

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Tehniskā fakultāte
Spēkratu institūts

Latvia University of Agriculture
Faculty of Engineering
Motor Vehicle Institute

Mg.sc.ing. **Aivars Birkavs**

RAPŠA EĻŠAS DEGVIELAS IZMEŠU SASTĀVA NORMALIZĀCIJA DĪZEĻMOTOROS

RAPESEED OIL FUEL EMISSION NORMALIZATION IN DIESEL ENGINES

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS
Dr.sc.ing. zinātniskā grāda iegūšanai

PROMOTION PAPER SUMMARY
for acquiring the scientific degree Dr.sc.ing.



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



Promocijas darba izstrāde līdzfinansēta
no Eiropas Savienības Sociālā fonda

_____ (A. Birkavs)

Jelgava
2014

Darbs izpildīts Latvijas Lauksaimniecības universitātes Tehniskās fakultātes Spēkratu institūtā.

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

Darba konsultanti: profesors, Dr.sc.ing. Gunārs Vērdiriņš,
asoc. profesors, Dr.sc.ing. Ilmārs Dukulis.

Oficiālie recenzenti:

Dr.sc.ing. Ainārs Galiņš – Latvijas Lauksaimniecības universitātes Lauksaimniecības enerģētikas institūta direktors, asociētais profesors

Dr.sc.ing. Semjons Ivanovs – Latvijas Lauksaimniecības universitātes aģentūras „Lauksaimniecības tehnikas zinātniskais institūts” direktors, vadošais pētnieks

Dr.sc.ing. Gvidonas Labeckas – Aleksandra Stulginska universitātes Transportmašīnu institūta profesors (Lietuva)

Promocijas darba aizstāvēšana notiks Latvijas Lauksaimniecības universitātes Lauksaimniecības nozares Inženierzinātņu apakšnozares promocijas padomes atklātā sēdē 2014. gada 16. maijā plkst. 10:00, Jelgavā, J. Čakstes bulv. 5, Tehniskajā fakultātē, 429. auditorijā.

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

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

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

Pētījums veikts ar Eiropas Sociālā Fonda projekta „Atbalsts LLU doktora studiju īstenošanai” mērķfinansējuma atbalstu.

Vienošānās Nr. 2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017.

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

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

Consultants: professor, Dr.sc.ing. Gunārs Vērdiriņš,
asoc. professor, Dr.sc.ing. Ilmārs Dukulis

The official reviewers:

Dr.sc.ing. Ainārs Galiņš – director of the Institute of Agricultural Energetics, Latvia University of Agriculture, associate professor

Dr.sc.ing. Semjons Ivanovs – director of the Agency of Latvia University of Agriculture „Research Institute of Agriculture Machinery”, leading researcher

Dr.sc.ing. Gvidonas Labeckas – professor of the Institute of Power and Transport Machinery Engineering, Aleksandras Stulginskis University (Lithuania)

The promotion paper will be defended in an open meeting of the Promotion Council of the sub-branch of Engineering Sciences of the branch of Agriculture, at the Latvia University of Agriculture on 16th May, 2014 at 10 a.m. Venue – Jelgava, 5 J. Čakstes Blvd., Faculty of Engineering, room 429.

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

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

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

SATURS

Darba aktualitāte.....	4
Promocijas darba aprobācija.....	5
Pētījuma hipotēze, mērķis un uzdevumi.....	5
Aizstāvamās pētījuma tēzes.....	6
Pētījumu metodes.....	6
Zinātniskā novitāte un praktiskās izmantošanas iespējas.....	6
Informācija par promocijas darba struktūru un apjomu.....	7
1. Teorētiskie pētījumi.....	8
2. Slāpekļa oksīdu samazināšanas eksperimentālie pētījumi.....	15
2.1. Atgāzu pētījumi dīzeļmotoram <i>FORD YTR</i>	17
2.2. Automašīna <i>LAND ROVER FREELANDER</i> eksperimentālie pētījumi.....	20
2.3. Teorētisko un eksperimentālo pētījumu salīdzinājums.....	21
3. Rapša eļļas kā degvielas izmantošanas ekoloģiskais novērtējums, izmantojot ūdens-spirta iesmidzināšanu motora cilindrā.....	23
4. Rapša eļļas kā degvielas pielietošanas ekonomiskais novērtējums, izmantojot ūdens-spirta iesmidzināšanu motora cilindrā.....	25
Secinājumi.....	28
Kopsavilkuma norādēs izmantotie informācijas avoti.....	55
Publikācijas vispārārtzītos recenzējamās izdevumos.....	57

TABLE OF CONTENTS

Topicality of the research.....	30
Approbation of the research.....	31
The object, hypothesis, aim and tasks of the research.....	31
Theses for defence.....	32
Research methods.....	32
Scientific novelty and practical application of the research.....	32
Information about structure and amount of the research.....	33
1. Theoretical research.....	34
2. Nitric oxide reducing experimental research.....	41
2.1. Exhaust gases experiments for diesel engine <i>FORD YTR</i>	43
2.2. Experimental investigation of automobile <i>LAND ROVER FREELANDER</i>	46
2.3. Theoretic and experimental research comparison.....	47
3. Ecologic evaluation of the application of rapeseed oil as fuel using water-ethanol injection in engine cylinder.....	49
4. Economic evaluation of the application of rapeseed oil as fuel using water-ethanol injection in engine cylinder.....	51
Conclusions.....	54
References used in summary.....	55
List of publications.....	57

DARBA AKTUALITĀTE

Latvija kopš 2004. gada ir Eiropas Savienības dalībvalsts, un tai ir saistoši ES likumdošanas akti un dokumenti. ES direktīvā 2003/30/EC „Par biodegvielas un citu atjaunojamo degvielu izmantošanas veicināšanu transportā” teikts, ka ES dalībvalstīm jānodrošina, lai to nacionālajā ekonomikā līdz 2010. gadam no atjaunojamajiem energoresursiem sarāžotas enerģijas īpatsvars transportā veidotu vismaz 5.75% (Directive 2003/30/EC ..., 2003), bet līdz 2020. gadam jābūt 20% atjaunojamo energoresursu īpatsvaram kopējā energopatēriņā un 10% biodegvielu īpatsvaru kopējā degvielas patēriņā (Directive 2009/28/EC ..., 2009).

Attīstoties tehnoloģijām, augu eļļas degviela AE100 gan tīrā veidā, gan maisījumos ar fosilo dīzeļdegvielu arvien vairāk tiek lietota kā dīzeļmotoru degviela lauksaimniecības tehnikā. Par to liecina 2011. gadā uzņēmuma *John Deere* traktora prezentācija, kurš rūpnīcā aprīkots ar „vienas tvertnes sistēmu” darbināšanai ar augu eļļu, kā arī vairāku traktoru *Fendt* aprīkojums darbināšanai ar augu eļļu, kas ietverts standartkomplektācijā. Vācu uzņēmums *ATG* līdz 2011. gadam ir aprīkojis darbināšanai ar augu eļļu vairāk nekā 900 traktoros un 3000 kravas automobiļus. Tā sadarbības partneri ir ne tikai dienuvidu valstīs, bet arī Lietuvā un Norvēģijā, kur lauksaimnieki sekmīgi ekspluatē spēkratus, kas pielāgoti darbināšanai ar augu eļļu. Arī Latvijā vairākās zemnieku saimniecībās un uzņēmumos tiek izmantota tehnika, kuru darbina dīzeļmotori, izmantojot rapša eļļu kā degvielu.

No līdzšinējo pētījumu rezultātiem var secināt, ka augu eļļu, kas atbilst ES pieņemtā standarta prasībām, var lietot dīzeļmotoros ilgstoši, un tās lietošana neizraisa motora vai to sistēmu bojājumus. Nedaudzie pētījumi par augu eļļas degvielas izmešu sastāvu liecina par to, ka toksisko vielu saturs izplūdes gāzēs, līdzīgi biodīzeļdegvielai, samazinās salīdzinājumā ar fosilo dīzeļdegvielu. Taču vairāku eksperimentu rezultātos norādīts, ka slāpekļa oksīdu daudzums atgāzēs, izmantojot augu eļļas degvielu, pieaug. Kā liecina citi pētījumi par rapša eļļas degvielas AE100 izmantošanu spēkratos, tad lauksaimniecības nozarē šīs degvielas lietošana būs aktuāla līdz tam brīdim, kamēr tā tiks aizliegta ar likumu, jo rapšu eļļas ražošana un izmantošana pie noteiktiem apstākļiem ir ekonomiski izdevīga, un neapdraud tās kā pārtikas produkta nelietderīgu izmantošanu. Izspiežot rapša eļļu, paliek pāri rapša rauši, kas ir augstvērtīga lopbarība (Dukulis, 2013.).

Toksisko izmešu emisijas normas tiek noteiktas ne tikai autotransportam, bet arī traktortehnikai. No 2013. gada Latvijā stājas spēkā ES regulas, kas nosaka izplūdes gāzu emisijas normu traktoriem un citai lauksaimniecības tehnikai. Eiropas Parlamenta un Padomes 2011. gada 16. novembra Direktīvā 2011/88/ES teikts, ka no motora izplūstošo gāzu emisijas daudzums jānosaka tieši pirms izplūdes gāzu pēcapstrādes ierīcēm. Tātad problēma ir tāda, ka jākorrigē

degvielas sadedzes process, lai samazinātu toksisko izmešu emisijas, tai skaitā slāpekļa oksīdu daudzumu, iedarbojoties tieši uz sadedzes procesu dīzeļmotora cilindrā.

Lauksaimniecības tehnika un autotransports, kuru izmantoto lielākā daļa Latvijas lauksaimnieku, nav aprīkota ar atgāzu recirkulācijas sistēmu (*EGR*) vai selektīvo katalītisko atgāzu attīrīšanas sistēmu (*SCR*), līdz ar to slāpekļa oksīdu un citu toksisko elementu daudzums atgāzēs ir atkarīgs no motora regulējuma. Izmantojot rapša eļļu kā degvielu, nepieciešams veikt motora pielāgošanu tā optimālai darbībai, taču, lietojot „divu tvertņu sistēmu” tas nav iespējams, jo dīzeļmotors tiek iedarbināts ar fosilo dīzeļdegvielu, kuras izmantošanai ir noteikti rūpnīcas-izgatavotājas rekomendētie parametri.

Darbā ir piedāvāts risinājums, kā regulēt slāpekļa oksīdu daudzumu ar rapša eļļas degvielu AE100 darbināmu dīzeļmotoru izplūdes gāzēs. Tehnoloģija vērsta uz sadegšanas temperatūras samazināšanu motora cilindrā un degšanas procesa uzlabošanu, izmantojot ūdens-spirta maisījumu, spēkratiem, kas nav aprīkoti ar katalītiskiem neitralizatoriem vai citām ierīcēm toksisko izmešu samazināšanai.

PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA

- 9 publikācijas vispārārtītos recenzējamos izdevumos (ind. Scopus, Web of Science, CAB Abstracts, EBSCO Central & Eastern European Academic Source).
- 8 populārzinātniskās publikācijas (žurnāli „Agrotops”, „Saimnieks”).
- Patents LV 14648 B. Paņēmiens dīzeļmotoru izmešu normalizācijai. Starptautiskās klasifikācijas indekss: F02B47/04.
- 9 uzstāšanās starptautiskās zinātniskās konferencēs ar ziņojumiem.
- 2 uzstāšanās izstādēs un semināros.
- Dalība divos ar promocijas darbu saistītos projektos.

PĒTĪJUMA HIPOTĒZE, MĒRĶIS UN UZDEVUMI

Pētījumā izvirzītā hipotēze

Ar rapša eļļu darbināmu dīzeļmotoru izplūdes gāzēs esošo slāpekļa oksīda daudzumu iespējams regulēt, pievadot iekšējās gaisam ūdens-spirta maisījumu.

Pētījuma mērķis ir noskaidrot ar rapšu eļļu darbināmu dīzeļmotoru atgāzu sastāvu, izmešu toksiskuma ietekmējošos faktorus, un izstrādāt slāpekļa oksīdu (NO_x) samazināšanas iespēju teorētiskos un praktiskos risinājumus.

Mērķa sasniegšanai izvirzīti sekojoši uzdevumi:

- precizēt slāpekļa oksīdu (NO_x) rašanos;
- izstrādāt ar rapša eļļu darbināmu dīzeļmotoru izmešu toksiskās komponentes – slāpekļa oksīda (NO_x) daudzuma regulēšanas teorētiskos un praktiskos risinājumus, izmantojot ūdens-spirta piedevu;

- izstrādāt matemātisko modeli dīzeļmotora atgāzu toksiskās komponentes NO_x daudzuma prognozēšanai, izmantojot ūdens-spirta piedevu;
- izveidot dīzeļmotora stendu eksperimentu veikšanai un veikt eksperimentus;
- pielāgot automobili darbināšanai ar rapšu eļļu un izveidot ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēmu;
- veikt izmēģinājumus ar pielāgoto automobili un izvērtēt iegūtos rezultātus;
- noteikt rapša eļļas degvielas pielietojuma dīzeļmotoros ekoloģiskos un ekonomiskos ieguvumus, izmantojot ūdens-spirta piedevu.

AIZSTĀVAMĀS PĒTĪJUMA TĒZES

1. Ūdens-spirta maisījums motora cilindrā tiek padots šķidrā fāzē, kur iztvaikošanas rezultātā patērē noteiktu siltuma daudzumu, un šī procesa rezultātā samazinās sadegšanas temperatūra, kā arī slāpekļa oksīdu daudzums izplūdes gāzēs.
2. Izstrādātais matemātiskais modelis rada iespēju noteikt slāpekļa oksīdu (NO_x) daudzumu dīzeļmotora izplūdes gāzēs dažādos motora darbības režīmos.
3. Izveidotais ūdens-spirta pielietošanas ekonomiskais modelis palīdz novērtēt sistēmas izmantojuma ekonomisko efektivitāti.

PĒTĪJUMU METODES

Darbā izmantotas analīzes, modelēšanas, prognozēšanas, eksperimentēšanas (ceļa izmēģinājumu un laboratorijas), statistiskās un ekonomiskās novērtēšanas pētījumu metodes.

ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE UN PRAKTISKĀS IZMANTOŠANAS IESPĒJAS

1. Izstrādāts paņēmieni slāpekļa oksīdu samazināšanai dīzeļmotoru izmešos, izmantojot ūdens-spirta maisījumu.
2. Izstrādāta inovatīva ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēma, kuras novitāti apliecina patents. Patenta numurs: LV 14648 B. Paņēmieni dīzeļmotoru izmešu normalizācijai. Starptautiskās klasifikācijas indekss: F02B47/04.

Ar izstrādāto NO_x daudzuma modeļa palīdzību iespējams prognozēt slāpekļa oksīdu saturu dīzeļmotoru atgāzēs, izmantojot rapša eļļu kā degvielu. Pētījumi veikti ne tikai teorētiski, bet arī eksperimentāli gan laboratorijā, gan ceļa apstākļos. Darba rezultāti liecina par veikto aprēķinu ticamību.

Iegūtie rezultāti ir praktiski izmantojami spēkratos, kurus darbina dīzeļmotori gan transporta jomā, gan lauksaimniecības tehnikā ekoloģisko faktoru uzlabošanai. Ar izstrādāto metodi iespējams uzlabot arī dīzeļmotoru efektīvās jaudas parametrus.

INFORMĀCIJA PAR PROMOCIJAS DARBA STRUKTŪRU UN APJOMU

Darbs „Rapša eļļas degvielas izmešu sastāva normalizācija dīzeļmotoros” sastāv no četrām nodaļām. Pirmajā nodaļā dots analītisks apskats par transporta ietekmi uz vidi, apzināti normatīvie akti toksisko izmešu ierobežošanai, noskaidroti dīzeļmotoru toksisko izmešu veidošanās iemesli un to samazināšanas tehniskie risinājumi, apzinātas metodes izmešu daudzuma noteikšanai. Apzināti pētījumi par rapša eļļas degvielas izmantošanas īpatnībām un analizētas izplūdes gāzu sastāva izmaiņas, izmantojot rapša eļļu kā degvielu. Nodaļas noslēgumā formulēts pētījuma mērķis, kā arī noteikti pētījuma uzdevumi.

Otrajā nodaļā izstrādāts atgāzu veidošanās teorētiskais pamatojums, padziļināti veikta slāpekļa oksīdu veidošanās izpēte ar rapšu eļļu darbināmu dīzeļmotoru izplūdes gāzēs, un regulēšanas teorētiskie risinājumi. Izstrādāts teorētiskais modelis slāpekļa oksīdu daudzuma noteikšanai dīzeļmotora atgāzēs. Veikts siltuma bilances aprēķins un konstruēta indikatora diagramma eksperimentālajam motoram.

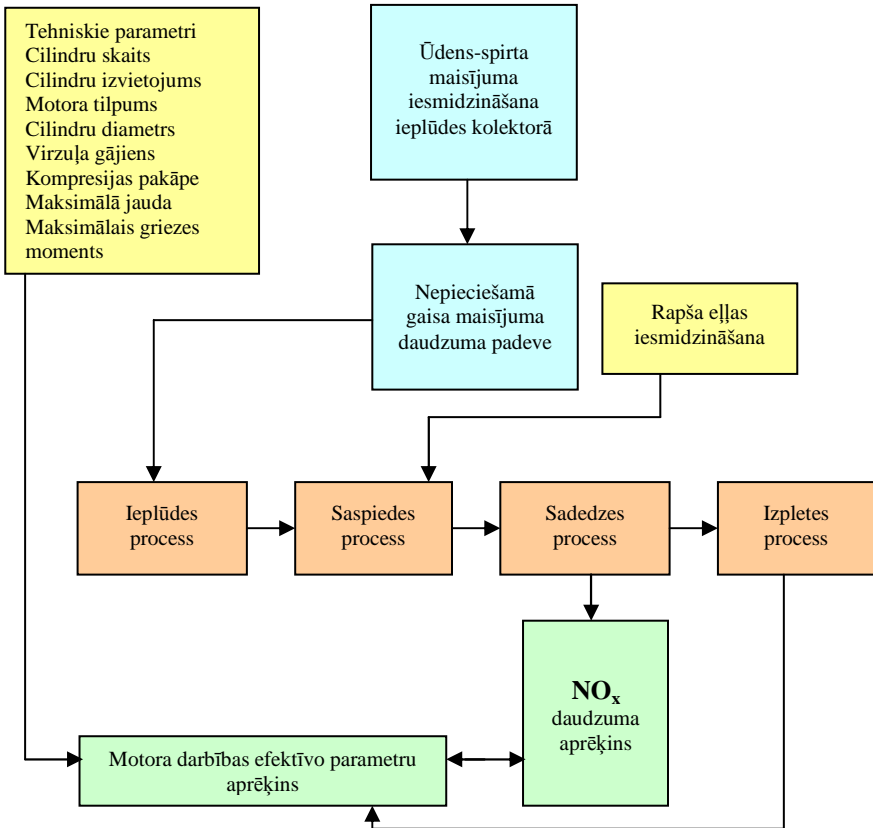
Trešajā nodaļā ir izstrādātas un aprakstītas atgāzu sastāva pētījuma metodikas laboratorijas apstākļos, veicot eksperimentus uz motorstenda un, izmantojot automobili. Apakšnodaļās apkopoti un analizēti eksperimentos iegūtie dati, kā arī veikts rezultātu vērtējums un izstrādāti secinājumi.

Ceturtajā nodaļā veikts teorētisko un eksperimentālo pētījumu rezultātu salīdzinājums, aprakstīta rapša eļļas degvielas (AE100) pielietojuma efektivitāte, lietojot izveidoto izmešu toksiskuma samazināšanas risinājumu – ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanu dīzeļmotora ieplūdes kolektorā, kā arī noteikts ekoloģiskais un ekonomiskais ieguvums no darba rezultātu izmantošanas praksē.

Darba „Rapša eļļas degvielas izmešu sastāva normalizācija dīzeļmotoros” apjoms ir 148 lpp., 88 att., 19 tab., 149 bibl. nos., 11 pielikumi.

1. TEORĒTISKIE PĒTĪJUMI

Teorētisko pētījumu mērķis ir izstrādāt matemātisko modeli NO_x (slāpekļa oksīdu) daudzuma noteikšanai dīzeļmotoru atgāzēs, izmantojot rapša eļļu (AE100) kā degvielu. Teorijas pamatā ir risinājums par noteiktas koncentrācijas ūdens-spirta maisījuma pievienošanu ieklūdes gaisam, ar kura palīdzību iespējams samazināt degšanas temperatūru un uzlabot degšanas procesu motora cilindrā. Dīzeļmotora efektīvās jaudas un atgāzu toksiskās komponentes NO_x veidošanās aprēķins ir veikts saskaņā ar 1.1. attēlā izveidoto blokshēmu.



1.1. att. **Motora efektīvo parametru un atgāzu komponentes NO_x aprēķina blokshēma**

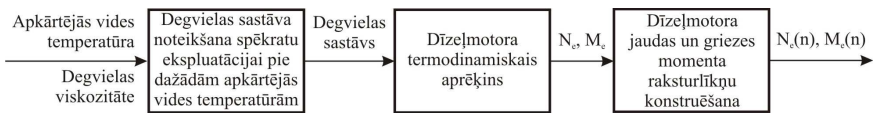
Aprēķinu pamatā izmantots izstrādātais rapša eļļas kā degvielas izmantošanas teorētiskais modelis, kurš ietver termodinamisko aprēķinu pie dažādām apkārtējās vides temperatūrām un ar dažādiem rapša eļļas AE100 un fosilās dīzeļdegvielas maisījumiem (Dukulis un Birkavs, 2013), un tālāk veikts

atgāzu komponentes NO_x aprēķins, balstoties uz teoriju par slāpekļa oksīdu veidošanos dīzeļmotorā pie augstas temperatūras.

Lai varētu raksturot dīzeļmotora konstrukcijas pilnību, siltuma sadalījuma raksturu, faktoros, kas tos ietekmē, un metodes siltuma izmantošanas uzlabošanai motoru izmēģinot, ir noteikta siltuma bilance. Dīzeļmotora siltuma bilance raksturo siltuma sadalījumu, kas tiek izdalīts degvielas sadegšanas procesā motora cilindrā un tiek izmantots gan lietderīgi, gan tiek noteikts kā siltuma zudums (Scott, 1972; Sashse, 1975).

Siltuma bilance kopumā un atsevišķi pa veidiem ļauj novērtēt motora detaļu siltumizturības rādītājus, aprēķināt dzesēšanas sistēmu, noteikt neizmantoto siltumu izplūdes gāzēs, kuru izmantojot, iespējams uzlabot motora efektivitāti (Сторчевс, 2001).

Dīzeļmotora termodinamiskais aprēķins spēkratu ekspluatācijas parametru modelēšanai datu simulācijas programmā *ExtendSim* detalizēti aprakstīts promocijas darbā „Rapša eļļas degvielas izmantošana dīzeļmotoros un loģistika” (Dukulis, 2013) un publicēts 12. starptautiskās zinātniskās konferences „Engineering for Rural Development” rakstu krājumā (Dukulis un Birkavs, 2013). Ar šī modeļa palīdzību var noteikt, pie kādas apkārtējās vides temperatūras rapša eļļai jāsāk pievienot fosilā dīzeļdegviela, lai nodrošinātu degvielas sūkņu darbību un degvielas plūsmu barošanas sistēmā. Modelī izveidoti 3 moduļi (sk. 1.2. att.).



1.2. att. Modeļa vispārējā bloksihēma

Pirmajā modulī nosaka, vai atkarībā no apkārtējās vides temperatūras spēkratus var ekspluatēt ar tīru rapša eļļu, vai arī jāveido tās maisījumi ar fosilo dīzeļdegvielu.

Otrajā modulī kā ieejas parametrs kalpo degvielas sastāvs un īpašības, un tiek veikts dīzeļmotora termodinamiskais aprēķins.

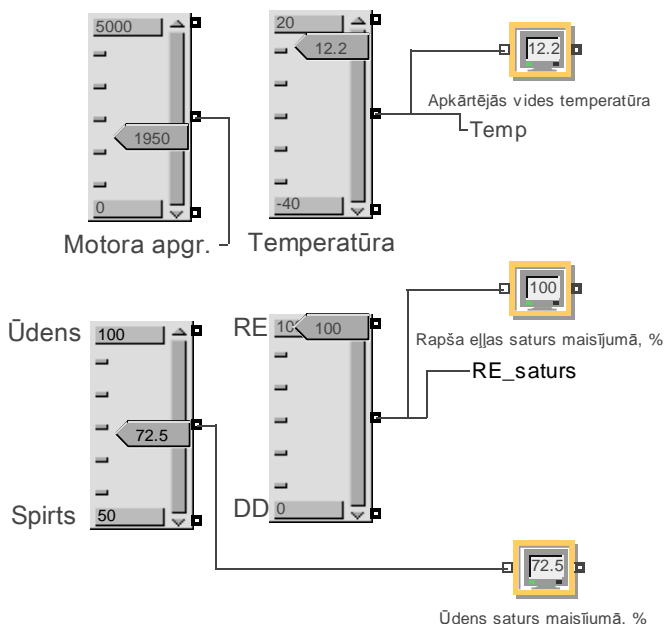
Trešajā modulī tiek veikta dīzeļmotora jaudas un griezes momenta raksturlīkņu konstruēšana.

Izveidotais modelis izmantojams tiešās iesmidzināšanas motoru parametru simulācijai dīzeļmotoriem ar turbopūti un bez tās, bet precīzākus aprēķinus iespējams veikt motoriem ar priekškameru. Slāpekļa oksīdu daudzuma aprēķināšanai, kā arī citu dīzeļmotora darbības raksturojošo parametru novērtēšanai, izveidotais termodinamiskā aprēķina modelis tika papildināts ar vairākām funkcijām:

- motora apgriezīenu maiņa (izmantojot bīdni vai skaitļu ģeneratoru);
- spirta saturs ūdenī aprēķina funkcija;
- vidējās sadedzes temperatūras noteikšana;
- gāzu maisījuma entalpijas aprēķins;

- sadedzes produktu daudzuma attiecību noteikšana;
- motora siltuma bilances aprēķins;
- slāpekļa oksīdu daudzuma noteikšana.

Izveidoti četri bīdņi, ar kuriem iestata motora apgriezienus, apkārtējās vides temperatūru, ūdens-spirta maisījuma attiecību un izmantojamo degvielu (sk. 1.3. att.).



1.3. att. **Pamatparametru iestatīšanas bīdņi**

Šie faktori tieši ietekmē slāpekļa oksīdu daudzumu izmešos, jo izmaina sadedzes procesu motora cilindrā.

Oglekļa (C), ūdeņraža (H) un skābekļa (O) saturs degvielā masas daļās aprēķināms pēc sakarībām (Šmigins, 2010):

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (1.1)$$

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n H_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (1.2)$$

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

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

C_{sat-i} , H_{sat-i} , O_{sat-i} – attiecīgi oglekļa, ūdeņraža un skābekļa saturs i -tajā degvielā, masas daļas.

Slāpekļa oksīdu daudzuma aprēķins modelēšanas programmā

Slāpekļa oksīdu aprēķins dīzeļmotora atgāzēs tiek balstīts uz temperatūru izmaiņu mehānismu pēc Zvonova metodikas (Звонов, 1981). Pie sadedzes un slāpekļa oksīdu matemātiskās modelēšanas motorā degvielas sadegšanas process tiek iedalīts divās daļās: svaigā maisījuma daļā un sadedzes produktu daļā. Svaigā maisījuma daļā ietilpst atlikušo gāzu un gaisa maisījums, kas tiek padots motora cilindrā. Pirms sadegšanas sākuma šī daļa ieņem visu motora cilindra tilpumu, bet sadegšanas gaitā palielinās sadedzes produktu tilpums.

Šīs metodikas galvenā īpašība ir tā, ka var veikt aprēķinus, lai noteiktu vairāku sadedzes procesus komponentes, kā arī veiktu aprēķinu slāpekļa oksīdu noteikšanai, kas rodas pie augstas temperatūras. Pilnas sadedzes produktu temperatūru noteikšanai degkamerā tiek izmantota formula (Звонов, 1981):

$$T_{ps} = \frac{\sqrt{B^2 - 4A \left\{ \frac{1 - r_{ps}}{r_{ps}} [H_{sm}(T_{sm}) - H_{sm}(T_v)] - AT_v^2 - BT_v \right\}} - B}{2A}, \quad (1.4)$$

kur r_{ps} – sadegšanas produktu daļa degmaisījumā, %;

T_{sm} – svaigā maisījuma temperatūra, K;

T_v – maisījuma vidējā temperatūra, K;

H_{sm} – svaigā maisījuma entalpija, kJ·kmol⁻¹;

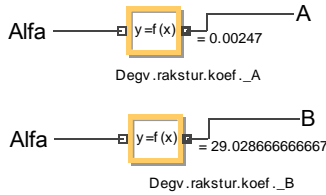
A un B – sadedzes produktu entalpijas vienādojuma koeficienti (kJ·kmol⁻¹):

$$H_{ps} = AT_{ps}^2 + BT_{ps} + C, \quad (1.5)$$

kur koeficienti A , B tiek noteikti atsevišķos aprēķinos (1.4. att.) (Blīvis u.c., 1980):

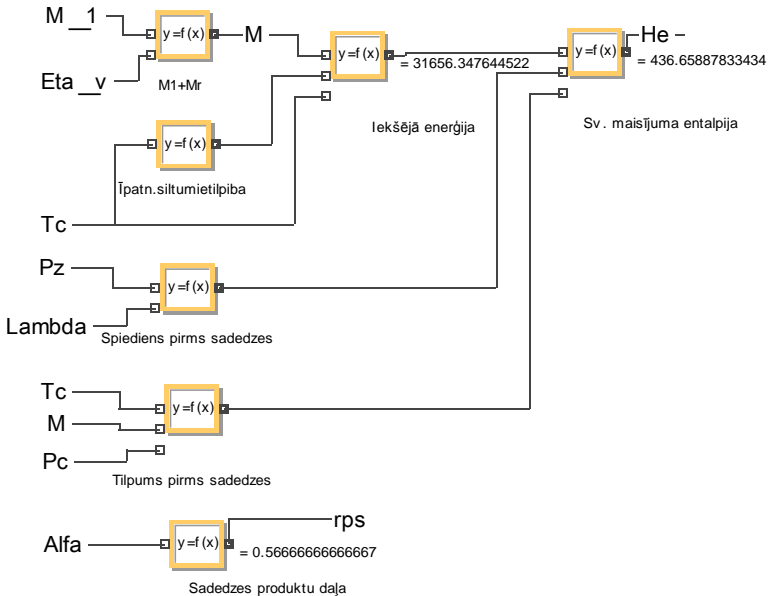
$$A = \left(1.55 + \frac{1.38}{\alpha} \right) \cdot 10^{-3}, \quad (1.6)$$

$$B = 8.314 + 20.1 + \frac{0.922}{\alpha}. \quad (1.7)$$



1.4. att. Entalpijas koeficientu aprēķina bloki

Entalpija ir termodinamiskās sistēmas iekšējās enerģijas un tilpuma enerģijas summa. To sauc arī par siltuma saturu. Entalpiju parasti apzīmē ar H , mērvienība J (kJ). Entalpijas aprēķina bloks parādīts 1.5. attēlā.



1.5. att. Maisījuma entalpijas aprēķina bloks

$$H = U + pV, \quad (1.8)$$

kur U – iekšējā enerģija, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$;
 P – spiediens cilindrā saspiešanas beigās, MPa;
 V – cilindra tilpums, m^3 .

Iekšējās enerģijas (U), spiediena (p) un tilpuma (V) aprēķināšanai izmanto formulas (Blīvis u.c., 1980):

$$U = (M_l + M_r) \cdot c_{vc} \cdot T_c, \quad (1.9)$$

kur M_l un M_r – attiecīgi svaigās masas un atliku gāzu daudzums degkamerā, $\text{kmol} \cdot \text{kg}^{-1}$;

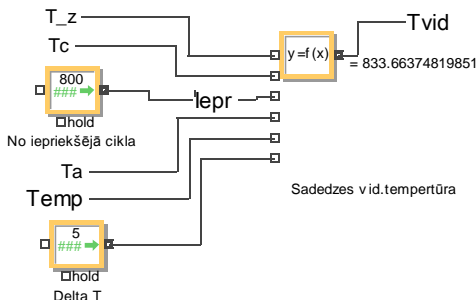
c_{vc} – darbmaisījuma īpatnējā siltumietilpība, $\text{kJ}\cdot\text{kmol}^{-1}$;
 T_c – temperatūra pirms sadedzes, K.

$$p = \frac{P_z}{\lambda}, \quad (1.10)$$

kur P_z – spiediens sadedzes beigās, MPa, (4.5...10.5) (Blīvis u.c., 1980);
 λ – spiediena pieauguma pakāpe, (1.4...2.0) (Blīvis u.c., 1980).

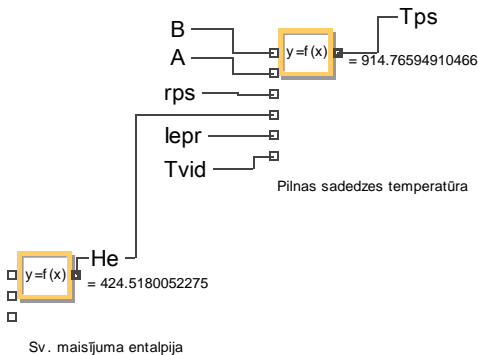
Lai aprēķinātu pilnas sadegšanas temperatūru, nepieciešams zināt maisījuma vidējo temperatūru. Vidējās temperatūras aprēķins iekļauj sadegšanas temperatūru, temperatūru pirmsadedzes punktā, no iepriekšējā cikla palikušo sadedzes produktu temperatūru, izplūdes beigu temperatūru, apkārtējās vides temperatūru un temperatūras pieaugumu, kurš atkarīgs no ieplūdes trakta izveidojuma, dzesēšanas sistēmas tipa, motora slodzes un citiem faktoriem. Dīzeļmotoriem tas ir 5 līdz 20 K (Blīvis u.c., 1980).

Vidējās temperatūras aprēķina bloks parādīts 1.6. attēlā.



1.6. att. Vidējās temperatūras aprēķina bloks

Kad noteikti visi nepieciešamie dati, var aprēķināt maisījuma pilnas sadedzes temperatūru. Aprēķina bloks parādīts 1.7. attēlā.



1.7. att. Pilnas sadedzes temperatūras aprēķina bloks

Slāpekļa oksidēšanās notiek pēc ķēdes reakcijām, kur galvenās no tām ir:



Noteicošā ir reakcija (3), kuras ātrums ir atkarīgs no atomārā skābekļa koncentrācijas.

Vispirms tiek aprēķināta slāpekļa oksīdu veidošanās pēc ķēdes reakcijas sadegšanas zonā, bet pēc tam vidējā NO koncentrācija motora degkamerā.

Dīzeļmotora atgāzes parasti satur šādas galvenās komponentes: O, O₂, O₃, C, CO, CO₂, C_nH_m, NO_x, NO₂, N, N₂, NH₃, HNO₃, HCN, H, H₂, OH, H₂O. Taču pie spiediena un temperatūras, kas ir motora cilindrā, vairākas komponentes (C_nH_m, C_nH_mO, HNO₃, C u.c.) ir nenozīmīgas, jo to daudzums ir mazs un neiespaido toksisko izmešu aprēķinu (Хэмалян, 1976).

Pieņem, ka sadegšanas produktu sastāvā ietilpst sekojošas 11 komponentes: CO₂, H₂O, CO, N₂, O₂, H₂, OH, NO, H, O, N. Šīs komponentes piedalās reakcijās, kas notiek pie augstām temperatūrām (Хэмалян, 1976).

Degmaisījuma elementu līdzsvara vienādojumos kādas noteiktas komponentes daudzumu izsaka ar parciāliem spiedieniem:

$$P_z = P_{\text{CO}_2} + P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{CO}} + P_{\text{N}_2} + P_{\text{O}_2} + P_{\text{H}_2} + P_{\text{OH}} + P_{\text{NO}} + P_{\text{H}} + P_{\text{O}} + P_{\text{N}}, \quad (1.11)$$

Gāzu maisījumos parciālais spiediens ir gāzes moldaļas reininājums ar gāzu spiedienu (Spiediens, B.g.; Mendeļejeva tabula):

$$P_z = 44P_{\text{CO}_2} + 18P_{\text{H}_2\text{O}} + 28P_{\text{CO}} + 28P_{\text{N}_2} + 32P_{\text{O}_2} + 2P_{\text{H}_2} + 17P_{\text{OH}} + 30P_{\text{NO}} + 1P_{\text{H}} + 16P_{\text{O}} + 14P_{\text{N}}$$

Slāpekļa oksīdu aprēķināšanai nepieciešams zināt slāpekļa oksīda (r_{NO}), molekulārā slāpekļa (r_{N_2}), atomārā skābekļa (r_{O}) un molekulārā skābekļa (r_{O_2}) koncentrācijas. Līdz ar ūdens-spirta maisījuma klātbūtni sadedzes procesā, šīs koncentrācijas nedaudz tiks izmainītas, jo izmainās C, H un O daudzums degmaisījuma sastāvā. Šo izmaiņu aprēķins ir iestrādāts modeļa izveidē un automātiski nosaka nepieciešamo komponentu koncentrāciju.

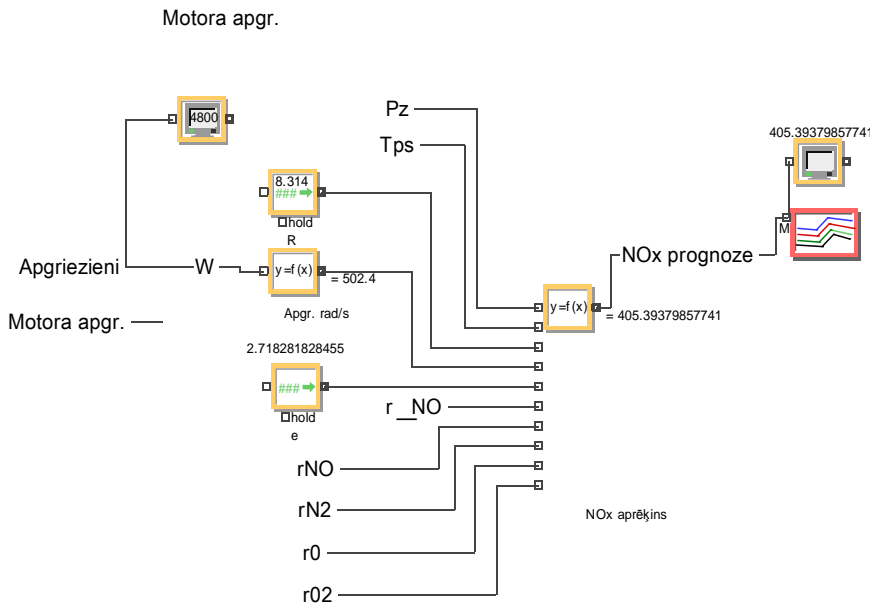
Slāpekļa oksīda daudzums (ppm) sadegšanas produktos pilnā sadegšanas procesā pie kloķvārpstas apgriezieniem n tiek aprēķināta pēc formulas (Звонов и Козлов, Б.Г.):

$$d_{\text{NO}_x}(n) = \frac{(P_z \cdot 2.333 \cdot 10^7)^{\frac{38020}{T_{ps}}} \cdot r_{\text{N}_2} \cdot r_{\text{O}} \cdot \left[1 - \left(\frac{r_{\text{NO}}}{r_{\text{NO}}} \right)^2 \right]}{RT_{ps} \cdot \left(1 + \left(\frac{2346}{T_{ps}} \right)^{\frac{3365}{T_{ps}}} \cdot \frac{r_{\text{NO}}}{r_{\text{O}_2}} \right)} \cdot \frac{1}{\omega}, \quad (1.12)$$

kur P_z – spiediens motora cilindrā, Pa;

T_{ps} – temperatūra sadegšanas zonā, K;
 R – universālā gāzu konstante, $J \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$;
 ω – kloķvārpstas leņķiskais ātrums, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$;
 r_{NO} – slāpekļa oksīda daudzums, $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
 r_{NO} , r_{N2} , r_O , r_{O2} – slāpekļa oksīda, molekulārā slāpekļa, atomārā skābekļa un molekulārā skābekļa koncentrācija.

Slāpekļa oksīdu aprēķina bloku sistēma parādīta 1.8. attēlā. Sistēmai pievienots raksturliķņu bloks, kurā tiek saglabātas pēdējo četru simulāciju raksturliķnes.



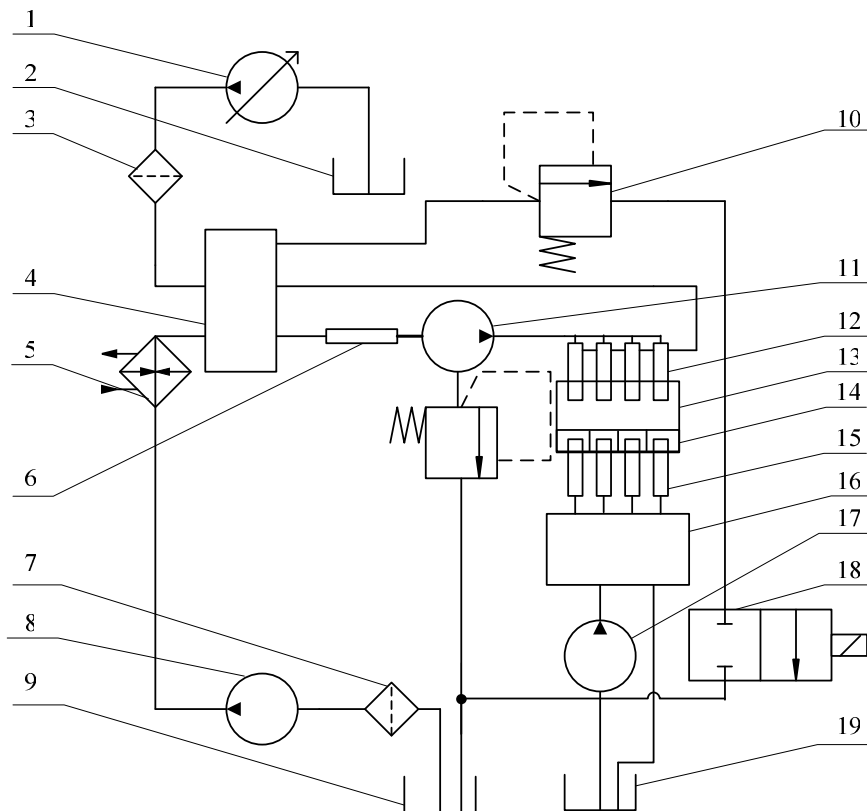
1.8. att. Slāpekļa oksīdu daudzuma aprēķina bloks

Izveidotais modelis ļauj prognozēt NO_x izmaiņas tikai pamatojoties uz temperatūras izmaiņām degkamerā un sadedzes ātrumu, neņemot vērā ķīmiskos procesus, kas notiek, piemēram, spirtam saskaroties ar rapšu eļļu. Tāpēc iegūtie dati ir ar aptuvenu precizitāti.

2. SLĀPEKĻA OKSĪDU SAMAZINĀŠANAS EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI

Pirms eksperimentu sākšanas izveidots 50% (pēc tilpuma) ūdens-spirta maisījums *WE50*, kuru iespējams pielietot transporta līdzekļu dīzeļmotoros visu gadu. Motorstends tika aprīkots ar sprauslu sistēmu *WE50* iesmidzināšanai, lai,

veicot mērījumus, varētu konstatēt piemērotāko gaisa-WE50 maisījumu, kas dotu vēlamo rezultātu – NO_x minimizāciju, būtiski nepalielinot citu toksisko izmešu emisiju. Motorstenda principiālā shēma parādīta 2.1. attēlā (Birkavs, Dukulis un Birzietis, 2013).



2.1. att. Motorstenda principiālā shēma:

1, 8, 17 – elektriskie sūkņi; 2 – fosilās dīzeļdegvielas tvertne; 3, 7 – filtri; 4 – degvielas sadalītājs; 5 – siltummainis; 6 – stikla caurulīte; 9 – rapšu eļļas tvertne; 10 – vienvirziena vārsts; 11 – degvielas augstspiediena sūknis; 12 – degvielas sprauslas; 13 – motors; 14 – ieplūdes kolektors; 15 – WE50 smidzinātāji; 16 – WE50 iesmidzināšanas sistēmas sadalītājs – regulators; 18 – pretvārsts; 19 – WE50 tvertne

Testa rezultāti uzskatāmi parāda, ka NO_x (slāpekļa oksīdi) un HCD (nesadegušie ogļūdeņraži) samazinās, palielinot piedevas WE50 iesmidzināšanas daudzumu, CO₂ daudzums ir aptuveni līdzīgs, bet CO un cieto daļiņu saturs atgāzēs palielinās (sk. 2.1. tabulu). Neskatoties uz nelielo CH₄ (metāna) daudzuma palielināšanos, kopējais ogļūdeņražu saturs atgāzēs samazinājās līdz vērā ņemamam daudzumam.

2.1. tabula. Toksisko izmešu daudzums atgāzēs pie 1500 min⁻¹

WE50 piejaukums, %	NO _x , ppm	MECHO, ppm	CH ₄ , ppm	HCD, ppm	CO ₂ , ppm	CO, ppm
0	105.36	29.53	4.84	204.91	27264.08	1086.98
0.35	71.11	110.45	23.11	57.53	27344.13	1885.42
1.05	57.28	172.19	44.12	0	26908.79	2509.60

Pie motora apgrīzieniem 2500 min⁻¹ eksperimenti tika veikti vairākos WE50 padeves režīmos. Mērījumu rezultāti atspoguļoti 2.2. tabulā.

2.2. tabula. Toksisko izmešu daudzums atgāzēs pie 2500 min⁻¹

WE50 piejaukums, %	NO _x , ppm	MECHO, ppm	CH ₄ , ppm	HCD, ppm	CO ₂ , ppm	CO, ppm
0	153.46	11.41	2.74	136.64	29620.83	646.79
0.22	119.10	61.07	9.03	33.15	29428.29	1054.94
0.63	104.36	95.75	20.10	0	28801.63	1434.64
1.04	94.15	122.17	28.44	0	28585.84	1680.85
1.46	76.05	169.75	43.74	0	27505.30	2220.19
1.86	64.38	194.98	59.11	0	27134.32	2609.18

Toksisko izmešu daudzuma izmaiņu tendences atgāzēs pie 2500 min⁻¹ konstatētas līdzīgas kā pie 1500 min⁻¹. NO_x daudzums samazinājās pat par 58%, bet kopējais nesadeģušo oglekļaūdeņražu saturs, neskatoties uz CH₄ (metāna) satura palielināšanos, samazinājās līdz vērā neņemamai koncentrācijai. Taču cieto daļiņu un CO daudzums motora atgāzēs palielinājās vairākas reizes, un līdz ar to mērījumi pie 1.86% WE50 piejaukuma tika pārtraukti.

2.1. Atgāzu pētījumi dīzeļmotoram FORD YTR

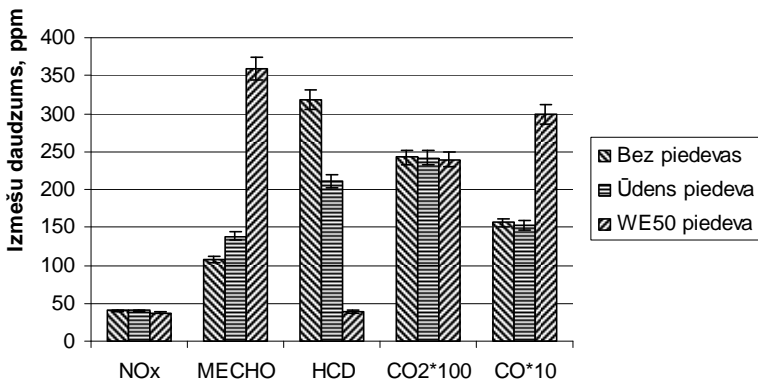
Eksperimentālie pētījumi, izmantojot dīzeļmotoru FORD YTR veikti, lai salīdzinātu toksisko izmešu daudzumu, darbībā ar rapša eļļu un rapša eļļu ar ūdens-spirta piedevu. Papildus atgāzu mērījumiem tika noteiktas motora dinamisko rādītāju izmaiņas un degvielas stundas patēriņš. Motora FORD YTR darba tilpums ir 2304 cm³, kompresijas pakāpe – 22.2 un jauda 49 kW. Motors aprīkots ar degvielas sūkni *RotoDiesel* un nodrošina sprauslu atvēršanās spiedienu līdz 115 ± 5 bar.

Eksperimentālajā daļā veikti sadedzes procesa pētījumi, nosakot spiedienu degvielas sistēmā, indicēto spiedienu u.c., lai pilnībā varētu izskaidrot dinamisko, ekonomisko un ekoloģisko parametru izmaiņas.

Pirmā eksperimenta posmā tika veikti pētījumi, motoram darbojoties brīvgaits režīmā ar 900 min⁻¹ un trijos jaudas režīmos – 1500 min⁻¹, 2000 min⁻¹, 2500 min⁻¹ pie slodzes 50 N. Šādi motora režīmi tika izvēlēti tāpēc, ka tas atbilst dīzeļmotora darbībai gan pilsētas, gan ārpuspilsētas braucienos, nodrošinot gaisa pāruma koeficienta vidējo vērtību ≈ 1.5.

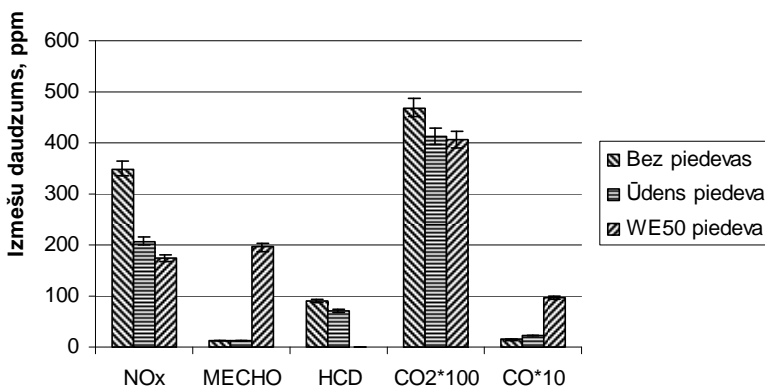
Brīvgaits režīmā (sk. 2.2. att.), NO_x daudzuma samazināšanās nav novērojama, izmantojot ūdens-spirta maisījumu, jo patērētā gaisa daudzums ir

minimāls, līdz ar to ūdens-spirta piedevas ietekme nav ievērojama. Palielinājums novērojams tvana gāzei (CO) un cietajām daļiņām (MECHO), attiecīgi par 51% un 70%.



2.2. att. Toksisko izmešu daudzuma izmaiņas dīzeļmotoram *FORD YTR* pie 900 min⁻¹

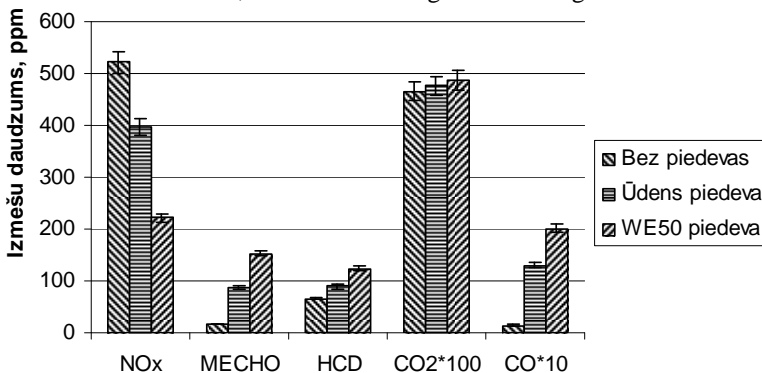
Pie motora apgriezieniem 1500 min⁻¹ NO_x daudzuma izmaiņa, izmantojot ūdens vai ūdens-spirta maisījumu, ir izteikta un samazinās attiecīgi par 39% un 52%. Nesadegušo ogļūdeņražu (HCD) daudzums samazinās līdz minimumam. Tas izskaidrojams ar to, ka ūdens-spirta piedeva uzlabo sadedzes procesu dīzeļmotora cilindrā (sk. 2.3. att.).



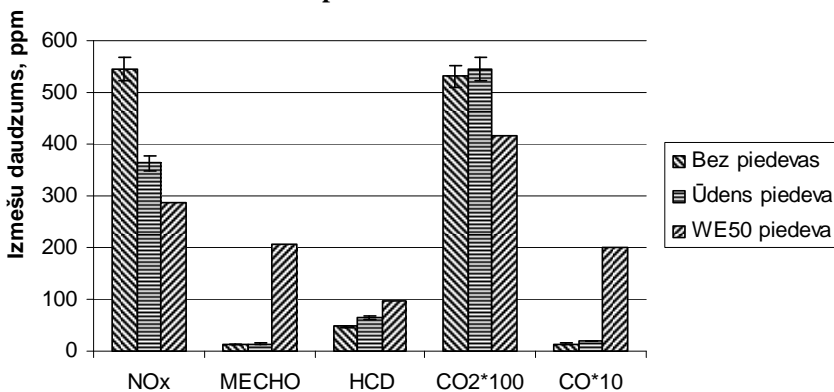
2.3. att. Toksisko izmešu daudzuma izmaiņas dīzeļmotoram *FORD YTR* pie slodzes 50 N un 1500 min⁻¹

Pie motora apgriezieniem 2000 min⁻¹ un 2500 min⁻¹ NO_x daudzums, izmantojot ūdens vai ūdens-spirta maisījumu, samazinās par 23% un 62%, taču nesadegušo ogļūdeņražu (HCD) daudzums palielinās (sk. 2.4. un 2.5. att.).

Tas izskaidrojams ar to, ka ūdens-spirta piedeva rada gaisa pāruma koeficienta samazināšanos, līdz ar to visa degviela nesadeg.



2.4. att. Toksisko izmešu daudzuma izmaiņas dīzeļmotoram *FORD YTR* pie slodzes 50 N un 2000 min⁻¹



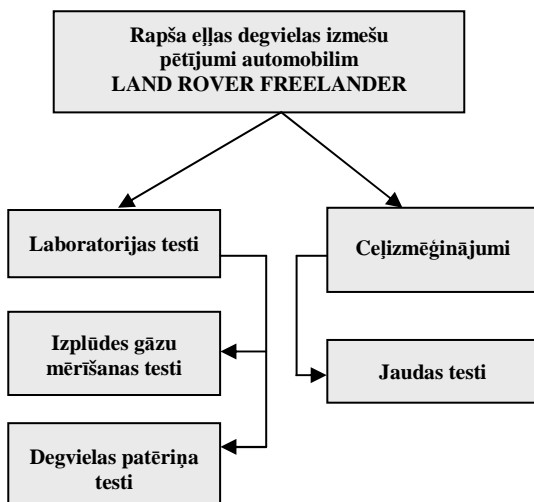
2.5. att. Toksisko izmešu daudzuma izmaiņas dīzeļmotoram *FORD YTR* pie slodzes 50 N un 2500 min⁻¹

Otrais eksperimenta posms tika veikts motoram darbojoties ar 2000 min⁻¹ apgriezieniem un slodzi 100 N. Šāds motora režīms tika izmantots tāpēc, ka tas atbilst dīzeļmotora darbībai ārpuspilsētas režīmā pie konstanta ātruma 90 km·h⁻¹. Arī šajā eksperimenta posmā iegūtie dati liecina par ūdens-spirta piedevas ietekmi uz dīzeļmotora izplūdes gāzēm. Izmantojot ūdens-spirta iesmidzināšanu NO_x daudzums samazinājās par 73%, HCD daudzums līdz minimumam, bet palielinājās cieta daļiņu saturs un tvana gāzes saturs atgāzēs. Tvana gāzes satura palielināšanās izskaidrojama ar gaisa pāruma koeficienta samazināšanos, bet cieta daļiņu daudzumu var izskaidrot ar pakāpenisku motora attīrīšanos laba degšanas procesa rezultātā.

2.2. Automobiļa *LAND ROVER FREELANDER* eksperimentālie pētījumi

Automobilis *LAND ROVER FREELANDER* tika izvēlēts eksperimentu veikšanai, jo tam ir *common rail* degvielas tiešās iesmidzināšanas sistēma, un tas ir aprīkots ar turbokompresoru. Automobilim ir 4x4 riteņu piedziņa, un tas ir piemērots ekspluatācijai bezceļa apstākļos, tātad vairāk noderīgs lauksaimniekiem braukšanai pa lauku teritorijām. Automobilis pielāgots darbināšanai ar rapša eļļu, izmantojot firmas *Elsbett* „divu tvertņu sistēmu”, un automobilim uzstādīta ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēma, kuru darbina augstspiediena sūkņi.

Automobilis *LAND ROVER FREELANDER* aprīkots ar automātisko pārnesumu kārbu, tāpēc izmēģinājumi tika veikti divos posmos: atgāzu mērīšana laboratorijā un jaudas mērījumi ceļa apstākļos (sk. 2.6. att.). Jaudas mērījumi laboratorijas apstākļos nav iespējami, jo, veicot eksperimentu ar tiešo pārnesumu un nospiežot akseleratora sviru „kickdown” režīmā, automātiskās pārnesumu kārbas vadības sistēma pārslēdz zemāku pārnesumu, līdz ar to nav iespējams precīzi nomērīt motora jaudu un griezes momentu.



2.6. att. Rapša eļļas degvielas eksperimentālo testu shēma

Atgāzu sastāvs automobilim *LAND ROVER FREELANDER* tika noteikts, testējot to divos braukšanas ciklos – IM-240 un Jelgavas ciklā. Katrā ciklā tika veikti 3 atkārtojumi.

Izmantojot ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanu, samazinās NO_x (slāpekļa oksīdu) daudzums atgāzēs par 35% (sk. 2.3. tab.). Bez ūdens-spirta maisījuma piedevas, atsevišķu toksisko gāzu koncentrācija ir mazāka. Tā, piemēram, CO (tvana gāze) saturs atgāzēs ir mazāks par 57%, bet PM (cieto daļiņas) saturs ir mazāks aptuveni septiņas reizes.

2.3. tabula. Atgāzu sastāvs automobiļim *LAND ROVER FREELANDER*

Cikls	NO _x , ppm			CO, ppm			CO ₂ , ppm			Cietās daļiņas (PM), ppm		
	RE	RE+WE50	+/-, %	RE	RE+WE50	+/-, %	RE	RE+WE50	+/-, %	RE	RE+WE50	+/-, %
IM-240	188	121	-35	309	488	+57	38300	39200	+2	65	420	+546
Jelgavas cikls	153	104	-32	64	143	+123	29600	28800	-2	23	95	+313

Degvielas patēriņa salīdzinājums, testējot automobili *LAND ROVER FREELANDER* divos braukšanas ciklos, parādīts 2.4. tabulā.

2.4. tabula. Degvielas patēriņa salīdzinājums

Cikls	RE, l (100 km) ⁻¹	RE+WE50, l (100 km) ⁻¹	WE50, l (100 km) ⁻¹	<u>RE</u> RE+WE50
IM-240	9.72	8.83	0.85	-9%
Jelgavas cikls	10.65	9.78	1.02	-8%

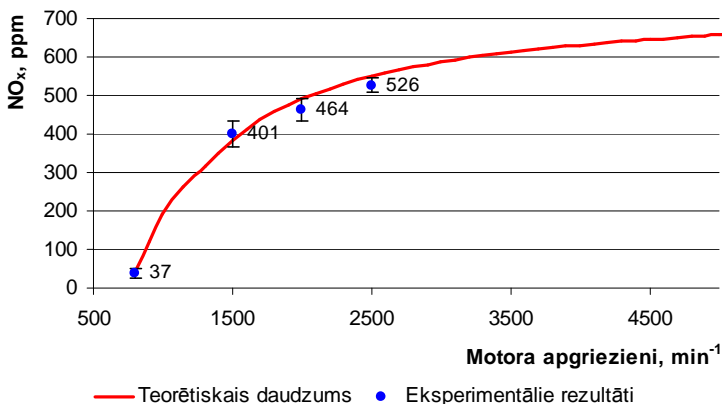
Gan IM-240 braukšanas ciklā, gan arī 2.35 km brauciena pa Jelgavas centru imitācijā tika konstatēts, ka pielietojot ūdens-spirta iesmidzināšanu ieklūdes kolektorā, rapša eļļas patēriņš samazinājās par 8 – 9% (sk. 2.4. tab.), bet ūdens-spirta maisījuma WE50 patēriņš Jelgavas braukšanas ciklā ir par 16% lielāks, nekā IM-240 braukšanas ciklā. Tas izskaidrojams ar to, ka Jelgavas braukšanas ciklā ir vairāk apstāšanās un ieskriešanās režīmu, līdz ar to, turbīnas darba rezultātā, lielāks spiediens un gaiss daudzums ir ieklūdes kolektorā, un attiecīgi vairāk tiek padots ūdens-spirta maisījums.

2.3. Teorētisko un eksperimentālo pētījumu salīdzinājums

Teorētiski aprēķinātā NO_x daudzuma un eksperimentu testos iegūtās vērtības dīzelmotoram *FORD YTR* bez piedevas iesmidzināšanas parādītas 2.7. attēlā. Uzskatāmi redzams, ka modelēšanas procesā iegūtā diagramma šķērso eksperimentālo rezultātu izkliedes laukus.

Vieliskākā amplitūda novērota pie 1500 min⁻¹, taču kļūdu aprēķins, kur variāciju koeficients ir 7.9%, liecina par testu rezultātu vienveidīgumu un rupju mērīšanas kļūdu izslēgšanu. Mazāks rezultātu izkliedes lauks un variāciju koeficients 2.5% ir motoram darbojoties ar 2500 min⁻¹. Tas izskaidrojams ar dīzelmotora stabilu darbību, jo pie šādiem apgriezieniem barošanas sistēmas traucējumi nav jūtami.

Visus eksperimentālo rezultātu izkliedes laukus šķērso teorētiski iegūtā diagramma, kas liecina par to, ka aprēķinos prognozētie rezultāti atbilst NO_x daudzuma pieauguma tendencei, atkarībā no motora apgriezieniem.

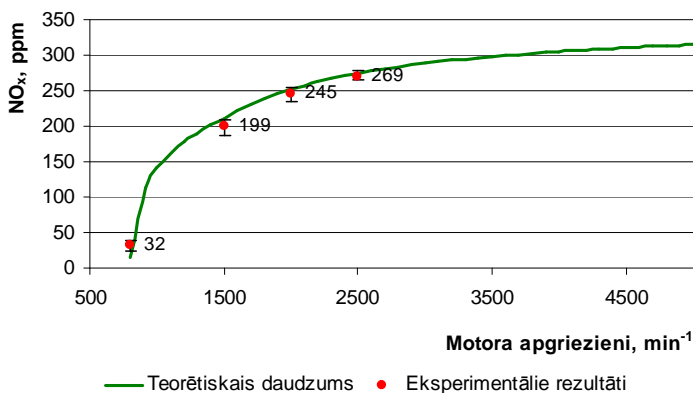


2.7. att. **Teorētisko un eksperimentālo rezultātu salīdzinājums dīzeļmotoram FORD YTR bez piedevas iesmidzināšanas**

Būtiska NO_x samazināšanās novērojama, iesmidzinot motora iekšējās kolektorā ūdens-spirta maisījumu, jo ūdens klātbūtne pazemina degšanas temperatūru, bet spirta – paātrina degšanas procesu dīzeļmotora cilindrā.

Pielietojot ūdens-spirta maisījumu, sadedzes process dīzeļmotorā ir stabilāks, līdz ar to teorētiski iegūto rezultātu un eksperimentālos testos iegūto vērtību sakritība ir ciešāka. Arī eksperimentālo rezultātu izkliedes lauku robežvērtību diapazons ir mazāks, salīdzinot ar iepriekšminētiem rezultātu salīdzinājumiem.

Teorētiski aprēķinātie un eksperimentālos pētījumos iegūtie rezultāti, lietojot ūdens-spirta 50% maisījuma iesmidzināšanu dīzeļmotora iekšējās kolektorā, parādīti 2.8. attēlā.



2.8. att. **Teorētisko un eksperimentālo rezultātu salīdzinājums dīzeļmotoram FORD YTR ar ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanu**

Eksperimentālo pētījumu rezultātu kļūdu aprēķina (Arhipova un Bāliņa, 2003) vērtības atspoguļotas 2.5. tabulā.

2.5. tabula. **NO_x daudzuma mērījumu kļūdu aprēķina rezultāti motoram FORD YTR ar ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanu**

Parametrs	800 min ⁻¹	1500 min ⁻¹	2000 min ⁻¹	2500 min ⁻¹
Vidējā vērtība	28.68	198.96	245.35	268.87
Standartkļūda	2.60	3.40	1.99	2.68
Standartnovirze	5.81	7.60	4.44	6.01
Amplitūda	14.96	20.00	11.28	15.10
Minimālā vērtība	21.36	186.36	238.36	263.26
Maksimālā vērtība	36.32	206.36	249.65	278.36
Mērījumu skaits	5	5	5	5
Variāciju koeficients	20.1%	3.8%	1.8%	2.2%

Kopumā teorētiski aprēķinātos un eksperimentos iegūtos rezultātus var novērtēt kā pietiekoši precīzus, lai noteiktu slāpekļa oksīdu daudzuma veidošanās tendences dīzeļmotora izplūdes gāzēs, izmantojot rapša eļļas degvielu.

3. RAPŠA EĻĻAS KĀ DEGVIELAS IZMANTOŠANAS EKOĻOĢISKAIS NOVĒRTĒJUMS, IZMANTOJOT ŪDENS-SPIRTA IESMIDZINĀŠANU MOTORA CILINDRĀ

Gaisa piesārņojums, izmantojot rapšu eļļas degvielu, var ievērojami atšķirties, bet pējo transporta radīto emisiju raksturo transporta līdzekļu izmantojums un noslogojums, kā arī īpatnējās emisijas apjoms uz vienu transporta līdzekļa nobraukto kilometru.

Lietojot rapša eļļu kā degvielu, veidojas labvēlīga enerģētiskā un CO₂ bilance. Pamatizeviela rapša eļļas ražošanai ir rapša sēklas, pilnībā atjaunojamais enerģijas avots, tiek samazināts „siltumnīcas efekts”, rapša eļļa ir netoksiska un nekaitīga veselībai.

Lai aprēķinātu transporta līdzekļu toksisko izmešu daudzumu, nepieciešams ņemt vērā sekojošus faktorus:

- transporta sadalījumu pa grupām (vieglie, kravas);
- transporta līdzekļa motoru (dīzeļmotors, ottomotors, motora tilpums);
- transporta līdzekļa ekspluatācijas apstākļus;
- apkārtējās vides, kur tiek ekspluatēti transporta līdzekļi, iedzīvotāju daudzumu;
- pārvadājumu veidu.

Vispirms jāaprēķina automobiļu grupas gada nobraukums, km:

$$L_{ii} = A_i \cdot \alpha_{ii} \cdot l_{dni} \cdot D_g, \quad (3.1)$$

kur A_i – i -tās grupas automobiļu skaits;
 α_{ii} – tehniskās gatavības koeficients;
 l_{dni} – i -tās grupas automobiļu vidējais diennakts nobraukums, km;
 D_g – darba dienu skaits gadā.

Pēc tam tiek veikts izmešu masas aprēķins automobiļu grupai ar noteiktu motora tilpumu apdzīvotās vietās, t:

$$M_{ai} = m_{ai} \cdot l_{ai} \cdot K_{av} \cdot K_{izm} \cdot 10^{-6}, \quad (3.2)$$

kur m_{ai} – izmešu daudzums, atkarībā no motora tilpuma, g·km⁻¹;
 l_{ai} – automobiļu summārais nobraukums gadā, km;
 K_{av} – koeficients, kas raksturo vidi, kur notiek transporta kustība (apdzīvotas vietas teritorijas lielumu u.tml.);
 K_{izm} – koeficients, kas raksturo transporta līdzekļa tehnisko stāvokli (izlaiduma gads, nobraukums, izmešu norma) (Макаръин и Иугин, 2004).

Saskaņā ar *MEET* metodoloģiju (*Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport*) kopējo izmešu aprēķinos, ir uzsvērts arī tas, ka vidējā ikgadējā transportlīdzekļu veiktā distance ir atšķirīga dažādās valstīs, un jebkurā gadījumā, šī distance sadalās dažādu veidu ceļu starpā. Lai pielietotu minēto metodoloģiju, nepieciešamie dati ir:

- transportlīdzekļu skaits katrā transportlīdzekļu kategorijā;
- katras transportlīdzekļu kategorijas veiktā kopējā ikgadējā distance;
- šīs distances procentuālais sadalījums starp pilsētas un lauku un ātrgaitas ceļiem;
- vidējais ātrums pa katru ceļu veidu;
- izmešu faktors – vidējā ātruma korelācija.

$$E_k = \sum_{i=1}^{i\text{-kategorijas}} n_i \cdot l_i \cdot \sum_{j=1}^{j\text{-celveids}} p_{ij} \cdot e_{ijk}, \quad (3.3)$$

kur k – identificē piesārņotāju;
 i – transportlīdzekļa kategorija;
 j – ceļa veids;
 n_i – transportlīdzekļu skaits i -tajā kategorijā;
 l_i – vidējā i -tās kategorijas transportlīdzekļa ikgadējā distance;
 $p_{i,j}$ – ikgadējās veiktās distances procentuālā daļa, kādu uz j -tā ceļa veida veica i -tā transportlīdzekļu tips;
 $e_{i,j,k}$ – piesārņotāja k izmešu faktors atbilstoši vidējam ātrumam uz j -tā ceļa veida transportlīdzekļu kategorijai i (Vide, Enerģija un Transports, 2003).

Analizējot iepriekš pieminētās izmešu aprēķina metodikas, var saprast, ka ir iespējams aprēķināt kopējo transporta izmešu daudzumu noteiktā teritorijā. Taču vispārīgi salīdzināt izmešu daudzuma izmaiņas naudas izteiksmē praktiski nav iespējams. Tāpēc rapša eļļas degvielas izmantošanas ekoloģiskais novērtējums, izmantojot ūdens-spirta iesmidzināšanu motora cilindrā, aprēķināts salīdzinoši un noteiktas tā relatīvās izmaiņas pie vienādiem ārējiem faktoriem (sk. 3.1. tab.).

3.1. tabula. **Toksisko komponentu relatīvās izmaiņas, pielietojot piedevas**

Sadedzes procesa veids	Toksisko izmešu relatīvās izmaiņas, %				
	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	MP
Ar ūdens iesmidzināšanu	+13	-26	-39	-42	+36
Ar piedevas WE50 iesmidzināšanu	+378	-	-61	-51	+609

Ekspperimentālo testu rezultāti uzskatāmi parāda, ka NO_x un HC samazinās, ja tiek iesmidzināta ūdens-spirta piedeva WE50. CO un MP saturs atgāzēs palielinās, bet ogļūdeņražu saturs atgāzēs samazinās līdz minimumam.

4. RAPŠA EĻĻAS KĀ DEGVIELAS PIELIETOŠANAS EKONOMISKAIS NOVĒRTĒJUMS, IZMANTOJOT ŪDENS-SPIRTA IESMIDZINĀŠANU MOTORA CILINDRĀ

Iekārtas atmaksāšanās laika aprēķins (sk. 4.1. att.) ir izveidots, izmantojot *ExtendSim* programmu un ir vienkārši lietojams. Ierakstot attiecīgajos lauciņos zināmo informāciju, tas ir, pārbūves izmaksas, nobraukumu gada laikā, automobiļa degvielas patēriņu, rapša eļļas un dīzeļdegvielas cenu, kā arī maisījuma procentuālo attiecību, var iegūt precīzus datus par sagaidāmajām izmaksām plašā diapazonā. Ar šī aprēķina palīdzību var noteikt ne tikai iekārtas atmaksāšanās laiku, bet arī precīzas izmaksas uz vienu km, braucot ar rapša eļļu, dīzeļdegvielu vai arī veidojot dažādus šo degvielu maisījumus, un izmantojot vai neizmantojot ūdens-spirta piedevu.

Kopējās izmaksas atspoguļotas formulā (Priekulis un Strautnieks, 2000):

$$I_{kop.} = IP + IM = I_{apdr.} + I_{uztur.} + I_{amort.} + I_{DA} + I_{degv.} + I_{sp} + I_{TA-mat.} + I_{TA-D} + I_p, \quad (4.1)$$

- kur *IP* – pastāvīgās izmaksas, LVL;
IM – mainīgās izmaksas, LVL;
I_{apdr.} – apdrošināšanas izmaksas, LVL;
I_{uztur.} – uzturēšanas izmaksas, LVL;
I_{amort.} – amortizācijas izmaksas, LVL;
I_{DA} – darba algas izmaksas, LVL;
I_{degv.} – degvielas izmaksas, LVL;
I_{sp.} – spirta izmaksas, LVL;

I_{TA-mat} – TA materiālu izmaksas, LVL;

I_{TA-D} – TA darba izmaksas, LVL;

I_p – motora pielāgošanas izmaksas darbam ar rapšu eļļu un WE50, LVL.

Pieņemot, ka transportlīdzekļa gada noslodze nepārsniedz normatīvo noslodzi, automobiļa amortizācijas izdevumi tiek aprēķināti pie patstāvīgajām izmaksām. Arī izmantotais degvielas veids un piedeva WE50 tiešā veidā neietekmē amortizācijas izdevumus, tādēļ šajā novērtējumā šī izmaksu pozīcija netiek iekļauta.

Salīdzinājuma aprēķinā netiek iekļautas arī tādas izmaksas, kuras saistītas ar automobiļa remontiem, glabāšanu utt., jo arī tās nav atkarīgas no izmantotās degvielas un piedevas pielietošanas.

Ekonomiskam salīdzinājumam tiek izmantotas izmaksas, kas iekļautas formulā:

$$I_{kop.salīd.} = I_{deg.v.} + I_{sp} + I_{TA-mat.} + I_{TA-D} + I_p. \quad (4.2)$$

Automobiļa dati

Dīzeļmotora tilpums, l	12.13
Pilnnotais nobraukums gadā, km	80000
Dīzeļdegvielas patēriņš, l uz 100 km	30
Eļļas daudzums motorā, l	93
Eļļas maiņas intervāls, km	40000

Degvielas cena

Dīzeļdegvielas cena, Ls/l	0.95
Rapša eļļas cena, Ls/l	0.6
WE50 cena, Ls/l	0.5
DD piejaukums rapšu eļļai, %	50

Būtiskākie modeļēšanas rezultāti

TA materiālu izmaksas gadā, Ls	542
TA darba izmaksas gadā, Ls	30
Degvielas izmaksas gadā, Ls	19065
WE50 izmaksas gadā, Ls	0
Kopējās izmaksas gadā, Ls	19637
Degvielas patēriņš, l uz 100 km	30.75
1 km degvielas izmaksas, Ls	0.2383
Ietaupījums, salīdzinot ar DD, Ls	3449
Atmaksāšanās laiks, dienas	211.66

Pielāgošanas izmaksas

Pielāgošanas izmaksas darbināšanai ar RE	2000
Ūdens-bioetanola sistēmas uzstādīšanas izmaksas	150

TA dati

Motoreļļas cena, Ls/l	0.5
Eļļas filtra cena, Ls	20
TA stundas izenojums TA, Ls	15
TA darbietpība, h	0.5

Izmaksas.

n_ella	y*(0)
C_filtra	
S_TA	
S_TA	
TA_koef	0.42
TA materiālu izmaksas gadā (Ls)	
I_stundas	y*(0)
A_TA	
S_TA	
S_TA	
TA_koef	0.30
TA darba izmaksas gadā (Ls)	19065

4.1. att. *ExtendSim* modeļa darba panelis

Programmā *ExtendSim* izveidotais aprēķina modelis ir izveidots no sešiem blokiem:

- automobiļa datu bloks;
- degvielas cenas bloks;

- pielāgošanas izmaksu bloks;
- TA datu bloks;
- degvielas patēriņa bloks;
- izmaksu un ietaupījuma aprēķina bloks.

Automobiļa datu blokā tiek ievadīti zināmie dati par automobili un tā ekspluatāciju: motora tilpums, nobrauktais attālums gadā, vidējais degvielas patēriņš, eļļas daudzums motorā un eļļas maiņas intervāls. Eļļas maiņas intervāls ir svarīgs faktors ekonomiskajā aprēķinā, jo, ja tiek izmantota rapša eļļa kā degviela, tad, lai nodrošinātu motora bezatteikuma darbību, eļļas maiņas intervāls ir divas reizes mazāks.

Degvielas cenu blokā tiek ievadītas visu izmantoto degvielu cenas un to proporcijas automobiļa darbināšanai, kā arī ūdens-spirta maisījuma cena. Rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas proporcijas parasti būtiskas ir automobiļiem, kuriem ir uzstādīta „divu tvertņu sistēma”. Savukārt ūdens-spirta pielietošana ietekmē degvielas patēriņu un līdz ar to degvielas izmaksas.

Izmaksu salīdzinājums, izmantojot dīzeļdegvielu, rapša eļļu kā degvielu un šo degvielu maisījumus ar un bez ūdens-spirta piedevas automobilim *VOLVO FH12*, ar motora tilpumu 12130 cm³ (Autodata, 2007) dots 4.1. tabulā.

4.1. tabula. **Izmaksu salīdzinājums, izmantojot dīzeļdegvielu, rapša eļļu kā degvielu un šo degvielu maisījumus ar un bez ūdens-spirta piedevas automobilim *VOLVO FH 12*, motora tilpums 12130 cm³.**

Aprēķinātie rezultāti	Dīzeļdegviela	Rapšu eļļa vai maisījums	Rapšu eļļa+WE50
TA materiālu izmaksas gadā, LVL	271.00	542.00	542.00
TA darba izmaksas gadā, LVL	15.00	30.00	30.00
Degvielas cena, LVL·l ⁻¹	0.95	0.60	0.60
Degvielas patēriņš, l·(100 km) ⁻¹	30.00	31.50	28.35
Izmantotās degvielas daudzums gadā, l	24 000.00	25 200.00	22 680.00
Degvielas izmaksas gadā, LVL	22 800.00	15 120.00	13 608.00
WE50 izmaksas gadā, LVL	×	×	1 516.25
Kopējās izmaksas gadā, LVL	23 086.00	15 692.00	15 696.25
Degvielas izmaksas uz 1 km, LVL	0.29	0.19	0.17
Iekonomētā summa gadā, salīdzinot ar dīzeļdegvielu, LVL	×	7 394.00	7 389.75
Iekonomētā summa gadā, salīdzinot ar RE maisījumiem, LVL	×	×	-4.25
Atmaksāšanās laiks, dienas	×	99	106

Izveidotais ekonomiskā aprēķina modelis izmantojams, lai aptuveni noteiktu pārbūvē izlietoto līdzekļu atmaksāšanās laiku, un, līdz ar to, būtu iespējams vieglāk pieņemt lēmumu tehnikas pārbūvei darbināšanai ar rapšu eļļu, kā arī ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēmas uzstādīšanai.

SECINĀJUMI

1. Noskaidrots, ka ar rapša eļļas degvielu AE100 darbināmiem dīzeļmotoriem izplūdes gāzēs pieaug slāpekļa oksīda (NO_x) daudzums. Ūdens iesmidzināšana cilindrā izsauc nestabilu motora darbību un nav pielietojama ziemas apstākļos.
2. Slāpekļa oksīda daudzuma prognozēšanai ar rapša eļļas degvielu darbināmiem dīzeļmotoriem izveidots matemātiskais modelis programmas *ExtendSim Suite* vidē. Modelis dod iespēju noteikt jaudas un griezes momenta izmaiņas dīzeļmotoriem, kurus darbina ar rapša eļļu un ūdens vai ūdens-spirta maisījuma piedevām.
3. Modeļpētījumu rezultātā noskaidrots, ka NO_x daudzums eksperimentālajiem motoriem samazinās līdz ar ūdens vai ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanu ieplūdes kolektorā. Aprēķināts, ka motoram *FORD YTR* slāpekļa oksīdu daudzums, iesmidzinot ūdeni, tiks samazināts par 24%, bet, iesmidzinot 50% ūdens-spirta maisījumu – par 52%. Jauda un griezes moments eksperimentālajam motoram *FORD YTR*, iesmidzinot ūdens-spirta 50% maisījumu, palielināsies par 3.5%.
4. Izstrādāta eksperimentālo pētījumu metodika, pēc kuras iespējams veikt priekšizpētes eksperimentus un pārbaudīt teorētiski iegūtos rezultātus uz stacionārā motora *FORD YTR*. Trīs līdz pieci atkārtojumi katrā no režīmiem ir pietiekami, lai iegūtu rezultātu ticamību 95% robežās.
5. Eksperimentos konstatēts, ka 50% ūdens-spirta maisījums ir efektīvs līdzeklis, lai regulētu NO_x daudzumu un kopējo nesadegušo ogļūdeņražu daudzumu ar rapša eļļu darbināmu dīzeļmotoru atgāzēs.
6. Eksperimentālajā pētījumā ar rapša eļļu darbināmam dīzeļmotoram *FORD YTR*, izmantojot 50% ūdens-spirta maisījumu, NO_x daudzums samazinās par 63%, bet nesadegušo ogļūdeņražu (HCD) daudzums pazeminās līdz minimumam. Tvaņa gāzes (CO) palielinājums ir 51%, bet cieto daļiņu (PM) daudzums palielinās aptuveni sešas reizes.
7. Testējot automobili *LAND ROVER FREELANDER* uz jaudas stenda, konstatēts, ka, iesmidzinot ūdens-spirta maisījumu, NO_x daudzums atgāzēs samazinās par 35%, bet HCD (nesadegušo ogļūdeņražu) praktiski nav. CO_2 koncentrācija automobiļa atgāzēs ir līdzīga gan darbinot to ar rapša eļļu, gan ar rapšu eļļu un ūdens-spirta maisījumu – starpība dažādos režīmos nepārsniedz 2%.
8. Braukšanas ciklā IM-240 un brauciena pa Jelgavas centru imitācijā konstatēts, ka, pielietojot ūdens-spirta iesmidzināšanu ieplūdes kolektorā, rapša eļļas patēriņš samazinās par 8 – 9%. Ceļizmēģinājumos konstatēts, ka ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšana dīzeļmotora ieplūdes kolektorā palielina jaudu un griezes momentu par 7 līdz 10%.
9. Izstrādāta speciāla eksperimentu metodika jaudas parametru salīdzināšanai ceļizmēģinājumos, izmantojot uzņēmuma *TESLA* ierīci *G-Tech/Pro* un programmatūru *G-Tech Pass SS*.

10. Izstrādātais paņēmieni dīzeļmotora izmešu regulēšanai apstiprināts ar patentu LV14648 B (starptautiskās klasifikācijas indekss: F02B47/04). Noskaidrots, ka ūdens-spirta iesmidzināšanas tehnoloģija pielietojama visiem dīzeļmotoru tipiem. Tehnoloģija apbēta dīzeļmotoros, kas pielāgoti darbināšanai ar augu eļļu AE100, ar nolūku samazināt slāpekļa oksīdu daudzumu izplūdes gāzēs.
11. Teorētiski aprēķinātie rezultāti liecina, ka slāpekļa oksīdu daudzuma noteikšanu un prognozēšanu ar rapša eļļu darbināmu dīzeļmotoru izplūdes gāzēs var veikt ar praktiskai lietošanai atbilstošu precizitāti. Eksperimentos iegūto datu amplitūdā, kas atsevišķos režīmos ir no 10 līdz 50 ppm, vienmēr iekļaujas teorētiski aprēķinātais NO_x daudzums.
12. Programmas *ExtendSim Suite* vidē izveidots ekonomiskā aprēķina modelis, kas dod iespēju noteikt pārbūves un ekspluatācijas izmaksas, kā arī izlieto to līdzekļu atmaksāšanās laiku.
13. Ekonomiskajā aprēķinā noskaidrots, ka ar rapša eļļu darbināmu spēkratu ekspluatācijas izmaksas ir par 30% mazākas nekā izmantojot fosilo dīzeļdegvielu. Pievienojot 50% ūdens-spirta piedevu, ar rapša eļļu darbināmu spēkratu ekspluatācijas izmaksas ir līdzīgas kā, darbinot bez piedevas, jo spirtam darbojoties kā degvielai, samazinās rapša eļļas degvielas AE100 patēriņš, bet pieaug izmaksas, izmantojot spirtu.

TOPICALITY OF THE RESEARCH

Since 2004 Latvia is a member of European Union and EU legislative acts and documents are mandatory. EU directive 2003/30/EC “On the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport” states, that the EU member states have to provide energy proportion from renewable resources for the transport use at least 5.75% (Directive 2003/30/EC ..., 2003) in their national economics by 2010, but energy proportion from renewable resources for the transport use at least 20%, and at least 10% (Directive 2009/28/EC ..., 2009) biofuels proportion from total fuel consumption by 2020.

In pure form or in blends with fossil fuel vegetable oil fuel AE100 is used more and more in agricultural machinery due to the technology development. It verifies 2011 year’s presentation of *John Deere* tractor, which is equipped with “one fuel tank” system for running on the vegetable oil; also several *Fendt* tractors standard equipment consists of technologies for the vegetable oil use. German company *ATG* until 2011 had already equipped with the vegetable oil equipment more than 900 tractors and 3000 trucks. Their collaboration partners are not only in south located countries, but also in Lithuania and Norway, where farmers successfully operate vehicles that are adapted for vegetable oil use. Also in Latvia some farms and companies use machinery that is equipped with diesel engines, operated on the vegetable oil as fuel.

Previous research results show that the vegetable oil, that meets EU standards, can be used continuously and its use do not cause engine or other component failures. Few studies about vegetable oil fuel exhaust gases show that toxic component content in exhaust gases, similarly as for biodiesel, decrease, compared to the fossil fuel. Other experiment results show that the nitric oxide volume in the exhaust gases increase using vegetable oil. Other research suggests that the rapeseed oil fuel AE100 use in agriculture will be topical until it could be banned by the law, because rapeseed oil production and use is economically beneficial by certain conditions and do not endanger its useless use as food-stuff. Extracting rapeseed oil rapeseed cakes are remaining that are high quality feed (Dukulis, 2013.).

Toxic emission gases regulations are designated not only for auto transport, but also for tractors. Since November 16, 2013 EU regulations apply in Latvia, which determine exhaust gases standards for tractors and other agricultural machinery.

European Parliament and Council directive from November 16, 2011 states, that emission gases from the engine need to be measured before exhaust gases aftertreatment equipment. So the problem is that the fuel burning process needs to be adjusted to reduce toxic emissions, including nitric oxide volume, influencing directly burning process in diesel engine cylinder.

Most agricultural machinery and motor vehicles used by Latvian farmers are not equipped with the exhaust gas recirculation (EGR) system or selective

catalyst reduction system (SCR), so nitric oxide and other toxic component volume in exhaust gases is dependant from engine adjustments. Using rapeseed oil (RO) fuel, engine adjustment is needed for optimal operation, but with two tank system it is not possible, because engine is started with fossil diesel fuel, that use has defined factory-producer parameters.

This research gives solution how to regulate nitric oxide emission amount from diesel engines running on the rapeseed oil fuel AE100. Technology is based on burning temperature reduction in engine cylinder and burning process improvement using water-ethanol blend for vehicles that are not equipped with catalytic converter or other devices for toxic emission reduction.

APPROBATION OF THE RESEARCH

- 9 publications in well-established reviewed issues (ind. Scopus, Web of Science, CAB Abstracts, EBSCO Central & Eastern European Academic Source).
- 8 popular science publications (journals „Agrotops”, „Saimnieks”).
- Patent LV 14648 B. Method for Normalization of Diesel Emissions. International classification: F02B47/04.
- 9 presentations on international scientific conferences.
- 2 presentations in exhibitions and seminars.
- Participation in two projects related to dissertation theme.

THE OBJECT, HYPOTHESIS, AIM AND TASKS OF THE RESEARCH

Research hypothesis: for diesel engines operating with rapeseed fuel, nitric oxide quantity in exhaust gases can be reduced by enriching intake air with water-ethanol blend.

The aim of the research is to determine exhaust gases composition, it affecting factors, and also to create theoretical and practical solutions for nitric oxide (NO_x) reduction running engine on rapeseed oil fuel.

To reach the aim of the work, the following tasks are set:

- to concretize nitric oxide (NO_x) forming affecting factors;
- to create theoretical and practical solutions for diesel engine exhaust gases toxic component – nitric oxide (NO_x) reduction, operating with rapeseed oil fuel and using water-ethanol additive;
- to create mathematical model for predicting engine exhaust gases toxic component NO_x, using water-ethanol additive;
- to create diesel engine test bench for pre-research experiments, and to carry out experiments;

- to adapt automobile for operation with rapeseed oil and install water-ethanol injection system;
- to make experiments with adapted vehicle and evaluate results;
- to determine rapeseed oil fuel use ecological and economical benefits, using water-ethanol additive.

THESES FOR DEFENCE

1. Water-ethanol blend in engine cylinder is injected in a liquid state, where due to the evaporation, absorbs certain amount of heat, as a result burning temperature lowers, same as nitric oxide quantity in exhaust gases.
2. Developed mathematical model allows determining nitric oxide (NO_x) amount in diesel engine exhaust gases for different engine regimes.
3. Created economical model of water-ethanol use helps to evaluate economical efficiency for this system.

RESEARCH METHODS

Analysis, modelling, forecasting, experiment (on-road and laboratory), statistic and economic evaluation methods are used in this research.

SCIENTIFIC NOVELTY AND PRACTICAL APPLICATION OF THE RESEARCH

1. Methods for the nitric oxide reduction in diesel engine exhaust gases, using water-ethanol blend, are created.
2. Innovative water-ethanol injection system is developed, which priority certifies patent. Patent number: LV 14648 B. Method for Normalization of Diesel Emissions. International classification: F02B47/04.

Using developed NO_x model, it is possible to predict nitric oxide amount in diesel engine exhaust gases, using rapeseed oil as a fuel. Research is done not only theoretically, but also experimentally in laboratory and in on-road conditions. Experimental results confirm trustworthiness of carried out calculations.

Acquired results are practically usable for improving ecological factors of vehicles that are equipped with diesel engines in transportation and agriculture machinery. Using developed method it is possible to improve also diesel engine effective power parameters.

INFORMATION ABOUT STRUCTURE AND AMOUNT OF THE RESEARCH

Dissertation “Rapeseed oil fuel emission normalization in diesel engines” consists of 4 chapters. In Chapter 1 analysis about transportation impact on environment has been given, diesel engine toxic emission forming principles are determined as well as their reduction technical solutions; methods for emission quantity determination are studied. Previous investigations on specific character of rapeseed oil fuel usage and exhaust gases component changes are analysed. At the end of this chapter the aim of the research is formulated, and research tasks are defined.

Chapter 2 deals with the exhaust gases forming theoretical reasons, a deep research on nitric oxide formation in diesel engines exhaust gases running on rapeseed oil was carried out, as well as their regulation theoretical solutions. Theoretical model for determination of nitric oxide quantity in diesel engine exhaust gases is developed. Thermal balance calculations for experimental engine have been carried out and indicator-diagram is constructed.

In Chapter 3 a methodology for investigations of emissions is worked out and described. It is suitable for laboratory conditions performing experiments on power bench. Experiment results are summarized and analysed in subchapters, result assessment has been done and conclusions are delivered.

In Chapter 4 a theoretical and experimental research comparison is given, rapeseed oil fuel use efficiency is described, using developed emission reducing solution – water-ethanol injection into the diesel engine intake manifold, ecological and economical benefits are determined.

Dissertation “Rapeseed oil fuel emission normalization in diesel engines” consists of 148 p., 88 fig., 19 tab., 149 bibliographic sources, and 11 appendices.

1. THEORETICAL RESEARCH

The aim of the theoretical study is to develop mathematical model for NO_x (nitric oxide) amount determination in diesel engine exhaust gases, using rapeseed oil (RO) as a fuel. Theory is based on solution for defined concentration water-ethanol blend injection into intake air, which helps to reduce burning temperature and improve burning process in engine cylinder. Diesel engine effective power and toxic component NO_x forming calculation has been done according to flow chart shown in Fig. 1.1.

Calculations for rapeseed oil use as fuel are based on created theoretical model, that includes thermodynamic calculations at different environment temperatures and different rapeseed oil and fossil fuel blends (Dukulis and Birkavs, 2013), further NO_x calculations were done based on theory about nitric oxide forming in diesel engines at high temperatures.

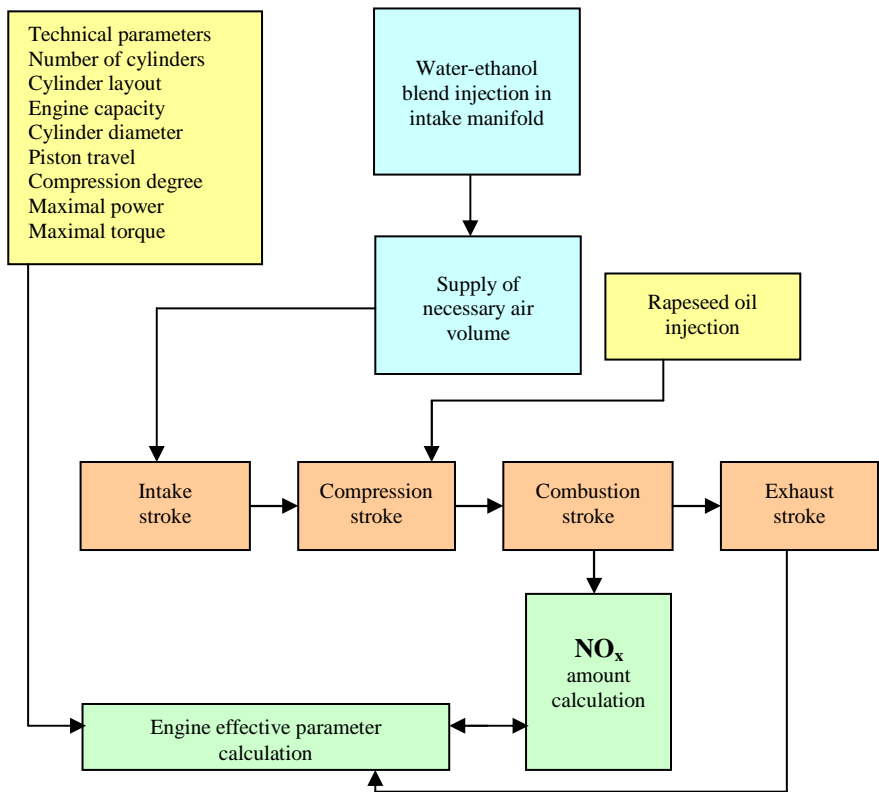


Fig. 1.1. Diesel engine effective parameter and toxic component NO_x calculation flow chart

To describe diesel engine construction completeness, heat distribution characteristics, factors, that are influenced, and methods for heat consumption improvement during experiments, a heat balance is needed.

Diesel engine heat balance describes heat distribution that has emitted during fuel burning process in engine cylinder and is consumed useful or determined as heat loss (Scott, 1972; Sashse, 1975).

Heat balance, in total or separately by types, allows evaluating engine parts heat resistance parameters, to calculate cooling system, to determine unused heat in exhaust gases, that utilizing, it is possible to improve engine efficiency (Сторчеус, 2001).

Diesel engine thermodynamic calculation for motor vehicle exploitation parameter modelling in simulation program *ExtendSim* is particularly described in dissertation “Rapeseed oil fuel application in diesel engines and logistics” (Dukulis, 2013) and published in 12th international scientific conference „Engineering for Rural Development” proceedings (Dukulis and Birkavs, 2013). This model allows determining at what environment temperature fossil fuel is needed for adding to the rapeseed oil, to provide fuel pump operation and fuel flow through the fuel supply system. 3 modules are used in model (Fig. 1.2.).

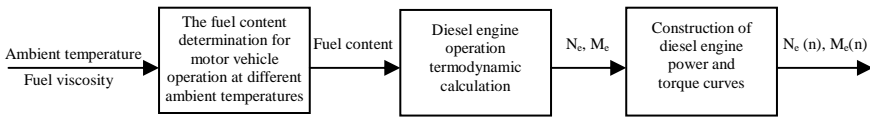


Fig. 1.2. **Total flow chart of model**

First module determines whether motor vehicle depending from temperature of the environment can be operated with pure rapeseed oil, or blends with fossil fuel are needed. For second module fuel content and characteristics work as input parameters, and thermodynamic calculations for diesel engine are being done. Diesel engine power and torque characteristic line construction is done in third module.

Created model is suitable for direct injection engine parameter simulation for diesel engines with and without forced induction, but more precise calculations can be done for engines with precumbustion chamber. For nitric oxide volume calculations, and also for other diesel engine operating parameter evaluation, created thermodynamic calculation module was complemented with few functions:

- change of engine revolutions (using slider or number generator);
- function for ethanol content calculation in water;
- average burning temperature determination;
- gases mixture enthalpy calculation;
- burning product volume ratio determination;
- engine heat balance calculation;
- nitric oxide amount determination.

Four sliders are placed in model workspace to set engine revolutions, environment temperature, water-ethanol blend ratio and type of fuel (Fig. 1.3.). These factors directly influence nitric oxide volume in exhaust gases, because changes burning process in engine cylinder.

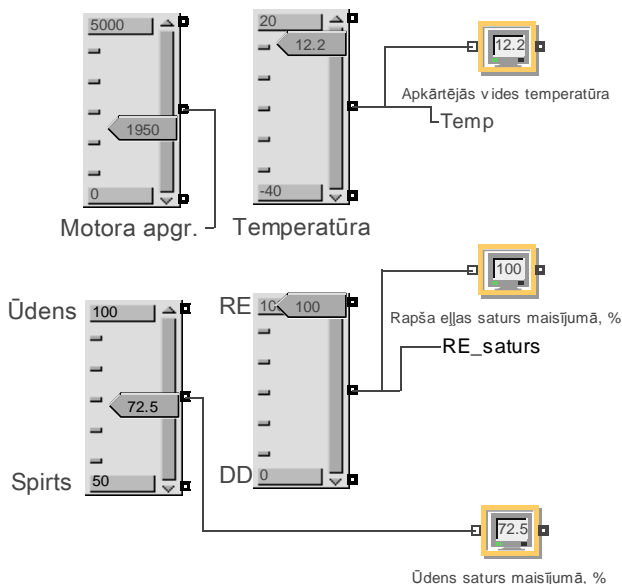


Fig. 1.3. Sliders for setting basic parameters

Carbon (C), hydrogen (H) and oxygen (O) volume in fuel parts of mass is calculated using formulas (Šmigins, 2010):

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (1.1)$$

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n H_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (1.2)$$

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

where m_i – i -type fuel content in fuel, mass %;

C_{sat-i} – carbon content in i -type fuel, parts of mass;
 H_{sat-i} – hydrogen content in i -type fuel, parts of mass;
 O_{sat-i} – oxygen content in i -type fuel, parts of mass.

Nitric oxide amount calculation in modelling program

Calculation of nitric oxide amount in diesel exhaust gases is based on temperature change mechanism basing on Zvonov methodology (Звонов, 1981). For mathematic modelling fuel burning process is divided in two parts: fresh blend part and burning product part. Fresh blend part includes remaining gases and air blend, which is passed into engines cylinder. Before beginning of burning this part takes whole engine cylinder volume, but during burning, increases burning product capacity.

The main advantage of this methodology is ability to perform calculations for determining several burning process components, and to carry out calculation for nitric oxide determination that emerges at high temperatures.

For full burning process temperature determination the following formula is used (Звонов, 1981):

$$T_{ps} = \frac{\sqrt{B^2 - 4A \left\{ \frac{1 - r_{ps}}{r_{ps}} [H_{sm}(T_{sm}) - H_{sm}(T_v)] - AT_v^2 - BT_v \right\} - B}}{2A}, \quad (1.4)$$

where r_{ps} – burning product part in fuel-air mixture, %;

T_{sm} – fresh blend temperature, K;

T_v – average blend temperature, K;

H_{sm} – fresh blend enthalpy, kJ·kmol⁻¹;

A and B – enthalpy equation coefficients of burning products (kJ·kmol⁻¹):

$$H_{ps} = AT_{ps}^2 + BT_{ps} + C, \quad (1.5)$$

where coefficients A , B are determined in separate calculations (Fig. 1.4.) (Blivis et al., 1980):

$$A = \left(1.55 + \frac{1.38}{\alpha} \right) \cdot 10^{-3}, \quad (1.6)$$

$$B = 8.314 + 20.1 + \frac{0.922}{\alpha}. \quad (1.7)$$

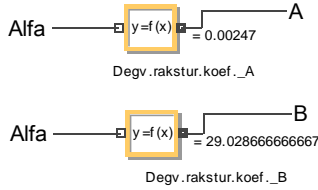


Fig. 1.4. Enthalpy coefficient calculation blocks

Enthalpy is the sum of thermodynamic system's inner energy and capacity energy. It is called also heat content. Enthalpy usually is marked with letter H and is measured in J (kJ). Enthalpy calculation block is shown in Fig. 1.5.

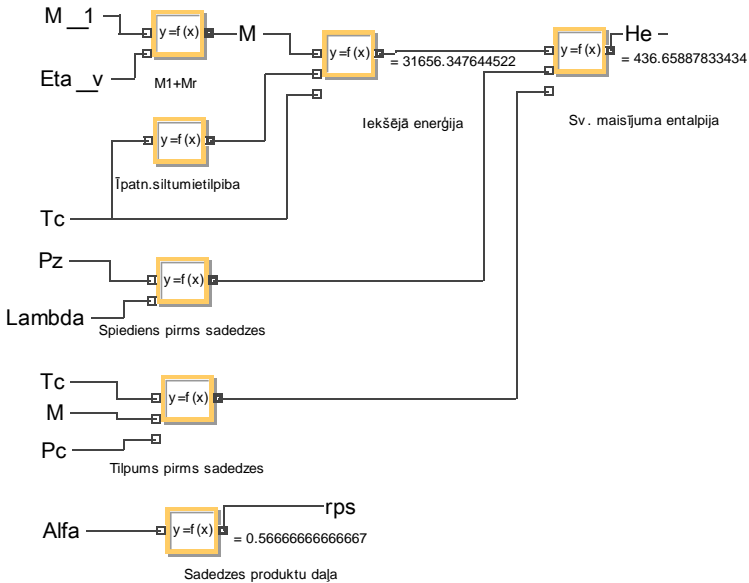


Fig. 1.5. Enthalpy calculation block for a blend

$$H = U + pV, \quad (1.8)$$

where U – inner energy, $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$;

P – pressure in cylinder at the end of compression, MPa;

V – cylinder volume, m^3 .

For calculation of inner energy (U), pressure (p) and volume (V) the following formulas are used (Blīvis et al., 1980):

$$U = (M_1 + M_r) \cdot c_{vc} \cdot T_c, \quad (1.9)$$

where M_1 and M_r – accordingly fresh mass and remaining gases volume in combustion chamber, $\text{kmol}\cdot\text{kg}^{-1}$;

c_{vc} – mixture specific heat capacity, $\text{kJ}\cdot\text{kmol}^{-1}$;
 T_c – temperature before burning, K.

$$p = \frac{P_z}{\lambda}, \quad (1.10)$$

where P_z – pressure at the end of burning process, MPa, (4.5...10.5) (Blīvis et al., 1980);

λ – pressure increase level, (1.4...2.0) (Blīvis et al., 1980).

To calculate full burning temperature, an average temperature for a blend is needed. Average temperature calculation includes burning temperature, temperature before burning, remaining burning product temperature from previous cycle, exhaust fumes end temperature, environment temperature and temperature increase, which is depending from intake path configuration, cooling system type, engine load and other factors. This value for diesel engines is 5 to 20 K (Blīvis et al., 1980).

Average temperature calculation block is shown in Fig. 1.6.

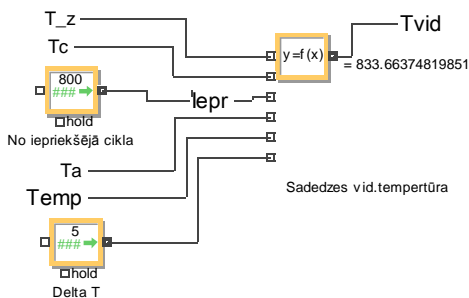


Fig. 1.6. Average temperature calculation block

When all necessary data is determined, full burning temperature of the blend can be calculated. Calculation block is shown in Fig. 1.7.

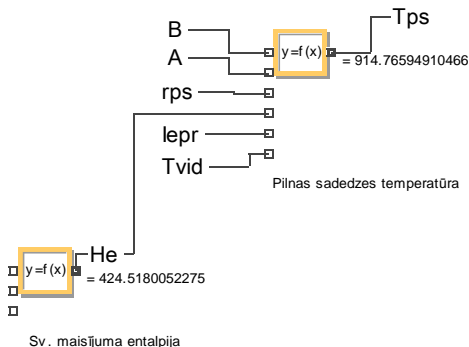


Fig. 1.7. Full burning temperature calculation block

Nitrogen oxidation occurs in a chain of reactions. The main of them are:



The uppermost is reaction (3), that speed is depending from atomic oxygen concentration.

Initially nitric oxide forming in burning zone after reaction is calculated, but after it – an average NO concentration in engine combustion chamber.

Diesel engine exhaust gases usually contain the following main components: O, O₂, O₃, C, CO, CO₂, C_nH_m, NO_x, NO₂, N, N₂, NH₃, HNO₃, HCN, H, H₂, OH, H₂O. But due to the pressure and temperature that is in the engine cylinder few components (C_nH_m, C_nH_mO, HNO₃, C etc.) are inconsiderable because of their quantity, and don't influence toxic component calculations (Хэмалян, 1976).

Creating the model it is assumed that burning product content holds 11 components: CO₂, H₂O, CO, N₂, O₂, H₂, OH, NO, H, O, N. These components take part in reactions, that happen at high temperatures (Хэмалян, 1976).

The amount of certain components in balance equations is usually expressed by partial pressures:

$$P_z = P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{CO} + P_{N_2} + P_{O_2} + P_{H_2} + P_{OH} + P_{NO} + P_H + P_O + P_N, \quad (1.11)$$

Partial pressure for gas mixtures is equal to gas mole fraction multiplication by gas pressure (Pressure, S.a., Mendelejev table):

$$P_z = 44P_{CO_2} + 18P_{H_2O} + 28P_{CO} + 28P_{N_2} + 32P_{O_2} + 2P_{H_2} + 17P_{OH} + 30P_{NO} + 1P_H + 16P_O + 14P_N$$

To realize the nitric oxide calculation it is important to know nitric oxide (r_{NO}), molecular nitrogen (r_{N_2}), atomic oxygen (r_O) and molecular oxygen (r_{O_2}) concentrations.

With water-ethanol blend presence in burning process, these concentrations will be slightly changed, because of the C, H and O volume changes in fuel-air mixture. This change calculation is incorporated in a model creation process and automatically determines defined component concentration.

Nitric oxide quantity (ppm) in burning products at crankshaft revolutions n is calculated by equation (Звонов and Козлов, S.a.):

$$d_{NO_x}(n) = \frac{(P_z \cdot 2.333 \cdot 10^7)^{\frac{38020}{T_{ps}}} \cdot r_{N_2} \cdot r_O \cdot \left[1 - \left(\frac{r_{NO}}{r_{NO}} \right)^2 \right]}{RT_{ps} \cdot \left(1 + \left(\frac{2346}{T_{ps}} \right)^{\frac{3365}{T_{ps}}} \cdot \frac{r_{NO}}{r_{O_2}} \right)} \cdot \frac{1}{\omega}, \quad (1.12)$$

where P_z – pressure in engine cylinder, Pa;

T_{ps} – temperature in burning zone, K;
 R – universal gas constant, $J \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$;
 ω – crankshaft angular speed, $\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$;
 r_{NO} – nitric oxide amount, $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$;
 r_{NO} , r_{N_2} , r_O , r_{O_2} – nitric oxide, molecular nitrogen, atomic oxygen
 and molecular oxygen concentration.

Nitric oxide calculation block system is shown in Fig. 1.8. A characteristic line construction block is added to the system, where last 4 simulation results are saved.

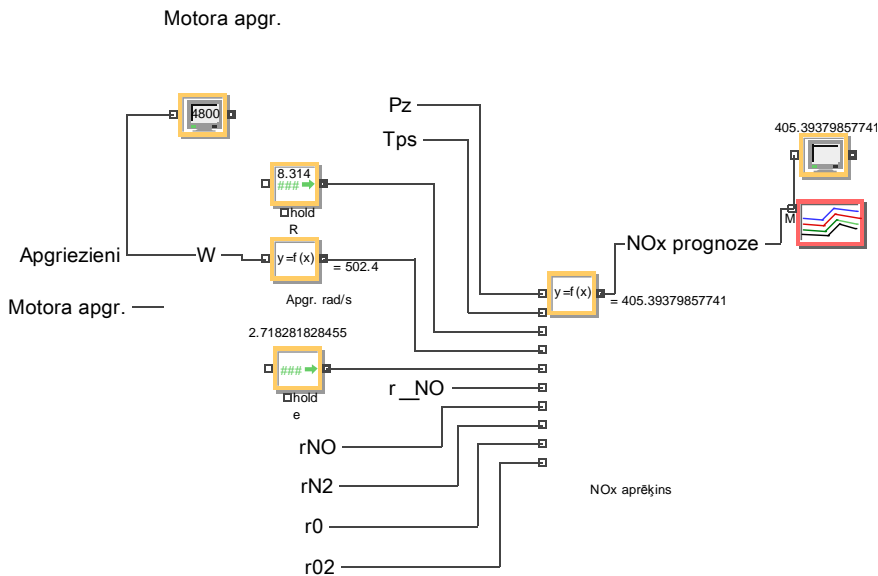


Fig. 1.8. Nitric oxide quantity calculation block

Developed model allows predicting NO_x changes based only on temperature changes in the combustion chamber and burning speed, not taking into consideration chemical processes that happen, for example, for ethanol coming in contact with rapeseed oil. Therefore obtained data is with approximate accuracy.

2. NITRIC OXIDE REDUCING EXPERIMENTAL RESEARCH

Before experiment a 50% (by volume) water-ethanol blend *WE50* was prepared, which can be used in motor vehicle diesel engines all year long. Engine test bench was equipped with a system for *WE50* injection to find most

suitable air-*WE50* proportions during experiments that would provide the desired result – NO_x decrease, substantially not increasing other toxic emissions. Engine test bench principled scheme is showed in Fig. 2.1. (Birkavs, Dukulis and Birzietis, 2013).

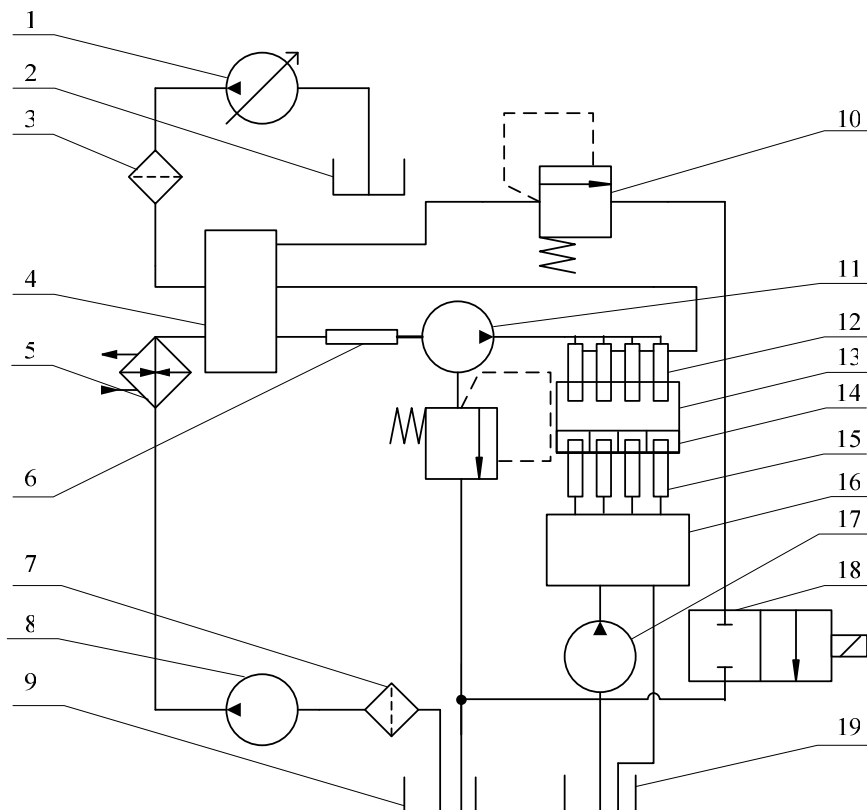


Fig. 2.1. Engine test bench principled scheme:

1, 8, 17 – electric pumps; 2 – tank for fossil fuel; 3, 7 – filters; 4 – fuel distributor; 5 – heat exchanger; 6 – glass tube; 9 – tank for rapeseed oil; 10 – one-way valve; 11 – fuel high pressure pump; 12 – fuel injectors; 13 – engine; 14 – intake manifold; 15 – *WE50* injectors; 16 – *WE50* injection system distributor – regulator; 18 – backflow valve; 19 – *WE50* tank.

Test results show that NO_x (nitric oxide) and HCD (unburned hydrocarbons) reduce, increasing additive's *WE50* injection quantity, CO_2 amount is approximately the same, but CO and solid particle amount increase (Table 2.1). Regardless of small CH_4 (methane) increase, total hydrocarbon amount in exhaust gases decreases to insignificant quantity.

Table 2.1. Toxic emission quantity in exhaust gases at 1500 min⁻¹

WE50 additive, %	NO _x , ppm	MECHO, ppm	CH ₄ , ppm	HCD, ppm	CO ₂ , ppm	CO, ppm
0	105.36	29.53	4.84	204.91	27264.08	1086.98
0.35	71.11	110.45	23.11	57.53	27344.13	1885.42
1.05	57.28	172.19	44.12	0	26908.79	2509.60

At engine revolutions 2500 min⁻¹ experiments were carried out in different WE50 supply regimes. Experiment results are summarized in Table 2.2.

Table 2.2. Toxic emission quantity in exhaust gases at 2500 min⁻¹

WE50 additive, %	NO _x , ppm	MECHO, ppm	CH ₄ , ppm	HCD, ppm	CO ₂ , ppm	CO, ppm
0	153.46	11.41	2.74	136.64	29620.83	646.79
0.22	119.10	61.07	9.03	33.15	29428.29	1054.94
0.63	104.36	95.75	20.10	0	28801.63	1434.64
1.04	94.15	122.17	28.44	0	28585.84	1680.85
1.46	76.05	169.75	43.74	0	27505.30	2220.19
1.86	64.38	194.98	59.11	0	27134.32	2609.18

Toxic emission change tendencies in exhaust gases at 2500 min⁻¹ were similar as at 1500 min⁻¹. NO_x amount decreased by 58%, but total unburned hydrocarbon content, despite of CH₄ (methane) increase, was reduced to insignificant quantity. Since solid particle and CO amount in exhaust gases increased several times, further experiments with more than 1.86% WE50 additive were interrupted.

2.1. Exhaust gases experiments for diesel engine *FORD YTR*

Experimental research using diesel engine *FORD YTR* was carried out to compare toxic emission amount, using rapeseed oil and rapeseed oil with water-ethanol blend additive. In addition to exhaust gases measurements, engine dynamic parameter changes and fuel consumption were determined. *FORD YTR* engine capacity is 2304 cm³, compression ratio – 22.2 and power 49 kW. Engine is equipped with fuel pump *RotoDiesel* and provides injector opening pressure up to 115 ± 5 bar.

In pilot study burning process investigation was carried out, determining pressure in fuel system, indicated pressure etc., to fully describe dynamic, economic and ecologic parameter changes.

Initially tests were carried out running engine in idle regime at 900 min⁻¹ and three load (50 N) regimes – 1500 min⁻¹, 2000 min⁻¹, 2500 min⁻¹. These engine regimes were chosen because they match vehicle operation in urban and extra-urban conditions, providing excess air ratio average value ≈ 1.5.

At engine revolutions 900 min⁻¹ (Fig. 2.2.) NO_x quantity decrease, using water-ethanol blend, is not observed because quantity of consumed air is minimal, therefore water-ethanol additives influence is not noticeable.

Increase can be noticed for carbon monoxide (CO) and solid particles (MECHO), accordingly by 51% and 70%.

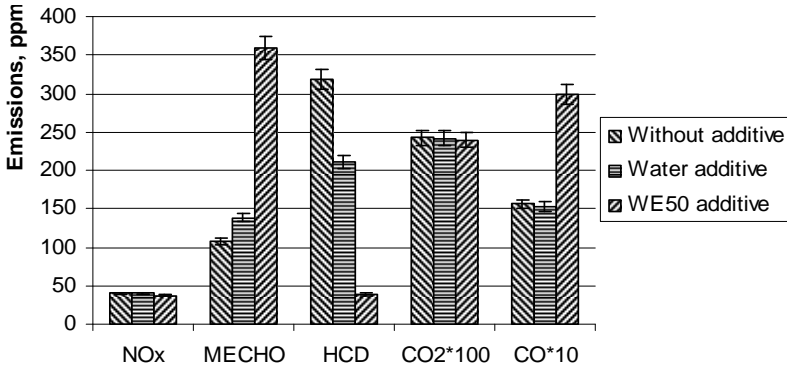


Fig. 2.2. Toxic emission amount changes for diesel engine *FORD YTR* at 900 min⁻¹

At engine revolutions 1500 min⁻¹ NO_x amount, using water or water-ethanol blend, is considerably reduced and decreases correspondingly by 39% and 52%. Unburned hydrocarbon (HCD) amount reduces to minimum. That can be explained by fact that water-ethanol additive improves burning process in diesel engine cylinder (Fig. 2.3.).

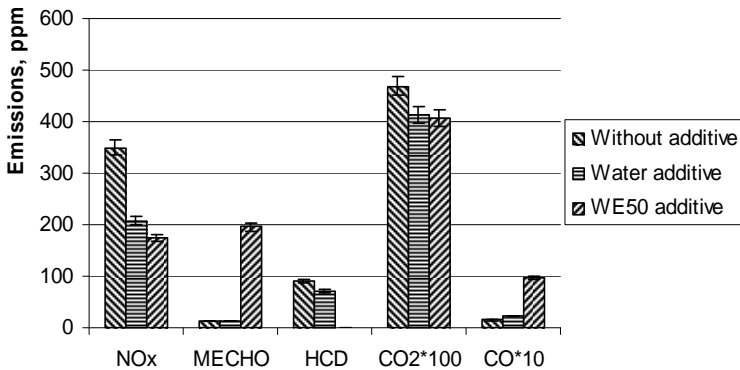


Fig. 2.3. Toxic emission amount changes for diesel engine *FORD YTR* at 50 N load and 1500 min⁻¹

At engine revolutions 2000 min⁻¹ and 2500 min⁻¹ NO_x amount, using water or water-ethanol blend, decrease by 23% and 62%, but unburned hydrocarbon (HCD) amount increases (Fig. 2.4. and 2.5.). It can be explained by the fact that water-ethanol additive create excess air ratio decrease, thereby all fuel is not burned.

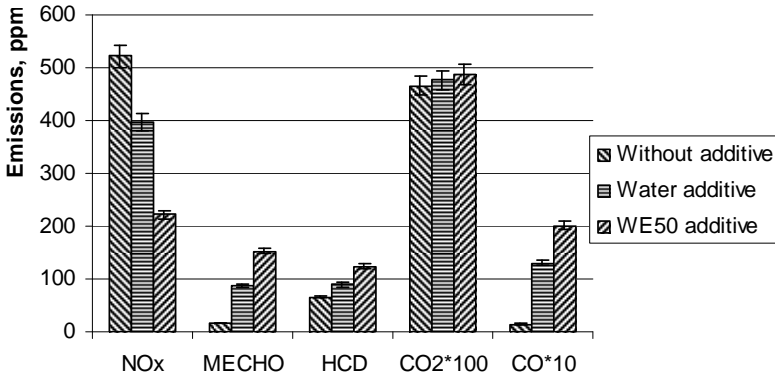


Fig. 2.4. Toxic emission amount changes for diesel engine *FORD YTR* at 50 N load and 2000 min⁻¹

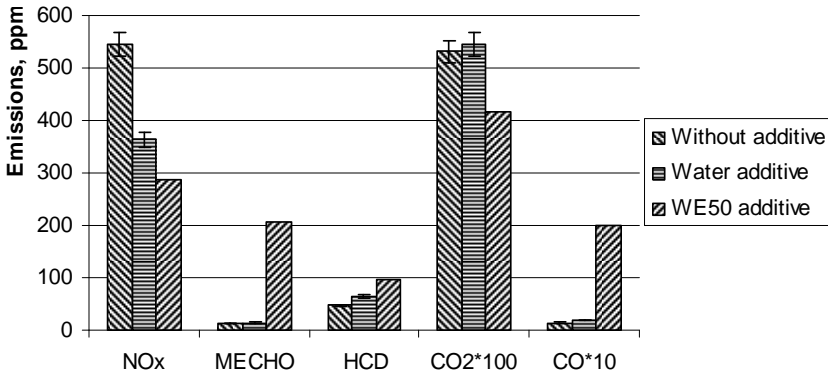


Fig. 2.5. Toxic emission amount changes for diesel engine *FORD YTR* at 50 N load and 2500 min⁻¹

Second experiment stage was carried out operating engine at 2000 min⁻¹ revolutions and 100 N load. This regime was used, because it corresponds to vehicle operation in extra-urban conditions at constant speed 90 km·h⁻¹.

These experiments also show water-ethanol additive's influence on diesel engine exhaust gases. Using water-ethanol injection, NO_x amount was reduced by 73%, HCD amount to minimum, but solid particle and carbon monoxide quantity was increased.

Carbon monoxide increase can be explained with excess air ratio decrease, but solid particle increase – with engine gradually cleaning because of good burning process.

2.2. Experimental investigation of automobile *LAND ROVER FREELANDER*

Automobile *LAND ROVER FREELANDER* was chosen for experiments because it has common rail direct injection fuel system and forced induction. Vehicle has 4×4 wheel drive, and it is suited for exploitation in off-road, so good for farmers driving on countryside. Automobile was adapted for running on rapeseed oil using company's *Elsbett* "two tank" system. A water-ethanol injection system was also installed, operated by high pressure pump.

Automobile *LAND ROVER FREELANDER* is equipped with automatic transmission; therefore experiments were carried out in two stages: exhaust emission measurement at laboratory and power measurements in on-road conditions (Fig 2.6.). Power measurements are not possible at laboratory conditions, because during experiments with direct gear, by pressing acceleration lever in "kickdown" mode, automatic transmission control module switches lower gear, therefore it is not possible to measure power and torque precisely.

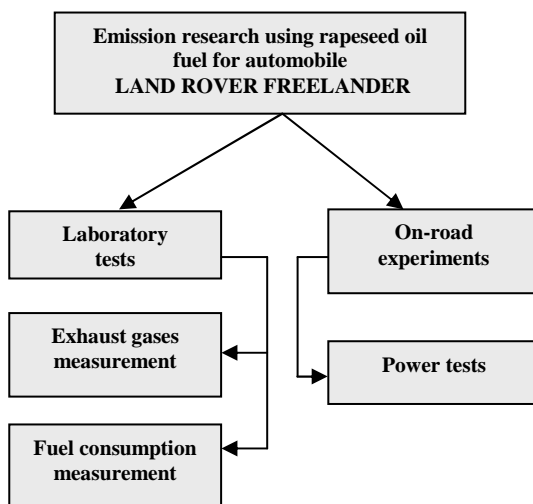


Fig. 2.6. Rapeseed oil fuel experimental test's scheme

Exhaust gases content for automobile *LAND ROVER FREELANDER* was determined testing it into two cycles – IM-240 and Jelgavas cycle. Every cycle had 3 repetitions.

Using water-ethanol blend injection, NO_x (nitric oxide) volume in exhaust gases decreases by 35% (Table 2.3). Without water-ethanol additive, some toxic gases element concentration was smaller. For example, CO (carbon monoxide) content in exhaust gases is smaller by 57%, but PM (solid particle) content is smaller seven times.

Table 2.3. Exhaust gases content for automobile
LAND ROVER FREELANDER

Cycle	NO _x , ppm			CO, ppm			CO ₂ , ppm			Solid particles (PM), ppm		
	RO	RO+WE50	+/-, %	RO	RO+WE50	+/-, %	RO	RO+WE50	+/-, %	RO	RO+WE50	+/-, %
IM-240	188	121	-35	309	488	+57	38300	39200	+2	65	420	+546
Jelgava	153	104	-32	64	143	+123	29600	28800	-2	23	95	+313

Fuel consumption comparison results testing the car LAND ROVER FREELANDER performing two driving cycles is shown in Table 2.4.

Table 2.4. Fuel consumption comparison

Cycle	RO, l (100 km) ⁻¹	RO+WE50, l (100 km) ⁻¹	WE50, l (100 km) ⁻¹	$\frac{RO}{RO+WE50}$
IM-240	9.72	8.83	0.85	-9%
Jelgava	10.65	9.78	1.02	-8%

Driving IM-240 and 2.35 km Jelgava city centre imitation cycles, it was concluded that using water-ethanol injection into intake manifold, rapeseed oil consumption was reduced by 8 – 9% (Table 2.4), but water-ethanol blend WE50 consumption in Jelgava's driving cycle is 16% higher than in IM-240 driving cycle.

It is explained by the fact that Jelgava driving cycle has more braking and acceleration regimes, therefore due to the turbine performance, higher pressure and more air quantity is in intake manifold, and accordingly more water-ethanol blend is injected.

2.3. Theoretic and experimental research comparison

Theoretically calculated NO_x amount and in experiments gathered results for diesel engine *FORD YTR* without additive injection are shown in Fig. 2.7. It is obviously seen that the graph obtained in modelling process crosses the scattering fields of experimental results.

The biggest amplitude was observed at 1500 min⁻¹, but error calculation, where variation coefficient is 7.9%, confirms test consistency and rough error elimination.

Smaller scattering field of results and variation coefficient is at 2500 min⁻¹. It can be explained by diesel engine stable operation, because at these revolutions fuel supply disturbances are not monitored.

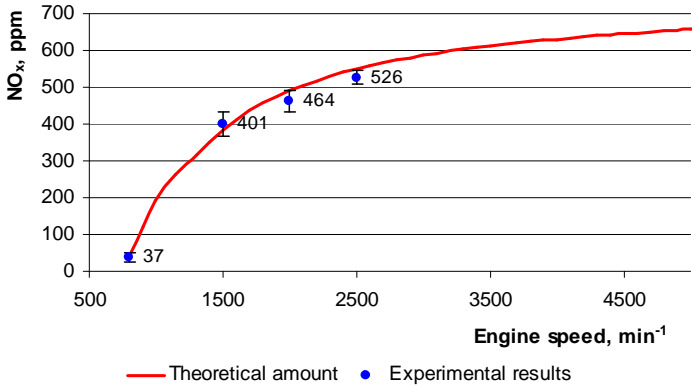


Fig. 2.7. Theoretical and experimental result comparison for diesel engine FORD YTR without additive injection

Theoretically gained diagram cross all experimental result scattering fields. It means that forecasted results in calculations correspond to NO_x volume increase tendency depending from engine revolutions.

Essential NO_x decrease can be monitored by water-ethanol blend injection into engine intake manifold, because water presence reduces burning temperature, but ethanol – speeds up burning process in diesel engine cylinder.

Using water-ethanol blend, burning process in diesel engine is more stable, therefore theoretically and experimentally gained results are with closer correspondence. Experimental result scattering field limit value range is smaller compared to previous mentioned result comparisons. Theoretically calculated and in experimental research gained results, using water-ethanol 50% blend injection into diesel engine intake manifold, are shown in Fig. 2.8.

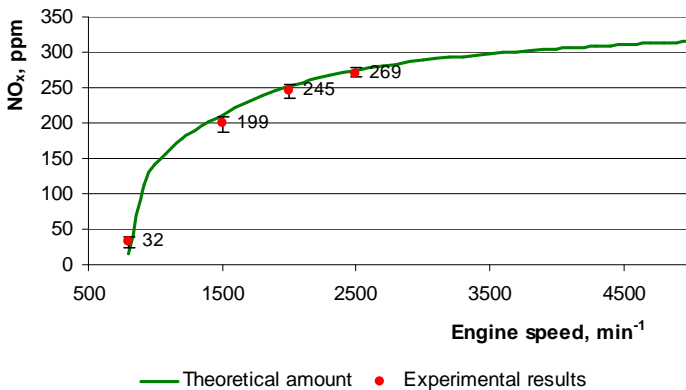


Fig. 2.8. Theoretical and experimental result comparison for diesel engine FORD YTR with water-ethanol blend injection

Experimental research result error calculation (Arhipova and Băliņa, 2003) values are shown in Table 2.5.

Table 2.5. **NO_x amount measurement error calculation results for FORD YTR engine with water-ethanol blend injection**

Parameter	800 min ⁻¹	1500 min ⁻¹	2000 min ⁻¹	2500 min ⁻¹
Mean value	28.68	198.96	245.35	268.87
Standard error	2.60	3.40	1.99	2.68
Standard deviation	5.81	7.60	4.44	6.01
Range	14.96	20.00	11.28	15.10
Minimum	21.36	186.36	238.36	263.26
Maximum	36.32	206.36	249.65	278.36
Count	5	5	5	5
Variation coefficient	20.1%	3.8%	1.8%	2.2%

In general theoretically and experimentally gained results can be described as precise enough to determine nitric oxide development tendencies in diesel engine exhaust gases using rapeseed oil fuel.

3. ECOLOGIC EVALUATION OF THE APPLICATION OF RAPESEED OIL AS FUEL USING WATER-ETHANOL INJECTION IN ENGINE CYLINDER

Using rapeseed oil as fuel, air pollution can change noticeably, but total transport produced emissions can be described by vehicle usage and load, and also specific emission amount on one vehicle's driven kilometre.

Generally using rapeseed oil as fuel, a beneficial energetic and CO₂ balance is created. Raw material for rapeseed oil production is rapeseed seeds, fully renewable energy source. Reducing greenhouse effect, rapeseed oil is non-toxic and harmless for health.

To calculate transportation toxic emission amount, the following factors have to be considered:

- transportation distribution by groups (cars, lorries);
- vehicle engine (diesel, otto, engine capacity);
- vehicle exploitation conditions;
- surrounding population, where vehicles are exploited;
- traffic type.

Initially one year total mileage for vehicle group has to be calculated, km:

$$L_{ii} = A_i \cdot \alpha_{ii} \cdot l_{dni} \cdot D_g, \quad (3.1)$$

where A_i – number of vehicles in i -type group;
 α_{ii} – technical exploitability coefficient,
 l_{dni} – i -type group vehicle average daily mileage, km,
 D_g – number of working days per year.

After that an emission mass is calculated for automobile group with determined engine capacity in populated area, t:

$$M_{ai} = m_{ai} \cdot l_{ai} \cdot K_{av} \cdot K_{izm} \cdot 10^{-6}, \quad (3.2)$$

where m_{ai} – emission amount depending on engine capacity, g·km⁻¹;

l_{ai} – vehicle total mileage per year, km;

K_{av} – coefficient, which describes environment, where transportation is being done (populated area size etc.);

K_{izm} – coefficient, which describes vehicle technical condition (year of production, mileage, emission quota) (Макаръин и Иугии, 2004).

In accordance with *MEET* methodology (*Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport*) for total emission calculations, a total vehicle mileage differences in particular countries are highlighted, and these differences refers also to different road types. To implement this methodology, the following data is needed:

- number of vehicles in each vehicle group;
- total mileage of each vehicle group;
- percentage of the distance distribution between urban and rural areas and high-speed roads;
- average speed for each road type;
- emission factor – average speed correlation.

$$E_k = \sum_{i=1}^{i\text{-kategorijas}} \cdot n_i \cdot l_i \cdot \sum_{j=1}^{j\text{-celaveids}} \cdot p_{ij} \cdot e_{ijk}, \quad (3.3)$$

where k – pollutant identification;

i – vehicle category;

j – road type;

n_i – number of vehicles in i -th category;

l_i – average annual distance covered by i -th category vehicles;

p_{ij} – annual distance percentage part, which was covered by i -th vehicle category;

$e_{i,j,k}$ – pollutant k emission factor accordingly to the average speed on j -th type road for i -th category vehicles (Vide, Energija un Transports, 2003).

Analysing previously mentioned emission calculation methods, it can be understood that it is possible to calculate total vehicle emission amount in certain area. But commonly comparison of emission quantity changes in financial terms practically is not possible.

That's why rapeseed oil's use as a fuel ecological assessment using water-ethanol blend injection into cylinder is calculated comparatively and determined its relative changes at the same outer factors (Table 3.1).

Table 3.1. Toxic component relative changes using additives

Burning process type	Toxic component relative changes, %				
	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	MP
With water injection	+13	-26	-39	-42	+36
With additive WE50 injection	+378	-	-61	-51	+609

Experimental test results show that NO_x and HC decrease injecting WE50 water-ethanol additive. CO and MP content in exhaust gases increases, but hydrocarbon content in exhaust gases decreases to minimum.

4. ECONOMIC EVALUATION OF THE APPLICATION OF RAPESEED OIL AS FUEL USING WATER-ETHANOL INJECTION IN ENGINE CYLINDER

Equipment payback time calculation (Fig. 4.1.) is performed using *ExtendSim* program. Developed model is easy to use. Filling necessary information fields: reconstruction costs, annual mileage, fuel consumption, rapeseed oil and diesel fuel price, blend proportion percentage, model gives precise data about predictable costs in a large range. It is possible to determine not only payback time, but also costs per one km, using rapeseed oil, diesel fuel or combining different fuel blends and using or not using water-ethanol additive.

Total costs are displayed in formula (Priekulis and Strautnieks, 2000):

$$I_{kop.} = IP + IM = I_{apdr.} + I_{uztur.} + I_{amort.} + I_{DA} + I_{deg.v.} + I_{sp} + I_{TA-mat.} + I_{TA-D} + I_p, \quad (4.1)$$

where IP – fixed costs, LVL;

IM – variable costs, LVL;

$I_{apdr.}$ – insurance costs, LVL;

$I_{uztur.}$ – maintenance costs, LVL;

$I_{amort.}$ – depreciation costs, LVL;

I_{DA} – salaries, LVL;

$I_{deg.v.}$ – fuel costs, LVL;

$I_{sp.}$ – ethanol costs, LVL;

$I_{TA-mat.}$ – technical service material costs, LVL;

I_{TA-D} – technical service work costs, LVL;

I_p – engine adaptation costs for operating with rapeseed oil and WE50, LVL.

Assuming that vehicle's one year load does not exceed normative load, automobile depreciation costs are calculated as fixed costs. Used fuel type and additive WE50 in direct form also do not influence depreciation costs; therefore in this evaluation this cost is not included. Costs that are related to vehicle repairs, storage etc. also are not included in calculation because they are not dependant form used fuel.

For economic comparison the following formula is used:

$$I_{kop.saliā}. = I_{deg.v.} + I_{sp} + I_{TA-mat.} + I_{TA-D} + I_{p.} \quad (4.2)$$

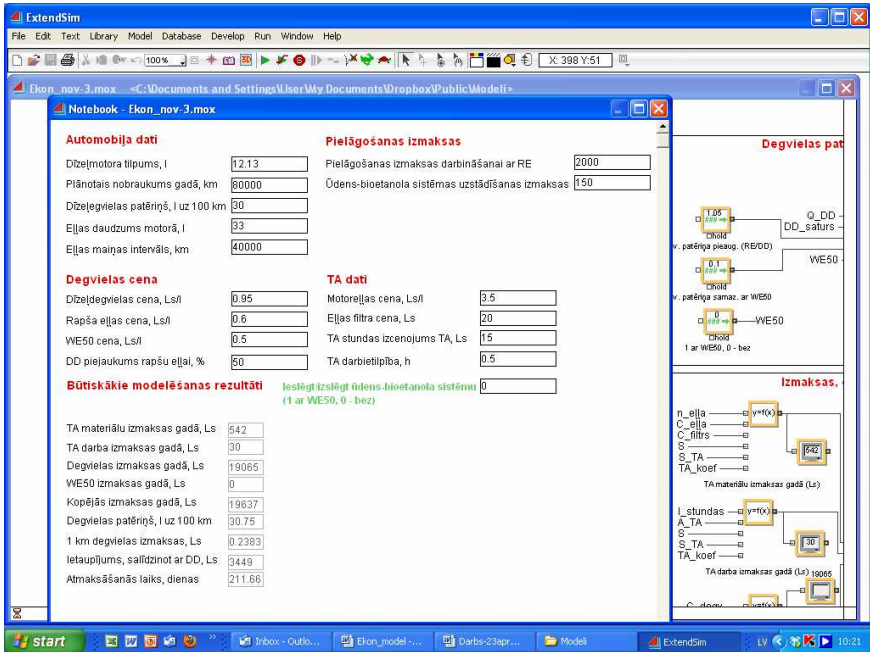


Fig. 4.1. *ExtendSim* model's working panel

Calculation model created in *ExtendSim* program contains six blocks:

- automobile data block;
- fuel cost block;
- adaptation cost block;
- technical service (TS) data block;
- fuel consumption block;
- cost and saving calculation blocks;

In automobile data block known data about vehicle and its exploitation is entered, for example, engine capacity, covered distance per year, average fuel consumption, oil quantity in engine and oil changing interval. Oil changing interval is important factor in economic calculation, because using rapeseed oil as a fuel, for providing engine non-failure operation, oil change interval is two times smaller.

In fuel cost block all used fuel prices and their proportions for vehicle operating are entered, as well as water-ethanol blend price. Rapeseed oil and

fossil diesel fuel proportion is more typical for vehicles that are equipped with two tank system. Water-ethanol appliance influences fuel consumption and therefore fuel costs.

Cost comparison using diesel fuel, rapeseed oil fuel and blends of these fuels with or without water-ethanol additive for *VOLVO FH 12* truck with engine capacity 12130 cm³ (Autodata, 2007) is given in Table 4.1.

Table 4.1. Cost comparison using diesel fuel rapeseed oil fuel and blends of these fuels with or without water-ethanol additive for *VOLVO FH 12* truck with engine capacity 12130 cm³

Calculated results	Diesel	Rapeseed oil or blend	Rapeseed oil+WE50
TS material costs per year, LVL	271.00	542.00	542.00
TS work cost per year, LVL	15.00	30.00	30.00
Fuel price, LVL·l ⁻¹	0.95	0.60	0.60
Fuel consumption, l·(100 km) ⁻¹	30.00	31.50	28.35
Used fuel amount, l	24 000.00	25 200.00	22 680.00
Fuel cost per year, LVL	22 800.00	15 120.00	13 608.00
WE50 cost per year, LVL	×	×	1 516.25
Total costs per year, LVL	23 086.00	15 692.00	15 696.25
Fuel cost per 1 km, LVL	0.29	0.19	0.17
Savings per year compared to diesel fuel, LVL	×	7 394.00	7 389.75
Savings per year compared to RO blends, LVL	×	×	-4.25
Payback time, days	×	99	106

Developed economic calculation model can be used to determine payback time of expenses used in adaptation, and therefore it would be easier to make decision about machinery adaptation for operation on rapeseed oil and water-ethanol injection system installation.

CONCLUSIONS

1. It is determined, that using rapeseed oil fuel AE100 in diesel engines, nitric oxide (NO_x) amount in exhaust gases increases. Water injection in cylinder causes unstable engine operation and is not suitable in winter conditions.
2. For nitric oxide quantity forecasting using rapeseed oil fuel in diesel engines mathematical model in program *ExtendSim Suite* was created. Model allows determining power and torque changes for diesel engines that are operated on rapeseed oil and water-ethanol blend additive.
3. It is determined from modelling that NO_x amount for experiment engines decrease with water or water-ethanol blend injection into intake manifold. It is calculated that for *FORD YTR* engine, nitric oxide amount reduces by 24% injecting water and by 52% using 50% water-ethanol blend. Power and torque for experimental *FORD YTR* engine, using water-ethanol 50% blend, will increase by 3.5%.
4. Experimental research methodology is created, which allows perform preliminary experiments and verify theoretically obtained results on stationery positioned engine *FORD YTR*. Three to five repetitions in each regime is enough to obtain results with 95% reliability.
5. It is established from the experiments that 50% water-ethanol blend is effective tool to regulate NO_x amount and total unburned hydrocarbon quantity in rapeseed oil operated diesel engine emissions.
6. In experimental research with rapeseed oil operated diesel engine *FORD YTR*, using 50% water-ethanol blend, NO_x amount reduces by 63%, but unburned hydrocarbon (HCD) quantity reduces to minimum. Carbon monoxide (CO) increase is about 51%, but solid particle (PM) amount increases about six times.
7. Testing automobile *LAND ROVER FREELANDER* on a chassis dynamometer, it was established that by injecting water-ethanol blend, NO_x amount in exhaust gases decreases by 35%, but HCD (unburned hydrocarbons) practically disappears. CO_2 concentration in vehicle exhaust gases is similar operating with rapeseed oil and rapeseed oil and water-ethanol blend – distinction in different regimes do not exceed 2%.
8. Performing driving cycle IM-240 and Jelgava cycle imitations, it was established that, using water-ethanol injection into intake manifold, rapeseed oil consumption decreased by 8 – 9%. In on-road experiments it was established that water-ethanol blend injection into diesel engine intake manifold increases power and torque by 7 to 10%.
9. Special experiment methodology for power parameter comparison in on-road experiments was created using companies *TESLA* device *G-Tech/Pro* and program *G-Tech Pass SS*.
10. Developed technology for diesel engine emission regulation is certified by LV14648 B patent (international classification index: F02B47/04). It was established that water-ethanol injection technology can be applied to all

diesel engine types. Technology was approved in diesel engines that were adapted for operation with vegetable oil AE100 with a target to reduce nitric oxide content in exhaust gases.

11. Theoretical calculation results show that nitric oxide determination and forecasting for rapeseed oil operated diesel engine exhaust gases, can be used with adequate precision for practical use. Data range obtained in experiments that in some regimes is from 10 to 50 ppm always fits into theoretically calculated NO_x quantities.
12. Economic calculation model is created in *ExtendSim Suite* workspace, which allows determining adaptation and exploitation expenses and also predictable finance payback time.
13. It is determined from economic calculation that vehicle exploitation costs are smaller by 30% using rapeseed oil instead of fossil diesel fuel. Adding 50% water-ethanol additive for rapeseed oil operated vehicles; expenses are similar to operation without any additives, because ethanol works as a fuel and reduce rapeseed oil fuel consumption, but increases costs from additional using ethanol.

KOPSAVILKUMA NORĀDĒS IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI

REFERENCES USED IN SUMMARY

1. Autodata CDA-3 (2007). Autodata Limited 2007. Version 5.373.
2. Arhipova I., Bāliņa S. (2003) Statistika ekonomikā. Risinājumi ar SPSS un Microsoft Excel: mācību līdzeklis. Rīga: Datorzinību centrs, 352 lpp.
3. Birkavs A., Dukulis I., Birzietis G. (2013) The Rapeseed Oil Fuel Consumption and Exhaust Emissions Research Injecting a Water–Bioethanol Blend in the Engine Intake System. *Proc. Latv. Univ. Agr.*, 2013, 29(324); DOI: 10.2478/plua-2013-0004
4. Blīvis J., Gulbis V., Kažoks J., Kleins V., Melgalvs G., Ozoliņa L., Pēks L., Pommers G. (1980) Traktoru un automobiļu motoru konstrukcija, teorija un aprēķins. Rīga, Zvaigzne, 1980., 370 lpp.
5. 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.
6. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources (2009). Official Journal of the European Union L 140, 6 May, p. 16 – 62.
7. Dukulis I. (2013) Rapša eļļas degvielas izmantošana dīzeļmotoros un loģistika: promocijas darbs inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) zinātniskā grāda iegūšanai. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2013. 169 lpp.

8. Dukulis I., Birkavs A. (2013) Development of model for running diesel engine on rapeseed oil fuel and its blends with fossil diesel fuel. Jelgava: LUA, p. 319 – 325. ISSN 1691-5976.
9. Priekulis J., Strautnieks N. (2000) Lauksaimniecības darbu mehanizācijas ekonomiskais vērtējums. 1. daļa, Jelgava: LLU, 29. lpp.
10. Sachse J. (1975) Lastahangige Forderbeginnverstellung und Abgasmckfuhrung als wirksame MaBnfhmen zur Verminderung der NO_x-Emission von Dieselmotoren. Kraftfahrzeugtechnik, № 12, S.366...369.
11. Scott W.M. (1972) Recent developments in diesel engine research ft the Ricardo laboratories. – Entropie, № 48, p. 69...79.
12. Spiediens. Vikipēdija. (B.g.) Brīvā enciklopēdija. [tiešsaiste] [skatīts 05.07.2013.] Pieejams: <http://lv.wikipedia.org/wiki/Spiediens>
13. Šmigins R. (2010) Biodīzeļdegvielas ietekme uz motora darba parametriem: promocijas darbs inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) zinātniskā grāda iegūšanai. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 159 lpp.
14. Vide, enerģija un transports. (2003) Mācību materiāls transporta jomā. Apkop. Sergio Mitrovich. Portāla www.eu-portal.net rakstiskais materiāls, 57 lpp.
15. Макарьин Р.И., Иугии Б.И. (2004) Расчет выбросов вредных веществ в отработавших газах автомобильных двигателей: Методические указания к выполнению расчетно-практической работы. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 18 с., УДК 502.3:504.5:621.43.064
16. Звонов В., Козлов А., Теренченко А. (2008) Исследование эффективности применения в дизельных двигателях топливных смесей и биотоплив. Рос. хим. ж., No. 6, 2008, 147 – 151. с. УДК 665.3:621.436.
17. Звонов В.А. (1981) Токсичность двигателей внутреннего сгорания. - Москва: Машиностроение, с 160.
18. Звонов В.А., Козлов А.В. (Б.г.) Методика расчета образования оксидов азота в цилиндре ДВС. [прямая ссылка] [осмотрено 28.10.2012]. Доступен: <http://www.diesel-rk.bmstu.ru/Rus/index.php?page=nox>
19. Сторчеус Ю.В. (2001) Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Системы ДВС» (для студентов специальности «Двигатели внутреннего сгорания») – Луганск: изд-во Восточно- укр. нац. ун-та, – с. 27.
20. Хэмалян Д.М., Коган Я.А. (1976) Теория горения и топочные устройства. – Москва: Энергия, 488 с.

PUBLIKĀCIJAS VISPĀRATZĪTOS RECENZĒJAMOS IZDEVUMOS

LIST OF PUBLICATIONS

1. **Dukulis I., Birkavs A.** (2013) Development of model for running diesel engine on rapeseed oil fuel and its blends with fossil diesel fuel. **In:** *12th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*: Proceedings, May 23 – 24, 2013. Jelgava: LUA, p. 319 – 325. ISSN 1691-5976. (ind Scopus)
2. **Birkavs A., Dukulis I., Birzietis G.** (2013) The Rapeseed Oil Fuel Consumption and Exhaust Emissions Research Injecting a Water–Bioethanol Blend in the Engine Intake System. *Proc. Latv. Univ. Agr., 2013, 29(324)*; DOI: 10.2478/plua-2013-0004
3. **Birkavs A., Birzietis G., Dukulis I.** (2012) Evaluation of Emissions Operating Diesel Engine with Rapeseed Oil and Fossil Diesel Fuel Blends. **In:** *11th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*: Proceedings, Volume 11, May 24 – 25, 2012. Jelgava: LUA, p. 338 – 342. ISSN 1691-3043. (ind Scopus)
4. **Birkavs A., Dukulis I.** (2011) Development of Experimental Equipment for Vegetable Oil Fuel Research. **In:** *Proceedings of the 17th International Scientific Conference „Research for Rural Development”, Volume 1*, May 18 – 20, 2011. Jelgava: LUA, p. 173 – 178. ISSN 1691-4031.
5. **Baks V., Dukulis I., Birkavs A.** (2011) Emission and Fuel Consumption Studies Using Separated at Low Temperatures Pure Rapeseed Oil. **In:** *10th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*: Proceedings, Volume 10, May 26 – 27, 2011. Jelgava: LUA, p. 239 – 243. ISSN 1691-3043. (ind Scopus)
6. **Dukulis I., Birkavs A., Birzietis G.** (2010) Investigation of Flowability of Rapeseed Oil and Diesel Fuel Blends in Winter Conditions. **In:** *Agricultural Engineering: Proceedings of the International Scientific Conference „Mobile Machines”, September 23 – 24, 2010*. Kaunas: Lithuanian University of Agriculture, p. 204 – 213. ISSN 1392-1134.
7. **Dukulis I., Birzietis G., Birkavs A., Pirs V., Jesko Z.** (2010) Exhaust Emissions from the Vehicles Operating on Rapeseed Oil Fuel. **In:** *Agronomy Research, Volume 8, Biosystems Engineering, Special Issue 1*. Tartu: Estonian University of Life Sciences, p. 39 – 46. ISSN 1406-894X.
8. **Birkavs A., Birzietis G., Dukulis I.** (2010) Investigation of Impact of Biofuel Blend on Arctic Diesel Fuel Properties. **In:** *9th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*: Proceedings, Volume 9, May 27 – 28, 2010. Jelgava: LUA, p. 158 – 161. ISSN 1691-3043.

9. **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.
10. **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.
11. **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.

Saņemtais patents

Claimed patent

Patenta numurs: **LV 14648 B. Paņēmiens dīzeļmotoru izmešu normalizācijai.** Starptautiskās klasifikācijas indekss: F02B47/04.

Patent number: **LV 14648 B. Method for Normalization of Diesel Emissions.** International classification: F02B47/04.

Uzstāšanās starptautiskās zinātniskās konferencēs ar ziņojumiem

Reports at the international scientific conferences

1. **Birkavs A., Birzietis G., Dukulis I.** Evaluation of Emissions Operating Diesel Engine with Rapeseed Oil and Fossil Diesel Fuel Blends. *11th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 24 – 25, 2012.
2. **Birkavs A., Dukulis I.** Development of Experimental Equipment for Vegetable Oil Fuel Research. *17th International Scientific Conference „Research for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 18 – 20, 2011.
3. **Baks V., Dukulis I., Birkavs A.** Emission and Fuel Consumption Studies Using Separated at Low Temperatures Pure Rapeseed Oil. *10th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 26 – 27, 2011.
4. **Dukulis I., Birkavs A., Birzietis G.** Investigation of Flowability of Rapeseed Oil and Diesel Fuel Blends in Winter Conditions. *International Scientific Conference „Mobile Machines”*. Kaunas: Lithuanian University of Agriculture, Lithuania, September 23 – 24, 2010.

5. **Birkavs A., Dukulis I., Birzietis G.** Investigation of Impact of Biofuel Blend on Arctic Diesel Fuel Properties. *9th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 27 – 28, 2010.
6. **Dukulis I., Birzietis G., Birkavs A., Pirs V., Jesko Z.** Exhaust Emissions from the Vehicles Operating on Rapeseed Oil Fuel. *International Scientific Conference „Biosystems Engineering”*. Tartu: Estonian University of Life Sciences, Estonia, May 13 – 14, 2010.
7. **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.
8. **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.
9. **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.

Dalība ar promocijas darbu saistītos projektos

Participation in the dissertation-related projects

1. 2009. g. – pētnieks LZP projektā Nr. 09.1470 „Biodegvielu paplašinātas izmantošanas iespēju pētījumi Latvijas tautsaimniecībā izmantotajos iekšdedzes motoros”.
 2. 2010. – 2012. g. – pētnieks LZP projektā Nr. 09.1602 „Biodegvielu un biomasas tehnoloģiju pētījumi”.
1. Year 2009 – researcher in LZP project Nr. 09.1470 „Studies on options of biofuels extended use in internal combustion engines in Latvia”.
 2. Year 2010 – 2012 – researcher in LZP project Nr. 09.1602 „Investigations of biofuel and biomass technologies”.