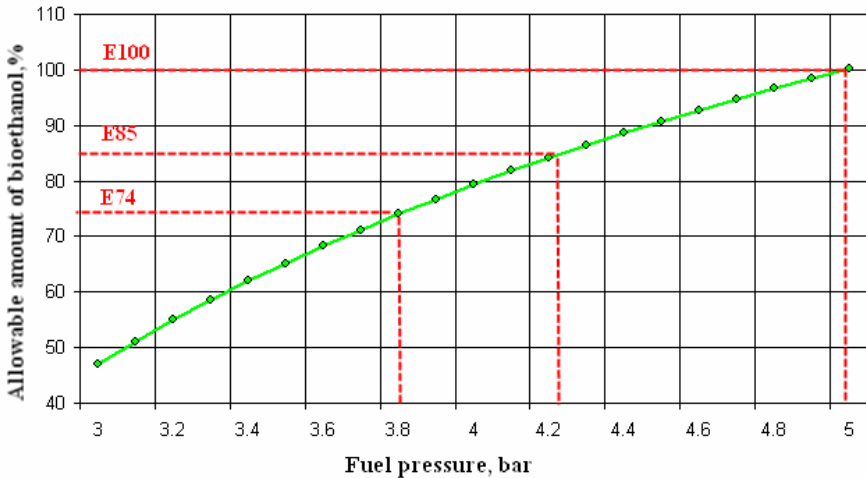
- 1 – general parameters of the automobile engine;
- 2 – engine fuel system parameters;
- 3 – content of bioethanol in fuel mixture;
- 4 – fuel parameters;
- 5 – values of empirical coefficients.

### 1.3. Modelling results

Carrying out modelling with input parameters which correspond to those of the automobile *VW Passat*, which was used in the experimental research, the following results were obtained. Maximum content of bioethanol, which is theoretically possible to use in the chosen automobile, is 74% or fuel E74. With that percentage of bioethanol under a maximum load regime, the injectors will be 100% loaded. The optimum content of bioethanol in the fuel mixture for the

automobile analysed in the research is 36%. In the case of stoichiometric air-fuel mixture at this content of bioethanol in the fuel mixture the injectors will be 85% loaded. That type of injector loading is recommended when the automobile operates under a full load regime.

One of the techniques to obtain the injection of the necessary amount of fuel in the engine, when the automobile operates on E85 fuel, is to increase the fuel pressure (Fig.1.2). In this case the fuel pressure has to be increased from 3.8 bar required by the manufacturer to 4.3 bar. At the pressure of 4.3 bar the fuel injectors of the car will be able to inject the amount of fuel, that will ensure stoichiometric air-fuel mixture under the full load regime.



**Fig. 1.2. Impact of fuel pressure on maximum allowable content of bioethanol in the fuel mixture.**

In order to operate an automobile, non adapted for biofuel, with E85 fuel, without changing the fuel pressure or other parameters, it is necessary instead of using the injectors with the productivity of  $149.8 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$  to choose the injectors whose productivity is no less than  $182 \text{ cm}^3 \text{ min}^{-1}$ .

If stoichiometric air-fuel mixture is ensured in the engine, the maximum power and torque change insignificantly. Modelling the engine's operation with E0 fuel, the maximum power is 82.4 kW, but with E75 fuel it is 81.8 kW. Thus, the changes in maximum power values within the range of the used fuel do not exceed 1%. Increasing the content of bioethanol in fuel mixture, the thermal capacity of fuel decreases and thus also the energy which the fuel has. That should be compensated with an increase in the injected amount of fuel. Using E85 fuel, the engine's maximum power will decrease by 5.6%, but in the case of using E100 fuel, the power will decrease by 13%. The decrease in power is due to the fact that the productivity of injectors is insufficient for injecting the necessary amount of

fuel in the cylinders. The maximum power of the engine when E85 fuel is used, will be 77.8 kW, but for fuel E100 – 71.6 kW.

## 2. EXPERIMENTAL RESEARCH

The experimental research was carried out in the Scientific Laboratory of Alternative Fuels of the Latvia University of Agriculture. The experimental research carried out in the thesis can be divided into several parts. First, the test methodology was developed for researching automobiles operating on biofuels. Certain physical properties of the fuels used in the experiments were determined, and research was carried out on non adapted automobiles, using fuel types E0 – E85. Engine conversion kits were researched operating on the fuel type E85. At the end of the experimental research chapter a comparison of theoretical and experimental research was carried out.

The experimental research was carried out using modern technical equipment of the Scientific Laboratory of Alternative fuels. In order to achieve high accuracy of repetition of measurements, most of the experiments were performed on a chassis dynamometer Mustang MD-1750 imitating real automobile driving conditions.

### 2.1. Equipment and materials used in the experiments

The experimental research was carried out using several pieces of measuring equipment simultaneously. The connection scheme of the equipment used in the measuring process is shown in Fig.2.1.

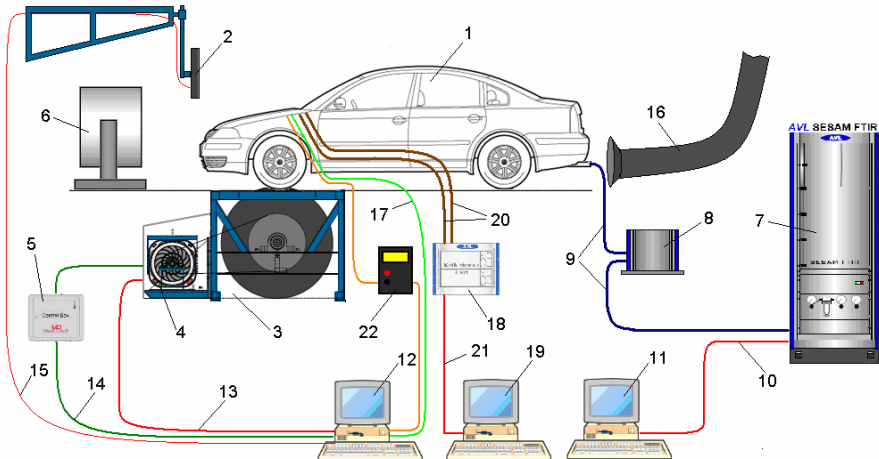


Fig. 2.1. Measuring equipment attachment scheme for non adapted automobile experiments:

1 – experimental automobile *VW Passat*; 2 – secondary monitor of test cycle simulation; 3 – chassis dynamometer *Mustang MD-1750*, 4 – power absorber unit engine; 5 – control unit; 6 – cooling fan; 7 – multicomponent exhaust gas measurement system - *AVL SESAM FTIR*; 8 – heated filter ; 9 – heated gas line ; 10 – *AVL SESAM FTIR* data communication cable; 11 – exhaust analytical system's monitoring computer with special software; 12 – chassis dynamometer control computer with software; 13 – dynamometer data communication cable; 14 – dynamometer control cable; 15 – secondary monitor cable; 16 – exhaust extraction pipe; 17 – EGT sensor cable; 18 – fuel consumption measurement equipment *AVL KMA Mobile*; 19 – fuel consumption measurement equipment control PC with special software; 20 – fuel lines; 21 – fuel consumption measurement equipment data communication cable; 22 – digital air /fuel ratio measuring device *LM-1*.

Prior to starting the measurements, the automobile is secured on a chassis dynamometer *Mustang MD-1750* (3) (Fig.2.1). Between the automobile's fuel tank and fuel main the fuel consumption measuring equipment *AVL KMA Mobile* (18) is connected, and at the end of the exhaust system the exhaust gas analytical system *AVL SESAM FTIR* (7) is attached. The computers read and register the measurements by means of special software (11, 12, 19). Parallel to the automobile's control unit the *BOSCH KTS 570* system tester is connected, which ensures the possibility of following the operation of the engine's controlling system during the measuring stage.

## 2.2. Automobile testing methodology

The research on fossil fuels, bioethanol and other biofuels lead to the necessity for developing a uniform testing methodology. Ready-made and standardized testing methodology which would comply both with the available technical provision and the envisaged aims of the research are not available. Such testing methodology is required to make it possible to compare the results of different experimental tests, which are obtained in different periods of time, using different fuel types and different engine adjustments, or even experimenting with different automobiles. In cooperation with the doctoral student of the Engineering Faculty of the LUA I. Dukulis, a methodology has been developed for testing automobiles which operate on biofuels. This methodology envisages the testing of different automobiles, using the equipment of the Scientific Laboratory of Alternative Fuels of the LUA and using both fossil fuels – gasoline and diesel and also biofuels – bioethanol, rapeseed oil and biodiesel. This methodology envisages and substantiates the necessary types, duration and the number of repetitions of tests.

The developed testing methodology (Fig.2.2) includes the following types of tests – power test, idle running test, constant running speed tests (50 km h<sup>-1</sup>, 90 km h<sup>-1</sup> and 110 km h<sup>-1</sup>), as well as road simulation tests (*IM-240* and the *Jelgava*



cycle). The constant running speed regimes reflect the most typical uniform Latvian running speed regimes both under city conditions and on the outskirts. The cycle *IM-240* is a standardised cycle, which reflects the automobile's travel both under city and outskirts regimes, but the *Jelgava cycle* is a cycle developed jointly by the author of the thesis V. Pirs and doctoral student I. Dukulis. This cycle imitates an automobile's driving regime, suitable to Jelgava's city centre. Such a regime can also be attributed to other cities in Latvia.

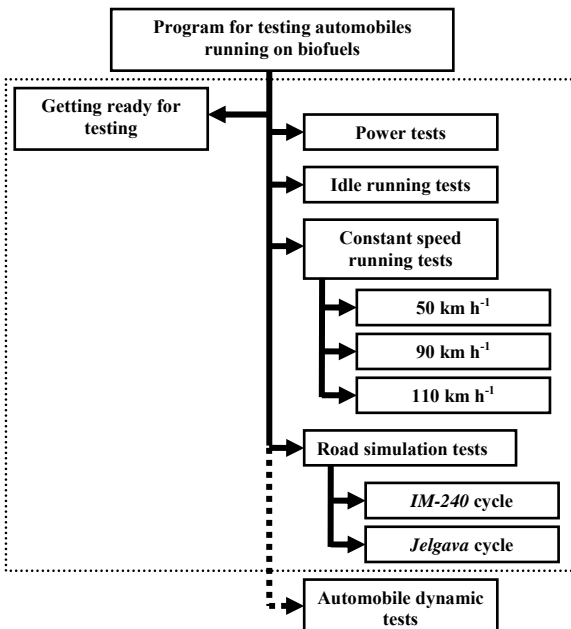


Fig. 2.2. Testing programme.

The developed *Jelgava cycle* running speed curve - with fixed gear switching moments is shown in Fig 2.3.

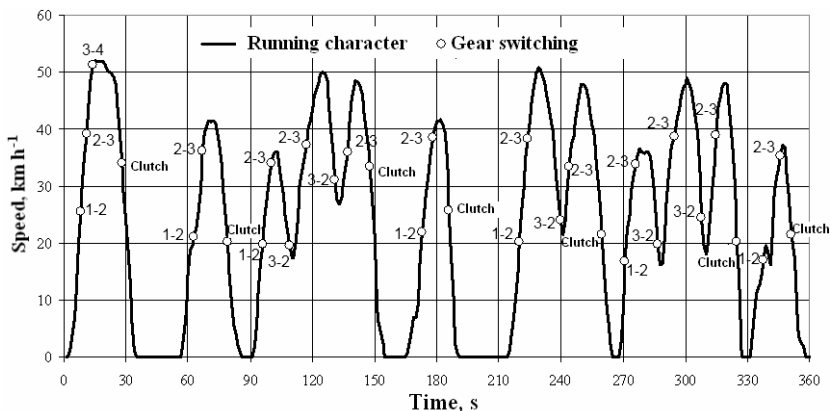


Fig. 2.3. Running speed and gear switching moments in the *Jelgava* cycle.

### 2.3. Research on the use of the bioethanol and gasoline fuel mixtures in non adapted engines

The experimental research was carried out with fuel types E0 (A95), E10, E20, E30, E40, E50 and E85 in the automobile *VW Passat* which was not adapted for operating on biofuels. The results of the research show that the automobile is capable of operating on all the tested fuel types. However it is not recommended to use the bioethanol and gasoline mixture fuels with bioethanol content higher than 50% ,since at a low crankshaft rotation frequency under the full load regime, an excessively lean air-fuel mixture is created (Fig. 2.4 ).

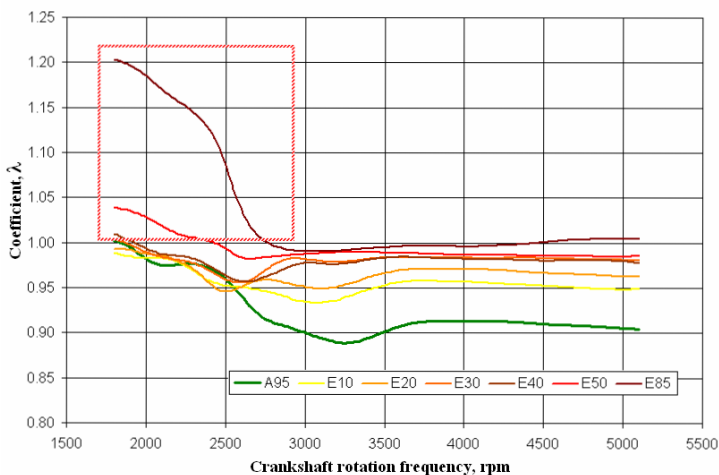
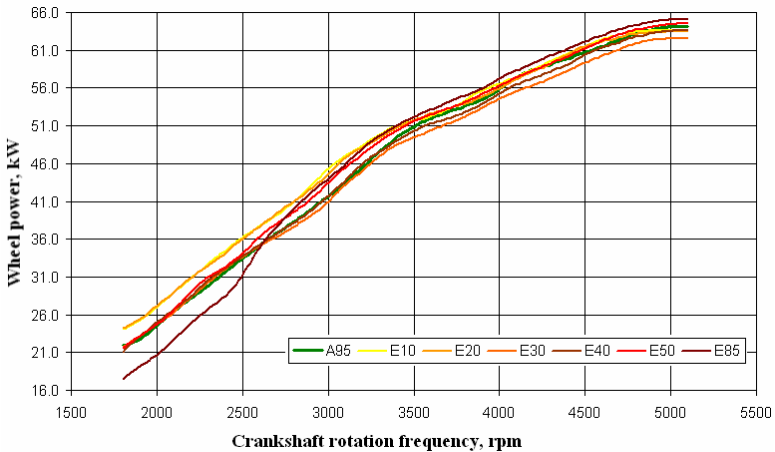


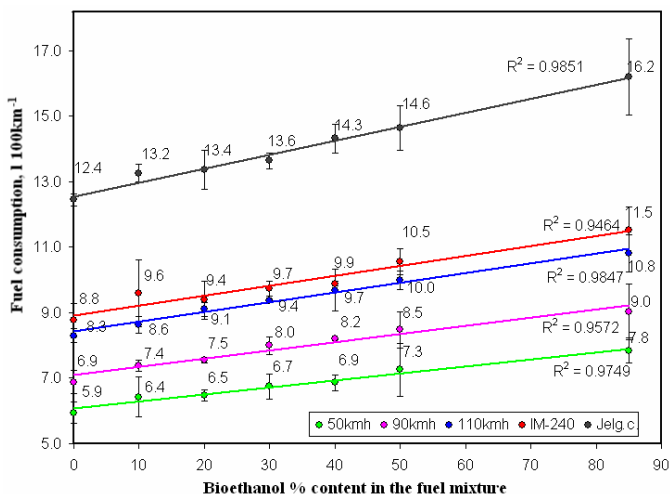
Fig. 2.4. The impact of fuel type on the content of air-fuel mixture.

An excessively lean air-fuel mixture ( $\lambda = 1.18$ ) in the experiments using fuel type E85 is the reason why at a low crankshaft rotation frequency (e.g. 2000 rpm), the power of the automobile decreases by 16% and the torque decreases by 15%. The changes in power are insignificant at medium and high crankshaft revolutions (Fig. 2.5). The best parameters of power and torque under low crankshaft rotation frequency were obtained using the fuel types E10 and E20. Using E20, the power of the automobile increases by 11% at 2000 rpm, and the torque increases by 12%. The total air-fuel formation tendencies indicate that operating the engine under the full load regime and increasing the content of bioethanol in the fuel mixture, the air-fuel mixture becomes leaner, but under other operating regimes the electronic control unit of the automobile provides the proper stoichiometric air-fuel mixture by all the tested fuels. The measurements of the exhaust gas temperatures under the regime of the full load of engine indicate the increase in the temperature of the exhaust gases, using bioethanol and gasoline mixture fuels, however such an increase in temperature does not have a negative impact on the engine's operation or service time.



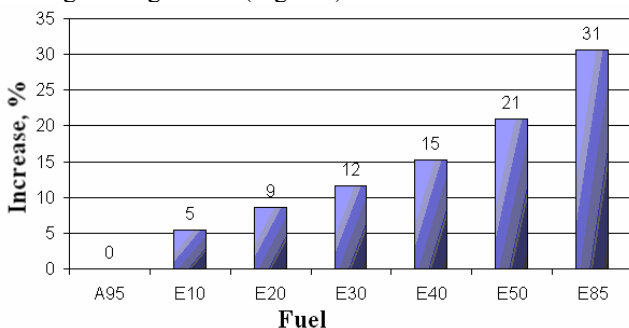
**Fig. 2.5. The impact of fuel type on the power of the experimental automobile VW Passat.**

The measurements of fuel consumption under different operating regimes indicate that with the increase of bioethanol content in the fuel mixture the fuel consumption also increases gradually (Fig. 2.6).



**Fig. 2.6. Changes in fuel consumption depending on the type of fuel and driving regime.**

Fig. 2.6 shows that the increase in the consumption of fuel in all the testing regimes is similar. Increasing the content of bioethanol by 10% increments, the consumption of fuel increases on average by 3 – 6%. Summarising the average fuel consumption values obtained from all the test regimes, the percentage of the increase in the fuel consumption has been determined in relation to fuel consumption using fossil gasoline (Fig. 2.7).



**Fig. 2.7. Fuel consumption increase in percentage.**

Along with the parameters described above the composition of automobile exhaust gases has also been determined. The measurements were carried out with *AVL SESAM FTIR* exhaust gas measurement analytical system, which can simultaneously determine up to 25 components of exhaust gases. Analysing the toxic components (*CO*, *HC* un *NO<sub>x</sub>*) of the exhaust gases which make up a comparatively significant proportion of the total amount of emissions, it has been concluded that by increasing the content of bioethanol in the fuel mixture, the amount of *CO* emissions decreases, the emission of *HC* remains unchanged,

whereas the amount of  $NO_x$  emissions increases. A significant increase in the amount of emissions is in those fuel mixtures where the admixture of bioethanol is higher than 50%. It can be explained by the fact that the  $NO_x$  component forms more intensely at a leaner air-fuel mixture and higher combustion temperature which is typical of a non adapted engine operating on bioethanol and gasoline mixture fuels with high admixture of bioethanol. Despite the fact that the  $CO_2$  component is not toxic it still is a gas that contributes to the greenhouse effect and there is a general trend in the world of reducing the amount of  $CO_2$  emissions by different techniques and measures. With regard to the use of bioethanol, it should be noted that there is a downward trend concerning the amount of  $CO_2$  in exhaust gases (Fig. 2.8).

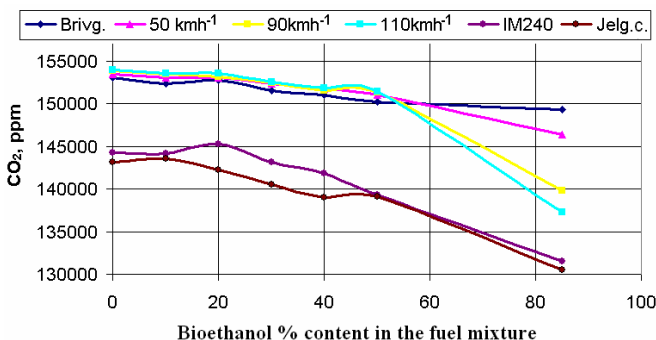


Fig. 2.8. The impact of the used fuel on the amount of  $CO_2$  emissions.

## 2.4. Research on the use of bioethanol and gasoline fuel mixture conversion kit

One of the simplest ways to adapt a standard automobile for operating on fuel type 85 is to use a special conversion kit. The installing of these kits has been widely advertised and used in the USA. These technologies are being introduced in Europe as well. To understand how the device works and whether it fulfils its functions, a conversion kit *Etanize* was purchased. It is based on an electronic microscheme and an electric wiring with special plugs. The electronic microscheme is enclosed in the electroinstallation circuit between the automobile's electronic control unit and injectors (Fig. 2.9. a.) (FFI Platinum ..., 2007).

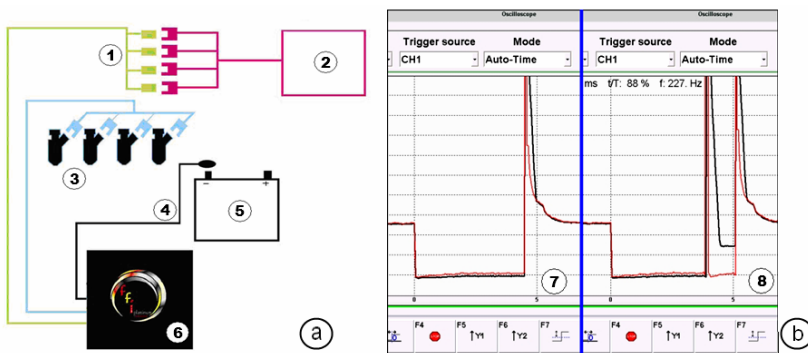


Fig. 2.9. Conversion kit connection scheme to the engine and its operation principle:

a – connection scheme; b – adjusting of injection signal; 1 – contact plugs; 2 – engine’s electronic control unit; 3 – injectors; 4 – ground cable; 5 – battery; 6 – conversion kit microschemes 7 – standard injection signal; 8 – adjusted injection signal.

At the basis of the of conversion kit operation there is the generation of an additional ground impulse of the injector (Fig. 2.9.b), thus providing injection of an additional amount of fuel. The duration of the additionally generated impulse depends on the duration of the initial injection impulse and on the condition of the conversion kit’s adjustment of the rheostat (Fig. 2.10).

After installing the conversion kit onto the experimental automobile *VW Passat*, a series of tests were carried out, which were slightly different from the previously developed automobile testing methodology. In order to study the suitability and effectiveness of the conversion kit to the operation of the car with fuel type E85, the tests were conducted with the engine running idle and at full load regime at different conversion kit rheostat’s conditions. In addition, the engine was operated both with the reverse control and without it, i. e. with a connected and disconnected oxygen sensor.

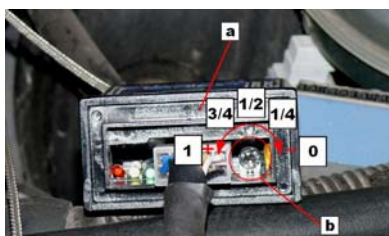
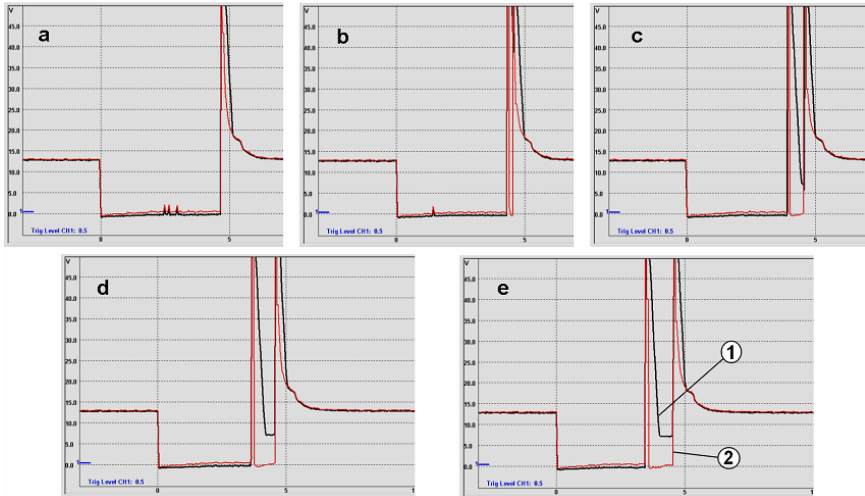


Fig. 2.10. Rheostat position change:

a – *Etanizer* conversion kit; b – rheostat for adjusting the injection signal duration.

The experiments started with a cold engine's starting test. It was found that the conversion kit makes the starting of a cold engine easier, enriching the air-fuel mixture for 8- 10 s from the automobile's starting moment. Using the fue type E85, it is not possible to start a cold engine without the conversion kit.

Figure 2.11 shows the fuel injection signal oscilograms at different positions of rheostat, while the engine is running idle with the closed loop control.



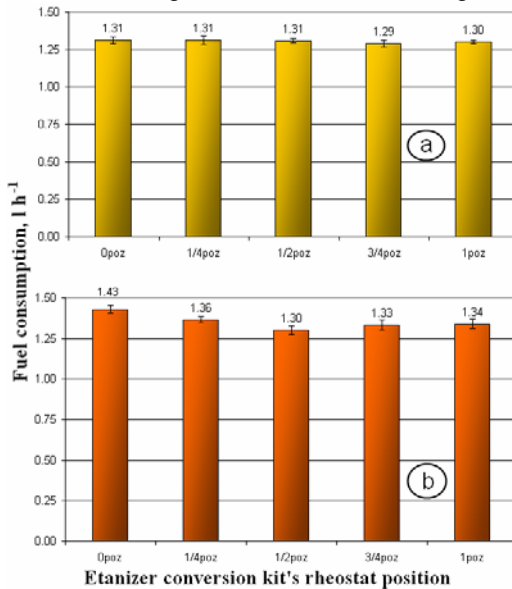
**Fig. 2.11. Injecting signal oscilogram at different rheostat positions, when the engine operates with a closed loop control:**

a – 0 posit., b –  $\frac{1}{4}$  posit., c –  $\frac{1}{2}$  posit., d –  $\frac{3}{4}$ , e – 1 posit.; 1 – voltage in the electric circuit from the electronic control unit on *Etanizer* conversion kit; 2 – voltage in the electric circuit for the *Etanizer* conversion kit on injectors.

As can be seen in Fig. 2.11 – turning the rheostat from position 0 to position 1, the duration of additionally generated injection signal increases, however, the total duration of additionally generated injection signal remains unchanged. It can be explained by the fact that the automobile control unit, using the oxygen sensor signal, sustains the stoichiometric air-fuel mixture. The longer the additionally generated injection signal, the more adjustments will be made to the initial injection signal by the control unit reducing its duration. Thus it should be concluded that there is no use to apply a conversion kit to this type of engine in certain operation regimes.

Analysing the consumption of fuel and the composition of exhaust emissions, when the engine operates with the closed loop control, it has been concluded that the operation of the conversion kit at any of the positions of rheostat does not have any impact on the amount of fuel consumption and composition of exhaust gases. A different situation is observed when the engine operates with the open loop control. The lowest idle-run fuel consumption under this regime has

been obtained at the conversion kit's rheostat position  $\frac{1}{2}$  ( $Q = 1.30 \pm 0.02 \text{ l h}^{-1}$ ), whereas at the position 0 the fuel consumption is  $1.43 \pm 0.02 \text{ l h}^{-1}$ . The idle-run fuel consumption at different conversion kit rheostat positions, when the engine operates both with the closed loop control and without it, is presented in Fig.2.12.



**Fig. 2.12. The impact of the conversion kit's rheostat position changes on the automobile's idle running fuel consumption:**

a – engine operation with the closed loop control; b – engine operation without closed loop control.

The increase in fuel consumption when the engine operates without the closed-loop control, leads to increase by several times in the amount of non-combusted hydrocarbons ( $HC$ ) in exhaust gases as well as the amount of  $CO$  emissions, whereas the amount of  $CO_2$  and  $NO_x$  emissions decreases.

The highest parameters of automobile power and torque over the entire range of the engine's crankshaft rotation frequency have been obtained when the engine was operating at the conversion kit's rheostat position – 0, or at the moment when the conversion kit is not adjusting the air-fuel mixture (Fig. 2.13). At other rheostat positions under the part-time and full-time regimes the engine operates with jerking breaks. The exploitation of the automobile in such a regime is not permissible, since there is a higher probability of engine failure.



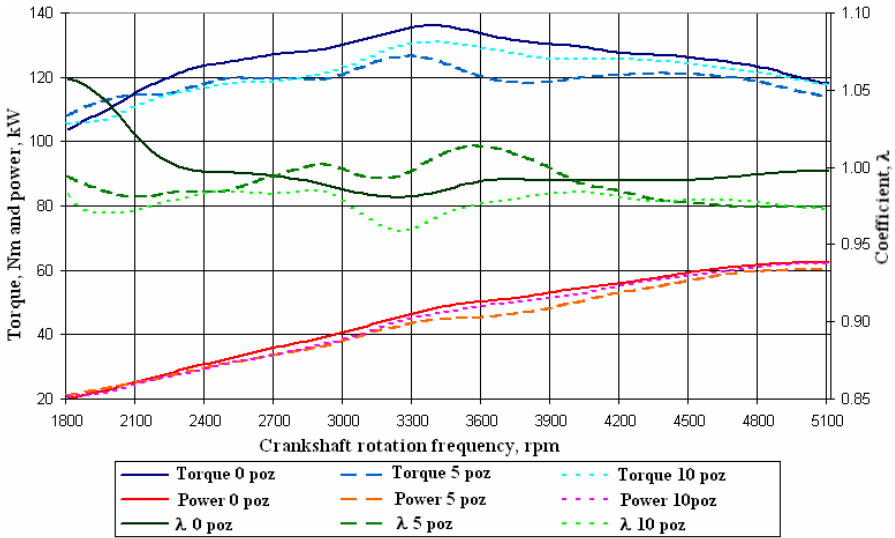


Fig. 2.13. Changes in power, torque and air-fuel mixture at different adjustments of the Etanizer rheostat.

### 3. ECONOMIC EVALUATION OF THE USE OF FUEL TYPE E85

In the theoretical and experimental research of the thesis, the possibilities of the use of bioethanol in automobiles designed to operate on fossil fuel – gasoline A95 have been analysed. The research proves that by making certain changes in the fuel system, it is possible to operate those automobiles also on bioethanol and gasoline mixtures, including fuel type E85. This chapter deals with the evaluation of the exploitation costs of the automobile used in the research, operating the automobile both on fossil gasoline A95 and on fuel type E85.

Only those cost positions were used in the economic calculations which depended on the type of the fuel used. These costs included: the automobile's conversion costs, maintenance costs and fuel costs. The numerical values obtained as a result of economic evaluation for the estimated exploitation period or 100000 km are presented in Table 1.

**Table 1. Calculation of Automobile's VW Passat variable exploitation costs for the estimated exploitation period or 100000 km**

Parameter	Descript.	Measur. unit	Value	
			A95	E85
<b>Total automobile conversion costs</b>	$I_P$	LVL	-	<b>160.01</b>
Conversion kit purchasing costs	$I_{PK}$	LVL	-	90
Fuel lines costs	$I_{DC}$	LVL	-	17.01
Costs of auxiliary materials	$I_{PM}$	LVL	-	8
Installing costs	$I_U$	LVL	-	45
<b>Total maintenance costs</b>	$I_{TA}$	LVL	<b>277.29</b>	<b>510.32</b>
<b>Total maintenance costs</b>	$I_{TA-D}$	LVL	120	190
M-1 labour capacity	$T_{TA-1}$	cilv.h.	0.5	0.5
M-2 labour capacity	$T_{TA-2}$	cilv.h.	1.5	1.5
M-1 number at the chosen period of time	$n_{TA-1}$	-	3	10
M-2 number at the chosen period of time	$n_{TA-2}$	-	3	3
Average costs of man-hour in a service station	$I_{cilv.st.}$	LVL	20	20
<b>Total maintenance material costs</b>	$I_{TA-M}$	LVL	157.29	320.32
M-1 costs of necessary materials	$I_{TA-1M}$	LVL	23.29	23.29
M-2 costs of necessary materials	$I_{TA-2M}$	LVL	29.14	29.14
<b>Total fuel costs</b>	$I_D$	LVL	<b>7603.2</b>	<b>7923.5</b>
Fuel consumption in combined cycle IM240	$Q_D$	l 100km <sup>-1</sup>	8.8	11.5
Automobile's mileage	$S$	km	100000	100000
Price of 1 l of fuel	$D_C$	LVL	0.864	0.689
<b>Total exploitation costs</b>	$I_E$	LVL	<b>7880.49</b>	<b>8593.83</b>

For a more objective comparison of exploitation costs, a yearly exploitation costs should be calculated. Assuming that the average automobile's yearly mileage is 14000 -15000 km, a 100000 km mileage will be reached in 7 years.

The yearly costs (Table 2) are obtained by dividing the concrete position of total costs (Table 1) by the estimated exploitation period T.

**Table 2. Automobile's VW Passat yearly variable maintenance costs**

Parameter	Descript.	Measur. unit	Value	
			A95	E85
Automobile's conversion costs attributed to a year	$I_{P,G}$	LVL	-	22.86
Yearly maintenance costs	$I_{TA,G}$	LVL	39.61	72.90
Yearly fuel costs	$I_{D,G}$	LVL	1086.17	1131.93
<b>Total yearly maintenance costs</b>	$I_{E,G}$	LVL	<b>1125.78</b>	<b>1227.69</b>

As can be seen from Table 2. Fig.3.1, the automobile's total yearly variable maintenance costs, operating on fuel type E85, increase by 9% or 101.91 LVL, compared with the automobile's yearly variable costs, operating on fuel type A95. The increase in costs are due to the conversion costs, attributed to a year (22.86

LVL), and also due to the increase of 84% in or 33.29 LVL in yearly maintenance costs and also due to the increase of 4% or 45.15 LVL in fuel costs.

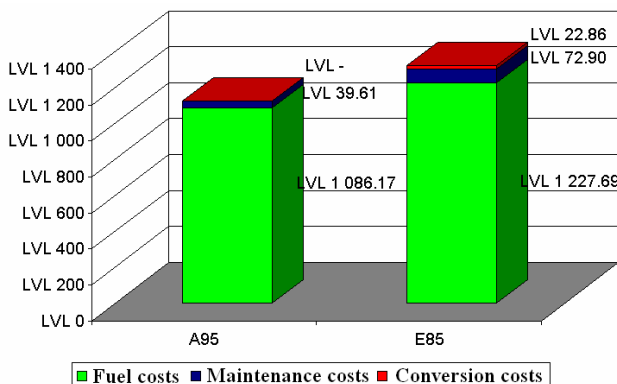


Fig. 3.1. Experimental automobile’s *VW Passat* yearly variable maintenance costs (per year).

The economic evaluation substantiates the existing situation in the country concerning the demand for the fuel E85 and its use. As long as the expenses for operating the automobile fuel type E85, exceeds the expenses operating it on fuel type A95, the demand for fuel type E85 will be low in Latvia’s market.

#### 4. ECOLOGICAL EVALUATION OF THE USE OF FUEL TYPE E85

In order to evaluate and compare the ecological effect or the impact on the environment of the use of fuel type E85, the amount of harmful exhaust emissions has been determined. It is compared with the amount of emissions in fossil gasoline. The components of automobile exhaust emissions, which have a significant impact on the environment are  $NO_x$ ,  $NH_3$ ,  $CO_2$  and  $CO$ . These components make a substantial proportion of the total exhaust gases. Like in the economic calculation the percentage of emissions in exhaust gases has been taken from the experimental research. The percentage that has been obtained from the exploitation of the automobile both on fuel type A95 degvielu, and E85 during the *IM-240* cycle has been used in calculations. In the same way as in the economic calculations, the ecological effect will be determined for the year of exploitation, assuming that the average mileage of the automobile is ~ 15000 km. The amount of emissions from exhaust gases in mass units has been calculated basing on the theoretically calculated used air-fuel mixture amount per year and from experimentally determined percentage ratios of components of emissions of exhaust gases. The results are shown in the following diagram.

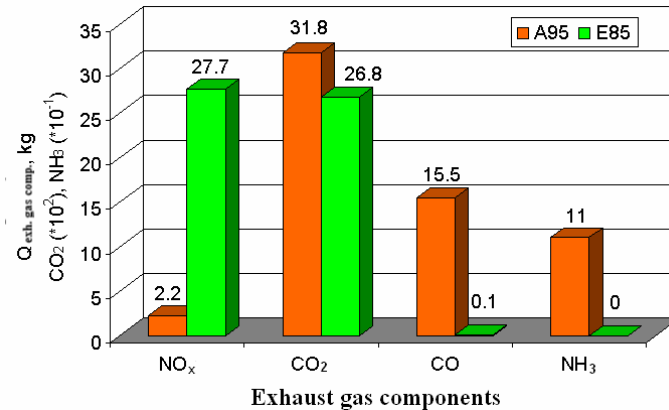


Fig. 4.1. **The impact of the used fuel type on the amount of automobile's exhaust gas emissions per year.**

As can be seen from Fig. 4.1, operating on fuel type E85, the emissions of CO<sub>2</sub> decrease by 500 kg per year, CO emissions decrease by 15.4 kg and NH<sub>3</sub> emissions decrease by 11 kg, whereas NO<sub>x</sub> emissions increase by 25.5 kg.

Basing on the obtained control figures, if needed, it is possible to determine the amount of exhaust emission generated by one automobile in grams per km (g km<sup>-1</sup>), as it is declared in European standards.

## CONCLUSIONS

1. The developed calculations algorithm and theoretical model in the *ExtendSim* programme is adapted to determine the the following operating parameters of automobile engines operating on bioethanol and gasoline mixture fuels: maximum power, torque, fuel consumption, loading of injectors, etc.
2. The modelling results show that the maximum allowable admixture of bioethanol to gasoline is influenced by the productivity of injectors, pressure of fuel system, fuel properties, as well as engine design parameters. Using the technical specifications of the *VW Passat* for modelling purposes, the maximum allowable admixture of bioethanol to gasoline for this automobile must not exceed 74%, but the optimum admixture – 36 %. In order to use fuel type E85, it is necessary to increase the fuel pressure from 3.8 bar as specified by the manufacturers to 4.3 bar. or to use injectors with - from 149.8 cm<sup>3</sup> min<sup>-1</sup> to 182 cm<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>.
3. The developed universal, methodology for automobiles which operate on biofuels is for automobile testing not only on fossil fuels – gasoline and diesel, but also biofuels – bioethanol, biodiesel and rapeseed oil.

4. The experimental tests with biofuel non adapted automobile *VW Passat* for operation on fuel types - A95, E10, E20, E30, E40, E50, E85 indicate the following:
  - 4.1. the automobile can operate on all the tested fuels, although it is not advisable to use bioethanol and gasoline mixture fuels with the content of bioethanol higher than 50%, because it causes the formation of an excessively lean air-fuel mixture under a full load regime at a low crankshaft rotation frequency;
  - 4.2. the changes in maximum power with all the experiment's fuel types are insignificant, they do not exceed 3%. Using E10 un E20, at low crankshaft rotation frequency ( $2000 \text{ min}^{-1}$ ) an increase in power by 11% was obtained, and an increase in torque was by 12% ., but using fuel type E85, the power decreased by 16%;
  - 4.3. the higher the content of bioethanol in the fuel mixture the higher the consumption of fuel in all the testing regimes was observed. If the content of bioethanol increases by 10%, the consumption of fuel increases by 3 – 6% on average;
  - 4.4. increasing the conten of bioethanol in the fuel mixture, the amount of  $CO$ ,  $CO_2$  and  $NH_3$  in exhaust emissions decreases. The changes in  $HC$  emissions are insignificant, but the proportion of  $NO_x$  increases (especially in the case of E50 and E85 fuel types).
5. Adapting an automobile *VW Passat* for operation on fuel type E85, i.e., using a special conversion kit *Etanizer*, the following has been stated:
  - 5.1. if a special conversion kit is not used, even though the surrounding temperature is plus  $18^\circ\text{C}$  , it is not possible to start a cold engine;
  - 5.2. when the engine works at the idle running mode with the closed loop control, the fuel type E85 conversion kit operation does not have any impact on the automobile's fuel consumption and composition of exhaust gases;
  - 5.3. installation of engine conversion kit *Etanizer* facilitates the starting of cold engine, but under full load regimes it makes the engine operation unstable.
6. The main criteria stating the maximum allowable bioetanol content in bioethanol non-converted cars are the following: the productivity of injectors and pump, manufacturers specifications for the engine's electronic control unit and specifics of operation, as well as the possibilities of using the special conversion kit and compliance with the the electronic control unit of the automobile.

7. Carrying out the economic evaluation of the use of fuel type E85, the total yearly variable exploitation costs increase by 9% or by 101.91 LVL, compared to the expenses required for operation on fossil gasoline.
8. If the use of fuel type E85 is not additionally subsidised or supported by other economic measures, its use in the automobile transport sector is not economically advantageous.
9. If fuel type E85 is used instead of gasoline, the annual amount of  $CO_2$  emissions decreases by 16%, the amount of  $CO$  decreases by 99% and  $NH_3$  emissions by 100%, whereas the amount of  $NO_x$  in exhaust gases increases 11 times.

## IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI

### SOURCES OF INFORMATION

1. Aboltins A., Berjoza D., Pirs V. (2010) Theoretical Model of Exploitation of Automobiles operated with Bioethanol-Gasoline Mixture Fuels. **In:** *9<sup>th</sup> International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”: Proceedings, Volume 9*, May 27 – 28, 2010. Jelgava: LUA, p. 133. – 138.
2. Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport (2003). *Official Journal of the European Union* L 123, 17 May, p. 42 – 46.
3. *ExtendSim* (2007) User Guide. Imagine That Inc. USA, release 7, 780 p.
4. *FFI Platinum Series* (2007) Instruction Manual. USA, 11 p.
5. Gulbis V. (2008) *Ikšdedzes motoru biodegvielas*. Jelgava: LLU. 318 lpp. ISBN 978-9984-784-48-9.
6. Hammond G. P., Kallu S., McManus M. C. (2008) Development of biofuels for the UK automotive market. *Applied Energy*, No. 85, p. 506 – 515.
7. Kampars V. (2008) Biodegvielu ražošanas perspektīvas Latvijā. *Zinātnes Vēstnesis*, Nr. 4 (358), 18. feb.
8. Koç M., Sekmen Y., Topgöl T., Yücesu H. S. (2009) The effects of ethanol-unleaded gasoline blends and ignition timing on engine performance and exhaust emissions in a spark-ignition engine. *Renewable Energy*, No. 34, p. 2101 – 2106.
9. Pommers J., Liberts G. (1985) *Automobiļa teorija*. Rīga: Zvaigzne, 245 lpp.
10. Yücesu H., Topgöl T., Çınar C., Okur M. (2006) Effect of ethanol-gasoline blends on engine performance and exhaust emissions in different compression ratios. *Applied Thermal Engineering*, No. 26, p. 2272 – 2278.
11. Yüksel F., Yüksel B. (2004) The use of ethanol-gasoline blend as a fuel in an SI engine. *Renewable Energy*, No. 29, p. 1181 – 1191