

Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Tehniskā fakultāte
Spēkratu institūts

RAPŠA EĻĻAS DEGVIELAS IZMEŠU SASTĀVA NORMALIZĀCIJA DĪZEĻMOTOROS

PROMOCIJAS DARBS

Dr.sc.ing. zinātniskā grāda iegūšanai



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



Darba autors: Mg.sc.ing. Aivars Birkavs _____ 06.01.2014.

Darba vadītājs: Dr.sc.ing. Gints Birzietis _____ 06.01.2014.

Konsultanti: Dr.sc.ing. Gunārs Vērdiņš _____ 06.01.2014.

Dr.sc.ing. Ilmārs Dukulis _____ 06.01.2014.

Jelgava

2014

ANOTĀCIJA

Birkavs A. Rapša eļļas degvielas izmešu sastāva normalizācija dīzeļmotoros: promocijas darbs inženierzinātņu doktora (Dr.sc.ing.) zinātniskā grāda iegūšanai. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 2014. 148 lpp., 88 att., 19 tab., 149 bibl. nos., 11 pielikumi.

Atslēgas vārdi: rapšu eļļa, izmeši, ūdens-spirta maisījums, slāpekļa oksīdi.

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

Pētījumā izvirzītā hipotēze: Ar rapša eļļu darbināmu dīzeļmotoru izplūdes gāzēs esošo slāpekļa oksīda daudzumu iespējams regulēt, pievadot ieplūdes 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 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.

Promocijas darbā „Rapša eļļas degvielas izmešu sastāva normalizācija dīzeļmotoros” analizēta spēkratu ekspluatācijas ietekme uz vidi, to izplūdes gāzu emisijas samazināšanas pasākumi, apzinātas atgāzu toksisko komponentu noteikšanas metodes un līdzekļi toksisko izmešu reducēšanai, izstrādāti toksisko atgāzu emisijas regulēšanas iespēju teorētiskie un praktiskie risinājumi, ar mērķi pazemināt toksisko izmešu komponentes – slāpekļa oksīda (NO_x) – daudzumu atgāzēs, darbinot dīzeļmotoru ar rapša eļļas degvielu AE100. Izstrādātais matemātiskais modelis piemērojams jebkuras dīzeļmotoru degvielas izmešu komponentes NO_x daudzuma noteikšanai, ja zināms degvielas ķīmiskais sastāvs. Ieviešot nelielas korekcijas, ar tā palīdzību iespējams prognozēt slāpekļa oksīdu daudzumu izmešos gan no alģēm iegūstamo trešās paaudzes, gan pat ceturtās paaudzes biodegvielu, kas tiek iegūtas no ģenētiski modificētiem augiem.

Darba 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.

Noskaidrots, ka 50% ūdens-spirta maisījums ir efektīvs līdzeklis, lai regulētu NO_x un kopējo nesadegušo ogļūdeņražu daudzumu ar rapša eļļas degvielu AE100 darbināmu dīzeļmotoru atgāzēs. Eksperimentālos testos konstatēts, ka, iesmidzinot ūdens-spirta maisījumu ieplūdes kolektorā, 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%.

ANNOTATION

Birkavs A. Rapeseed oil fuel emission normalization in diesel engines: a Dissertation for the Scientific Degree of the Doctor of Engineering Sciences (Dr.sc.ing.). Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2014. 148 p., 88 fig., 19 tab., 149 bibliographic sources, and 11 appendices.

Keywords: rapeseed oil fuel emissions, water-bioethanol blend, nitric oxide.

The research is carried out at Latvia University of Agriculture (LUA), Institute of Motor Vehicles of the Faculty of Engineering, Scientific Laboratory of Biofuels.

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..

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.

It was established that injection of 50% water-ethanol blend into intake manifold is an effective method to regulate NO_x and total unburned hydrocarbon amount in exhaust gasses for diesel engines using rapeseed oil fuel AE100. Experiments show that water-ethanol injection decreases NO_x amount by 35%, but HCD practically disappears. CO_2 concentration in vehicles exhaust gasses is similar for rapeseed oil and for rapeseed oil and water-ethanol blend – distinction in different regimes do not exceed 2%.

SATURS

Tabulu saraksts	8
Attēlu saraksts.....	9
Pielikumu saraksts	13
Saīsinājumi un apzīmējumi.....	14
Vispārīgā informācija	15
Ievads	18
1. Situācijas apskats un analīze	20
1.1. Spēkratu ietekme uz vidi un tā izmešu emisijas samazināšana	21
1.2. Dīzeļmotora toksisko izmešu rašanās iemesli	24
1.3. Dīzeļmotora kaitīgo izmešu analīze.....	25
1.3.1. Karsto izmešu veidošanās nosacījumi	27
1.3.2. Papildus izmešu rašanās iespējas.....	29
1.3.3. Iztvaikojošo izmešu faktori	30
1.4. Dīzeļmotoru izmešu samazināšanas tehnisko risinājumu ietekme uz izmešu sastāvu	30
1.4.1. Degvielas sastāva un barošanas sistēmas nozīme izmešu sastāva veidošanā.....	31
1.4.2. Degvielas iesmidzināšanas momenta regulējuma būtiskums izmešu sastāva veidošanās procesā	33
1.4.3. Atgāzu katalītisko neitralizatoru izmantošana.....	33
1.4.4. Netradicionālo tehnoloģiju izmantošana toksisko izmešu daudzuma samazināšanai.....	36
1.4.5. Biodegvielu izmantošana dīzeļmotoru darbināšanai.....	41
1.5. Pētījumi par atgāzu sastāva izmaiņām, lietojot rapša eļļas degvielu	42
1.5.1. Dīzeļmotora pielāgošana darbam ar rapšu eļļu	42
1.5.2. Izmešu sastāva izmaiņas, lietojot augu eļļas maisījumus ar fosilo dīzeļdegvielu	43
1.5.3. Izmešu sastāva izmaiņas, mainot iesmidzināšanas momentu.....	44
1.5.4. Rapša eļļas fizikālās un ķīmiskās īpašības, to ietekme uz izmešu sastāvu	45
1.6. Atgāzu toksisko komponentu noteikšanas metodes	49
Situācijas apskata kopsavilkums	52
Pētījuma mērķis un uzdevumi	53
2. Slāpekļa oksīdu daudzuma samazināšanas teorētiskie pētījumi	55
2.1. Dīzeļmotora darbības aprēķins	56
2.2. Modelēšanas programmas izvēle un dīzeļmotora termodinamiskais aprēķins.....	57
2.2.1. Dīzeļmotora siltuma bilances aprēķina modelēšanas iespējas	61
2.2.2. Slāpekļa oksīdu daudzuma aprēķins modelēšanas programmā.....	63
2.3. Gāzu spiediena maiņas aprēķins dīzeļmotorā.....	69
2.4. Modelpētījumi.....	71
Teorētisko pētījumu rezultātu kopsavilkums	75
3. Slāpekļa oksīdu samazināšanas eksperimentālie pētījumi	77
3.1. Atgāzu pētījuma metodika, izmantojot motorstendu.....	77
3.1.1. Rapša eļļas izmešu izpētes apstākļu raksturojums un metodika	77
3.1.2. Rapša eļļas izmešu izpētes rezultāti, izmantojot motorstendu	80
3.2. Atgāzu pētījumi dīzeļmotoram <i>FORD YTR</i>	82

3.2.1.	Difuzora un žikleru aprēķins ūdens-spirta padevei <i>FORD YTR</i> dīzeļmotorā	83
3.2.2.	Izpētes apstākļu raksturojums.....	85
3.2.3.	Atgāzu pētījumu metodika dīzeļmotoram <i>FORD YTR</i>	86
3.2.4.	Eksperimenta rezultāti un to analīze.....	87
3.3.	Atgāzu pētījumi automobilim <i>LAND ROVER FREELANDER</i>	91
3.3.1.	Izpētes apstākļu raksturojums laboratorijā	91
3.3.2.	Atgāzu pētījumu metodika automobilim <i>LAND ROVER FREELANDER</i>	92
3.3.3.	Atgāzu un degvielas patēriņa mērījumu rezultāti	95
3.3.4.	Jaudas pētījumu metodika automobilim <i>LAND ROVER FREELANDER</i> ceļa apstākļos	97
3.3.5.	Jaudas mērījumi automobilim <i>LAND ROVER FREELANDER</i> ceļa apstākļos.....	98
	Eksperimentālo pētījumu rezultātu kopsavilkums	100
4.	Rapšu eļļas degvielas sadegšanas produktu izpētes rezultātu izvērtējums	101
4.1.	Teorētisko un eksperimentālo pētījumu salīdzinājums.....	101
4.2.	Slāpekļa oksīdu daudzuma samazinājuma ietekme uz citu toksisko komponentu daudzumu.....	105
4.3.	Rapša eļļas degvielas izmantošanas ekoloģiskais novērtējums, lietojot ūdens-spirta iesmidzināšanu motora cilindrā	106
4.4.	Rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomiskais novērtējums, lietojot ūdens-spirta iesmidzināšanu motora cilindrā	108
	Kopsavilkums.....	119
	Galvenie secinājumi.....	120
	Informācijas avoti	122
	Pielikumi.....	130

TABULU SARAKSTS

1.1. tabula.	Eiropas Savienības standarti un to direktīvas	20
1.2. tabula.	Dīzeļmotora atgāzu sastāvs, % pēc apjoma.....	25
1.3. tabula.	Motoru atgāzu toksiskuma novērtējums.....	26
1.4. tabula.	Fizikāli – ķīmisko rādītāju normatīvi	41
1.5. tabula.	Dīzeļdegvielas un augu eļļas īpašības	44
1.6. tabula.	Iesmidzināšanas momenta izmaiņu ietekme uz izplūdes gāzēm.....	45
2.1. tabula.	Gāzu maisījuma saspiešanas un izpletes parametri	71
3.1. tabula.	Toksisko izmešu daudzums atgāzēs pie motora apgriezieniem 1500 min^{-1}	80
3.2. tabula.	Toksisko izmešu daudzums atgāzēs pie motora apgriezieniem 2500 min^{-1}	81
3.3. tabula.	Eksperimentālo mērījumu kļūdu aprēķins dīzeļmotoram <i>FORD YTR</i> pie 2500 min^{-1} bez ūdens-spirta maisījuma piedevas	88
3.4. tabula.	Rapša eļļas patēriņš motoram <i>FORD YTR</i>	90
3.5. tabula.	Atgāzu sastāvs automobilim <i>LAND ROVER FREELANDER</i>	95
3.6. tabula.	Degvielas patēriņa salīdzinājums	97
4.1. tabula.	NO_x daudzuma mērījumu kļūdu aprēķina rezultāti dīzeļmotoram <i>FORD YTR</i> bez piedevas iesmidzināšanas	102
4.2. tabula.	NO_x daudzuma mērījumu kļūdu aprēķina rezultāti motoram <i>FORD YTR</i> ar ūdens iesmidzināšanu.....	103
4.3. tabula.	NO_x daudzuma mērījumu kļūdu aprēķina rezultāti motoram <i>FORD YTR</i> ar ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanu.....	104
4.4. tabula.	Vidējais toksisko izmešu daudzums uz vienu litru motora tilpuma motoram <i>FORD YTR</i> pie slodzes 50 N un 1500 min^{-1}	108
4.5. tabula.	Toksisko komponentu relatīvās izmaiņas, pielietojot piedevas.....	108
4.6. tabula.	Izmaksu salīdzinājums automobilim <i>VOLVO FH12</i>	118

ATTĒLU SARAKSTS

1.1. att.	Spēkratu ekspluatācijas negatīvo seku kopsavilkums.....	22
1.2. att.	Degvielas radīto izmešu rašanās vietas automobilim.....	27
1.3. att.	Gaisa kondicioniera ietekmes uz dīzeļmotora emisiju attēlojums	27
1.4. att.	Brauciena garuma un papildus izmešu diagramma.....	29
1.5. att.	Toksisko izmešu samazināšanas metodes izplūdes gāzēs.....	31
1.6. att.	Dīzeļmotoru izplūdes gāzu recirkulācija ar elektroniski regulējamu droselēvārstu	34
1.7. att.	Cieto daļiņu filtrs.....	34
1.8. att.	Selektīvais katalītiskais pārveidotājs.....	35
1.9. att.	Netradicionālo tehnoloģiju ierīces un piedevas motoru darbības uzlabošanai	36
1.10. att.	Sadegšanas optimizatora uzbūve.....	37
1.11. att.	Turbulentas plūsmas ierīces darbības princips.....	37
1.12. att.	Klusters.....	38
1.13. att.	Magnētu izkārtojums aktivatorā molekulu polarizācijai	38
1.14. att.	Parasta dzesēšanas šķidrums saskares ar dzesēšanas kanālu sieniņām attēlojums.....	40
1.15. att.	Modificēta dzesēšanas šķidrums saskares ar dzesēšanas kanālu sieniņām attēlojums.....	40
1.16. att.	Rapša eļļas un dīzeļdegvielas viskozitātes salīdzinājums	42
1.17. att.	Motora testēšanas stenda elementi	43
1.18. att.	Vinterizācijas procesa shēma	46
1.19. att.	CO un CO ₂ mērījumu rezultāti, atkarībā no motora apgriezieniem.....	47
1.20. att.	Mehānisko daļiņu un nesadegušo ogļūdeņražu mērījumu rezultāti, atkarībā no motora apgriezieniem	47
1.21. att.	NO _x un SO ₂ mērījumu rezultāti, atkarībā no motora apgriezieniem.....	48
1.22. att.	NEDC testa braukšanas cikla diagramma	50
1.23. att.	CO izmešu daudzums atkarībā no automobiļa ātruma vidēja lieluma automašīnai ar EURO I motoru.....	51
2.1. att.	Dīzeļmotora efektīvo parametru un atgāzu komponentes NO _x aprēķina blokshēma.....	55
2.2. att.	Dīzeļmotora darbības aprēķina shēma	56

2.3. att.	Funkcionālo bloku „līniju” savienojums ar pārvades līnijām	57
2.4. att.	Funkcionālo bloku „vārdiskais” savienojums	57
2.5. att.	Modeļa vispārējā blokshēma	58
2.6. att.	Modelēšanas darba panelis	58
2.7. att.	Noteikto faktoru reģistrēšanas bloki	59
2.8. att.	Degvielu maisījuma sastāva noteikšanas bloki	60
2.9. att.	Maksimālās efektīvās jaudas noteikšanas bloks	61
2.10. att.	Motora degvielas patēriņa un griezes momenta noteikšanas bloki	61
2.11. att.	Dīzeļmotora siltuma bilances aprēķina bloki	63
2.12. att.	Entalpijas koeficientu aprēķina bloki	64
2.13. att.	Maisījuma entalpijas aprēķina bloks	64
2.14. att.	Vidējās temperatūras aprēķina bloks	65
2.15. att.	Pilnas sadedzes temperatūras aprēķina bloks	66
2.16. att.	Degmaisījuma elementu līdzsvara vienādojuma aprēķina bloks	67
2.17. att.	Slāpekļa oksīdu daudzuma aprēķina bloks	68
2.18. att.	Modelēšanas programmas <i>ExtendSim</i> darba vide	69
2.19. att.	Indikatora diagramma motoram <i>FORD YTR</i>	71
2.20. att.	Motora apgriezienu reģistrācijas un NO_x aprēķinu rezultāta bloki	72
2.21. att.	Apgriezienu ģenerators pievienojums modeļa bloku sistēmai	72
2.22. att.	NO_x prognozes līknes <i>MultiSim Plotter</i> dialoga logā	73
2.23. att.	NO_x daudzums atkarībā no iesmidzināmās piedevas satura	73
2.24. att.	Jaudas līknes <i>MultiSim Plotter</i> dialoga logā	74
2.25. att.	Griezes momenta līknes <i>MultiSim Plotter</i> dialoga logā	74
2.26. att.	Jaudas un griezes momenta izmaiņas atkarībā no iesmidzināmās piedevas satura	75
3.1. att.	Motorstenda principiālā shēma	79
3.2. att.	Motorstends eksperimentu veikšanai	79
3.3. att.	Toksisko izmešu saturs atgāzēs pie motora apgriezieniem 1500 min^{-1}	80
3.4. att.	Toksisko izmešu saturs atgāzēs pie motora apgriezieniem 2500 min^{-1}	81
3.5. att.	Degvielas patēriņa diagramma pie motora apgriezieniem 1500 min^{-1}	82
3.6. att.	Degvielas patēriņa diagramma pie motora apgriezieniem 2500 min^{-1}	82
3.7. att.	Ūdens-spirta padeves sistēma motora ieplūdes kolektorā	83
3.8. att.	Ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēma dīzeļmotoram <i>FORD YTR</i>	85
3.9. att.	Atgāzu mērījumu rezultāti teksta formātā	87

3.10. att.	Atgāzu mērījumu rezultātu apstrāde izklājlapu lietotnē.....	87
3.11. att.	Toksisko izmešu daudzuma izmaiņas dīzeļmotoram <i>FORD YTR</i> pie 900 min ⁻¹	88
3.12. att.	Toksisko izmešu daudzuma izmaiņas dīzeļmotoram <i>FORD YTR</i> pie slodzes 50 N un 1500 min ⁻¹	89
3.13. att.	Toksisko izmešu daudzuma izmaiņas dīzeļmotoram <i>FORD YTR</i> pie slodzes 50 N un 2000 min ⁻¹	89
3.14. att.	Toksisko izmešu daudzuma izmaiņas dīzeļmotoram <i>FORD YTR</i> pie slodzes 50 N un 2500 min ⁻¹	89
3.15. att.	Toksisko izmešu daudzuma izmaiņas dīzeļmotoram <i>FORD YTR</i> pie slodzes 100 N un 2000 min ⁻¹	90
3.16. att.	Rapša eļļas degvielas eksperimentālo testu shēma	91
3.17. att.	Automobilis <i>LAND ROVER FREELANDER</i> uz testēšanas stenda	92
3.18. att.	Izplūdes gāzu mērīšanas sistēma <i>AVL SESAM FTIR</i>	93
3.19. att.	Degvielas padeves sistēmas pieslēgšanas shēma	93
3.20. att.	Braukšanas ātruma norādījumi iekārtas monitorā.....	94
3.21. att.	Atgāzu mērīšanas iekārtas zondes novietojums automobiļa izpūtējā	95
3.22. att.	Atgāzu mērījumu rezultāti ciklā IM-240.....	96
3.23. att.	Atgāzu mērījumu rezultāti Jelgavas ciklā	96
3.24. att.	Svaru novietojums degvielas patēriņa mērīšanai	96
3.25. att.	Ierīces „ <i>G – Tech/Pro</i> ” novietojums automobilī.....	98
3.26. att.	<i>G-Tech Pass SS</i> programmatūras logs	99
3.27. att.	Braucienų animācijas attēlojums <i>G-Tech Pass SS</i> programmatūras izvēlņu logā	99
4.1. att.	Aprēķinātā indigrama motoram <i>FORD YTR</i> ar ūdens-spirta piedevu	101
4.2. att.	Eksperimentos iegūtās indikatora diagrammas attēls datora monitorā.....	101
4.3. att.	Eksperimentos iegūtā indikatora diagramma motoram <i>FORD YTR</i> ar ūdens-spirta piedevu.....	102
4.4. att.	Teorētisko un eksperimentālo rezultātu salīdzinājums dīzeļmotoram <i>FORD YTR</i> bez piedevas iesmidzināšanas.....	103
4.5. att.	Teorētisko un eksperimentālo rezultātu salīdzinājums dīzeļmotoram <i>FORD YTR</i> ar ūdens iesmidzināšanu	104
4.6. att.	Teorētisko un eksperimentālo rezultātu salīdzinājums dīzeļmotoram <i>FORD YTR</i> ar ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanu	105

4.7. att.	Toksisko izmešu emisijas izmaiņu salīdzinājums bez piedevas un, pielietojot ūdens-spirta piedevu	105
4.8. att.	Programmas <i>ExtendSim</i> darba panelis	112
4.9. att.	Automobiļa datu un degvielas cenas bloki.....	113
4.10. att.	Automobiļa pielāgošanas un TA datu bloki.....	113
4.11. att.	Degvielas patēriņa bloks	114
4.12. att.	Izmaksu un ietaupījuma aprēķinu bloks.....	114

PIELIKUMU SARAKSTS

1. pielikums.	Ministru kabineta 2005.gada 18.oktobra noteikumi Nr.772.....	131
2. pielikums.	Spirta kvalitātes sertifikāts.....	133
3. pielikums.	Atgāzu analītiskās sistēmas <i>AVL SESAM FTIR</i> mērāmās un aprēķināmās gāzu komponentes un to apzīmējumi	134
4. pielikums.	Degvielas patēriņam mērījumu kļūdu aprēķinu metodika.....	135
5. pielikums.	Aprēķinātās degvielas patēriņa rezultātu mērīšanas kļūdas brīvgaitā motoram <i>FORD YTR</i>	136
6. pielikums.	Dīzeļmotora termodinamiskā aprēķinā izmantotās formulas	138
7. pielikums.	Difuzora aprēķins.....	143
8. pielikums.	Motorstends <i>Opel 1.6 D</i> , aprīkots ar „divu tvertņu sistēmu”, darbināšanai ar rapša eļļu un ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēmu eksperimentu veikšanai.....	144
9. pielikums.	Motorstends <i>FORD YTR</i> , aprīkots ar „divu tvertņu sistēmu”, darbināšanai ar rapša eļļu un izstrādāto ūdens-spirta padeves sistēmu	145
10. pielikums.	Automobilis <i>LAND ROVER FREELANDER</i> , aprīkots ar „divu tvertņu sistēmu”, darbināšanai ar rapša eļļu, un uzstādītu ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēmu.....	146
11. pielikums.	Patents „Paņēmiens dīzeļmotora izmešu normalizācijai”	147

SAĪSINĀJUMI UN APZĪMĒJUMI

AE100	– 100% augu eļļa
AMP	– augšējais maiņas punkts
BIO	– biotehnoloģiju nozares organizācija (<i>Biotechnology Industry Organization</i>)
CO	– tvana gāze
CVS	– ierīce, kas paredzēta nepieciešamā atgāzu tilpuma sagatavošanai un nepieciešamā gaisa daudzuma piejaukšanai (<i>constant volume sampler</i>)
DD vai FDD	– fosilā dīzeļdegviela
DUS	– degvielas uzpildes stacija
EGR	– izplūdes gāzu recirkulācijas (<i>exhaust gas recirculation</i>) sistēma
EVB	– elektroniskais vadības bloks
FTIR	– Furjē optiskā infrasarkanās gaismas absorbcijas mērīšanas metode (<i>Fourier Transform InfraRed Spectroscopy</i>)
GD	– šūnu katalizatori (<i>Glasdach</i>)
GOS	– gaistošie organiskie savienojumi
GPS	– globālā pozicionēšanas sistēma (<i>Global Positioning System</i>)
HC	– ogļūdeņraži (<i>hydrocarbons</i>)
NEDC	– jaunais Eiropas braukšanas cikls (<i>New European Driving Cycle</i>)
NO _x	– kopējie monoslāpekļa oksīdu savienojumi (NO un NO ₂)
OHC	– sadales vārpstas novietojums galvas augšdaļā (<i>overhead camshaft</i>)
ppm	– koncentrācijas mērvienība (<i>parts per million</i> – daļu skaits uz miljonu). Norāda, cik daudz gāzes daļu ir katrā miljonā daļu no kopējās gāzes masas
PM	– mehāniskās daļiņas (<i>particles mechanical</i>)
RME	– rapša eļļas metilesteris
SCR	– atgāzu selektīvā katalītiskā redukcijas sistēma (<i>Selective Catalytic Reduction</i>)
SESAM	– daudzkomponentu izplūdes gāzu mērīšanas sistēma (<i>System for Emission Sampling and Measurement</i>)
SME	– saulespuķu eļļas metilesteris (<i>Sunflower Oil Methyl Ester</i>)
TA	– tehniskā apkope
ZMP	– zemākais maiņas punkts
WE50	– ūdens-spirta 50% maisījums (<i>water ethanol</i>)

VISPĀRĪGĀ INFORMĀCIJA

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

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

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

Publikācijas vispāratzītos recenzējamās izdevumos

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.
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.
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.
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.

Pārējās publikācijas

1. **Birkavs A., Dukulis I.** (2009) Jaunās tehnoloģijas motoru darbināšanai ar rapšu eļļu. *AgroTops*, Nr. 12, 38. – 39. lpp. ISSN 1407-5164.
2. **Dukulis I., Birkavs A., Šmigins R.** (2009) Zaļā degviela dīzeļmotoram. *Saimnieks Lv*, Nr. 5, 54. – 55. lpp.
3. **Birkavs A., Dukulis I.** (2009) Dīzelis, biodīzelis vai rapšu eļļa? *AgroTops*, Nr. 5, 40. – 41. lpp. ISSN 1407-5164.
4. **Birkavs A., Dukulis I.** (2009) Tīra rapšu eļļa automašīnas darbināšanai. *AgroTops*, Nr. 4, 44. – 45. lpp. ISSN 1407-5164.
5. **Birkavs A., Dukulis I.** (2009) Dīzeļmotoru pārbūve darbināšanai ar rapšu eļļu. *AgroTops*, Nr. 3, 40. – 41. lpp. ISSN 1407-5164.
6. **Birkavs A., Dukulis I.** (2009) Rapšu eļļa dīzeļmotoru darbināšanai – krīzes laika risinājums. *AgroTops*, Nr. 2, 39. – 40. lpp. ISSN 1407-5164.
7. **Birkavs A., Dukulis I.** (2009) Rapšu eļļa – ziemeļu olīveļļa un alternatīvā degviela. *AgroTops*, Nr. 1, 30. – 31. lpp. ISSN 1407-5164.
8. **Birkavs A., Dukulis I.** (2008) Jaunākās tehnoloģijas degvielas ekonomijā. *AgroTops*, Nr. 8, 48. – 49. lpp. ISSN 1407-5164.

Saņemtais patents

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

Uzstāšanās starptautiskās zinātniskās konferencēs ar ziņojumiem

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

5. **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.

Uzstāšanās citās konferencēs, izstādēs un semināros

1. **Birkavs A.** „Rapša eļļas kā degvielas izmantošana dīzeļmotoros”, uzstāšanās informatīvā seminārā „Atjaunojamo resursu izmantošana transporta sektorā” LV Vides ministrijā 29. oktobris 2010.
2. **Birkavs A.** „Rapša eļļas kā degvielas pielietošana dīzeļmotoros”, uzstāšanās pasākumā „Traktordiena 2011”, Tērvetes novada A/S „Agrofirma Tērvete” 21. maijā 2011.

Dalība ar promocijas darbu saistītos projektos

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

Darbs izskatīts un akceptēts Latvijas Lauksaimniecības universitātes Tehniskās fakultātes Spēkratu institūta paplašinātajā akadēmiskā personāla sēdē 2013. gada 17. decembrī (protokols Nr. 08-13-12).

IEVADS

Degvielas kvalitātes prasības Latvijā nosaka Ministru kabineta 2005. gada 18. oktobra noteikumi Nr.772 „Noteikumi par biodegvielas kvalitātes prasībām, atbilstības novērtēšanu, tirgus uzraudzību un patērētāju informēšanas kārtību”. Tajos teikts, ka Latvijā ir atļauts realizēt tīru rapša sēklu eļļu un citas no eļļas augiem iegūtas tīras nerafinētas vai rafinētas augu eļļas, kas kā degviela AE100 ir piemērotas izmantošanai noteiktu veidu iekšdedzes dzinējos. Šie noteikumi nosaka kvalitātes prasības gan tīrai rapša sēklu eļļai, gan citām no eļļas augiem iegūtām eļļām, kas tiek izmantotas kā degvielas dīzeļmotoros.

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 dienvidu 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.

Toksisko izmešu emisijas normas tiek noteiktas ne tikai autotransportam, bet arī traktortehnikai. No 2013. gada stājas spēkā ES regulas, kas nosaka izplūdes gāzu emisijas normu traktoriem un citai lauksaimniecības tehnikai. Jaunās normas paredz izmešu daudzumu tālāku samazināšanu un, lai šos noteikumus izpildītu, lauksaimniecības tehnikas ražotāji savos spēkratos izmanto divu veidu tehnoloģiju dzinējus – ar izplūdes gāzu recirkulāciju (informatīvos materiālos tiek izmantots apzīmējums – *EGR*) vai ar izplūdes gāzu katalizatora tehnoloģiju (tiek izmantots apzīmējums – *SCR*). Šīs sistēmas galvenokārt paredzētas slāpekļa oksīdu daudzuma samazināšanai, kuri veidojas dīzeļmotoru darbības rezultātā pie augstas sadegšanas temperatūras. Vispirms rodas slāpekļa oksīds, kam, reaģējot ar skābekli, rodas slāpekļa dioksīds. Taču Eiropas Parlamenta un Padomes 2011. gada 16. novembra Direktīvā 2011/88/ES, ar ko groza Direktīvu 97/68/EK attiecībā uz noteikumiem par motoriem, 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.

Pēc Pasaules veselības organizācijas datiem slāpekļa oksīdiem (NO_x) ir negatīva iedarbība uz cilvēka veselību. Tie asinīs veido metahemoglobīnu, kas traucē pārnēsāt skābekli un līdz ar to negatīvi ietekmē normālu organisma funkcionēšanu. Savukārt NO_2 kairina elpošanas ceļus un pazemina organisma pretošanās spējas slimībām. Gaisā, ko ieelpo cilvēki, paaugstināta NO_2 koncentrācija bojā plaušu audus, pazemina asinsspiedienu, kā arī izraisa asins sastāva izmaiņas. Sevišķi jūtīgi pret šī piesārņotāja klātbūtni atmosfērā ir astmas slimnieki un bērni.

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.

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 piergulēšanu tā optimālai darbībai, taču, lietojot „divu tvertņu sistēmu” tas nav iespējams, jo dīzeļmotors tiek iedarbināts ar fosilo dīzeļdegvielu, kuras izmantošanai ir noteikti rūpnīcas-izgatavotājas rekomendējošie 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.

1. SITUĀCIJAS APSKATS UN ANALĪZE

Eiropas teritorijā ir spēkā standarts Euro, kas nosaka, kādas izmešu normas ir spēkā dotajā laika periodā. Normas reglamentē slāpekļa oksīdu (NO_x), ogļūdeņražu (C_nH_m), metānu nesaturošo ogļūdeņražu (NMHC), tvana gāzes (CO) un cieto daļiņu (PM) daudzumu atgāzu sastāvā. Katrai transportlīdzekļu kategorijai ir noteiktas savas atgāzu normas. Ir izstrādātas Euro standartu regulas, kuru spēkā stāšanās laiki apkopoti 1.1. tabulā (European emission standards, S.a.).

1.1. tabula. Eiropas Savienības standarti un to direktīvas

Standarts	Spēkā stāšanās laiks	Atbilstošā direktīva	Spēkratu veids
Euro 1	1994. gada oktobris	91/444/EEC 93/59/EEC 91/542/EEC	Pasažieru automobiļi. Vieglie komercautomobiļi. Kravas automobiļu dīzeļmotori.
Euro 2	1998. gada janvāris	94/12/EC 96/69/EC 91542/EEC	Pasažieru automobiļi. Vieglie komercautomobiļi. Kravas automobiļu dīzeļmotori.
Euro 3	2000. gada janvāris	98/69/EC Vispārēja nostādne	Pasažieru automobiļi un vieglie komercautomobiļi. Kravas automobiļu dīzeļmotori.
Euro 4	2005. gada janvāris	98/69/EC Vispārēja nostādne	Pasažieru automobiļi un vieglie komercautomobiļi. Kravas automobiļu dīzeļmotori.
Euro 5	2009. gada septembris	715/2007/EC	Pasažieru automobiļi un vieglie komercautomobiļi. Kravas automobiļu dīzeļmotori.
Euro 6	2014. gada septembris	715/2007/EC	Pasažieru automobiļi un vieglie komercautomobiļi. Kravas automobiļu dīzeļmotori.

Traktoriem un visurgājējai tehnikai noteiktie izmešu standarti ir sadalīti pa motoru kategorijām:

- A: pēc 1998. gada 30. jūnija motoriem ar jaudu no 130 kW līdz 560 kW;
- B: pēc 1998. gada 30. jūnija motoriem ar jaudu no 75 kW līdz 130 kW;
- C: pēc 1998. gada 30. jūnija motoriem ar jaudu no 37 kW līdz 75 kW;
- D: pēc 1999. gada 31. decembra motoriem ar jaudu no 18 kW līdz 37 kW;
- E: pēc 2000. gada 31. decembra motoriem ar jaudu no 130 kW līdz 560 kW;
- F: pēc 2001. gada 31. decembra motoriem ar jaudu no 75 kW līdz 130 kW;
- G: pēc 2002. gada 31. decembra motoriem ar jaudu no 37 kW līdz 75 kW.

Direktīvas 97/68/EK 12.6. punktā teikts, ka oglekļa oksīda, ogļūdeņražu, slāpekļa oksīdu un cieto daļiņu emisija nedrīkst pārsniegt noteiktos emisijas robežlielumus, un tie ir jāsasniedz pirms izplūdes gāzu pēcapstrādes ierīces (Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 97/68/EK).

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 saražotas 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).

Lai uzlabotu situāciju biodegvielu izmantošanā, no 2009. gada 1. oktobra Latvijā, dīzeļmotoru fosilajai dīzeļdegvielai vasaras mēnešos tiek pievienota biodīzeļdegviela 4.5 – 5% apjomā pēc tilpuma. Turpmāk paredzēts palielināt obligāto biodīzeļdegvielas piejaukumu fosilajai dīzeļdegvielai līdz 7%, kas veicinātu atjaunojamās enerģijas patēriņa transportā palielināšanos no 3.57% līdz 4.8%. (Par enerģijas patēriņa..., 2011).

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

Latvijas likumdošanā rapša eļļa no 2005. gada ir atzīta kā degviela AE100. Lai gan rapša eļļas ražotāji nesaņem valsts atbalstu, pagaidām tā pie noteiktiem ražošanas apstākļiem ir ekonomiski izdevīgākā biodegviela, kuru var izmantot dīzeļmotoru darbināšanai (Dukulis, 2013).

1.1. Spēkratu ietekme uz vidi un tā izmešu emisijas samazināšana

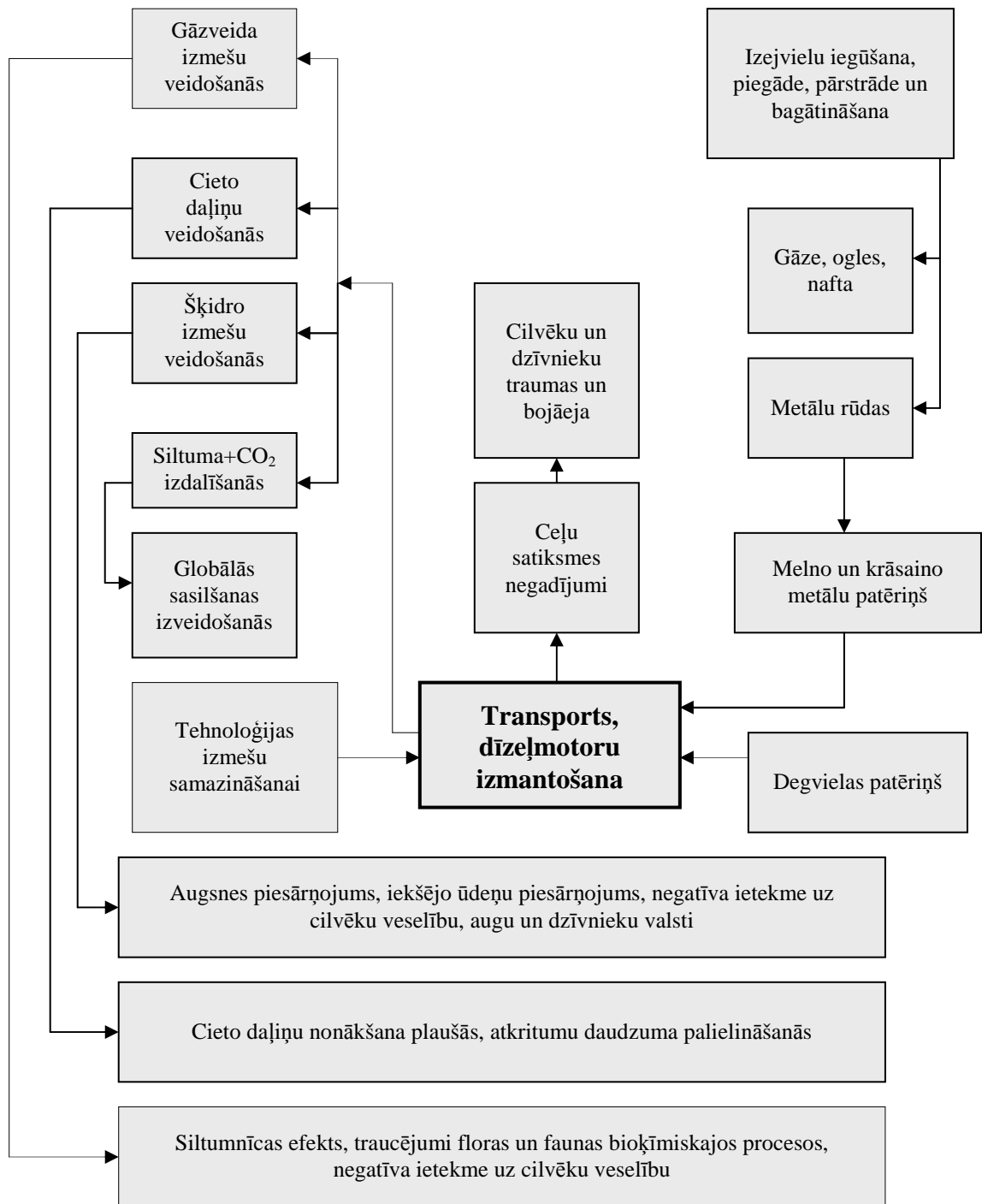
Dīzeļmotoru izmantošana spēkratos ir saistīta ar vairākiem faktoriem, kas negatīvi ietekmē apkārtējo vidi un cilvēku veselību. 1.1. attēlā parādīti ar spēkratiem saistītie iespējamie iemesli, kas pasliktina ekoloģisko stāvokli, izmantojot šo tehniku.

Vislielākā negatīvā ietekme uz apkārtējo vidi ir dīzeļmotoru radītajiem toksiskajiem izmešiem, kas ir neizbēgama spēkratu ekspluatācijas sastāvdaļa. Arī tad, ja dīzeļmotoros tiek izmantota biodegviela, kopējais izmešu daudzums nesamazinās, un pēc veiktiem pētījumiem, tādas izmešu komponentes daudzums, kā slāpekļa oksīds (NO_x), parasti pieaug (Dukulis, 2013).

Transporta un sakaru īpatsvars valsts iekšzemes kopproduktā sastāda apmēram 15%. Salīdzinājumā ar Eiropas Savienības valstīm, Latvijā uz 1000 iedzīvotājiem ir aptuveni divas reizes mazāk vieglo automašīnu, nekā vidēji ES. Tomēr LR Ekonomikas ministrijas makroekonomiskās prognozes (Informatīvais ziņojums..., 2006) liecina par to, ka Latvija sasniegs ES vidējo līmeni un emisijas līdz ar to pieaugs. Valsts uzdevums ir veicināt transporta nozares attīstību, bet, tajā pašā laikā, ir jāsamazina emisijas no šī sektora. Plānotie pasākumi ir transporta intensitātes samazināšana pilsētās, attīstot velotransporta infrastruktūru, optimizējot satiksmes plūsmu pilsētās, popularizējot sabiedriskā transporta izmantošanu, kā arī degvielas kvalitātes uzlabošana.

Samazinot sēra saturu degvielā, ir iespēja minimizēt sēra dioksīda emisijas dzinēju izplūdes gāzēs. Tādēļ turpmāko veicamo pasākumu mērķis ir panākt ievērojamu slāpekļa oksīdu, ogļūdeņražu, cieto daļiņu, kā arī oglekļa oksīda emisiju samazinājumu izplūdes gāzēs.

Slāpekļa oksīdu emisijas apjoms Latvijā ir aptuveni 42 kt gadā, kas ir 68.9% no noteiktā emisiju mērķlieluma. Galvenais emisiju avots ir strauji augošais transporta sektors, īpaši ceļu transports. Tas var izraisīt situāciju, ka tuvākajos 10 gados pēc 2010. gada var tikt pārsniegts slāpekļa oksīdiem noteiktais maksimāli pieļaujamais līmenis 61 kt gadā. Emisiju samazināšanā īpaša vērība jāpievērš prasību paaugstināšanai automobiļu dzinēju tehniskajam stāvoklim, kā arī ar normatīvajiem aktiem noteikto kvalitātes prasību paaugstināšanai benzīnam un dīzeļdegvielai. Šie pasākumi samazinās arī emisijas no satiksmē neiesaistītajiem transportlīdzekļiem un mehānismiem (Informatīvais ziņojums..., 2006).



1.1. att. **Spēkratu ekspluatācijas negatīvo seku kopsavilkums**
(Кульчитский, 2004; Hickman, 1999)

Spēkratu galvenais emisiju samazinājums ir saistīts ar konkrētām iespējām:

- izmaiņas dzinēju uzbūvē, lai uzlabotu degmaisījuma sadedzināšanas procesu;
- augstāku prasību izvirzīšana degvielas kvalitātei;
- Ministru kabineta 2004. gada 2. marta noteikumu Nr. 125 „Par sēra satura ierobežošanu noteiktiem šķidrās degvielas veidiem” ievērošana, kas dod ievērojamu ieguldījumu SO₂ emisiju samazinājumā;

- prasību, kas tika noteiktas 2005. gadā, kad maksimālais atļautais sēra saturs benzīnā un dīzeļdegvielā ir 50 ppm (ppm – daļas uz miljons daļām; iepriekš attiecīgi bija 150 ppm un 350 ppm), ievērošana;
- izplūdes gāzu pēcapstrādes izveide ar katalītiskajiem pārveidotājiem;
- konstruktīvu uzlabojumu ieviešana dīzeļdzinējos, kas uzlabo sadegšanas procesu, padarot šos dzinējus efektīvākus, degvielas izmantošanas ziņā, šī iemesla dēļ dīzeļdzinēji emitētu mazāk GOS un CO, turpretī NO_x emisijas būtu lielākas un atkarīgas no dzinēja jaudas (Informatīvais ziņojums..., 2006).

Kaitīgo izmešu samazināšanai autotransportā var izmantot biodegvielas, bet tas ir saistīts ar dzinēju konstruktīviem uzlabojumiem to tehnoloģijās un stingrāku prasību ieviešanu degvielas kvalitātei. Latvijā degvielas kvalitāti šīs kategorijas transportlīdzekļu un mehānismu dzinējiem nosaka Ministru kabineta noteikumi Nr. 332 „Noteikumi par benzīna un dīzeļdegvielas atbilstības novērtēšanu”, kur teikts, ka dīzeļdegvielā, ko izmanto lauksaimniecības tehnikai, sēra saturs nedrīkst pārsniegt 500 mg uz vienu kg dīzeļdegvielas.

Latvijā ir pieņemts Biodegvielas likums (Biodegvielas likums, 2005), kura mērķis ir veicināt biodegvielas apriti, tādējādi atbalstot videi draudzīgu, piegādei drošu, atjaunojamo energoresursu izmantošanu. Pamatojoties uz šo likumu, ir sagatavota programma „Biodegvielas ražošana un lietošana Latvijā”, kā arī plāns šīs programmas ieviešanai.

Noteiktās maksimāli pieļaujamās emisijas uzlabo atmosfēras gaisa kvalitāti un samazina gaisa piesārņojuma izraisīto slodzi uz ūdens un sauszemes ekosistēmām (Benfelde, B.g.).

Lai ierobežotu izmešu daudzumu gaisā, ir spēkā Ministru kabineta noteikumi Nr. 507 „Noteikumi par kopējo valstī maksimāli pieļaujamo emisiju gaisā”, kur teikts, ka līdz 2010. gadam, salīdzinot ar 1990. gadu, SO₂ bija jāsamazina par 15%, NO_x par 34%, GOS par 11%.

Latvijā galveno piesārņojošo vielu emisiju kontrole tiek veikta vairākos līmeņos. Uzņēmumu līmenī – operatora veiktais emisiju monitorings saskaņā ar integrētajās piesārņojuma atļaujās noteiktajiem nosacījumiem. Reģionālā līmenī šo kontroli nodrošina reģionālās vides pārvaldes. Valsts līmenī noteikto emisiju limitu izpildes uzraudzību veic „Ietekmes uz vidi novērtējuma valsts birojs” un „Vides valsts inspekcija”.

1993. gadā tika izveidots ceļu transportlīdzekļu reģistrs, taču dati, kas izmantojami slāpekļa oksīdu emisiju aprēķiniem un to reālai novērtēšanai, pieejami tikai no 1997. gada. Aprēķinu atbilstību reālajai situācijai lielā mērā mazina tādu statistisko datu apkopojumu trūkums kā automobiļu dzinēju tilpums, vecums un lietotās degvielas marka.

Transporta sektorā emisijas ierobežojošie pasākumi tiek vērsti uz slāpekļa oksīdu un oglekļa dioksīdu (GOS sastāvdaļa) samazināšanu iekšdedzes dzinēju izplūdes gāzēs, kam pamatā ir tehniski uzlabojumi transportlīdzekļu dzinēju konstrukcijā, kā arī paaugstinātas prasības degvielas kvalitātei.

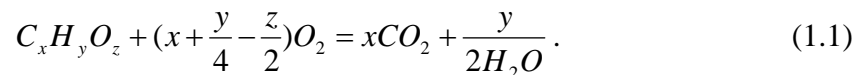
Arī Vides ministrija piedalās daudzpusējo un divpusējo sakaru koordinēšanā un sadarbības veidošanā gan ar ES dalībvalstīm, gan valstīm, kas nav ES locekles, kā arī ietekmīgām starptautiskām vides aizsardzības organizācijām un institūcijām – ANO Eiropas Ekonomisko komisiju (UNECE), ANO Vides programmu (UNEP), ieskaitot informācijas apmaiņu par zinātniskajiem un tehniskajiem pētījumiem un attīstību attiecībā uz emisiju samazināšanu (Rīcības programma..., 2007).

Tādēļ katru gadu ievērojami pieaug ne vien pieprasījums pēc dažādiem alternatīvajiem enerģijas avotiem, bet notiek arī nemitīgi meklējumi pēc jaunām un

līdzvērtīgām izejvielām degvielu ieguvē, kā arī zināmo biodegvielu efektīvākas izmantošanas. Aktualizējoties vides aizsardzības jautājumiem, arvien svarīgāku lomu ieņem tieši biodegradējamās un atjaunojamās izejvielas. Viena no šādām izejvielām ir rapša eļļa, kuru var izmantot kā degvielu tīrā veidā. Taču, tāpat kā, izmantojot citas biodegvielas, arī, darbinot dīzeļmotorus ar rapšu eļļu (AE100), pieaug slāpekļa oksīdu koncentrācija izplūdes gāzēs.

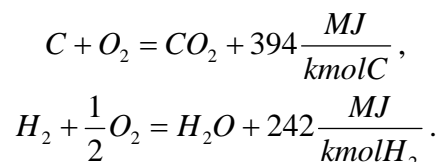
1.2. Dīzeļmotora toksisko izmešu rašanās iemesli

Ideālā gadījumā pie pilnīgas ogļūdeņražu degvielas sadegšanas vajadzētu rasties tikai pilnīgas sadegšanas produktiem: oglekļa dioksīdam CO_2 un ūdenim H_2O . Oksidēšanās reakcijai ir jābūt sekojošai (Луканин, 2005):

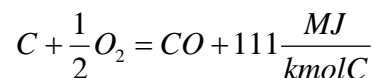


X oglekļa atomu 1 kilomolā ogļūdeņraža $C_xH_yO_z$ dod x kilomolu CO_2 , bet y ūdeņraža atomu 1 kilomolā $C_xH_yO_z$ dod y/2 kilomolus H_2O .

Pilnīgu C līdz CO_2 un H_2 līdz H_2O oksidēšanās reakciju siltuma efekti ir sekojoši:



Oglekļa oksidēšanos par CO apraksta sekojoša reakcija:



Viens no pilnīgas sadegšanas nodrošināšanas nosacījumiem ir gaisa pāruma koeficienta vērtība, kura nedrīkst būt mazāka par 1. Gaisa pāruma koeficientu aprēķina pēc sekojošas formulas (Луканин, 2005):

$$\alpha = \frac{G_g}{G_d \cdot l_o}, \quad (1.2)$$

kur G_g – gaisa patēriņš, $kg\ h^{-1}$;

G_d – eksperimentēšanas laikā sadedzinātās degvielas daudzums, $kg\ h^{-1}$;

l_o – teorētiski nepieciešamais gaisa daudzums viena kg šķidrās degvielas sadedzināšanai, kg.

Papildus var pieminēt gaisa pāruma koeficienta vērtību nozīmi:

- ja $\alpha = 1$, tad gaisa maisījumā ir tieši tik daudz, cik ir nepieciešams pilnīgai tajā esošās degvielas sadegšanai (stehiometriskais maisījums);
- ja $\alpha < 1$ (trekns maisījums), tad maisījumā gaisa ir mazāk, nekā nepieciešams pilnīgai tajā esošās degvielas sadegšanai;
- ja $\alpha > 1$ (liess maisījums), tad maisījumā ir gaisa pārāk daudz.

Ne vienmēr sadedzes process notiek pilnīgi. Ja skābekļa daudzums degvielas-gaisa maisījumā ir mazāks par stehiometrisko, tad oksidēšanās būs nepilnīga. Nepilnīgas oksidēšanās gadījumā daļa oglekļa oksidējas līdz CO, bet daļa ūdeņražu nesadeg.

Šajā gadījumā molekulas $C_xH_yO_z$ oksidēšanās noris jau pēc sekojošas sakarības (Луканин, 2005):

$$C_x H_y O_z + \left[\varphi \frac{x}{2} + (1 - \varphi)x + y \frac{(1 - \varphi_1)}{4} - \frac{z}{2} \right] O_2 =$$

$$= \varphi x CO + (1 - \varphi)x CO_2 + y \varphi_1 \frac{H_2}{2} + \frac{y}{2} (1 - \varphi_1) H_2 O$$
(1.3)

kur φ – oglekļa daudzums, kas ir oksidējies līdz CO;

φ_1 – nesadegušā ūdeņraža daļa.

Nepilnīgas sadegšanas laikā motora atgāzēs ir sastopami ogļūdeņraži $C_n H_m$. Tie nav izejas sastāva ogļūdeņraži, bet gan izejas sastāva augsti molekulāro ogļūdeņražu sadalīšanās produkti, kas rodas augstu temperatūru ietekmē pie skābekļa iztrūkuma. Iekšdedzes motora atgāzēs sastopami vairāki simti dažāda veida ogļūdeņražu. Noteiktu ietekmi uz ogļūdeņražu emisijām atstāj arī motorā izmantojamā eļļa, kas nokļūst sadegšanas kamerā no motora cilindru sienīņām (Кульчитский, 2004).

Ogļūdeņražu sastāvā ir sastopami arī aldehīdi (skābi saturošie ogļūdeņraži) un arī benzapirēns ($C_{20}H_{12}$). Benzapirēns ir īpaši kaitīgs, un tas veidojas degvielu smago frakciju termiskās sadalīšanās rezultātā pie salīdzinoši zemām temperatūrām (400...700 °C) un skābekļa iztrūkuma (Кульчитский, 2004).

Atgāzēs ir kvēpi, kas ir ogļūdeņraža degvielu krekinga produkts, kas rodas augstu temperatūru ietekmē pie izteikta skābekļa iztrūkuma. Iekšdedzes motora atgāzēs ir sastopams atliku skābeklis, kas nav ticis pilnībā izmantots degvielas degšanas laikā, un gaisa slāpekļis, kas nav piedalījies degšanas procesā. Papildus tam atgāzēs ir arī sastopami dažādi sēra oksidēšanās produkti, kā arī slāpekļa oksīdi. Slāpekļa oksīds NO ir izteikts gaisa slāpekļa oksidēšanās produkts ar gaisa skābekli. Slāpekļa oksīds NO, nokļūstot atmosfērā, jau sāk oksidēties līdz pat slāpekļa dioksīdam NO_2 , un šī oksidēšanās pakāpe ir lielā mērā tieši atkarīga no temperatūras – jo atgāzu temperatūra ir zemāka, jo attiecīgi lielāka daļa NO vēlāk oksidēsies līdz NO_2 (Кульчитский, 2004).

Dīzeļmotora atgāzu sastāvs ir atkarīgs ne tikai no izmantojamā degvielas veida, bet arī no motora darba procesa organizācijas un sadedzes procesa pilnīguma. Šī iemesla dēļ atgāzēs sastopamo komponentu daudzums mainās diezgan plašās robežās (sk. 1.2. tab.) (Šmigins, 2008).

1.2. tabula. Dīzeļmotora atgāzu sastāvs, % pēc apjoma

Komponente	%
Slāpekļis	74 – 78
Skābeklis	2 – 18
Ūdens tvaiks	0.5 – 9
Oglekļa dioksīds	1 – 12
Oglekļa oksīds	0.005 – 0.4
Slāpekļa oksīdi	0.004 – 0.5
Ogļūdeņraži	0.009 – 0.3
Aldehīdi	0.001 – 0.009
Kvēpi, $g\ m^{-3}$	0.01 – 1.1
Benzapirēns, $mkg\ m^{-3}$	līdz 10
Sēra oksīdi	0.002 – 0.02

1.3. Dīzeļmotora kaitīgo izmešu analīze

Mūsdienās tieši dīzeļmotoru pilnveide ir viena no tehnoloģijām, kur tiek meklēti jauni dzinēju darbības risinājumi efektīvākai resursu izmantošanai un ekoloģisko

standartu paaugstināšanai. Dīzeļmotora panākumu pamatā ir Rūdolfā Dīzeļa sākotnējā ideja – dzinējs ar maksimālu „termodinamisko efektivitāti”, kas tiek panākta tad, kad pēc iespējas lielāka daļa degvielas enerģijas tiek izmantota transportlīdzekļa virzībai uz priekšu, nevis vienkārši „izkūp gaisā”. Dīzeļmotoru no citiem atšķir tas, ka gan gaiss, gan degviela tiek saspiesta līdz pat 25 – 30 bāriem. Kad cilindrā esošās degvielas kompresijas pakāpe ir tik augsta, ka tā sakarst, notiek eksplozija un tiek radīta enerģija, kas virzulim liek kustēties (Dīzeļmotors –..., 2009).

Taču dīzeļmotora darbības rezultātā ne tikai tiek veikts vajadzīgs darbs, bet arī veidojas atgāzes, no kurām vairākas ir toksiskas un bīstamas cilvēka veselībai. Dīzeļmotora izmešu sastāvā ir gāzveida, šķidrie un cietie organiskie un neorganiskie savienojumi. Kopējais šo savienojumu skaits pārsniedz vairākus simtus un, veicot dažādus pētījumus, arvien tiek atklāti jauni ķīmiskie savienojumi. 1.3. tabulā apkopots dīzeļmotora būtiskāko atgāzu sastāvs un to toksiskuma novērtējums (Berjoza, 2007).

1.3. tabula. Motoru atgāzu toksiskuma novērtējums

Komponetes	Novērtējums
Slāpekļis	Netoksisks
Skābeklis	Netoksisks
Ūdens tvaiki	Netoksisks
Oglekļa dioksīds	Netoksisks
Oglekļa oksīds	Toksisks
Slāpekļa oksīds	Toksisks
Ogļūdeņraži	Toksisks
Aldehīdi	Toksisks
Kvēpi	Toksisks

Vispārīgi, ar transportu saistīto izmešu novērtēšana var tikt balstīta uz sekojošu vienādojumu (Hickman, 1999):

$$E = e \cdot a, \quad (1.4)$$

kur E – ir izmešu daudzums;

e – ir izmešu daudzums uz vienu vienību;

a – ir transporta vienību daudzums.

Spēkrati darba rezultātā izdala trīs veidu izmešus – karstos, aukstos un iztvaikojošos (sk. 1.2. att.) (В глобальном потеплении..., 2007). To radīto izmešu galvenie avoti ir izplūdes gāzes un ogļūdeņraži, kas rodas no degvielas iztvaikošanas. Kad dzinējs tiek iedarbināts zem tā normālās darba temperatūras, tas patērē degvielu neefektīvi, un saražotais piesārņojuma daudzums ir augstāks nekā tad, kad tas ir karsts. Šie novērojumi noved pie pirmās sakarības, kas tiek lietota aprēķinu metodēs (Hickman, 1999):

$$E = E_1 + E_2 + E_3, \quad (1.5)$$

kur E – kopējais izmešu daudzums;

E_1 – karsta dzinēja izmešu daudzums;

E_2 – auksta dzinēja izmešu daudzums;

E_3 – iztvaikošanas izmeši.

Katra no šīm sastāvdaļām ir atkarīga no transportlīdzekļa darbības. To var izteikt vispārīgi (Hickman, 1999):

$$E_x = e_x \cdot a, \quad (1.6)$$

kur E_x – viens no ieguldījumiem kopējos izmešos;

e_x – ar darbību saistītais izmešu faktora transportlīdzekļa darbības daudzums saistībā ar šo izmešu veidu;

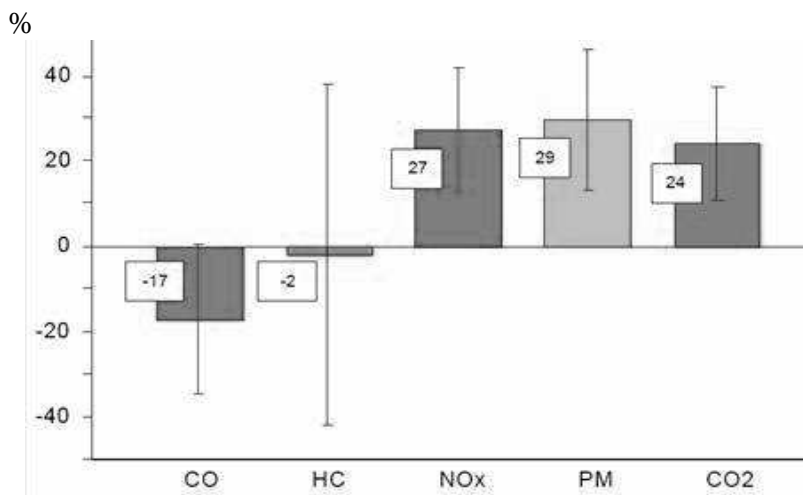
a – transportlīdzekļa darbības daudzums saistībā ar šo izmešu veidu (Hickman, 1999).



1.2. att. Degvielas radīto izmešu rašanās vietas automobilim

1.3.1. Karsto izmešu veidošanās nosacījumi

Karstie izmeši veidojas, kad transportlīdzekļa motors un katalizators ir sasnieguši darba temperatūru. Karstās emisijas galvenais ietekmējošais faktors (Hickman et al., 1999) vidējais ātrums un transportlīdzekļa motora uzbūves īpatnības, kā arī transportlīdzekļa nobraukums, motora temperatūra un darba mūžs, ceļa slīpums un transportlīdzekļa noslodze tieši ietekmē karstos izmešus. 1.3. attēlā ir redzama dažu atgāzu procentuālā izmaiņa, ja dīzeļmotors ir darbināts ar ieslēgtu gaisa kondicionēšanas sistēmu. Ir redzams, ka CO₂ un NO_x gāzu daudzums palielinās vidēji par 25% un nenozīmīgi samazinās CO un HC atgāzes.



1.3. att. Gaisa kondicioniera ietekmes uz dīzeļmotora emisiju attēlojums (Hickman et al., 1999).

Analizējot senākus informācijas avotus (Варшавский, 1969; Звонов, 1981; Лоскутов, 1982; Филин, 1995; Khan and Grèves, 1974), var secināt, ka dīzeļmotoru karstajos izmešos, jeb toksisko atgāzu sastāvā, visvairāk ir NO_x, CO un HC (Hames et al., 1971).

Kvēpi rodas molekulu pirolīzes procesa tvaika fāzē, degvielas strūklas zonā pie augstas temperatūras un nepietiekoša skābekļa daudzuma (Демочка и др., 1984). Sodrēju daļiņas ir neregulāras formas ogleklis ar lineāriem izmēriem 0.3 līdz 100 μm. Vairākumam šo oglekļa daļiņu izmērs ir no 0.4 līdz 5 μm (Варшавский, 1969). Kvēpu veidošanās mehānisms ir ļoti sarežģīts, nepietiekoši izpētīts un saistīts ar lielu skaitu ķīmisku reakciju.

Pēc japāņu zinātnieku pētījumiem (Hames et al., 1971) var spriest, ka galvenais parametrs, kas nosaka kvēpu rašanos dīzeļmotorā, ir temperatūra motora cilindrā liesmas zonā apkārt degvielas pilieniem. Visvairāk sodrēju rodas pie temperatūras 1800 °C, un to daudzums samazinās gan pie zemākām, gan pie augstākām temperatūrām. Piemēram, pie temperatūrām, kas ir mazākas par 1700 °C un lielākas par 2130 °C, nav pietiekami labvēlīgi apstākļi, lai veidotos kvēpi. Tai pašā laikā 1700 – 2030 °C ir temperatūra, pie kuras vislabāk notiek degvielas sadegšana dīzeļmotorā.

Sodrēju daudzums izplūdes gāzēs palielinās, ja palielina motora kompresiju, bet samazinās, ja degvielas sadegšanas liesmā ievada CO₂ (Вапшейд и др., 1977).

Lai kvēpi nenonāktu apkārtējā vidē, tiek lietoti kvēpu filtri. Kvēpu filtrs ir metāla cilindrs, kura pildījums ir karstumizturīgs keramisks materiāls, ar šūnainu struktūru, kas spēj aizturēt mazās kvēpu daļiņas. Dzinēja vadības bloks seko filtra caurplūdes spējai un nepieciešamības gadījumā iedarbina reģenerāciju. Tas ir kvēpu filtra attīrīšanas process no uzkrātajiem kvēpiem. Reģenerācija mēdz būt gan pasīvā, gan aktīvā (Вапшейд и др., 1977). Pasīvā reģenerācija notiek, ja kvēpi tiek sadedzināti kustības laikā, kad auto dzinējs darbojas ar slodzi – braucot pa šoseju, kad temperatūra filtrā sāk tuvuoties 350 – 400 grādiem un vairāk. Braucot pa pilsētu vai veicot mazus attālumus, uzsildīt kvēpu filtru līdz darba temperatūrai neizdodas, bet sensors fiksē, ka filtra piesārņojums ir pārsniedzis normu, tiek aktivizēts aktīvās reģenerācijas process. Dzinēja cilindros pēc degvielas pamatporcijas tiek padota vēl papildu porcija. EGR vārsts aizveras, un pēc vajadzības mainās turbīnas vadības algoritms. Līdz galam nesadedzis degmaisījums caur izplūdes kolektoru nokļūst gāzu katalizatorā, kurš uzstādīts pirms kvēpu filtra, un tur notiek degvielas sadegšana. Izplūdes gāzu, kas plūst cauri katalizatoram, temperatūra krietni palielinās, bet tālāk sakarsētās izplūdes gāzes ar 500 – 700 grādu temperatūru sasniedz kvēpu filtru. Kvēpi sāk izdegt. Palielinās degvielas patēriņš, un tukšgaitas apgriezieni dzinējam pieaug.

Tāpat kā kvēpu veidošanās process, dīzeļmotora degkamerā izveidojas slāpekļa oksīdi NO_x. Tie veidojas pie augstas temperatūras, oksidējoties slāpeklim. Labvēlīgākā temperatūra, kas veicina slāpekļa oksīdu veidošanos ir 2200 līdz 2600 K (Янышева и др., 1985). No visiem slāpekļa oksīdiem, kas ir dīzeļmotora atgāzu sastāvā, 90% ir NO (slāpekļa monoksīds).

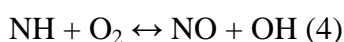
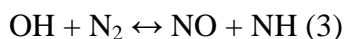
Slāpekļa monoksīda rašanās no atmosfēras slāpekļa un skābekļa degšanas procesā notiek saskaņā ar termisko teoriju, ko izstrādāja J. Zeļdovičs un V. Gluško (Зельдович и др., 1947). Saskaņā ar šo teoriju degvielas degšanas laikā gaisa slāpekļa oksidēšanos izsaka šādi galvenie nosacījumi:

- slāpekļa oksidēšanās notiek ārpus degšanas liesmas, sadedzes produktu zonā;
- slāpekļa oksīdi rodas pie augstas temperatūras, neatkarīgi no degvielas veida;
- slāpekļa oksidēšanās notiek pēc ķēdes reakcijas, mijiedarbojoties slāpekļa un skābekļa molekulām un atomiem;
- slāpekļa oksīdu veidošanās ir atkarīga no sadedzes produktu atdzesēšanas ātruma;
- nevienmērīga temperatūra degšanas zonā būtiski ietekmē slāpekļa oksīdu rašanos.

Slāpekļa oksidēšanās notiek pēc šādas ķīmiskas reakcijas (Салова, 1998):



Reakcijas 1 un 2 notiek pie liesa degmaisījuma sadedzes, kur $\alpha \geq 0.8$. Kad sadedzes procesā tiek izmantots trekns degmaisījums, kur $\alpha < 0.8$, slāpekļa oksīda veidošanās mehānisms var būt kombinēts un izsakāms pēc šādām sakarībām:



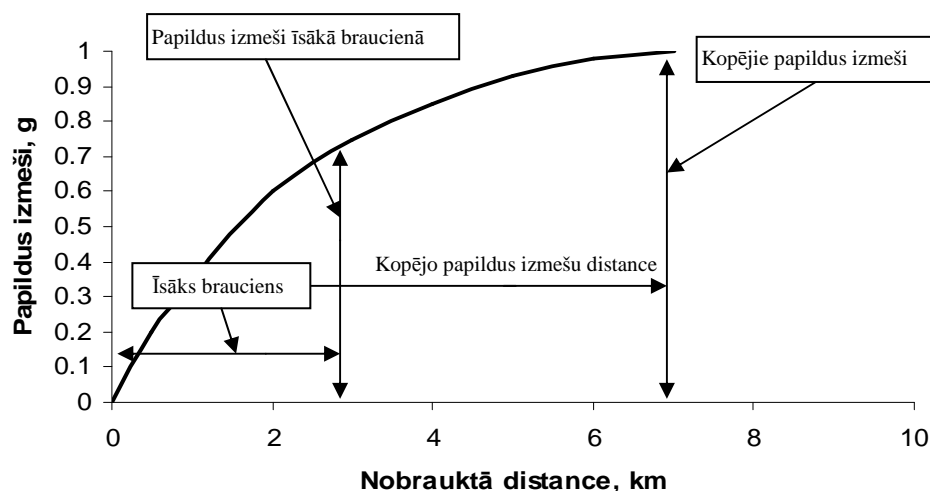
Reakcijā 1 notiek slāpekļa (N_2) saites saraušana, taču, ja izplūdes gāzes tiek strauji atdzesētas, tad notiek slāpekļa oksīdu sasalšana maksimālās koncentrācijas līmenī, līdz ar to NO veidošanās samazinās (reakcija 2). Tāpēc NO koncentrācija ir praktiski nemainīga kā degšanas procesa beigās, tā arī izplūdes gāzēm nonākot pa izpūtēja cauruli atmosfērā.

Ņemot vērā pašreizējo situāciju, karsto toksisko izmešu samazināšanai tiek izstrādāti risinājumi trijos pamatvirzienos:

- degmaisījuma sagatavošanas un degšanas procesa uzlabošana;
- izplūdes gāzu neitralizācija;
- kompleksie risinājumi, kuri ietver gan motora pilnveidošanu, gan izplūdes gāzu neitralizāciju.

1.3.2. Papildus izmešu rašanās iespējas

Aukstie izmeši, jeb starta papildus izmeši, rodas pie auksta motora darbības. Starta papildus izmešus ietekmē vidējais ātrums, apkārtējā vides temperatūras un nobrauktais attālums (Hickman et al., 1999). Papildus izmešiem ir tendence pieaugt, ja starta temperatūra ir pazemināta. Transportlīdzekļu radītie izmeši stabilizējas tikai tad, kad tas ir pilnībā uzsilis un ir nepieciešams nobraukt noteiktu attālumu („aukstā distance”) pirms šis stāvoklis tiek sasniegts. Šī distance mainās atkarībā no transportlīdzekļa veida, vides un spēkratu braukšanas režīma. Braucienos, kas ir vienādi vai nedaudz garāki par auksto distanci, rodas kopējie papildus izmeši (sk. 1.4. att.) (Šmigins, 2008).



1.4. att. Brauciena garuma un papildus izmešu diagramma (Hickman et al., 1999)

Kustības uzsākšanas izmešu daudzums, ņemot vērā to, ka tie rodas tikai brauciena sākuma daļā, tiek izteikti kā radītais daudzums uz vienu braucienu, nevis visa brauciena laikā. Izmešu faktors E_2 , tiek aprēķināts kā transportlīdzekļa vidējā ātruma, dzinēja temperatūras, brauciena garuma un brauciena aukstās daļas garuma funkcija. Darbība „a” ir braucienu skaits. Šāda procedūra tiek lietota tikai vieglajiem automobiļiem, jo dati par citiem transporta veidiem ir ļoti ierobežoti, tāpēc aukstie uzsākšanas izmeši tiek novērtēti vienkārši kā konstante.

1.3.3. Iztvaikojošo izmešu faktori

Iztvaikojošie zudumi no transportlīdzekļiem ir atkarīgi no četriem galvenajiem faktoriem (Reiter, 1997):

- transportlīdzekļu tehnoloģijas;
- apkārtējās vides temperatūras un tās ikdienas svārstības;
- degvielas iztvaikojamības;
- braukšanas apstākļiem.

Ir četrus veidus iztvaikojošie zudumi (Reiter, 1997):

- uzpildīšanas zudumi, kuri veidojas, kad tiek papildīta transportlīdzekļa degvielas tvertne;
- diennakts elpošanas zudumi, kuri izveidojas nakts-dienas temperatūras cikla dēļ, izraisot degvielas tvertnes satura saraušanos un izplešanos, izgrūž piesātinātos izgarojumus ārā izplešanās procesā;
- karsto sūču zudumi, kuri parādās, kad transportlīdzekļu dzinējs ir izslēgts pēc darbināšanas, un temperatūras izlīdzināšanās izraisa degvielas iztvaikošanu noteiktās dzinēju daļās;
- gaitas zudumi ir iztvaikojošie zudumi, kuri parādās transportlīdzekļu darbības laikā.

Uzpildīšanas zudumi parasti tiek attiecināti uz degvielas aprites ķēdi, bet ne uz transportlīdzekļa izmešiem. Karsto sūču zudumi un diennakts zudumi sastāda iztvaikojošo zudumu galveno daļu. Jaunākajos transportlīdzekļos šie zudumi tiek notverti ar transportlīdzekļos iebūvētiem izgarojumu slazdiem – oglekļa tvertnēm.

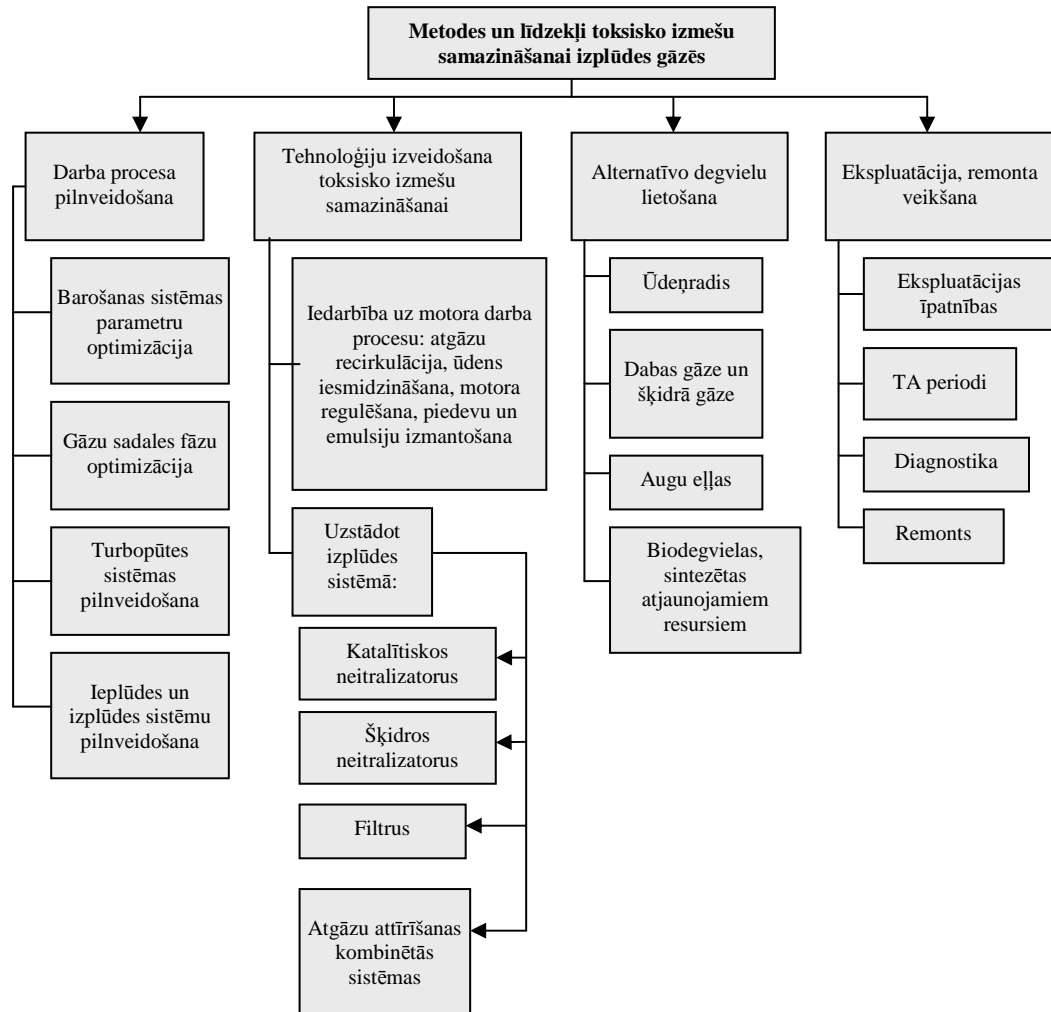
1.4. Dīzeļmotoru izmešu samazināšanas tehnisko risinājumu ietekme uz izmešu sastāvu

Pieaugot transporta plūsmai, palielinās ne tikai slāpekļa oksīdu (NO_x) koncentrācija, bet arī tvana gāze (CO), gaistošie organiskie savienojumi, cietās daļiņas un citi veselībai kaitīgi savienojumi.

Izplūdes gāzes no autotransporta visvairāk koncentrējas cilvēka ķermeņa līmenī, līdz ar to tiek ieelpotas lielā daudzumā. Gaisa piesārņojums Rīgā jau tagad sasniedz lielāko Eiropas pilsētu gaisa piesārņojuma līmeni. Pēdējo trīs gadu laikā zinātnieki no grupas „Air Pollution and Health: A European information” (APHEIS) pēta kaitīgo vielu koncentrāciju gaisā un iedzīvotāju mirstības dinamiku. Pētījumi parādīja (Liepiņš, B.g.), ka mirstība no slimībām, kas saistītas ar gaisa kvalitāti, ir viena no lielo pilsētu galvenajām problēmām.

Ne tikai pilsētās tiek darbināti spēkrati ar iekšdedzes motoriem. Arī lauku teritorijās un uz maģistrālēm izmanto spēkratus gan lauku apstrādei, gan transportā. Šo transporta līdzekļu izplūdes gāzēs ir tikpat liels toksisko atgāzu daudzums, jo, piemēram, lauksaimniecības tehnikā netiek izmantotas katalītiskās atgāzu attīrīšanas sistēmas.

Lai uzlabotu situāciju, kas saistīta ar izplūdes gāzu nelabvēlīgo ietekmi uz apkārtējo vidi, tiek veikti pilnveidojumi vairākos virzienos, sākot ar motora konstrukciju un mezglu uzlabojumu un beidzot ar pareizu spēkratu ekspluatāciju (Hickman et al., 1999) (sk. 1.5. att.).



1.5. att. Toksisko izmešu samazināšanas metodes izplūdes gāzēs (Hickman et al., 1999)

1.4.1. Degvielas sastāva un barošanas sistēmas nozīme izmešu sastāva veidošanā

Izplūdes gāzu toksiskums lielā mērā ir atkarīgs no degvielas pilnīgas sadegšanas un siltuma intensitātes. Kā apstiprinājies vairākos pētījumos (Ищук, 1987; Смирнов и др., 1977; Файплейб, 1974; Янышева и др., 1985), izšķiroša nozīme degšanas procesā ir barošanas sistēmas parametriem. Mūsdienu dīzeļmotoriem ir uzstādītas tādas barošanas sistēmas, kas nodrošina samērā labu degvielas sadegšanas procesu, līdz ar to mazāku toksisko atgāzu daudzumu izplūdes gāzēs.

Degvielas veids un iespējamās novirzes barošanas sistēmas regulēšanā noved pie pastiprināta motora detaļu izdiluma un izjauc sadegšanas procesa norisi dīzeļmotora cilindrā, līdz ar to izraisa paaugstinātu toksisko komponentu saturu izplūdes gāzēs (Баширов, 1978; Ждановский, 1977; Кривошеева и др. 1979; Малов, 1977; Николаенко, 1984).

Degvielas blīvums, viskozitāte, vārīšanās temperatūra un siltumietilpība būtiski ietekmē degmaisījuma kvalitāti un sadegšanas procesu. Degvielas molekulārā struktūra

un tās sastāvs ietekmē pirms aizdedzes reakcijas, aizdegšanās īpašības un sadegšanas ātrumu, kā arī nepieciešamo gaisa daudzumu degšanai.

Pētījumu par degvielas ietekmi uz dīzeļmotora darbību veica J. Gnatjuks (Гнатюк и др., 1974), kas izmantoja 85% butāna un 15% fosilās dīzeļdegvielas maisījumu. Tika konstatēts, ka izmantojot šādu degvielu dīzeļmotorā D20, CO koncentrācija izplūdes gāzēs samazinājās trīs reizes, bet slāpekļa oksīdi un HC – divas reizes. Jāpiezīmē, ka šāda degvielas maisījuma pielietošana dīzeļmotorā bija saistīta ar nozīmīgām konstruktīvām izmaiņām barošanas sistēmā.

Izplūdes gāzu toksisko komponentu daudzums ir atkarīgs no degvielas iesmidzināšanas momenta, tās iesmidzināšanas ilguma, iesmidzināšanas spiediena un kvalitātes. G. Stamps (Stump, 1973) pētīja barošanas sistēmu parametru ietekmi uz dažādiem dīzeļmotoriem. Eksperimentāli tika noteikts, ka, palielinot plunžera diametru no 11 uz 13 mm, slāpekļa oksīdu un ogļūdeņražu samazinājums bija neliels, taču cieto daļiņu koncentrācija izplūdes gāzēs samazinājās divas reizes. Plunžera diametra palielināšana ļauj palielināt degvielas iesmidzināšanas ātrumu, bet samazināt ilgumu. Tādu pašu rezultātu deva iesmidzināšanas spiediena palielināšana. Palielinot iesmidzināšanas spiedienu, tika uzlabota arī izsmidzināšanas kvalitāte. Pie šādas degvielas padeves dīzeļmotorā uzlabojās degšanas process, samazinājās ogļūdeņraži (HC) un dūmainība, bet palielinājās slāpekļa oksīdi (NO_x).

Pētījumos noteikts (Николаенко, 1990), ka sprauslu smidzinātāju spiediena samazināšana par 2 līdz 6 MPa, palielina iesmidzināšanas ilgumu par 15%. Šāda nebūtiska parametra izmaiņa būtiski ietekmē sadegšanas procesu, līdz ar to dīzeļmotora darbību. Savukārt, palielinot degvielas daudzumu, palielinās iesmidzināšanas laiks, pasliktinās degmaisījuma un sadegšanas kvalitāte, kā arī tiek palielināti siltumsprigumi, kas pastiprināti veicina virzuļgrupas izdilumu, palielina degvielas patēriņu, dūmainību un toksisko izmešu daudzumu (Фомин и др., 1983).

Degvielas iesmidzināšanas kvalitāte ir atkarīga arī no sprauslas hidrauliskajiem rādītājiem. Lai nodrošinātu labākas kvalitātes degmaisījumu, iesmidzinātās degvielas pilieni ir jābūt pēc iespējas mazākiem. Taču, lai panāktu šādu nosacījumu, palielinās iesmidzināšanas laiks, kas veicina nepilnīgu degvielas sadegšanu un nesadegušo ogļūdeņražu palielināšanos izplūdes gāzēs (Жернов, 1985).

Negatīvu ietekmi uz dūmainību nosaka augstspiediena degvielas vada izmērs. Palielinot tā iekšējo diametru no 1.6 uz 2.4 mm, palielinās cieto daļiņu jeb kvēpu daudzums izplūdes gāzēs no 4 līdz 12 reizēm dažādos motora darbības režīmos. Tas izskaidrojams ar papildus degvielas iesmidzināšanu spiediena rezonanses rezultātā. Ja šādā degvielas vadā tiek iemontēts spiediena izlīdzinātājs, tad ogļūdeņražu koncentrācija izplūdes gāzēs samazinās 5 līdz 6 reizes (Schumarm, 1973).

R.I. Hams (Hames et al., 1971) veica eksperimentus, kur tika izmainīts smidzinātāju urbumu diametrs un daudzums. Diametra palielināšana no 0.14 līdz 0.17 mm samazināja CO koncentrāciju izplūdes gāzēs par 20 – 40%, atkarībā no slodzes. Savukārt urbumu skaita samazināšana no 8 uz 6, pie konstanta ātruma un iesmidzināšanas spiediena samazināja slāpekļa oksīdu daudzumu izplūdes gāzēs par 33% pie 1200 min^{-1} .

Pētījumi pierāda, ka veicot kompleksus pasākumus barošanas sistēmas pilnveidošanā, var samazināt slāpekļa oksīdu daudzumu izplūdes gāzēs līdz pat 44%, bet ar nosacījumu, ka palielinās dūmainība un CO, kā arī nedaudz pieaug degvielas patēriņš. Tāpēc savlaicīga un kvalitatīva barošanas sistēmas tehniskā apkope, kura ietver arī gaisa pievada apkopi, ir svarīga, lai samazinātu dūmainību un toksisko komponentu daudzumu dīzeļmotora izplūdes gāzēs.

1.4.2. Degvielas iesmidzināšanas momenta regulējuma būtiskums izmešu sastāva veidošanās procesā

Degvielas iesmidzināšanas moments ir regulējams parametrs, kurš tiešā veidā ietekmē sadegšanas procesu dīzeļmotora cilindrā (Sachse, 1975). Ja iesmidzināšanas moments tiek izmainīts attiecībā pret optimālo, tas būtiski ietekmē sadegšanas procesu dīzeļmotora cilindrā, līdz ar to ietekmējot motora darbību, tā jaudu, ekonomiskos rādītājus un toksisko izmešu daudzumu.

W.M. Skots (Scott, 1972) veicot pētījumus tiešās iesmidzināšanas dīzeļmotoram par toksisko komponentu daudzumu dīzeļmotora atgāzēs, konstatēja, ka samazinot iesmidzināšanas momenta apsteidzes leņķi par 12° , iespējams samazināt slāpekļa oksīdu daudzumu izplūdes gāzēs divas reizes, bet dīzeļmotorā ar priekškameru šis rādītājs samazinājās nebūtiski.

I. Sachse (Sachse, 1975) pētīja iesmidzināšanas momenta ietekmi uz izplūdes gāzu toksiskām komponentēm dažādos slodzes režīmos. Tika konstatēts, ka, ieregulējot vēlāku iesmidzināšanas momentu, samazinājās slāpekļa oksīdu daudzums atgāzēs, bet nebūtiski palielinājās CO un kvēpu daudzums pie mazas slodzes. Taču, motoram darbojoties pie nominālas slodzes, CO un kvēpu daudzums palielinājās būtiski. Izmainot iesmidzināšanas momentu par 4° vēlāku, CO palielinājās sešas reizes, bet dūmainība četras reizes. Savukārt, izmainot iesmidzināšanas momentu par 1° , slāpekļa oksīdu daudzums samazinājās par 200 ppm (0.02%).

Pētnieki P. Eyzat un X. Lysx (Eyzat et al., 1972) pierādīja, ka degvielas iesmidzināšanas moments būtiski ietekmē slāpekļa oksīdu veidošanos, jo tiek izmainīts gan sadegšanas procesa ātrums, gan temperatūra.

V. Smailis (Смайлис, 1972), veicot pētījumus par slāpekļa oksīda veidošanos dīzeļmotoros, konstatēja, ka, izmainot iesmidzināšanas momentu tā, ka slāpekļa oksīdi samazinās divas reizes, degvielas patēriņš palielinājās par 10 līdz 15%.

Visi pētījumi par dīzeļmotoru izplūdes gāzēm satur informāciju par iesmidzināšanas momenta apsteidzes leņķi, un galvenais secinājums ir, ka, samazinot šo leņķi, slāpekļa oksīdi izplūdes gāzēs samazinās, bet palielinās citas toksiskās komponentes. Savukārt, palielinot iesmidzināšanas momenta apsteidzes leņķi, process ir pretējs. Tāpēc jārod iespēja optimizēt iesmidzināšanas momentu katram dīzeļmotoram, lai tas būtu piemērots arī izmantotajai degvielai.

1.4.3. Atgāzu katalītisko neitralizatoru izmantošana

Selektīvās katalītiskās reducēšanas (SCR) tehnoloģija ir paredzēta, lai slāpekļa oksīda (NO_x) reducēšanās reakcijas notiktu oksidējošā vidē. To sauc par „selektīvu”, jo tā samazina NO_x līmeni, izmantojot amonjaku kā katalizatoru. Reducēšanai parasti izmanto urīnvielu, citādi zināmu kā dīzeļmotora izplūdes šķidrums, kas ātri hidrolizējas, lai radītu amonjaka oksīdu izplūdes gāzu plūsmā (Gasoline-Engine..., 2006).

Dīzeļmotors darbojas ar dažādu gaisa pāruma koeficientu, kas parasti ir lielāks par 1. Ja motors darbojas ar pilnu slodzi, gaisa pāruma koeficients λ ir aptuveni 1.3. Pie motora daļējas noslodzes gaisa pāruma koeficients λ var sasniegt 18. Lielā gaisa daudzuma dēļ degviela var tikt nepilnīgi sadedzināta (Berjoza, 2007).

Slāpekļa dioksīds tiek uzskatīts par vienu no būtiskākajām dīzeļmotoru toksiskajām komponentēm, kas rodas pie augstas sadegšanas temperatūras un augstiem spiedieniem un zema sadedzes ātruma. NO_x emisija pieaug, ja ir liels gaisa pāruma koeficients, kā arī pie nelielām slodzēm (Berjoza, 2007).

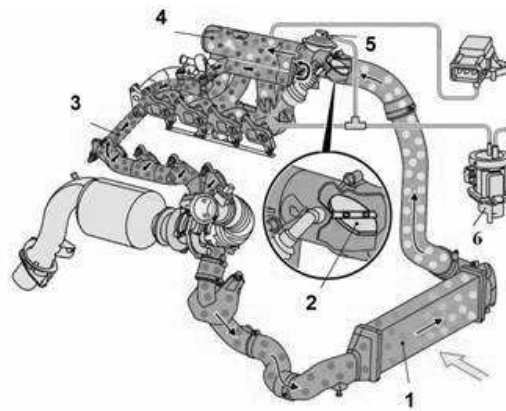
Toksisko izmešu samazināšanai dīzeļmotoram var tikt izmantoti oksidējošie trīs komponentu katalizatori. Katalizators tiek veidots no 1 – 2 g platīna pārklājuma.

Oglekļa oksīdu pārveido par oglekļa dioksīdu, bet CH komponenti līdz 90% konvertē par CO₂ un ūdeni H₂O. Sakarā ar lielo skābekļa daudzumu izplūdes gāzēs, katalizatora darbība vērojama jau pie 1700 °C. Optimālā darba temperatūra ir 250 – 3500 °C (Berjoza, 2007).

Modernajiem dīzeļmotoriem tiek uzstādītas izplūdes gāzu recirkulācijas sistēmas, lai samazinātu NO_x saturu atgāzēs. Izplūdes gāzu recirkulācija var būt līdz 40% no tilpuma. Slāpekļa oksīdus šādā veidā var samazināt līdz 40%.

Dīzeļmotora EGR sistēma tiek kontrolēta ar vakuuma vārstu vai arī ar elektrisko soļu motorīnu. Gāzu recirkulācijas daudzums tiek ieregulēts atbilstoši motora temperatūrai, ieplūstošā gaisa temperatūrai turbīnas gaisa spiedienam un motora griešanās frekvencei.

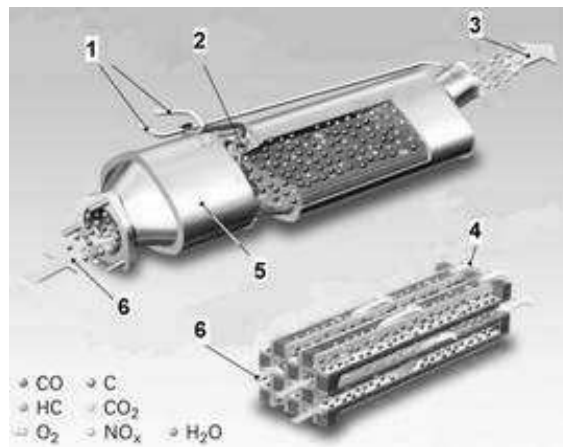
Dīzeļmotora EGR sistēma darbojas, ja motors ir uzsilis līdz darba temperatūrai un darbojas brīvgaitas vai daļējas slodzes režīmā. Dīzeļmotora EGR sistēma parādīta 1.6. attēlā (Berjoza, 2007).



1.6. att. **Dīzeļmotoru izplūdes gāzu recirkulācija ar elektroniski regulējamu droseļvārstu:**

1 – interkūlers; 2 – spiediena kontroles droseļvārsts; 3 – EGR kanāls; 4 – gāzu jaucēja korpuss;
5 – vakuuma vārsts; 6 – EGR kontroles vārsts

Dīzeļmotora atgāzu samazināšanai var tikt izmantots cieto daļiņu filtrs. Cieto daļiņu pārveidotājs sastāv no šūnveida filtrējošā elementa (sk. 1.7. att.).



1.7. att. **Cieto daļiņu filtrs:**

1 – spiedienu starpības devēji; 2 – temperatūras devējs; 3, 4 – attīrītās atgāzes bez cietajām daļiņām;
5 – katalizatora korpuss; 6 – izplūdes gāzes ar cietajām daļiņām

Cieto daļiņu kanāli ir izolēti. Atgāzes plūst caur porainām filtrējošām sienām. Cietās daļiņas motora darbības laikā tiek uzkrātas. Šī iemesla dēļ spiediens pirms cieto daļiņu filtra pakāpeniski aug un palielinās degvielas patēriņš, samazinās motora jauda. Tādēļ cieto daļiņu filtru nepieciešams reģenerēt. Reģenerācijas procesā uzkrātās cietās daļiņas tiek pārveidotas par CO₂ un ūdens tvaikiem. Cietās daļiņas tiek sadedzinātas aptuveni 550 °C temperatūrā (Berjoza, 2007).

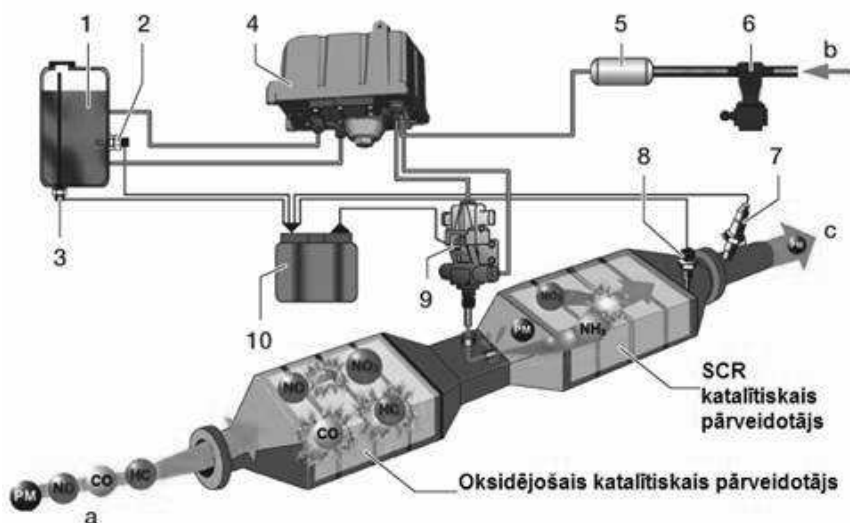
Cieto daļiņu sadedzināšanas temperatūras paaugstināšanu realizē, izmantojot papildus degvielu, ko iesmidzina degkamerā. Cieto daļiņu sadedzināšanas temperatūra tādā veidā palielinās par 100 °C. Pēc sadedzināšanas rodas neliels daudzums ļoti sīku pelnu. Šie pelni uzkrājas filtrā un laika gaitā to nosprosto. Tādēļ filtrs atkarībā no braukšanas stila un filtra konstrukcijas vidēji pēc 80000 līdz 240000 km ir jānoņem no automobiļa un jāiztīra (Berjoza, 2007).

Lai atgāzu attīrīšanas sistēma varētu labi darboties, jāizmanto zema sēra saturs degvielas, kurās sēra saturs nepārsniedz 0.05%. Kombinējot katalītiskos atgāzu pārveidotājus ar cieto daļiņu filtriem, ir izveidota pašreģenerējošā sistēma (CRT – *Continuously Regeneration Trap*) (Berjoza, 2007).

GD katalītiskie neutralizatori ir oksidējošā katalītiskā pārveidotāja un selektīvā katalītiskā neutralizatora ar atbilstošu urīnvielas padevi kombinācija.

Izplūdes gāzu attīrīšana un NO_x reducēšana notiek četrās pakāpēs (Berjoza, 2007) (sk. 1.8. att.):

- 1. pakāpes attīrīšana oksidējošajā katalītiskajā neutralizatorā. CO, CH, NO un kvēpu C reakcija ar O₂ veido oglekļa dioksīdu CO₂, ūdens tvaikus un slāpekļa dioksīdu NO₂, kas ir sākumprodukti SCR katalītiskajam neutralizatoram;
- 2. pakāpes attīrīšana urīnvielas katalītiskajā pārveidotājā. Urīnvielas šķīduma padeves ietekmē veidojas amonjaks NH₃;
- 3. pakāpes attīrīšana NO_x reducējošā katalizatorā. NO un NO₂ reakcijā ar NH₃ veidojas H₂O un N₂;
- 4. pakāpes attīrīšana amonija bloķēšanai. Veic amonjaka pārpalikuma oksidēšanu.



1.8. att. Selektīvais katalītiskais pārveidotājs:

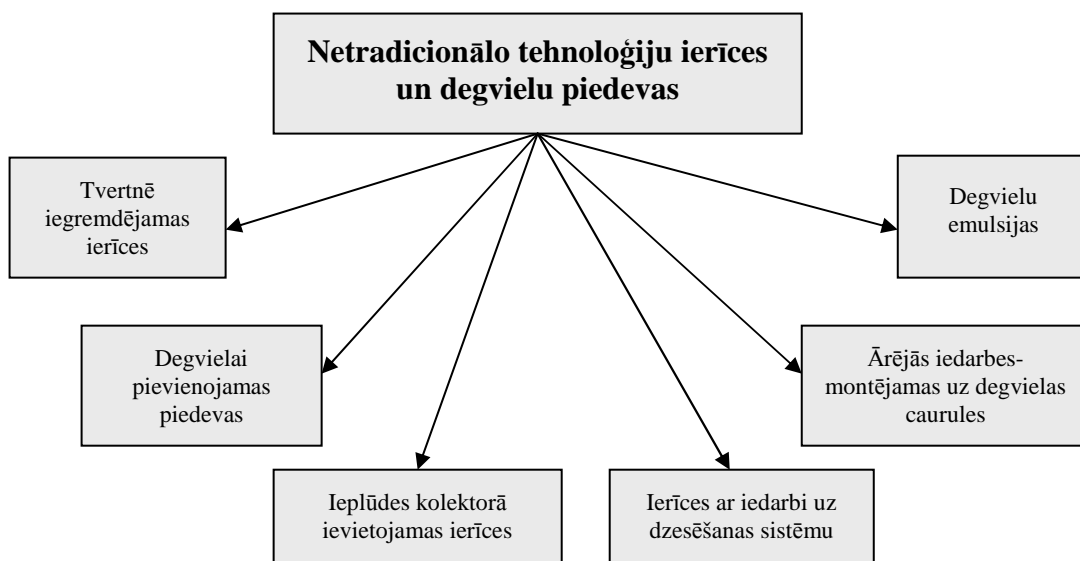
a – izplūdes gāzu ievadišana pārveides sistēmā; b – gaisa padeve; c – attīrītās izplūdes gāzes; 1 – amonjaka tvertne; 2 – temperatūras devējs; 3 – līmeņa devējs; 4 – padeves modulis; 5 – gaisa rezervuārs; 6 – kompresors; 7 – izplūdes gāzu NO_x devējs; 8 – izplūdes gāzu temperatūras devējs; 9 – mērījumu (dozēšanas) modulis; 10 – vadības bloks

GD katalizatorā iespējams pārveidot NO_x komponenti līdz 80%. Kontroli veic ar NO_x devēju. GD katalizators dod iespēju samazināt visas toksiskās motora komponentes līdz Euro 4 un Euro 5 normatīviem bez papildus cieto daļiņu filtriem (Diesel engine..., 2005). Taču šādas selektīvās katalītiskās pārveidošanas sistēmas ir sarežģītās un parasti tiek izmantotas tikai kravas automobiļos.

1.4.4. *Netradicionālo tehnoloģiju izmantošana toksisko izmešu daudzuma samazināšanai*

Viens no risinājumiem toksisko izmešu samazināšanai ir netradicionālo tehnoloģiju izmantošana motoru efektivitātes palielināšanā. Netradicionālo tehnoloģiju galvenais princips ir uzlabot sadegšanas procesu iekšdedzes motoros, lai ar mazāku degvielas daudzumu iegūtu lielāku enerģiju, kā arī minimizētu toksisko izmešu daudzumu. Netradicionālās metodes iedalās pēc darbības principa, iedarbes vietas un uzbūves. Katra no metodēm atšķiras ar laika patēriņu un sarežģītību montāžā, kalpošanas ilgumu, izmaksām un iedarbes pozitīvajiem rādītājiem.

Veicot vispārēju situācijas apskatu netradicionālo tehnoloģiju piedāvājumā, apskatot ražotāju mājas lapas, publikācijas, kas saistītas ar līdzīgiem tematiem, var secināt, ka vispārēja netradicionālo tehnoloģiju klasifikācija nav atrodama vai pieejama. Tādēļ tika izveidots iedalījums, kas balstās uz iedarbes veidu un iekārtas uzstādīšanas vietu (sk. 1.9. att.).

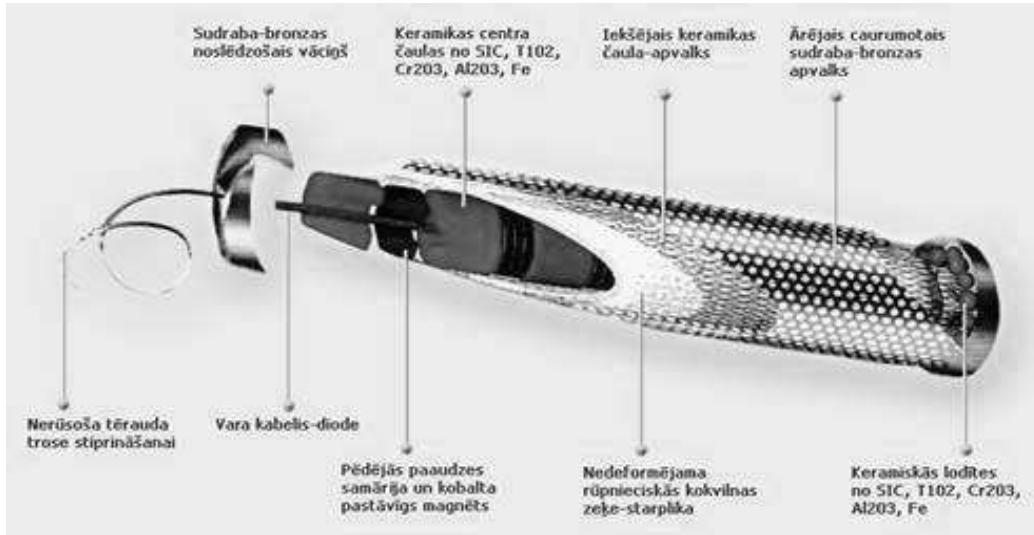


1.9. att. **Netradicionālo tehnoloģiju ierīces un pieejas motoru darbības uzlabošanai**

Sadegšanas optimizators *Supertech*

SuperTech ir degvielas modifikators jeb degvielas patēriņa optimizētājs, kas testēts vairāk nekā 15 dažādu valstu zinātniskās un tehniskās laboratorijās (Iespēja izdevumu samazināšanai..., B.g.). *SuperTech* izplatītājs Baltijas valstīs SIA „V-Auto LV”. Degvielas sadegšanas optimizators *SuperTech* pielietojams dīzeļmotoriem un benzīnmotoriem neatkarīgi no motora darba tilpuma un uzbūves. Katrai automašīnai jāizvēlas noteikts *Supertech*, jo tā efektīva darbība ir atkarīga no degvielas tvertnes izmēra. Lielākai tvertnei nepieciešams lielāka iekārta vai pat jāievieto vairāki sadegšanas optimizatori. *Supertech* nav piemērots darbībai stacionāros motoros ar stacionārām degvielas tvertnēm (EUROFuelSaver..., S.a.). Sadegšanas optimizatora uzbūve ir parādīta 1.10. attēlā (Supertech..., S.a.). Sadegšanas optimizatora unikālā

uzbūve un izmantotie materiāli nodrošina tā veiksmīgu darbību. Pateicoties iekārtā izmantoto cēlmetālu sinenerģijai degvielas tvertnē rodas magnētiskais lauks un infrasarkanais starojums, kas iedarbojas uz ogļūdeņražu molekulām un veido pagaidu starpmolekulāro saišu pavājināšanos, kā rezultātā tiek atvieglota skābekļa piekļuve ogļūdeņražu molekulām sadegšanas kamerā. Labāka skābekļa piekļuve degvielas molekulām nozīme to efektīvāku sadegšanu. Degvielas sadegšanas optimizatora pielietošanas gadījumā degvielas ekonomija svārstās no 6% – 19%, bet atgāzu sastāva uzlabojums no 40% – 95% (Supertech..., S.a.).

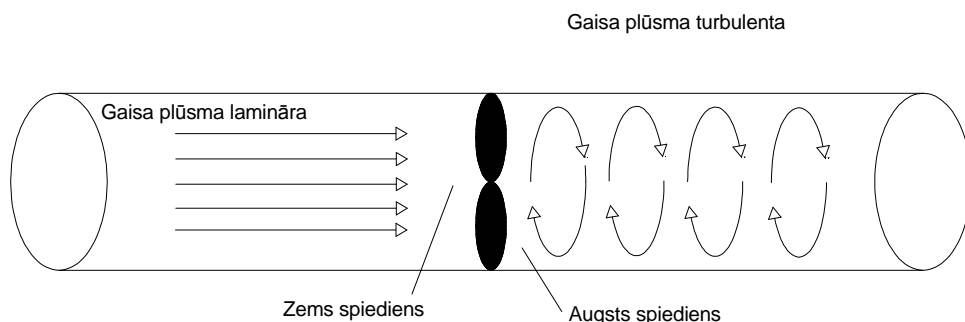


1.10. att. Sadegšanas optimizatora uzbūve

Iekārtas ar iedarbi uz gaisa padeves sistēmu

Kanādā izveidota iekārta, kas darbojas iekļūdes kolektorā pirms droses (OBST Fuel..., S.a.). Šīs iekārtas darbības princips ir palielināt gaisa plūsmas savirpušošanu. Visos iekšdedzes dzinējos galvenais priekšnosacījums, lai pilnīgāk sadedzinātu degvielu, ir vienmērīgs degmaisījums. Turbulenta plūsma ir šķidrums vai gāzes plūsma, kurā pretstatā laminārai plūsmai ir virpuļi, kuri nemitīgi veidojas un norimst. Jebkurā punktā plūsmas ātrums un virziens nepārtraukti mainās. Turbulenta plūsma ir novērojama, ja plūsmas ātrums ir liels (Turbulenta plūsma..., B.g.).

Turbulentas gaisa plūsmas veidotāja galvenais mērķis ir nodrošināt šī procesa ātru un vienmērīgu norisi. Ierīce palīdz savirpuļot gaisa plūsmu iekļūdes kolektorā, tādā veidā uzlabojot degvielas un gaisa maisījumu, jo, kā zināms, turbulenta plūsma savā raksturā ir virpuļaina (OBST Fuel..., S.a.). Tā kā ierīcē nav dilstošu detaļu, tad tā kalpos visu automobiļa ekspluatācijas laiku. Ierīces darbības princips redzams 1.11. attēlā.



1.11. att. Turbulentas plūsmas ierīces darbības princips

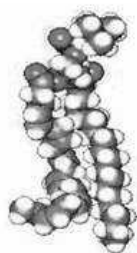
Ražotāju solītais ekonomiskums svārstās no 10% līdz 15%, bet dažos gadījumos pat līdz 23% (Tornado Gas..., S.a.).

Šī sistēma vairāk piemērota Otto motoriem, kur degmaisījums tiek sagatavots pirms *Tornado Air* sistēmas, taču to var pielietot arī dīzeļmotoros kopā ar gāzes barošanas iekārtu, vai arī ūdens iesmidzināšanas sistēmās ieplūdes kolektoros.

Analizējot ražotāja publicētos datus par degvielas ekonomiju, var secināt, ka tiek samazināts arī toksisko izmešu daudzums izplūdes gāzēs.

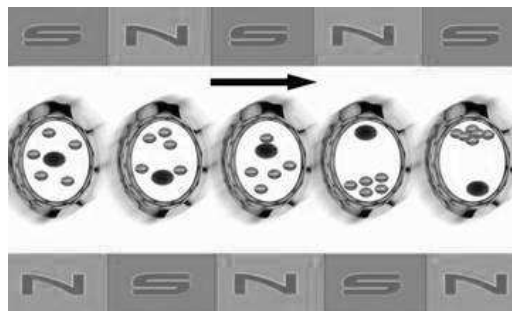
Ārējas iedarbes iekārtas – montējamas uz degvielas padeves caurules

Ārējas iedarbes iekārtas, kas uzstādāmas uz degvielas caurules un iedarbojas uz dīzeļdegvielu, tai plūstot caur aktivatora magnētisko lauku. Degvielas maisījuma sastāva īpatnība ir tāda, ka maisījuma molekulas ir nepolāras. Tas nozīmē, ka molekulām nav īsti izteikta lādiņa. Molekulas nav ne pozitīvas, ne negatīvas. Tomēr starp nepolārām molekulām var rasties pievilkšanās spēks. Elektroniem atrodoties nebeidzamā kustībā, tie uz mirkli var koncentrēties vienā molekulas pusē, t.i., nepolārā molekula (neuzlādēta) kļūst polārā (uzlādēta). Tas rada lādiņu pārdali blakus esošajās molekulās un starp tām veidojas starp molekulārās saites. Noteiktā attālumā starp molekulām pievilkšanās un atgrūšanās spēki līdzsvaro viens otru un veidojas noturīga sistēma, kas sastāv no degvielas maisījuma liela skaita dažādu molekulu (klasteru) (Automobiļu degvielas..., B.g.). Klusters ir daudzkodolu komplekss savienojums (Klusters..., B.g.). Klastera vizualizācija parādīta 1.12. attēlā.



1.12. att. **Klusters**

Aktivators sastāv no divām magnētu rindām, kuru polaritātes izkārtotas pamīšus, tādā veidā veidojot pārus ar pretējās rindas magnētiem. Magnētu izkārtojums parādīts 1.13. attēlā (Tornado Gas..., S.a.).



1.13. att. **Magnētu izkārtojums aktivatorā molekulu polarizācijai**

Elektroni molekulā ir viskustīgākās molekulas daļas un skaidri reaģē uz magnētiskā lauka spēka līnijām. Nokļūstot aktivatora pirmajā laukā, elektroni nedaudz maina savu kustības trajektoriju uz magnēta pāra ziemeļu pola pusi. Ar plūsmu pārnesot molekulas cauri aktivatoram, elektroni atkal tiecas uz magnēta pāra ziemeļu polu. To kustības trajektorija arvien vairāk tiecas uz ziemeļpola pusi. Plūsmai pārnesot molekulas

nākošajos magnētiskajos laukos, elektronu kustības trajektorijas (orbitāles) vēl vairāk pagarinās un tie koncentrējas molekulas ziemeļu pusē, bet pozitīvi lādētais kodols novirzās uz molekulas dienvidu daļu. Tādā veidā sākas daļēja degvielas molekulas polarizācija. Viena molekulas puse, kas ir vērsta uz ziemeļiem, pateicoties elektronu koncentrācijai, sāk iegūt negatīvu lādiņu, bet otra – uz dienvidu polu vērstā molekulas daļa, pateicoties pozitīvi lādētajam kodolam, iegūst pozitīvu lādiņu. Tāda daļēji polarizēta molekula, ar plūsmu pārnesta nākošajā magnētiskajā laukā, jau pati sāk veikt svārstību kustības (Automobiļu degvielas..., S.a.).

Noteiktā momentā tiek sasniegta pilnīga molekulas polarizācija (uzlāde), kad visi elektroni ir maksimāli koncentrēti no molekulas centra uz ziemeļu pusi (sk. 1.13. att.), bet kodols atrodas maksimāli tālu no molekulas centra uz dienvidu pusi. Tādējādi, molekulas puse, kas ir vērsta uz ziemeļiem, ir uzlādēta negatīvi, bet molekulas puse, kas ir vērsta uz dienvidiem – pozitīvi (Automobiļu degvielas..., B.g.).

Pateicoties efektīvākai degvielas molekulu sadegšanai, atbrīvojas lielāka enerģija, līdz ar to tā paša darba padarīšanai tiek patērēts mazāks daudzums degvielas. Ražotāju solītā ekonomija līdz 20% no iepriekšējā degvielas patēriņa, bet kaitīgo izplūdes gāzu samazinājums CO un CH par 40% – 50% (Automobiļu degvielas..., B.g.), taču nav pieminētas NO_x daudzuma izmaiņas.

Lai magnēts netraucētu automobiļa elektroniskā vadības bloka (EVB) darbību. ieteicamais attālums no aktivatora līdz automobiļa EVB ir ne tuvāk par divdesmit centimetriem (Super – fuelsaver..., S.a.).

Iekārtas ar iedarbi uz dzesēšanas sistēmu

Dzeses sistēmas uzdevums ir uzturēt motora darbības optimālo temperatūru. Šķidrums dzesēšanas motoram lielāko siltuma daļu uzņem dzesēšanas sistēma, mazāku eļļošanas sistēma un apkārtējā vide tieši no motora ārējās virsmas. Pie paaugstinātas motora temperatūras palielinās detaļu dilšana, kas var novest pie detaļu pārkaršanas un lūzumiem. Pie paaugstinātas motora temperatūras samazinās pildījuma koeficients, palielinās piededžu veidošanās, palielinās degvielas patēriņš (Miķelsons u.c., 2008).

Šī tehnoloģija iedarbojas uz dzesēšanas šķidrumu, bet ne uz degvielu. No fizikas zināms, ka jebkura gāze atdzesēta ir blīvāka nekā uzkaršēta. Tas nozīmē, ka atdzesētā tilpnē ietilps vairāk gāzes nekā uzsildītā. Labāka degmaistājuma sadegšana norisinās tur, kur ir vairāk skābekļa (CarUp..., B.g.).

Ierīces darbs pamatojas uz dabisko minerālu – BIO stikla īpašībām. Jebkurš šķidrums, nonākot saskarē ar BIO stiklu, zaudē virsmas spriegumu un tūlīt izplūst. Šī BIO stikla īpašība kļūva par galveno automobiļu ierīces CARUP izstrādāšanā.

BIO stikla izstrādāšana tiek veikta jau 40 gadu garumā. BIO stikla pamata komponenti ir magnetīts un kvarcs. BIO stikla unikālo īpašību izpēti veica Kurume rūpniecības universitātes zinātnieku grupa Japānā profesora Takaši Vatanabi uzraudzībā (CarUp..., B.g.). Pirmais pētījumu rezultāts bija tāds, ka BIO stikls izstaro infrasarkanos starus, kuriem piemīt antibakteriāla iedarbība, novērš nepatīkamu smaku un nodrošina attīrošu efektu. Uz šo īpašību pamata 1998. gadā veiksmīgi atrisināta problēma dezinficēšanas un attīrīšanas sistēmā, ko izmanto gaļas produkcijas apstrādē. Tas deva iespēju atteikties no ķīmisko vielu pielietošanas pārtikas rūpniecībā. Bez tā vēlāk ir noskaidrota BIO stikla spēja iedarboties uz jebkuriem šķidrumiem. Vielām nonākot saskarē ar BIO stiklu, tās piesātinās ar lielu jonu daudzumu ar negatīvo lādiņu un novājina virsmas spriegumu.

Dzesēšanas šķidruma modificēšanas laiks ir 7 – 20 dienas. Šajā laikā dzesēšanas šķidrums zaudē virsmas spraigumu. Šādā veidā modificēts dzesēšanas šķidrums izplūst un aizpilda visus mikroskopiskus nelīdzenumus. Pateicoties tam, dzinējā palielinās dzesēšanas kanālu kopējais saskares laukums ar šķidrumu. Šī BIO stikla īpašība pieļauj

uzlabot dzesēšanas šķidruma siltumapmaiņas īpašības un efektīvāk novadīt siltumu no degkamerām. Šādi pazemināta temperatūra uzlabo gaisa ieņemšanas efektivitāti. Gaisa daudzums, kas nonāk degkamerā, palielinās, tādēļ nozīmīgi uzlabojas degvielas maisījuma sadegšanas kvalitāte.

1.14. attēlā parādītā shēma demonstrē, kā šķidruma burbuļi samazina dzesēšanas šķidruma saskares laukumu ar karstu dzinēja virsmas zonu. Modificēta dzesēšanas šķidruma saskare ar dzesēšanas kanālu sienām dota 1.15. attēlā (CarUp..., B.g.).



1.14. att. **Parasta dzesēšanas šķidruma saskares ar dzesēšanas kanālu sienām attēlojums**



1.15. att. **Modificēta dzesēšanas šķidruma saskares ar dzesēšanas kanālu sienām attēlojums**

CARUP izplatītāji sola, ka pēc dzesēšanas šķidruma modificēšanas automobilim dīzeļdegvielas patēriņš samazināsies par 10% un vairāk. Apskatot vairākus informācijas avotus, kuros attēloti eksperimentu dati, lielākais iespējamais iegūtais degvielas patēriņa samazinājums ir 45.7%. Līdz ar patērētās degvielas daudzumu samazinās kaitīgo izplūdes gāzu apjoms CO līdz pat 96% un HC līdz pat 100% (CarUp Lab..., S.a.), bet nav minēts par NO_x izmaiņām.

Dīzeļdegvielas emulsijas

Emulsijas izgatavošanu un eksperimentālu testēšanu ir veicinājusi nepārtraukti pieaugošās degvielas cenas. Uzsākot dīzeļdegvielas emulsiju plašu pielietojumu dīzeļdzinēju darbināšanā, varētu nozīmīgi pagarināt izsīkstošos naftas resursus, tādā veidā nodrošinot enerģijas avotu pietiekamību līdz jaunu efektīvu enerģijas avotu izstrādei un masu ražošanas uzsākšanai.

Emulsija sastāv no diviem savstarpēji nešķīstošiem šķidrumiem, piemēram, ūdens un benzola. Emulsijā viens no šķidrumiem ir sīku pilieniņu veidā izkliedēts otrā, kurš kalpo par dispersijas vidi. Lai emulsija būtu stabila un tūlīt nenoslāņotos divos atsevišķos šķidrumos, ir vajadzīgs trešais komponents – emulgators. Emulgators parasti ir virsmas aktīva viela, kura nostājas uz dispersās fāzes pilieniņu virsmas, pasargājot tos no saplūšanas (Rauhvargers, 1996). Par ūdenī nešķīstošiem emulgatoriem var izmantot Ca, Mg ziepes.

Dīzeļdegvielas emulsijas sastāvā ir dīzeļdegviela, ūdens un emulgators. Ūdens daudzums emulsijā ir atkarīgs no emulsijas markas. Ražotāja piedāvājumā ir trīs veidu emulsijas *TDE – 10*, *TDE – 15* un *TDE – 20* (sk. 1.4. tab.), skaitlis apzīmējumā norāda ūdens procentuālo daļu dīzeļdegvielā disperso daļiņu veidā. Mūsdienu tehnoloģijas, izmantojot emulgatorus, ļauj izveidot ūdens dīzeļdegvielā emulsijas ar ūdens saturu līdz pat 30%, kuru glabāšanās ilgums ir neierobežots. Emulgatora sastāvs šajās emulsijās sastāda 1.5% – 2.5% no emulsijas masas.

1.4. tabula. **Fizikāli – ķīmisko rādītāju normatīvi**

Rādītājs	TDE – 10	TDE – 15	TDE – 20
Ūdens saturs, %	10±1	15±1	20±1
Cetānskaitlis	40	40	40
Kinemātiskā viskozitāte pie 20°C, m ² ·s ⁻¹	1.8 – 7.0	1.8 – 7.0	1.8 – 7.0
Maksimālais sēra saturs, %	0.2	0.2	0.2
Pelnu saturs, %	≤ 0.01	≤ 0.01	≤ 0.01
Blīvums pie 20°C, g l ⁻¹	≤ 870	≤ 870	≤ 870
Sastingšanas temperatūra, °C	≤ -10	≤ -10	≤ -10
Galējā filtrējamības temperatūra, °C	≤ -5	≤ -5	≤ -5

Emulsiju pagatavošanas galvenais nosacījums ir emulgatora pilnīga izšķīdināšana, tad dispersās fāzes daļiņu lēna pievienošana un pilnīga izšķīdināšana dispersijas vidē. Iekārtai emulsijas pagatavošanai ir jābūt vienkāršai uzbūves ziņā, viegli remontējamai un automatizējamai, kā arī viegli ekspluatējamai. Emulsiju ražošanai var izmantot sekojošas iekārtas:

- 1) koloīdās dzirnavas (Koloīdās dzirnavas..., B.g.);
- 2) mehāniskos maisītājus;
- 3) strūklas dispersātorus;
- 4) ultraskaņas un kavitācijas iekārtas;
- 5) hidrodinamiskās sirēnas (Hidrodinamiskās sirēnas..., B.g.).

Komplicētāku iekārtu ar pilnībā automatizētu darbības procesu piedāvā ražotāji no Krievijas. Iekārtas darba ražīgums ir 30 tonnas emulsijas stundā, elektroenerģijas patēriņš 110 kW h⁻¹, emulgatora patēriņš 1.5% – 2.5% no kopējās emulsijas apjoma, ūdens patēriņš līdz 30% no kopējās emulsijas apjoma, gabarītmēri 2.2 × 6.3 m. Pielietojot dīzeļdegvielas emulsijas, iespējams iegūt degvielas ekonomiju līdz 15%, atkarībā dzinēja tipa (Green Car..., S.a.). Savukārt kaitīgo izplūdes atgāzu samazinājumu pa sastāvdaļām ir šāds (Emulsified Fuels..., S.a.):

- NO_x izmešu samazinājums līdz 25%;
- mehānisko daļiņu samazinājums līdz 60%;
- dūmainības samazinājums līdz 80%;
- CO izmešu samazinājums līdz 5%.

1.4.5. Biodegvielu izmantošana dīzeļmotoru darbināšanai

Biodīzeļdegvielu var izmantot jebkuros automobiļos, kuri ir aprīkoti ar dīzeļmotoru. Jāņem tikai vērā tas, ka pirms tīras (B100) biodīzeļdegvielas lietošanas obligāti jāsapatavo motora degvielas pievadsistēma, jānomaina gumijas degvielas vadi, degvielas filtru gumijas, blīvgredzeni utt., izņemot gadījumus, ja transportlīdzekļa ražotājs ir jau sagatavojis spēkratu biodīzeļdegvielas izmantošanai. Biodīzeļdegvielai piemīt labas šķīdinātāja īpašības, kas var nelabvēlīgi ietekmēt krāsotas virsmas un

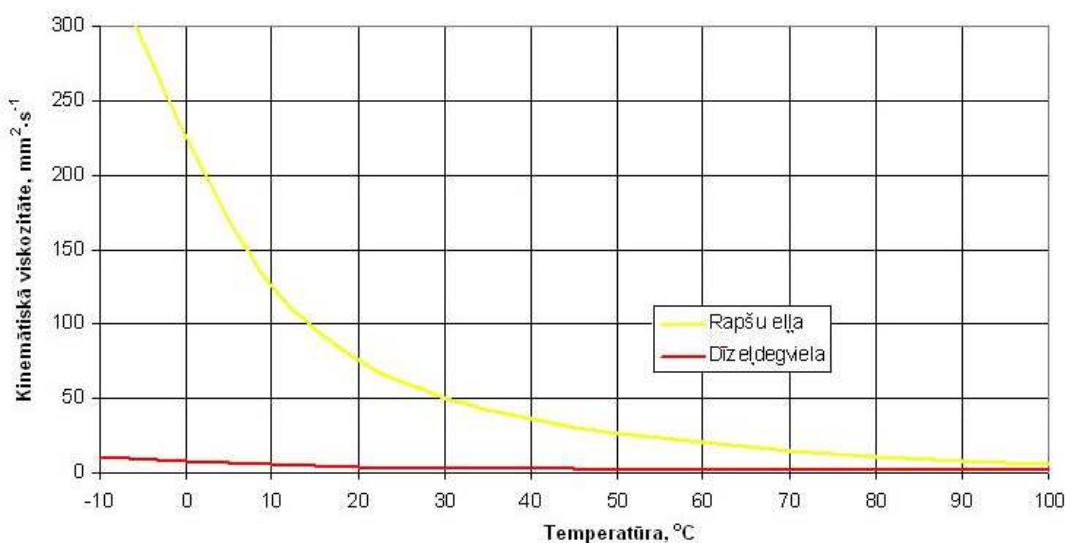
degvielas lietošanas sākumā var veicināt biežāku degvielas filtru maiņu. Biodīzeļdegvielas lietošanas laikā ir arī jāreķinās ar nedaudz samazinātu motora jaudu un palielinātu degvielas patēriņu, taču ievērojami samazināsies kaitīgo elementu (ogļūdeņražu, oglekļa monoksīda u.c.) daudzums izplūdes gāzēs. Vairumā gadījumu negatīvi transportlīdzekļu ekspluatācijas rādītāji biodīzeļdegvielas lietošanas laikā rodas, standartam EN14214 neatbilstošu, degvielas fizikāli-ķīmisko īpašību dēļ. To veicina nepareiza degvielas uzglabāšana un nekvalitatīvu izejvielu izmantošana (Šmigins, 2010).

Attīrīta un bagātināta biogāze pēc savām īpašībām ir līdzīga saspīestajai gāzei jeb metānam. Līdz ar to šīs gāzes izmantošana spēkratu motoros līdzīga saspīestās gāzes izmantošanai un spēkratu motoru konstrukcijas var būt līdzīgas (Biogāze..., B.g.). Biogāzi iespējams izmantot gan Otto motoros, gan arī dīzeļmotoros. Ottomotoros biogāzi var izmantot tīrā veidā, bet dīzeļmotoros nepieciešams papildus 25 – 30% dīzeļdegvielas iesmidzināšana. Dīzeļdegviela nodrošina degmaisījuma aizdedzināšanu (saspiežot gāzi, tās aizdegšanās nenotiek). Viena no dārgākajām biogāzes pārbūves iekārtas sastāvdaļām ir saspīestās gāzes baloni, kuriem jānodrošina pietiekošs tilpums automobiļa vidējam nobraukumam vismaz 300 – 400 km (Biogāze..., B.g.). Šāda nobraukuma nodrošināšanai pat vieglajos automobiļos vajadzīgi vismaz divi baloni, kuriem jāiztur 250 – 300 bar liels spiediens. Tādēļ šie baloni tiek izgatavoti ar biežām sienām. Baloni var būt tērauda vai kompozītmateriālu. Tērauda baloni parasti ir daudz smagāki par kompozītmateriālu baloniem. Taču spēkrata pārbūve darbam ar biogāzi nav ekonomiski izdevīga, jo iespējams iegādāties lietotus automobiļus no Eiropas valstīm ar uzstādītu saspīestās gāzes iekārtu. Ekonomiski izdevīgāka ir biogāzes izmantošana spēkratos ar dīzeļmotoru, īpaši kravas automobiļos, jo tādā gadījumā spēkrata pārbūve ātri atmaksājas, īpaši ņemot vērā pašreizējo degvielas cenu pieaugumu (Biogāze..., B.g.).

1.5. Pētījumi par atgāzu sastāva izmaiņām, lietojot rapša eļļas degvielu

1.5.1. Dīzeļmotora pielāgošana darbam ar rapšu eļļu

Lai rapšu eļļu izmantotu kā degvielu dīzeļmotoros, ir nepieciešams uzstādīt sistēmu, ar kuras palīdzību rapša eļļas īpašības varētu tuvināt fosilās dīzeļdegvielas īpašībām. Sistēmas galvenais uzdevums ir samazināt rapša eļļas viskozitāti, kura pie normālām gaisa temperatūrām ir daudz augstāka (sk. 1.16. att.).



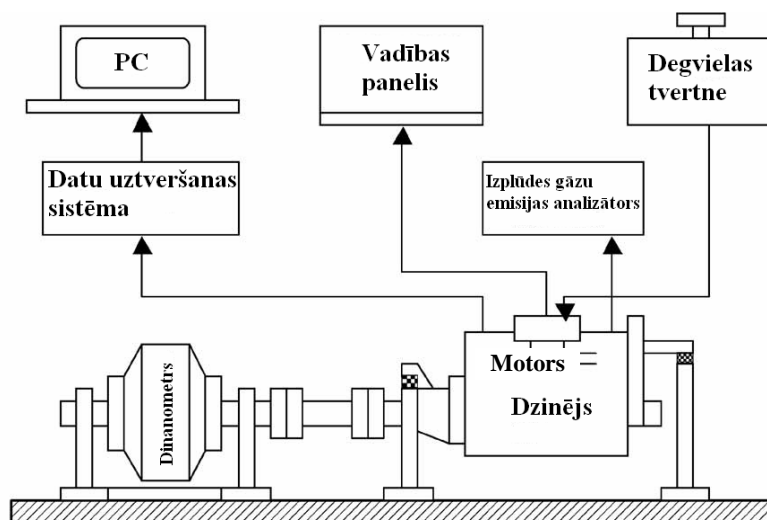
1.16. att. Rapša eļļas un dīzeļdegvielas viskozitātes salīdzinājums

Uzsildot rapša eļļu līdz 70 – 80 °C, tās viskozitāte līdzinās dīzeļdegvielas viskozitātei un to var izmantot dīzeļmotoru normālai darbībai (Dukulis, 2013).

Dīzeļmotoru darbināšanai ar rapša eļļu tiek pielietotas divas sistēmas: „divu tvertņu sistēma” un „vienas tvertnes sistēma”. Latvijā parasti tiek lietota „divu tvertņu sistēma”, kur motors tiek iedarbināts ar fosilo dīzeļdegvielu un pēc darba temperatūras sasniegšanas 70 – 80 °C tas tiek pārslēgts darbībai ar rapša eļļu. Taču daudz ērtāka ekspluatācijā ir „vienas tvertnes sistēma”, kur kā vienīgā degviela tiek pielietota rapša eļļa. Šāda sistēma pētīta LLU TF Spēkratu institūtā, un eksperimentālā kārtā ir uzstādīta uz automobiļa VW *GOLF III*.

1.5.2. Izmešu sastāva izmaiņas, lietojot augu eļļas maisījumus ar fosilo dīzeļdegvielu

Vācijā veikti testi ar TS2 tipa motoru ar gaisa dzesēšanu, tiešo iesmidzināšanu un 9.5 kW lielu jaudu (Hickman et.al., 1999) (sk. 1.17. att.). Motors tika darbināts ar augu eļļu un 25%, 50%, 75% maisījumiem ar fosilo dīzeļdegvielu, kā arī ar tīru dīzeļdegvielu. Ar visiem maisījumiem motors darbināts 1500 min⁻¹ apgriezienos. Darba gaitā mainīts motora noslogojums no 0% līdz 100% ar soli 25%. Ar atgāzu analizatora palīdzību noteikts CO, CO₂, HC un NO_x sastāvs atgāzēs.



1.17. att. Motora testēšanas stenda elementi

Apkopojot datus, var konstatēt, ka motora darbība (jauda, griezes moments), darbinot to ar augu eļļu un tās maisījumiem, ir praktiski vienāda ar darbību, darbinot to ar tīru dīzeļdegvielu. Darbinot motoru ar augu eļļu un tās maisījumiem, NO_x, CO un HC emisijas ir zemākas. Izmantojot 50% maisījumu, HC emisija ir nedaudz paaugstināta.

Citā pētījumā (EURO FuelSaver..., S.a.) emisijas salīdzinājumam, izmantojot fosilās dīzeļdegvielas maisījumus ar dažādu izcelsmju augu eļļām, tika izmantots universāls motors, kas var darboties kā Otto motors, tiešās iesmidzināšanas vai netiešās iesmidzināšanas dīzeļmotors ar četraktu darbības principu. Tas realizēts, nomainot dažādas daļas kloķvārpstas pārnēsumu mehānismā, cilindros un motora galvā. Tiešās iesmidzināšanas motors darbināts ar maisījumiem, kas saturēja 10% un 20% augu eļļas. Kopā izmantotas piecas augu eļļas: kokvilnas sēklu, sojas, saulespuķu, kukurūzas un olīvu kauliņu eļļa.

Izmantoto augu eļļu īpašības ir dotas 1.5. tabulā. Eksperimenti veikti ar katru no šiem degvielas veidiem, dzinējam darbojoties ar 2000 min⁻¹ pie vidējas un augstas noslodzes. Noteiktas četras atgāzu komponentes: dūmainība, NO_x, CO un HC.

1.5. tabula. **Dīzeļdegvielas un augu eļļas īpašības**

Degviela	Blīvums pie 15 °C, kg·m ⁻³	Viskozitāte pie 40 °C, mm ² ·s ⁻¹	Cetānskaitlis
Fosilā dīzeļdegviela	837	3	50
Kokvilnas sēklu eļļa	910	34	38
Sojas eļļa	925	33	38
Sauļspuķu eļļa	920	34	37
Kukurūzas eļļa	915	35	38
Olīvu kauliņu eļļa	925	32	39

Apkopojot iegūtos datus secināts, ka, izmantojot augu eļļas, NO_x un CO daudzums atgāzes pazeminājās, bet, izmantojot 20% maisījumu, NO_x un CO emisijas nedaudz palielinājās. Īpaši nemainījās HC emisija (EURO FuelSaver..., S.a.).

1.5.3. *Izmešu sastāva izmaiņas, mainot iesmidzināšanas momentu*

Rapšu eļļas piemērotība viencilindru dīzeļmotoriem

Pētījums veikts, lai nodrošinātu nepieciešamās zināšanas rapšu eļļas un fosilās dīzeļdegvielas siltuma efektivitātes un dīzeļmotora darbības uzlabošanai, darbinot ar maisījumiem (Hickman et.al., 1999). Lai atklātu sakarību starp dzinēja darba parametriem un īpatnējo degvielas patēriņu, pielietota regresīvā taisnleņķu kvadrātvienādojumu metode. Eksperiments veikts ar 30 : 70 (rapšu eļļa : fosilā dīzeļdegviela) maisījumu un divos galvenajos darba parametros 7.35 kW / 2000 min⁻¹ un 8.85 kW / 2000 min⁻¹. Apskatīti četri motora darba parametri – ieplūdes vārsta aizvēršanās leņķis (α), izplūdes vārsta atvēršanās leņķis (β), degvielas iesmidzināšanas moments (θ) un iesmidzināšanas spiediens (P, 104 Pa). Kopumā veikti 26 testi, kur α mainījās no 33 līdz 53, β no 33 līdz 53, θ no 14 līdz 22 un P no 1030.1 līdz 1422.5. Ar datora palīdzību tika atrasta optimāla visu četru parametru kombinācija pie abiem darba parametriem.

Tika iegūti šādi rezultāti: pirmajā darba parametrā: $\alpha = 40.7^\circ$, $\beta = 53^\circ$, $\theta = 19.1^\circ$, P = 14.22 MPa, $g_e = 288.65 \text{ g kW h}^{-1}$. Otrajā darba parametrā: $\alpha = 33^\circ$, $\beta = 41^\circ$, $\theta = 20^\circ$, P = 14.22 MPa, $g_e = 303.82 \text{ g kW h}^{-1}$.

Darbā tika secināts, ka rapšu eļļu var tieši izmantot kā dīzeļmotoru degvielu un dzinējam struktūru nevajag izmainīt. Galvenais faktors, kas ietekmē pētāmos parametrus, ir degvielas iesmidzināšanas moments. Šajos eksperimentos optimālais degvielas iesmidzināšanas moments bija aptuveni 20°, kas ir par 2° līdz 3° mazāks nekā motoriem, kas darbināmi ar tīru fosilo dīzeļdegvielu.

Rapšu eļļas piemērotība vairākcilindru dīzeļmotoriem

Lai noskaidrotu iesmidzināšanas momenta ietekmi uz atgāzu sastāvu, vienlaikus kontrolējot arī automobiļa dinamiskos parametrus, t.i., jaudu un griezes momentu, veikti eksperimenti ar tīru rapšu eļļu (Dukulis u.c., 2010).

Eksperimentā tika izmantots automobilis VW GOLF 1.9TD, un tā motora iesmidzināšanas moments tika mainīts robežās no 10.5° (automobiļa tehniskajos noteikumos noteiktais optimālais parametrs darbā ar fosilo dīzeļdegvielu un oriģinālajām sprauslām) līdz 21.0°, kad, balstoties uz jaudas stenda rādījumiem, tika konstatēts griezes momenta un jaudas samazinājums.

Atgāzu sastāvs visā iesmidzināšanas momenta maiņas diapazonā tika noteikts brīvīgaitā, kad mērāmo komponentu izkliede visa mērījuma gaitā ir vismazākā (sk. 1.6. tab.).

1.6. tabula. Iesmidzināšanas momenta izmaiņu ietekme uz izplūdes gāzēm

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

Tika noteikts, ka optimālais iesmidzināšanas momenta regulējums, darbinot automobili *VW GOLF 1.9TD* ar rapša eļļas degvielu, ir 18.5°, jo tiek sasniegts jaudas un griezes momenta maksimums, ir minimālākais CO saturs atgāzēs (salīdzinot ar 10.5°, CO samazinājies par 35%), jūtami samazinājies nesadegušo ogļūdeņražu (par 66%), metāna (par 59%) un mehānisko piemaisījumu saturs (par 68%). Regulēt agrāku iesmidzināšanas momentu nav vēlams, jo, sākot ar 19.5°, jūtami palielinās SO₂, CO un NO_x daudzums atgāzēs. Būtiski piebilst, ka, lai iegūtu vienu kilovatu jaudas, NO_x saturs atgāzēs pieaug vairāk kā divas reizes, un, jo agrāks tiek ieregulēts iesmidzināšanas moments, jo lielāks ir NO_x saturs atgāzēs (Dukulis u.c., 2010).

1.5.4. Rapša eļļas fizikālās un ķīmiskās īpašības, to ietekme uz izmešu sastāvu

Lai raksturotu no Latvijā izaudzētajām eļļas augiem iegūto eļļu, var izmantot informāciju par kādu Latvijai ļoti tuvu klimatisko apvidu (mērenā josla ar jūras klimata īpašībām): Krievijas ziemeļrietumu daļu (Sanktpēterburga, Pleskava, Vologda) un Vāciju. Salīdzinošajai raksturošanai Latvijas reģionam var izmantot arī mums ļoti tuvu Dāniju, Zviedrijas dienvidus (Skones jeb Skanijas pussala), Polijas ziemeļaustrumu daļu (Šļenskas jeb Silēzijas reģions). Tomēr, pārskatot pētījumus par augu eļļu fizikāli-ķīmiskajām īpašībām, jāņem vērā, ka dažādos reģionos pat vienas eļļas augu šķirnes ietvaros, atkarībā no klimatiskajiem apstākļiem, augsnes sastāva un antropogēnu faktoru ietekmes, ir atšķirīgs taukskābju kā triglicerīdu atlikumu sastāvs. Pat, salīdzinot Latviju ar mūsu kaimiņvalstīm (Lietuvu un Igauniju), eļļas augu fizikāli-ķīmisko pētījumu rezultāti var atšķirties (pat pie vienādu analīžu metožu nosacījuma), jo Lietuvā ir nedaudz siltāks klimats, bet Igaunijā – nedaudz vēsāks (Грин и др., 1996; Polija: informatīvs materiāls, B.g.; Zviedrija: informatīvs materiāls, B.g.; Vācija: informatīvs materiāls, B.g.).

Dažām augu eļļām piemīt tendence polimerizēties vai izžūst skābekļa klātbūtnē. Tad tiek veikts industriāls process, kur saites piesātina ar ūdeņradi, un to sauc par hidrogenizāciju (Pure Plant..., S.a.; Сравнительная оценка..., Б.г.).

Rapšu eļļas un no tās iegūto esteru stabilitāti raksturo šāds pētījums: eļļas un biodīzeļdegvielas paraugi bija uzglabāti istabas un paaugstinātā (līdz 60 °C) temperatūrā, stabilizēšanai izmantoja antioksidantu 2,6-ditrešbutil-4-metilfenolu (BHT), oksidēšanās procesam sekoja, nosakot paraugiem peroksiskaitli (robeža ir 0.6% I₂). Atrasts, ka rapšu eļļa un no tās iegūtie metilesteris (MEE) un etilesteris (REE) oksidējas apmēram vienādi, kā to arī varēja sagaidīt, jo piesātināšanās pakāpe, pāresterificējot, paliek nemainīga. Pievienojot rapšu eļļai RME un REE antioksidantu BHT, to stabilitāte palielinās, kas ļauj pagarināt minēto biodegvielu uzglabāšanas laiku, kas savukārt ir ļoti būtiski to īpašību saglabāšanai (Strēle u.c., B.g.).

Lai uzlabotu augu eļļas kvalitatīvās īpašības, tiek radītas augu eļļas degvielai paredzētas piedevas. Vācijas tirgū, piemēram, piedāvā piedevu *P100* – rapša eļļas degvielai un *P200* – motoreļļai, lai uzlabotu sadegšanu un, lai retāk varētu veikt eļļas maiņu. Tiek veikti pētījumi par dažādu faktoru un piedevu-antioksidantu ietekmi uz augu eļļas oksidēšanās stabilitātes paaugstināšanu (Biodegvielas izmantošanas..., B.g.).

Vēl viena augu eļļu degvielu īpašība, kas saistīta ar to stabilitāti, ir videi draudzīgā īpašība – biodegradējamība. Biodegviela ir biodegradabla, respektīvi, nonākot apkārtējā vidē, ūdens šķīdumos tā apmēram 20 dienu laikā noārdās par 95% (28 dienu laikā – par 99%), kamēr fosilā degviela šajā pašā laikā sadalās tikai par aptuveni 40%. Arī biodīzeļdegvielas maisījums ar fosilo degvielu noārdās daudz ātrāk, piemēram, ar *B20* (biodīzeļdegviela ar 20% piemaisījumu fosilai dīzeļdegvielai) šis process notiek 2 reizes ātrāk nekā ar fosilo dīzeļdegvielu (Фортунин, 2006).

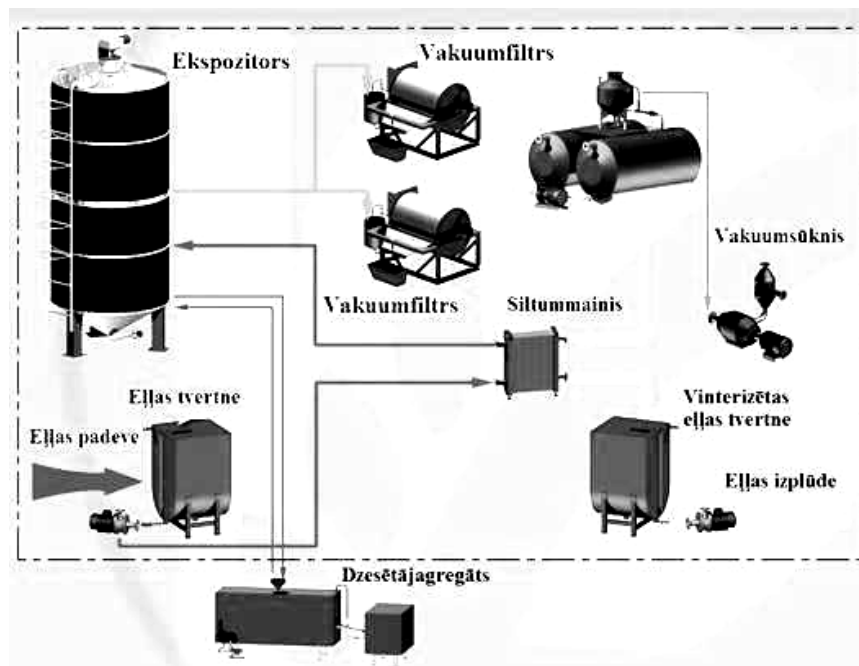
Pamatojoties uz publicētiem datiem, kas raksturo eļļas kā šķidrumus, viskozitāte ir ciešā saistībā ne tikai ar nepiesātinājuma pakāpi, bet arī ar eļļas sastāvā esošo taukskābju ķēžu garumu. Viskozitāte nedaudz samazinās līdz ar nepiesātināšanas pakāpes pieaugumu un paaugstinās līdz ar polimerizāciju (Abromovich et al., 1998).

Pētījumi liecina (Adamovičs, 2007), ka, lai sasniegtu dīzeļdegvielai raksturīgo viskozitāti un degvielas īpašības, rapšu eļļa ir jāuzsilda līdz 150 °C. Turklāt, pat pie 70...80 °C augu eļļas, salīdzinot ar fosilo dīzeļdegvielu, ir ievērojami viskozākas. Piemēram, rapšu eļļa (kanola) ir 6...8 reizes biezāka. Pievienojot eļļai 9% etanola (95%), iesmidzināšanas temperatūru var pazemināt no 150 °C līdz 80 °C.

Arī augu eļļu uzliesmošanas temperatūras ir daudz augstākas nekā fosilajai dīzeļdegvielai – rapša eļļas gadījumā starpība ir 200...240 °C.

Salīdzinot ar dīzeļdegvielu, tīrai rapša, sinepju, saulespuķu, kukurūzas un sojas eļļas blīvums ir lielāks 10 reizes (Звонов и др., 2008; Попов, Б.г.), starpība starp saulespuķu, sojas un kukurūzas eļļām ir aptuveni 7%, bet sinepju un rapša eļļas viskozitāte ir par 20% lielāka (Плотность масел..., Б.г.).

Frakcionēšana vai vinterizācija ir viena no eļļu ražošanā pielietojamām iegūšanas metodēm. Šī procesa shēma (sk. 1.18. att.) ir ļoti vienkārša: tā ir kristalizācija ar sekojošu filtrāciju.

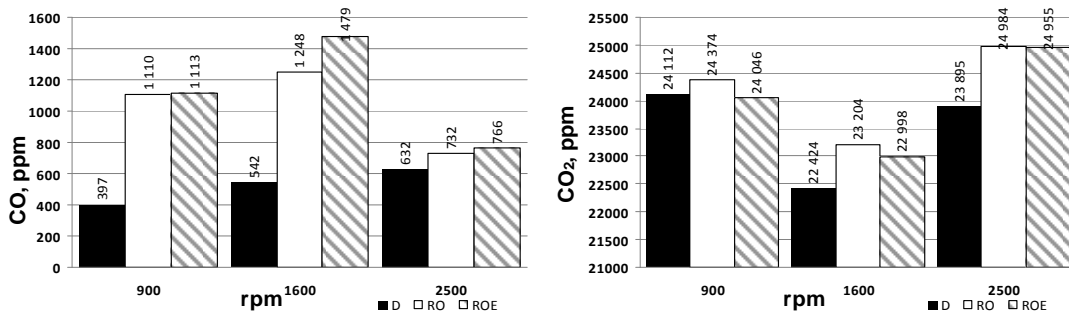


1.18. att. Vinterizācijas procesa shēma (Shahidi, 2005)

Filtrācijai ir iespējami vairāki varianti (Shahidi, 2005). Pielieto dažāda veida filtrus (arī membrānu filtrus), ļoti populāra ir vakuuma filtrācija. Vakuuma filtrācijas metodi pielieto, kad cietās fāzes kristāli ir mazāk jūtīgi pret deformāciju filtrācijas laikā (piemēram, palmu un *PHSBO* – *partially hydrogenated soybean oil* (daļēji hidrogenēta sojas eļļa)) (Shahidi, 2005; Akronīmu un..., B.g.).

Kristalizācijas (frakcionēšanas) metodei, izmantojot sacietēšanas temperatūru starpības, ir divi varianti: sausā frakcionēšana (vēl zināma kā zemo temperatūru kristalizācija) un šķīdinātāju frakcionēšana (Вьмораживание., Б.г.).

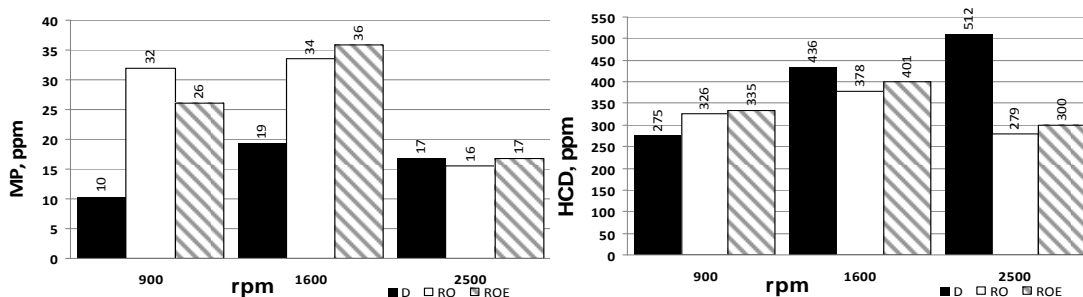
Pēc rapša eļļas apstrādes vinterizācijas procesā tika veikti izmešu pētījumi (Baks, 2011). Salīdzinot tādus savstarpēji saistos parametrus kā CO_2 un CO , var redzēt (sk. 1.19. att.), ka CO daudzums uzlabotajai rapšu eļļai ir nedaudz augstāks par tīro rapšu eļļu. Tomēr absolūtajos skaitļos rezultāti ir ļoti tuvi. Veicinot pilnīgāku CO sadegšanu, pēc šiem parametriem abu eļļu izmeši būs vienādi arī absolūtajā izteiksmē.



1.19. att. CO un CO_2 mērījumu rezultāti, atkarībā no motora apgriezieniem:

D – dīzeļdegviela, RO – rapšu eļļa, ROE – uzlabotā rapšu eļļa

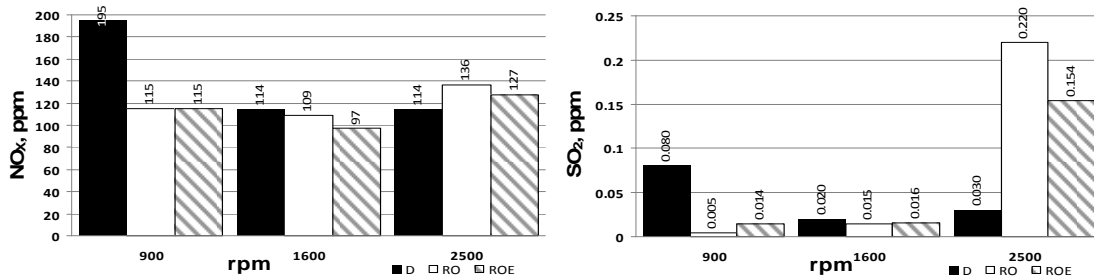
Mehānisko daļiņu daudzums pie 900 min^{-1} un 1600 min^{-1} dīzeļdegvielai bija mazāks nekā abām eļļām. Tomēr, apgriezienu skaitam minūtē paaugstinoties līdz 2500 min^{-1} , abu eļļu mehānisko daļiņu daudzums samazinājās apmēram divas reizes (par 46%) un absolūtajos skaitļos kļuva nedaudz zemāks, salīdzinot ar dīzeļdegvielas rādītājiem. Savukārt, nesadegušo oglekļa daļiņu daudzums pie 900 min^{-1} dīzeļdegvielai bija mazāks nekā abām eļļām, bet pie 1600 min^{-1} un 2500 min^{-1} abu eļļu nesadegušo oglekļa daļiņu daudzums bijis attiecīgi mazāks par 8% un 41% nekā dīzeļdegvielai (sk. 1.20. att.).



1.20. att. Mehānisko daļiņu un nesadegušo oglekļa daļiņu mērījumu rezultāti, atkarībā no motora apgriezieniem:

D – dīzeļdegviela, RO – rapšu eļļa, ROE – uzlabotā rapšu eļļa.

Pie 900 un 1600 min^{-1} abām eļļām NO_x daudzums (sk. 1.21. att.) bija zemāks nekā dīzeļdegvielai, bet pie 2500 min^{-1} vērojams šīs izplūdes gāzu komponentes neliels pieaugums – starpība starp dīzeļdegvielu un tīro rapšu eļļu kļuva 16%, bet ar uzlaboto – 11%.



1.21. att. NO_x un SO₂ mērijumu rezultāti, atkarībā no motora apgriezieniem:

D – dīzeļdegviela, RO – rapšu eļļa, ROE – uzlabotā rapšu eļļa.

Pie 900 un 1600 min⁻¹ abām eļļām SO₂ daudzums bija zemāks nekā dīzeļdegvielai (sk. 1.21. att.), bet pie 2500 min⁻¹ tas strauji pieauga – par 86% tīrajai rapšu eļļai un par 80% uzlabotajai rapšu eļļai. SO₂ daudzuma starpība starp uzlaboto un parasto rapšu eļļu bija 30%.

CO, CO₂, SO₂ un mehānisko daļiņu daudzumu izmaiņu analīze pie 2500 min⁻¹ rāda, ka temperatūras paaugstinājuma apstākļos, samazinās pieejamais CO daudzums, kas ir nepieciešams SO₂ elektronu akceptijai reducēšanās-oksidēšanās reakcijā, kas izpaužas kā SO₂ pieaugums un mehānisko daļiņu (tajā skaitā arī – tīrā sēra) samazinājums (Baks, 2011).

Augu eļļu AE100, kas atbilst ES un LV pieņemto standartu prasībām, var lietot dīzeļmotoros ilgstoši, un tā neizraisa motora vai to sistēmu bojājumus. Transporta līdzekļus, kuru motori aprīkoti darbināšanai ar rapšu eļļu un tās maisījumiem ar fosilo dīzeļdegvielu, var ekspluatēt arī ziemā līdz pat –25 °C (Dukulis, Birkavs, Birzietis, 2010).

Analizējot augu eļļas degvielas izmantošanas pētījumus pasaulē, var secināt, ka dažādās publikācijās sniegtie rezultāti, kas attiecas uz jaudas, degvielas patēriņa un atgāzu sastāva izmaiņām, ir ļoti atšķirīgi. Tas atzīmēts arī Francijā veiktajā 62 pētījumu apskatā (Sidibe et al., 2010), kā galvenos nesakritību cēloņus minot dažādo pētījumos izmantotās eļļas kvalitāti, pētījumu apstākļus, lietotās mērierīces un motoru tipus. Tas aktualizē pētījumu veikšanu katrā valstī, t.sk. Latvijā, balstoties uz tieši konkrētā reģiona klimatiskajiem apstākļiem, uz vietas saražoto eļļu un raksturīgākajiem spēkratu un motoru veidiem. Sevišķi tiek akcentēta NO_x emisija, kas mūsdienās ir kļuvusi par vienu no bīstamākajiem vides piesārņojuma faktoriem Eiropā.

Latvijā veiktie pētījumi par rapšu eļļas degvielas izmešu sastāvu liecina, ka slāpekļa oksīdu (NO_x) saturs atgāzēs dažādos spēkratu ekspluatācijas režīmos pieaug vidēji par 30% (Dukulis et al., 2009).

Lietuvā veiktajos tiešās iesmidzināšanas 59 kW motora *D-243* stenda izmēģinājumos konstatēts, ka NO_x daudzums atgāzēs, motoru darbinot ar tīru rapšu eļļu, ir par 9.2% lielāks nekā, darbinot ar fosilo dīzeļdegvielu. Savukārt CO emisija samazinās par 40.5%, nedaudz samazinās arī nesadegušo ogļūdeņražu daudzums, bet CO₂ saturs atgāzēs nedaudz palielinās (Labeckas and Slavinskas, 2005; 2009).

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

Turcijā veiktajā viencilindru dīzeļmotora *Rainbow-186* stenda pētījumā (Hazar and Aydin, 2010) salīdzināta fosilā dīzeļdegviela, RE20 (20% rapšu eļļas un 80% fosilās dīzeļdegvielas) un RE50 maisījumi. Eksperimenti veikti ar un bez degvielas sildīšanas. Negaidīts rezultāts bija maisījumu degvielu NO_x satura samazinājums atgāzēs,

salīdzinot ar dīzeļdegvielu. Arī CO saturs, izmantojot RE20 un RE50, bija zemāks, bet dūmainība augstāka. Taču degvielas uzsildīšana NO_x emisiju palielināja par 15 – 19%, CO samazināja par 16 – 25%, bet dūmainību samazināja par 9 – 26%.

Šveicē bremžu stenda izmēģinājumos pētīta lieljaudas 335 kW sešcilindru motora darbība ar fosilo dīzeļdegvielu, RME, sojas eļļu un rapšu eļļu (Soltic et al., 2009). Motors bija aprīkots ar elektroniski vadāmu „sūknis-sprausla” tipa tiešās iesmidzināšanas sistēmu, turbokompresoru ar starpdzesētāju un ar ūdeni dzesējamu izplūdes gāzu recirkulācijas (EGR) sistēmu. Sojas eļļas un rapšu eļļas priekšuzsildīšanai izmantoti infrasarkanu staru radiatoru. Mainīgie parametri eksperimentos bija iesmidzināšanas spiediens, moments un ilgums, kā arī izplūdes gāzu recirkulācijas pakāpe. Neskatoties uz to, ka RME un abu eļļu tilpuma siltumspēja bija par 5 – 6% zemāka nekā fosilajai dīzeļdegvielai, gan ar iesmidzināšanas parametru maiņu, gan bez tās visos sloģošanas režīmos motors attīstīja lielāku griezes momentu. Taču būtiski palielinājās NO_x saturs izplūdes gāzēs. Mainot EGR sistēmas parametrus tā, lai NO_x emisija tiktu saglabāta fosilās dīzeļdegvielas līmenī, rapšu eļļas izmantošanas efektivitāte samazinājās. RME, sojas un rapšu eļļas izmantošanas gadījumā konstatēts kopējo nesadegušo oglekļa monoksīda emisijas samazinājums, salīdzinot ar dīzeļdegvielu, tomēr pēc katalizatora emisijas samazinājās praktiski līdz nullei visām degvielām.

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

Slovākijā veikti rapšu eļļas degvielas pētījumi, par izmēģinājumu objektiem izmantojot ar divu degvielas tvertņu sistēmu aprīkotas automobiļus – 2000. gadā ražotu *Škoda Octavia 1.9 TDI* un 2007. gadā ražotu *VW Touareg R5 2.5 UI* (Kleinová et al., 2011). Izplūdes gāzu analīzei izmantota *MAHA MGT 5* ierīce. CO saturs izplūdes gāzēs bija tuvs nullei visos testu režīmos. Nesadegušajiem oglekļa monoksīdiem (HC) *Škoda Octavia* konstatēta tendence pieaugt, *VW Touareg* – samazināties. Savukārt NO_x saturs *Škoda Octavia* samazinājās vidēji par aptuveni 40%, bet *VW Touareg* – par 10%. Visas minētās atšķirības raksta autori izskaidro ar automobiļu motoru un degvielas iesmidzināšanas sistēmu atšķirīgo konstrukciju.

Lai mazinātu slāpekļa oksīdu veidošanos dīzeļmotora izmešos, līdzšinējos pētījumos sadegšanas temperatūras samazināšanai kā risinājums izmantots ūdens, kuru iesmidzina motora cilindrā degvielas iesmidzināšanas perioda beigās. Šāds process pazemina degvielas patēriņu līdz 2%, kā arī samazina NO_x un nesadegušo oglekļa monoksīdu daudzumu atgāzēs (Марков, Баширов и Габитов, 2002), taču pie noteikta ūdens daudzuma iesmidzināšanas novērota dīzeļmotora nestabila darbība. Analizētie pētījumi parāda, ka ūdens iesmidzināšana motora cilindrā var tikt veikta gan caur degvielas sprauslām, gan pa atsevišķu smidzinātāju ieplūdes kolektorā.

1.6. Atgāzu toksisko komponentu noteikšanas metodes

Izmešu aprēķināšanai tiek lietotas dažādas metodes. Tās ir atkarīgas no piesārņotāja, transporta veida un transportlīdzekļa veida. Metodes sagrupētas četrās klasēs (Ericsson, 2000):

- aprēķini pamatojas uz transporta darbībām – šī ir pamata metode vairāk izplatīto izmešu no ceļa transportlīdzekļiem un citu transporta veidu patēriņa, šādā veidā veiktie izmešu aprēķini ietver karstos izmešus un brauciena uzsākšanas izmešus, kad dzinējs nav pilnībā uzsilis;

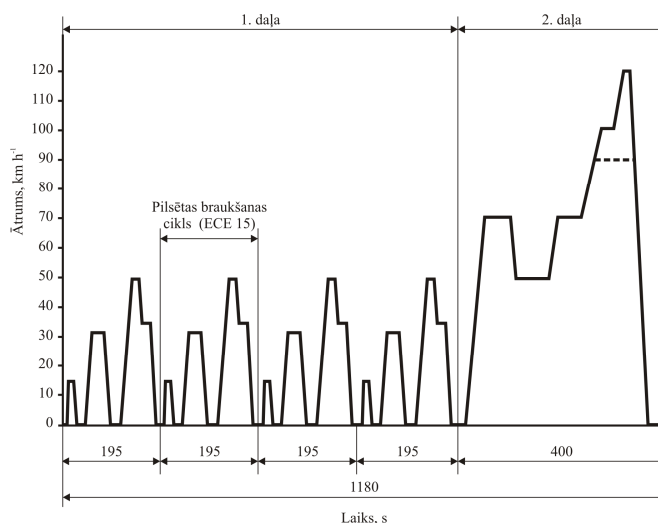
- aprēķini pamatojas uz enerģijas patēriņu – šī ir standarta metode izmešu noteikšanai bezceļa transporta veidiem, ietvertie izmešu veidi atkarīgi no tiem rādītājiem, kas ietverti enerģijas patēriņa aprēķinā;
- oglekļa bilances aprēķini – degvielas patēriņa vai oglekļa dioksīda aprēķini var tikt pamatoti uz vienādojumu, kas atspoguļo oglekļa masas bilanci degvielā un tā sadegšanas produktus transportlīdzekļiem ar iekšdedzes dzinēju, metode tiek pielietota degvielas patēriņa aprēķiniem, turpretī citiem transporta veidiem tiek lietota, lai aprēķinātu CO₂, tā var ņemt vērā karstos, uzsākšanas un gaistošos izmešus un pārmaiņus šī metode var tikt lietota aprēķinot oglekļa dioksīda izmešus pēc degvielas patēriņa datiem ceļa transportlīdzekļiem;
- aprēķini veikti izejot no galvenā piesārņotāja un tiek iekļauts karsto, uzsākšanas un gaistošo izmešu daudzums.

Atgāzu sastāva noteikšana, izmantojot braukšanas ciklu metodi

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

Pašizstrādātos ciklus izveidojuši pētnieki dažādās pasaules valstīs, lai veiktu degvielas patēriņa un atgāzu sastāva pētījumus konkrētās pilsētās. Pie šīs grupas pieder Honkongas (Hung et al., 2007), Atēnu (Tzirakis et al., 2006) u.c. cikli.

No ciklu veidošanas viedokļa tos iedala modālajos un „reālās” braukšanas ciklos. Modālie cikli tiek veidoti no konstantu ātrumu un vienmērīgu paātrinājumu (palēninājumu) sērijām. Pie modālajiem pieder arī *NEDC* cikls (sk. 1.22. att.) (Šmigins, 2008). Otras grupas cikli veidoti kā reālo maršrutu tiešas imitācijas, un kā šīs grupas piemērus var minēt *FTP-75* un Atēnu ciklu.



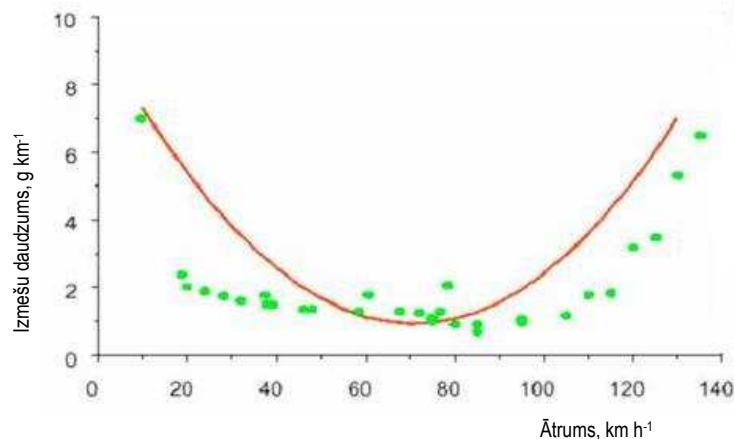
1.22. att. **NEDC testa braukšanas cikla diagramma**
(Šmigins, 2008)

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

Ātruma-izmešu līkņu iegūšanai nepieciešamie mērījumi gandrīz vienmēr tiek veikti uz veltņu stenda, kur testa transportlīdzeklis tiek darbināts pēc noteikta braukšanas cikla un tā radītie izmeši tiek savākti un analizēti. Attiecība pret vidējo ātrumu ir noteikta, apvienojot rezultātus, kas iegūti testos lietojot ciklus ar dažādiem vidējiem ātrumiem. Attiecības precizitāte var būt ļoti atkarīga gan no apjoma kādā transportlīdzekļa modelis ir testēts, gan lietošanā esošā parka un tā darbības raksturojošajiem braukšanas cikliem.

Šveiciešu/vāciešu „Handbuch der Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs” rokasgrāmatā (Andre et al., 2006) ir rakstīts, ka mainīgais ir arī satiksmes situācijas, kādā izmešu faktors ir pielietojams, raksturojošais parametrs. Katrai satiksmes situācijai, piesārņotājs ir transportlīdzekļa veids, kuram ir neatkārtojams izmešu faktors. Ņemot vērā, ka katra satiksmes situācija ir saistīta ar noteiktu vidējo ātrumu, ir iespējams parādīt datus, izsakot tos ar vidējo ātrumu, lai salīdzinātu ar vairāk pieņemtajām ātruma-izmešu līknēm (sk. 1.23. att.).

Rokasgrāmatā izmešu faktori parāda līdzīgu vispārējo modeli tiem, kas iegūti pēc ātruma-izmešu līknes, bet nesakrīt ar regulāru funkciju. Tas ir tāpēc, ka katrs atsevišķais faktors raksturo noteiktu transportlīdzekļa darbības veidu, nevis vidējās darbības pie noteikta vidējā ātruma. Tādā veidā, piemēram, ātruma apgabalā no 60 līdz 80 km h⁻¹ ātruma-izmešu līkne rāda izmešu līkmes relatīvi šaurā apgabalā (apmēram 0.95 līdz 1.1 g km⁻¹), turpretī tie pēc rokasgrāmatas mainās robežās no 0.9 līdz 2.0 g km⁻¹, jo ievērtē plašāku darbības apstākļu mainīgumu.



1.23. att. CO izmešu daudzums atkarībā no automobiļa ātruma vidēja lieluma automašīnai ar EURO I motoru (Andre et al., 2006)

Stratēģiskā mērogā izmešu faktori, kas balstīti uz vidējiem ātrumiem un tipisku satiksmes situāciju ļaus izdarīt izmešu novērtējumus ar apmierinošu precizitāti. Bet ir noteiktas zonas, kur ir jānovērtē izmešu izmaiņas atkarībā no izmaiņām braukšanas dinamikā (tas ir satiksmes samazināšana). Tādos gadījumos momentāno izmešu modeļu lietošana ir nepieciešama, lai iegūtu drošākus rezultātus (Vide, enerģija..., 2010).

Veicot reālos ceļa izmēģinājumus Latvijas apstākļos un salīdzinot iegūtos rezultātus ar pieejamo ciklu parametriem, tie bija ļoti atšķirīgi, sevišķi pilsētas

apstākļos. Līdz ar to radās nepieciešamība izstrādāt braukšanas ciklus, kas būtu piemēroti tieši Latvijas apstākļiem (Dukulis et al., 2009). Šā darba ietvaros tika apzināti dažādi gadījuma faktori (piemēram, satiksmes intensitāte, neparedzēti šķēršļi uz ielām, luksoforu darbības iestatījumu maiņa u.tml.), izstrādāti konkrētas pilsētas braukšanas maršruti un uz viena maršruta bāzes izstrādāta reālo braukšanas apstākļu imitācija izmantošanai uz jaudas stenda (modeļa izstrāde).

Analizējot Latvijas pilsētu iedzīvotāju skaitu, ielu tīklu, luksoforu esamību u.tml., tika pieņemts, ka ciklu izveidei Latvijas pilsētas var iedalīt 3 kategorijās: galvaspilsēta Rīga, lielās pilsētas (piemēram, Daugavpils, Jelgava, Liepāja) un mazās pilsētas (piemēram, Alūksne, Gulbene, Smiltene). Atsevišķi pētījumi nepieciešami par pilsētas centru jeb kodolu (intensīva satiksme ar luksoforiem), plašākas pilsētas teritorijas (ar un bez luksoforiem), vēl plašākas teritorijas (ar atļauto braukšanas ātrumu virs 50 km h⁻¹). Cikla izstrādei tika izvēlēta nevis poligonu metode, bet „real world” cikla izveide (Dukulis et al., 2009).

Situācijas apskata kopsavilkums

Analizējot augu eļļas degvielas (AE100) izmantošanas pētījumus pasaulē, var secināt, ka rezultāti, kas attiecas degvielas patēriņa un atgāzu sastāva izmaiņām, ir ļoti atšķirīgi. Tas aktualizē pētījumu veikšanu katrā valstī, t.sk. Latvijā, pamatojoties uz tieši konkrētā reģiona klimatiskajiem apstākļiem, uz vietas saražoto augu eļļu un raksturīgākajiem spēkratu un motoru veidiem. Sevišķi tiek akcentēta summāro mono-slāpekļa oksīdu NO_x (NO un NO₂ summas) emisija, kas mūsdienās ir kļuvusi par vienu no bīstamākajiem vides piesārņojuma faktoriem Eiropā.

Latvijā veiktie pētījumi par augu eļļu, kas parasti ir rapšu eļļa, degvielas izmešu sastāvu liecina, ka NO_x saturs atgāzēs dažādos spēkratu ekspluatācijas režīmos pieaug vidēji par 30% (Dukulis, Pirs *et al.*, 2009).

Kopumā, analizējot iegūto informāciju, izriet vairāki secinājumi.

1. Slāpekļa oksīdu emisijas apjoms Latvijā ir aptuveni 42 kt gadā, kas ir 68.9% no noteiktā emisiju mērķlieluma. Galvenais emisiju avots ir strauji augošais transporta sektors. Šis process var izraisīt situāciju, ka tuvākajos 10 gados pēc 2010. gada, var tikt pārsniegts slāpekļa oksīdiem noteiktais maksimāli pieļaujamais līmenis – 61 kt gadā.
2. Latvijā pieņemtais „Biodegvielas likums” nosaka pasākumus, kuriem bija jānodrošina, lai līdz 2005. gada 31. decembrim biodegviela veidotu ne mazāk kā 2% no kopējā tautsaimniecībā esošās transportam paredzētās degvielas daudzuma, bet līdz 2010. gada 31. decembrim – ne mazāk kā 5.75%, taču šie mērķi netika sasniegti.
3. Selektīvās katalītiskās reducēšanas sistēma (SCR) ir viena no izmaksu ziņā efektīvākiem un ekonomiskākiem veidiem dīzeļmotoru emisiju samazināšanai. Taču nav pētījumu, kā šī sistēma kalpo, izmantojot augu eļļu (AE100) spēkratu darbināšanai.
4. Mainot iesmidzināšanas momentu dīzeļmotorā, var panākt slāpekļa oksīdu (NO_x) samazināšanos. Taču šādā gadījumā palielinās citu toksisko komponentu daudzums atgāzēs un samazinās spēkratu jaudas parametri.
5. Līdzšinējos pētījumos par atgāzu sastāvu ir konstatēts, ka, izmantojot rapša eļļu kā degvielu, būtiski palielinās slāpekļa oksīdu (NO_x) daudzums izplūdes gāzēs.
6. Veicot vienkāršus ķīmiskus uzlabojumus rapša eļļas degvielai, kā, piemēram, lietojot vinterizāciju, var sasniegt minimālu izmešu samazinājumu. Vinterizācijas procesa veikšana palielina rapša eļļas izmaksas, tai pašā laikā būtiski nesamazina izplūdes gāzu emisiju.

7. Vairākos pētījumos noskaidrots, ka, nemainot degvielas iesmidzināšanas momentu, izmešu daudzums izmainās atkarībā no fosilās dīzeļdegvielas koncentrācijas rapša eļļā. Tā, izmantojot 50% maisījumu, HC emisija ir nedaudz paaugstināta, bet, izmantojot 20% maisījumu, NO_x un CO emisijas nedaudz palielinās.
8. Lai saglabātu jaudas parametrus, pielietojot „vienas tvertnes sistēmu” dīzeļmotora darbināšanai ar rapša eļļu, nepieciešams ieregulēt agrāku degvielas iesmidzināšanas momentu. Taču, jo agrāks tiek ieregulēts iesmidzināšanas moments, jo lielāks ir NO_x saturs atgāzēs.
9. Izmešu aprēķināšanai tiek lietotas vairākas metodes. Tās ir atkarīgas no piesārņotāja, transporta veida un transportlīdzekļa veida.
10. Lai panāktu NO_x satura samazināšanu dīzeļmotoru atgāzēs, lietojot rapšu eļļas degvielu, vairākos pētījumos izmantota ūdens iesmidzināšana cilindrā, taču šai metodei ir divi būtiski trūkumi – pie noteiktiem apgriezieniem motora darbība kļūst nestabila un to nevar pielietot transporta līdzekļos ziemas apstākļos.

Pētījuma mērķis un uzdevumi

Pētījuma objekta definīcija

Pētījuma objekts ir dīzeļmotors, kuru, darbinot rapša eļļas degvielu AE100, un, pielietojot ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanu iekļūdes kolektorā, ir iespējams ieregulēt toksisko atgāzu daudzumu.

Pētījumā izvirzītā hipotēze

Ar rapša eļļu darbināmu dīzeļmotoru izplūdes gāzēs esošo slāpekļa oksīda daudzumu iespējams regulēt, pievadot iekļūdes 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.

Darba novitāte:

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

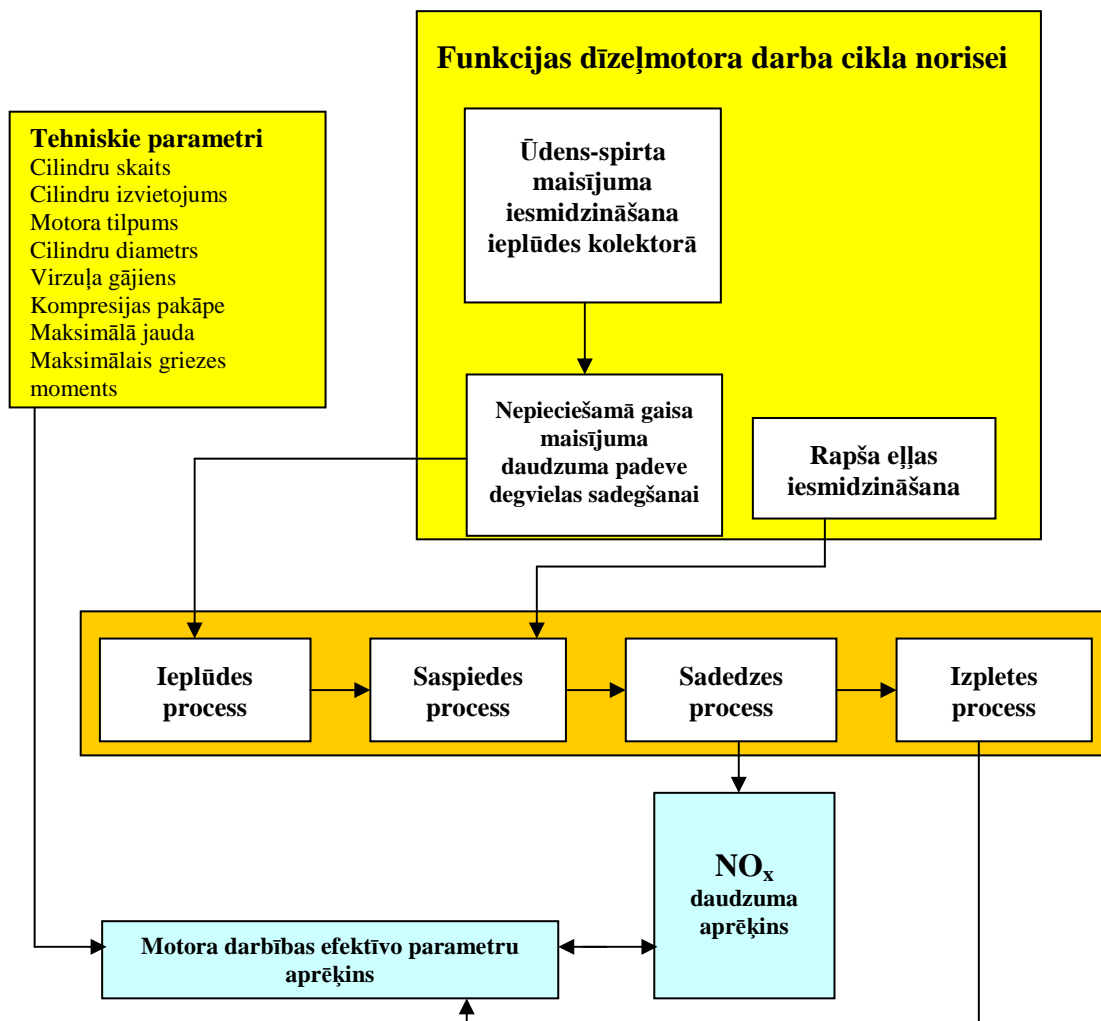
Darba zinātniskā un tautsaimnieciskā nozīme

Ar izstrādāto NO_x daudzuma modelēšanas programmas 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 dīzeļmotoru efektīvās jaudas parametrus.

2. SLĀPEKĻA OKSĪDU DAUDZUMA SAMAZINĀŠANAS 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 ieplūdes 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 2.1 attēlā izveidoto blokshēmu.



2.1. att. Dīzeļmotora efektīvo parametru un atgāzu komponentes NO_x aprēķina blokshēma

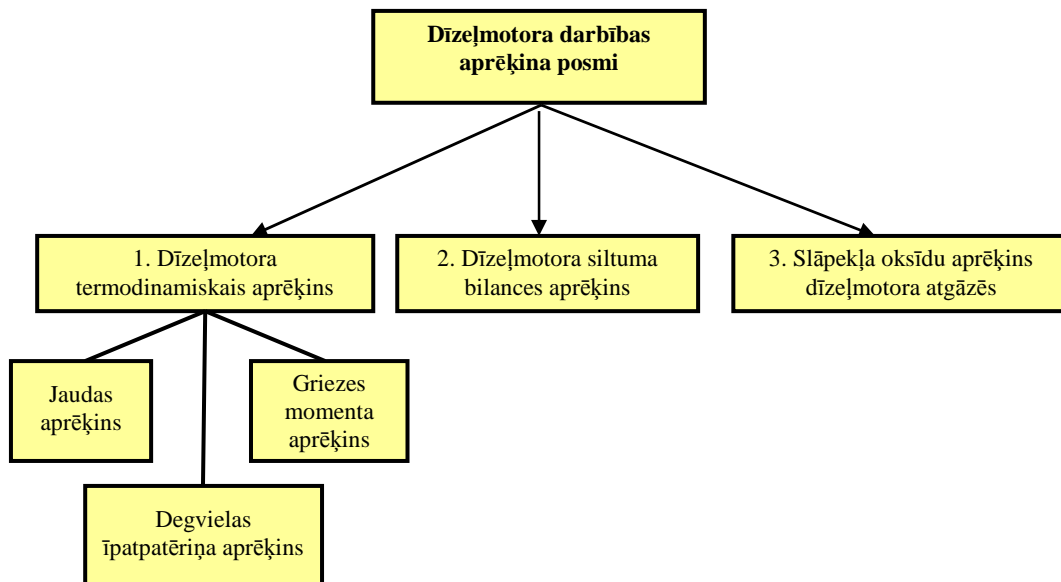
Aprēķinu pamatā izmantots izstrādātais rapša eļļas degvielas izmantošanas teorētiskais modelis, kurš ietver termodinamisko aprēķinu pie dažādām apkārtējās vides temperatūrām un ar dažādiem rapša eļļas AE100 un fosilās dīzeļdegvielas maisījumiem (Dukulis un Birkavs, 2013), un tālāk veikts atgāzu komponentes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

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).

2.1. Dīzeļmotora darbības aprēķins

Darbā ir izstrādāta sistēma, kas samazina toksisko izmešu daudzumu dīzeļmotora atgāzēs, pielietojot ūdens-spirta iesmidzināšanu motora iekšējās kolektorā. Lai noteiktu kāda faktora ietekmi uz ekspluatācijā esoša motora darbību, analizē tā īsteno darbības ciklu, kā arī aprēķina izmaiņas pēc jaunās tehnoloģijas pielietošanas. Dīzeļmotora darbības aprēķins veikts pēc 2.2. attēlā izveidotās shēmas, kur parādīti nepieciešamie aprēķinu posmi, lai novērtētu tā darbības izmaiņas, pielietojot ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēmu.



2.2. att. Dīzeļmotora darbības aprēķina shēma

Motora cilindrā sadedzei jānotiek tā, lai nodrošinātu vislielāko jaudu, tāpēc degvielai jāsadeg iespējami pilnīgi, lai uz degkameras sienām nerastos piedegumi, un, lai atgāzēs nebūtu kvēpu un citu toksisko vielu.

Darbmācības sadedze motora cilindrā ir straujš un sarežģīts ķīmiskais process, kura laikā degvielu veidojošie elementi oksidējas ar gaisa skābekli. Šai reakcijai ir vairākstadiju ķēdes raksturs. Jo straujāk noris sadedze, jo augstāka ir sadedzes temperatūra (Šmigins, 2008).

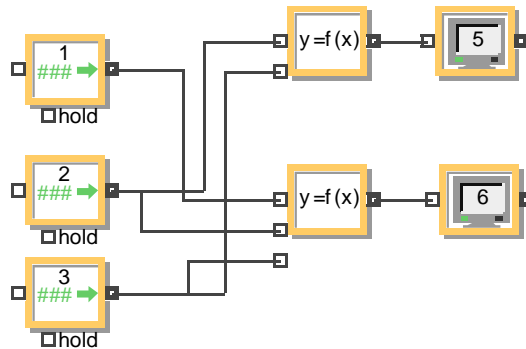
Ir divu iesmidzināšanas veidu dīzeļmotori. Ar netiešo iesmidzināšanu, kas sastopami vieglo automobiļu dīzeļmotoros, un ar tiešo iesmidzināšanu, kurus izmanto daudz jaudīgākos kravas automobiļos, un arī jaunākās paaudzes vieglo automobiļu motoros. Atšķirība starp abiem degvielas iesmidzināšanas veidiem ir sadedzes kameras konstrukcijā.

Aprēķinus modelēšanas programmā var veikt abu veidu dīzeļmotoriem, taču precīzākas atgāzu prognozes iespējams noteikt dīzeļmotoriem ar priekškameru (netiešā iesmidzināšana), jo to darbība norisinās pie zemākas un stabilākas temperatūras.

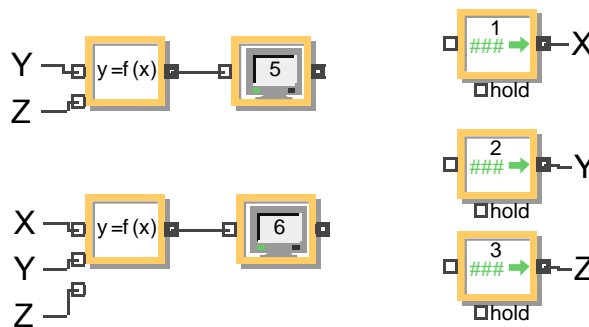
2.2. Modelēšanas programmas izvēle un dīzeļmotora termodinamiskais aprēķins

Lai aprēķinātu dīzeļmotora darbību pie dažādiem tā parametriem, nepieciešams izveidot apjomīgu aprēķinu virkni, kas sastāv no vairākiem desmitiem formulu. Taču, izmantojot programmu, dīzeļmotora darbības rezultātus iespējams iegūt īsā laika periodā.

Šādus aprēķinus var veikt *Microsoft Excel* programmā, taču izejas datu ievadīšana un rezultātu pārskatāmība ir sarežģīta. Ir iespējams izmantot arī citas programmas, kurās bloki tiek savienoti ar datu pārvades līnijām, kas kopumā izveido līniju tīklu un sarežģīti izsekošanu datu pārnesei. Tādēļ ir izvēlēta programma *ExtendSim*, kur iespējams aprēķinus sadalīt pa aprēķinu blokiem, kā arī izveidot bloku „vārdisko” savienojumu. Tas nozīmē, ka jebkura bloka izeju var nosaukt noteiktā vārdā, un to var pārnest uz jebkuru vietu modeļa panelī, pēc iespējas tuvāk vajadzīgā bloka ieejai. Atšķirība starp parastiem un „vārdiskiem” savienojumiem parādīta 2.3. un 2.4. attēlā.

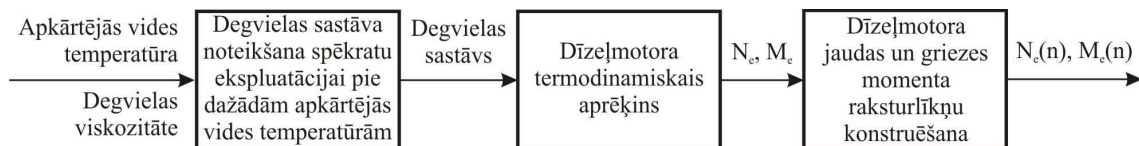


2.3. att. Funkcionālo bloku „līniju” savienojums ar pārvades līnijām



2.4. att. Funkcionālo bloku „vārdiskais” savienojums

Dīzeļmotora termodinamiskais aprēķins spēkratu ekspluatācijas parametru modelēšanai datu simulācijas programmā *ExtendSim* detalizēti aprakstīts promocijas darbā par rapša eļļas degvielas izmantošanu spēkratos (Dukulis, 2013) un publicēts 12. starptautiskās zinātniskās konferences „Engineering for Rural Development” rakstu krājumā (Dukulis and Birkavs, 2013). Ar šī modeļa palīdzību var noteikt, pie kādas apkārtējās vides temperatūras rapša eļļai jāsavienot fosilā dīzeļdegviela, lai nodrošinātu degvielas sūkņu darbību un degvielas plūsmu barošanas sistēmā. Modelī izveidoti 3 moduļi (sk. 2.5. att.).



2.5. att. Modeļa vispārējā blokskhēma

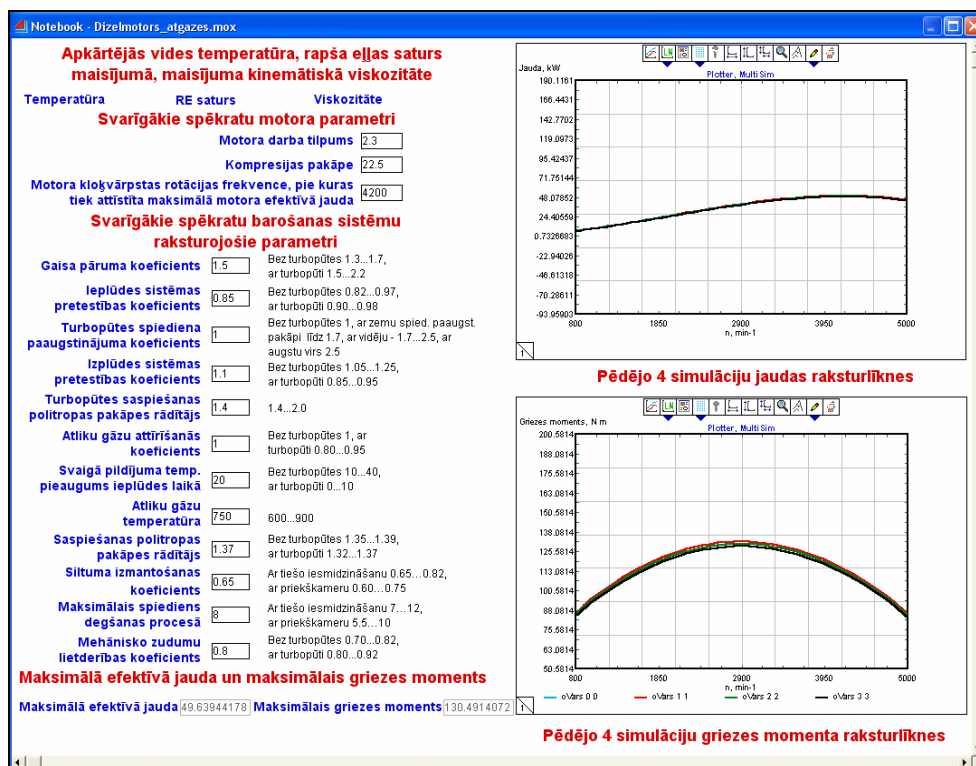
Pirmajā modulī nosaka, vai atkarībā no apkārtējās vides temperatūras spēkratus var ekspluatēt ar tīru rapša eļļu, vai arī jāveido tās maisījumi ar fosilo dīzeļdegvielu. Otrajā modulī kā ieejas parametrs kalpo degvielas sastāvs un īpašības, un tiek veikts dīzeļmotora termodinamiskais aprēķins. Trešajā modulī tiek veikta dīzeļmotora jaudas un griezes momenta raksturlielņu konstruēšana.

Izveidotais modelis izmantojams tiešās iesmidzināšanas motoru parametru simulācijai dīzeļmotoriem ar turbopūti un bez tās, bet precīzākus aprēķinus iespējams veikt motoriem ar priekškameru. Modelī izmantotās formulas apkopotas 4. pielikumā.

Lai veiktu slāpekļa oksīdu daudzuma aprēķinu, kā arī citu dīzeļmotora darbības raksturojošo parametru novērtējumu, izveidotajam termodinamiskā aprēķina modelim tika pievienotas vairākas funkcijas:

- motora apgriezienu maiņa (izmantojot bīdni vai skaitļu ģeneratoru);
- spirta satura ūdenī aprēķina funkcija;
- vidējās sadedzes temperatūras noteikšana;
- gāzu maisījuma entalpijas aprēķins;
- sadedzes produktu daudzuma attiecību noteikšana;
- motora siltuma bilances aprēķins;
- slāpekļa oksīdu daudzuma noteikšana.

Dīzeļmotora termodinamiskā aprēķina veikšanai, lietojot šo modeli, nepieciešams zināt motora konstrukcijas parametrus, barošanas sistēmas īpatnības u.c. Nepieciešamie ieejas dati tiek ievadīti noteiktajos lauciņos modeļa darba panelī (sk. 2.6. att.).

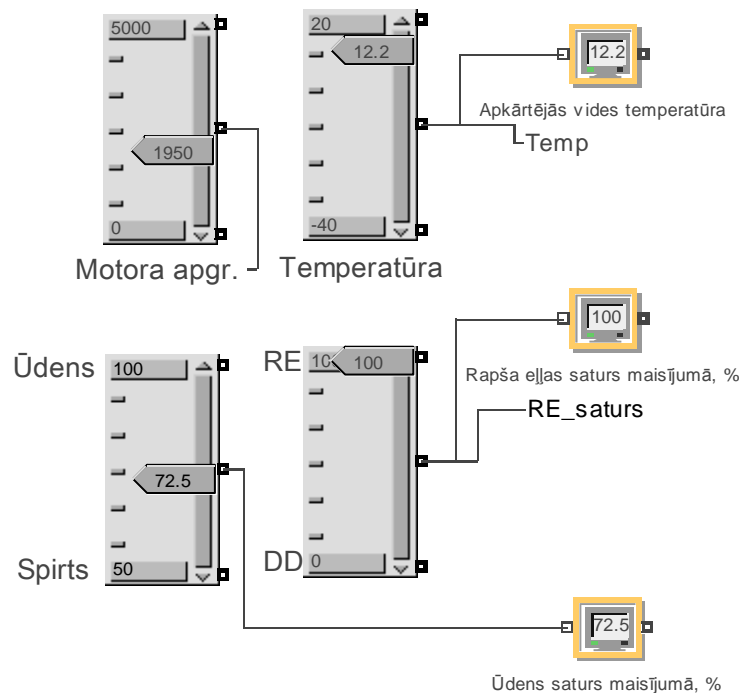


2.6. att. Modelēšanas darba panelis

Darba panelī izvietotas motora aprēķinu rezultātu jaudas un griezes momenta raksturlieknes, un automātiski tiek saglabāti pēdējo četru simulāciju grafiki, kas ļauj uzskatāmi salīdzināt motora efektīvo parametru izmaiņas.

Darba panelī nav iespējams izvietot ievades blokus ar maināmiem lielumiem (programmas nepilnība), tāpēc turpmākai datu apstrādei un aprēķiniem tiek izmantota modeļa darba virsma, uz kuras atrodas visi modelēšanas bloki.

Lai noteiktu slāpekļa oksīdu daudzuma izmaiņas dīzeļmotora izplūdes gāzēs, kā arī citu efektīvos parametrus, izveidoti četri noteikto faktoru reģistrēšanas bloki, kur nepieciešams ievadīt noteiktos motora darbības rādītājus: motora apgriezienus, apkārtējās vides temperatūru, ūdens-spirta maisījuma attiecību un izmantoto degvielu (sk. 2.7. att.).



2.7. att. Noteikto faktoru reģistrēšanas bloki

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):

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (2.1)$$

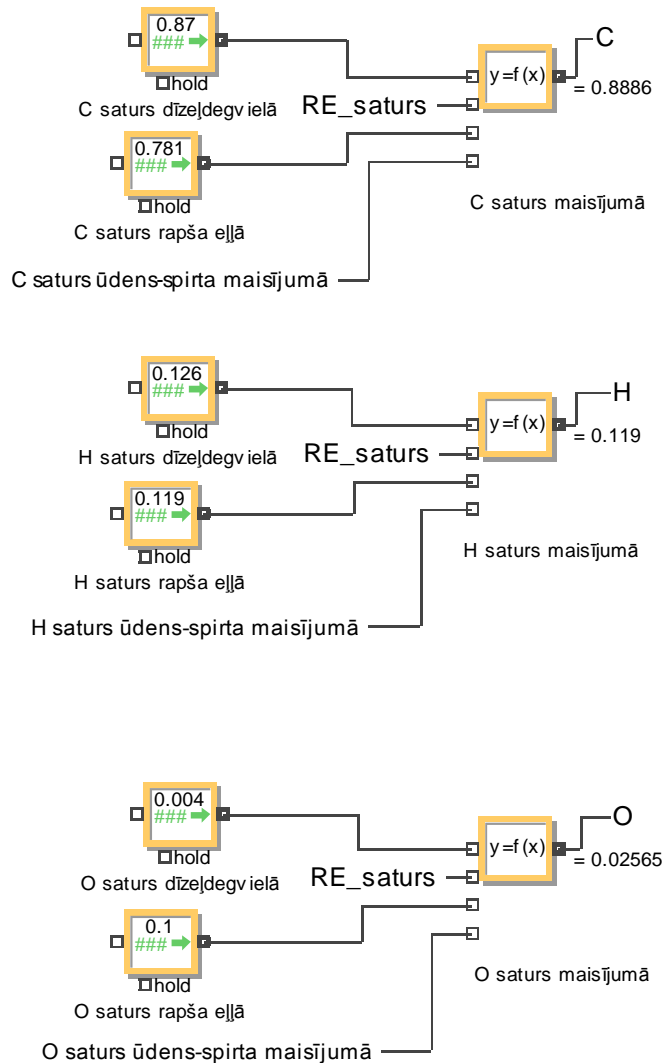
$$H = \frac{\sum_{i=1}^n H_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (2.2)$$

$$O = \frac{\sum_{i=1}^n O_{sat-i} \cdot m_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (2.3)$$

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

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

Oglekļa, ūdeņraža un skābekļa saturs ūdens-spirta maisījumā tiek noteikts atsevišķos aprēķinos, ņemot vērā ūdens spirta attiecību un iesmidzināšanas daudzumu, kas ir 0.6 – 1% no motorā ieplūstošā gaisa masas. Degvielu sastāva noteikšanas bloki parādīti 2.8. attēlā.



2.8. att. Degvielu maisījuma sastāva noteikšanas bloki

Motora maksimālo efektīvo jaudu N_{emax} (kW) (sk. 2.9. att.) nosaka pēc sakarības:

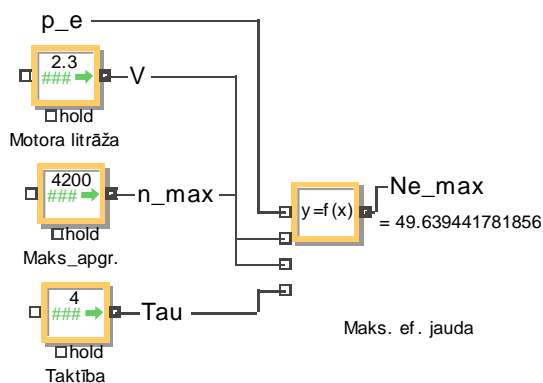
$$N_{e\ max} = \frac{p_e \cdot V \cdot n_{\max}}{30 \cdot \tau}, \quad (2.4)$$

kur p_e – vidējais efektīvais spiediens cilindrā, MPa;

V – motora darba tilpums jeb litrāža, l;

n_{\max} – motora kloķvārpstas rotācijas frekvence, pie kuras pēc spēkratu ražotāja datiem tiek sasniegta maksimālā jauda, min^{-1} ;

τ – motora taktība.

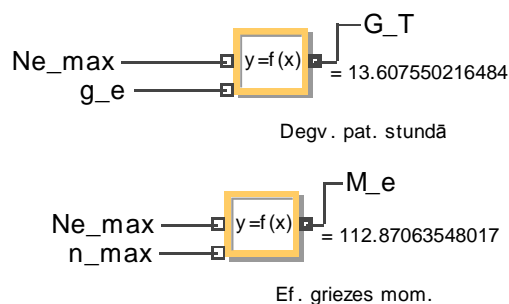


2.9. att. Maksimālās efektīvās jaudas noteikšanas bloks

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

$$G_T = \frac{N_{e\max} \cdot g_e}{1000}, \quad (2.5)$$

$$M_e = \frac{9550 \cdot N_{e\max}}{n_{\max}}, \quad (2.6)$$



2.10. att. Motora degvielas patēriņa un griezes momenta noteikšanas bloki

Dīzeļmotora efektīvo rādītāju salīdzinājums dažādos darbināšanas režīmos aprakstīts apakšnodaļā „Modeļpētījumi”.

2.2.1. Dīzeļmotora siltuma bilances aprēķina modelēšanas iespējas

Iekšdedzes motoros lietderīgā mehāniskā darbā tiek pārvērsti tikai 30 – 42% siltuma, pārējais ir siltuma zudumi (Blīvis u.c., 1980). Siltuma sadali, kas izdalās no motora degvielas sadegšanas laikā, uz siltumu, kas veic lietderīgu darbu un siltuma zudumiem, sauc par siltuma bilanci. Ar siltuma bilanci var noteikt motora lietderības pakāpi. Siltuma bilances summa tiek noteikta absolūtā izteiksmē, procentos attiecībā pret kopējo siltuma atdevi. Parasti motora siltuma bilanci nosaka eksperimentāli vai aprēķina, pamatojoties uz dīzeļmotora termodinamisko aprēķinu vienā ciklā. Dīzeļmotora siltuma bilances vērtības nav konstantas un atšķiras atkarībā no slodzes.

Kopējais siltuma daudzums Q (kJ·h⁻¹), kurš tiek ievadīts motora cilindrā kā degviela, ir nosakāms pēc formulas (Николаенко,1984):

$$Q = Q_n \cdot G_T, \quad (2.7)$$

kur G_T – degvielas stundas patēriņš, kg h⁻¹;
 Q_n – degvielas zemākā siltumspēja, J h⁻¹.

Degvielas stundas patēriņu G_T nosaka:

$$G_T = N_e \cdot g_e, \quad (2.8)$$

kur N_e – motora efektīvā jauda, kW;
 g_e – īpatnējais degvielas patēriņš, kg kWh⁻¹.

Efektīvā darba ekvivalents siltums tiek aprēķināts:

$$Q_e = 3600 \cdot N_e, \quad (2.9)$$

kur N_e – motora efektīvā jauda, kW.

Dzeses sistēmā aizvadītais siltums dīzeļmotoram bez turbopūtes:

$$Q_{dz} = C \cdot i \cdot D^{2.3} \cdot n^{0.65} \frac{1}{\alpha} \cdot 36, \quad (2.10)$$

kur C – koeficients, 0.45...0.53;
 i – cilindru skaits;
 D – cilindra diametrs, mm;
 n – kloķvārpstas griešanās frekvence, min⁻¹;
 α – gaisa pāruma koeficients.

Tālāk tiek noteikts ar atgāzēm aizvadītais siltuma daudzums:

$$Q_g = C_p \cdot (T_r - T_o) \cdot (G_B - G_T), \quad (2.11)$$

kur C_p – izplūdes gāzu vidējā siltumietilpība pie konstanta spiediena, (C_p – 1.04 kJ (kg K)⁻¹);
 T_r – izplūdes gāzu temperatūra, K;
 T_o – apkārtējās vides temperatūra, K;
 G_B – cilindrā ieplūstošais gaisa daudzums, kg h⁻¹;
 G_T – cilindrā ieplūstošās degvielas daudzums, kg h⁻¹.

Cilindrā ieplūstošā gaisa daudzumu var noteikt pēc sakarības:

$$G_B = 14.5 \cdot \alpha \cdot G_T, \quad (2.12)$$

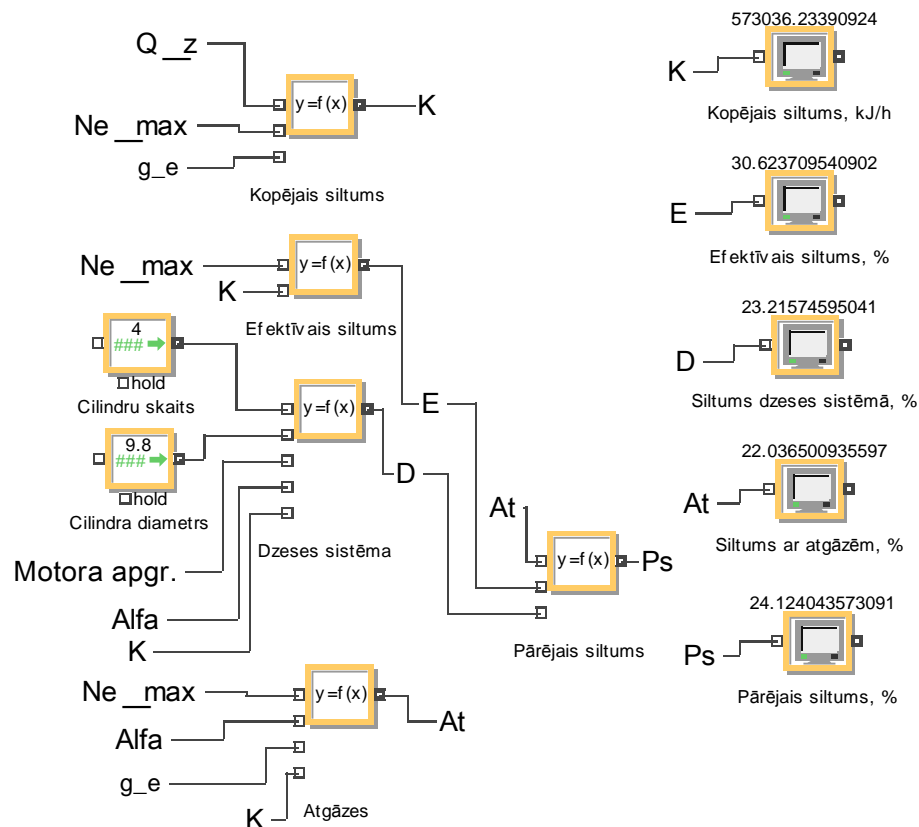
kur G_T – degvielas stundas patēriņš, kg h⁻¹.

Pārējo, jeb neuzskaitīto, siltuma daudzumu nosaka pēc sakarības:

$$Q_p = Q - (Q_e + Q_{dz} + Q_g) \quad (2.13)$$

Dotajā piemērā tiek aprēķināta siltuma bilance dīzeļmotoram *FORD YTR* pie 2000 min⁻¹ un vienmērīgas patērētās jaudas – 15 kW.

Kā redzams 2.11. attēlā, dīzeļmotoram *FORD YTR*, darbojoties ar maksimālo jaudu un izmantojot rapša eļļu kā degvielu, lietderības pakāpi var novērtēt kā zemu, jo motoram nav turbokompresora, kas paaugstina lietderības rādītājus. Otrs lielākais siltuma daudzums tiek novadīts dzesēšanas sistēmā. Tā kā dīzeļmotors *FORD YTR* ir aprīkots ar „divu tvertņu sistēmu” darbināšanai ar rapša eļļu, tad šo siltumu var izmantot rapša eļļas uzsildīšanai. Rapša eļļas sildīšanu motoram *FORD YTR* nav ieteicams veikt ar izplūdes gāzu siltumu, jo dīzeļmotora izpūtējā nepieciešams uzturēt augstu temperatūru, lai labāk sadalītos izmešu cietās daļiņas un nepiesērētu ar sodrējiem izpūtējs.



2.11. att. **Dīzeļmotora siltuma bilances aprēķina bloki**

Pāri palikušais siltums konkrētajā režīmā veido aptuveni ceturto daļu no kopējā siltuma daudzuma. Šis siltums tiek aizvadīts eļļošanas sistēmā, mehānisko zudumu pārvarēšanai u.c. Šim motoram pāri palikušo siltumu ir ieteicams izmantot rapša eļļas degvielas uzsildīšanai, izmantojot motora eļļošanas sistēmu.

2.2.2. 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: jaunā maisījuma daļā un sadedzes produktu daļā. Jaunā 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 vairākas sadedzes procesa komponentes, kā arī veiktu aprēķinu slāpekļa oksīdu noteikšanai, kas rodas pie augstas temperatūras. Pilnas sadedzes produktu temperatūru noteikšanai degkamerā tiek izmantota formula (Звонов, 1981):

$$T_{ps} = \frac{\sqrt{B^2 - 4A \left\{ \frac{1 - r_{ps}}{r_{ps}} [H_{sm}(T_{sm}) - H_{sm}(T_v)] - AT_v^2 - BT_v \right\}} - B}{2A}, \quad (2.14)$$

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

T_{sm} – jaunā maisījuma temperatūra, K;

T_v – maisījuma vidējā temperatūra, K;

H_{sm} – jaunā maisījuma entalpija, $\text{kJ} \cdot \text{kmol}^{-1}$;

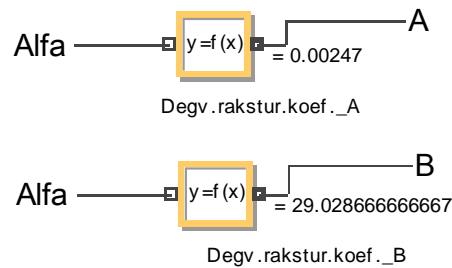
A un B – sadedzes produktu entalpijas vienādojuma koeficienti ($\text{kJ} \cdot \text{kmol}^{-1}$):

$$H_{ps} = AT_{ps}^2 + BT_{ps} + C, \quad (2.15)$$

kur A, B tiek noteikti atsevišķos aprēķinos (sk. 2.12. att.) (Blīvis u.c., 1980):

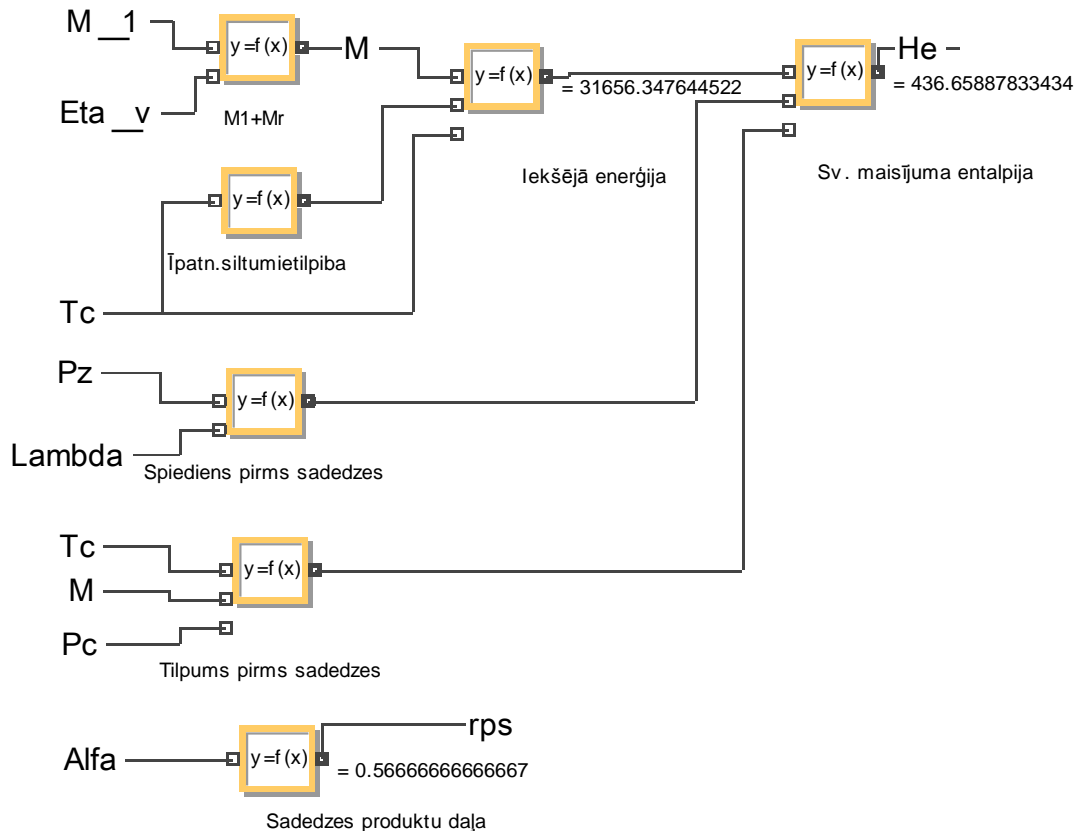
$$A = \left(1.55 + \frac{1.38}{\alpha}\right) \cdot 10^{-3}, \quad (2.16)$$

$$B = 8.314 + 20.1 + \frac{0.922}{\alpha}. \quad (2.17)$$



2.12. 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 2.13. attēlā.



2.13. att. Maisījuma entalpijas aprēķina bloks

Entalpiju aprēķina pēc formulas:

$$H = U + pV, \quad (2.18)$$

kur U – iekšējā enerģija, kJ 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):

$$U = (M_1 + M_r) \cdot c_{vc} \cdot T_c, \quad (2.19)$$

kur M_1 un M_r – attiecīgi svaigās masas un atliku gāzu daudzums degkamerā, kmol kg^{-1} ;
 c_{vc} – darbmaistījuma īpatnējā siltumietilpība, kJ kmol^{-1} ;
 T_c – temperatūra pirms sadedzes, K.

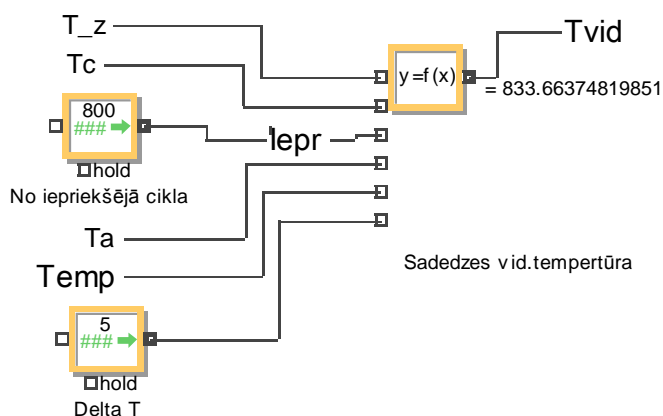
$$p = \frac{P_z}{\lambda}, \quad (2.20)$$

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, kas atkarīgs no ieplūdes trakta izveidojuma, dzesēšanas sistēmas tipa, motora slodzes un citiem faktoriem. Dīzeļmotoriem tas ir 5 līdz 20 K (Blīvis u.c., 1980).

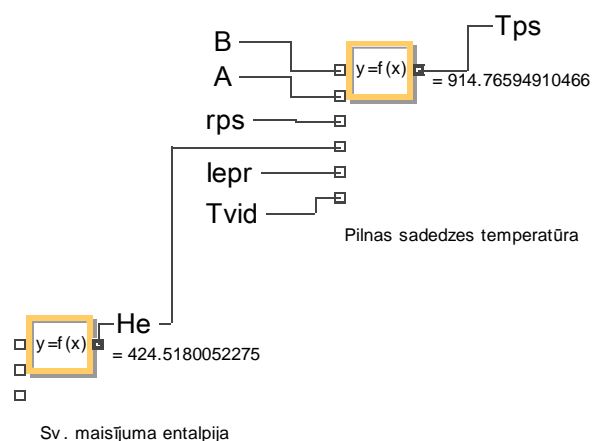
Vidējās temperatūras aprēķina bloks parādīts 2.14. attēlā.



2.14. att. Vidējās temperatūras aprēķina bloks

Kad noteikti visi nepieciešamie dati, var aprēķināt maisījuma pilnas sadedzes temperatūru.

Aprēķina bloks parādīts 2.15. attēlā.



2.15. att. **Pilnas sadedzes temperatūras aprēķina bloks**

Tā kā degvielas sadegšanas procesā iekšdedzes motoros noteicošā ir „termisko” NO_x veidošanās, tad šajā modelī visi aprēķini tiek veikti, izmantojot termiskā aprēķina metodes.

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.

Lai aprēķinātu toksisko izmešu daudzumu, nepieciešams zināt sadegšanas produktu sastāvu katrā degšanas procesa momentā. Aprēķināt sadegšanas procesa kinētiku dažādām oglekļa degvielām ir praktiski neiespējami, tāpēc aprēķinos tiek pieņemts sadegšanas produktu līdzsvara sastāvs. Pieņēmums pamatojas uz to, ka oglekļa degvielu sadegšanas ātrums ir daudz lielāks, nekā, piemēram, atmosfēriskā slāpekļa oksidēšanās reakcija, kur izveidojas NO .

Sadegšanas produktu sastāvu nosaka temperatūra, gāzu maisījuma kopējais spiediens un ķīmisko elementu masas daļas, kas ietilpst sadegšanas produktu ķīmiskajos savienojumos.

Gāzu disociācijas (molekulu sadalīšanās vienkāršākās molekulās, atomos, radikāļos, jonos) pakāpe ātri pieaug, paaugstinoties temperatūrai un ir atkarīga no spiediena. Ja spiediens pazeminās, tad palielinās oglekļa degvielu nepilnas sadegšanas produktu saturs atgāzēs, līdz ar to notiek vairāk ķīmiskas reakcijas, kur tiek patērēt siltums un disociācijas pakāpe pieaug. Ņemot vērā disociāciju, sadegšanas produktu aprēķinu izsaka ar degmaisījuma elementu līdzsvara vienādojumu.

Dīzeļmotora atgāzes parasti satur šādas galvenās komponentes: O , O_2 , O_3 , C , CO , CO_2 , C_nH_m , NO_x , NO_2 , N , N_2 , NH_3 , HNO_3 , HCN , H , H_2 , OH , H_2O . Taču pie spiediena un temperatūras, kas ir motora cilindrā, vairākas komponentes (C_nH_m , $\text{C}_n\text{H}_m\text{O}$, HNO_3 , C u.c) ir nenozīmīgas, jo to daudzums ir mazs un neiespaido toksisko izmešu aprēķinu (Хэмалян, 1976).

Turpmāk apskatīta oglekļa degvielas un gaisa maisījuma sadegšanas produktu līdzsvara noteikšana. Pieņem, ka sadegšanas produktu sastāvā ietilpst 11 komponentes: CO_2 , H_2O , CO , N_2 , O_2 , H_2 , 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.

$$P_z = P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{CO} + P_{N_2} + P_{O_2} + P_{H_2} + P_{OH} + P_{NO} + P_H + P_O + P_N. \quad (2.21)$$

Gāzu maisījumos parciālais spiediens ir gāzes mola daļa reizinājums ar gāzu spiedienu (Spiediens, B.g.):

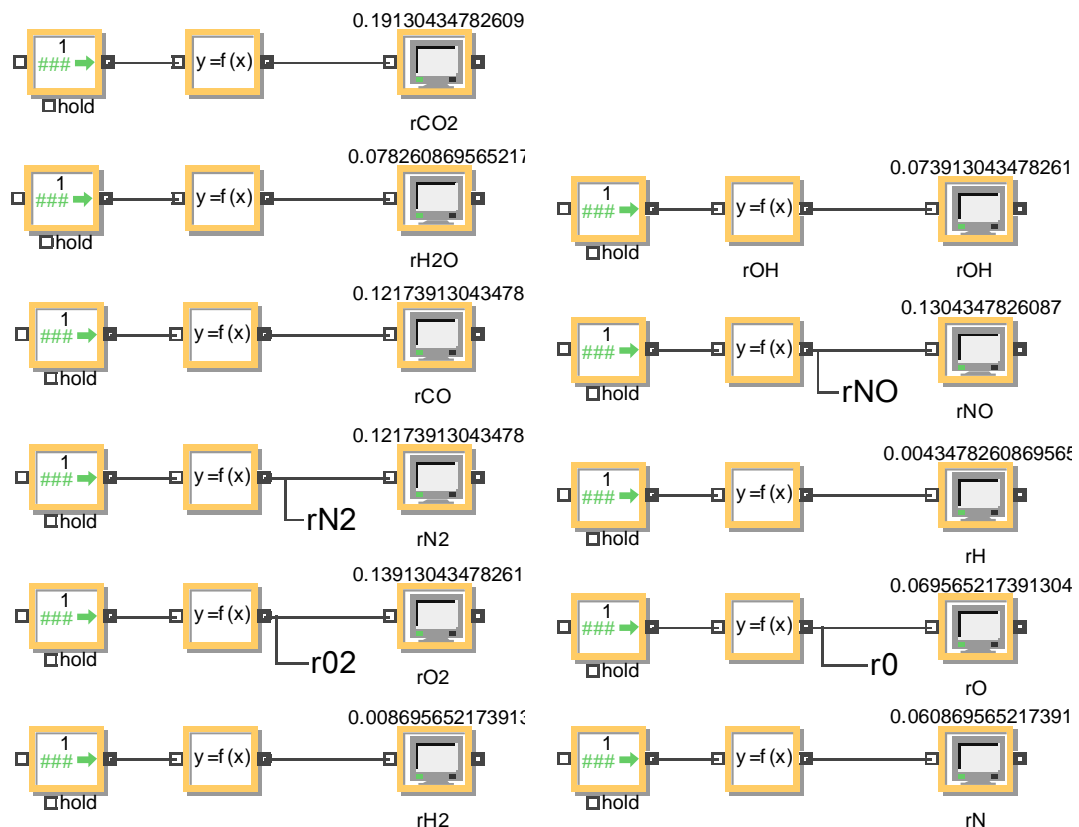
$$P_z = 44P_{CO_2} + 18P_{H_2O} + 28P_{CO} + 28P_{N_2} + 32P_{O_2} + 2P_{H_2} + 17P_{OH} + 30P_{NO} + 1P_H + 16P_O + 14P_N$$

Lai aprēķinātu nepieciešamo gāzu maisījumu koncentrāciju, jāatrisina vienādojumu sistēma:

$$\begin{cases} r_{P_{CO_2}} + r_{P_{H_2O}} + r_{P_{CO}} + r_{P_{N_2}} + r_{P_{O_2}} + r_{P_{H_2}} + r_{P_{OH}} + r_{P_{NO}} + r_{P_H} + r_{P_O} + r_{P_N} = 1 \\ 44_{CO_2} + 18_{H_2O} + 28_{CO} + 28_{N_2} + 32_{O_2} + 2_{H_2} + 17_{OH} + 30_{NO} + 1_H + 16_O + 14_N = 230 \end{cases}$$

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.

Degmaisījuma elementu līdzsvara vienādojuma aprēķina bloks parādīts 2.16. attēlā.



2.16. att. Degmaisījuma elementu līdzsvara vienādojuma aprēķina bloks

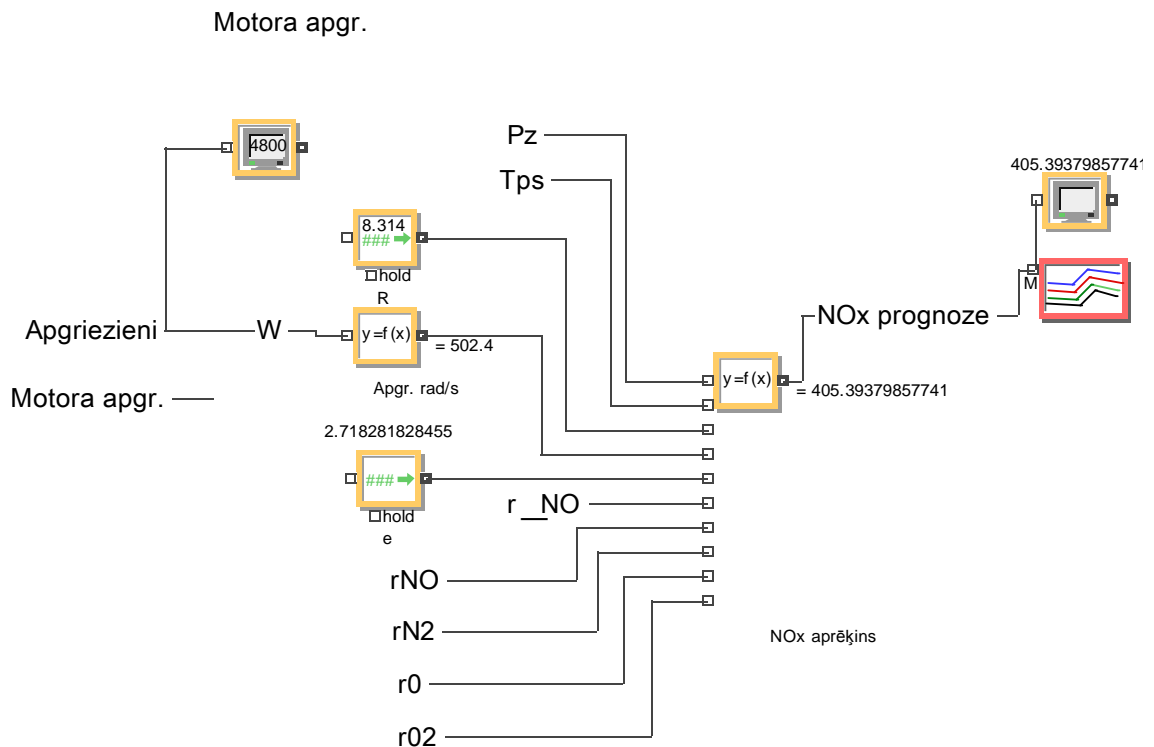
Līdz ar ūdens-spirta maisījuma klātbūtni sadedzes procesā, šīs koncentrācijas nedaudz tiks izmainītas, jo izmainās C, H un O daudzums degmaisījuma sastāvā. Šo izmaiņu aprēķins ir iestrādāts modeļa izveidē un automātiski nosaka nepieciešamo komponentu koncentrāciju.

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

$$d_{NO_x}(n) = \frac{(P_z \cdot 2.333 \cdot 10^7)^{\frac{38020}{T_{ps}}} \cdot r_{N_2} \cdot r_{O_2} \cdot \left[1 - \left(\frac{r_{NO}}{r_{NO_2}} \right)^2 \right]}{RT_{ps} \cdot \left(1 + \left(\frac{2346}{T_{ps}} \right)^{\frac{3365}{r_{NO}}} \cdot \frac{r_{NO}}{r_{O_2}} \right)} \cdot \frac{1}{\omega}, \quad (2.22)$$

- kur P_z – spiediens motora cilindrā, Pa;
 T_{ps} – temperatūra sadegšanas zonā, K;
 R – universālā gāzu konstante, J (mol K)⁻¹;
 ω – kloķvārpstas leņķiskais ātrums, rads⁻¹;
 r_{NO} – slāpekļa oksīda daudzums, g mol⁻¹;
 r_{NO_2} , r_{N_2} , r_{O_2} , r_{O_2} – slāpekļa oksīda, molekulārā slāpekļa, atomārā skābekļa un molekulārā skābekļa koncentrācija.

Slāpekļa oksīdu aprēķina bloku sistēma parādīta 2.17. attēlā. Sistēmai pievienots raksturliķņu bloks, kurā tiek saglabātas pēdējo četru simulāciju raksturliķnes.



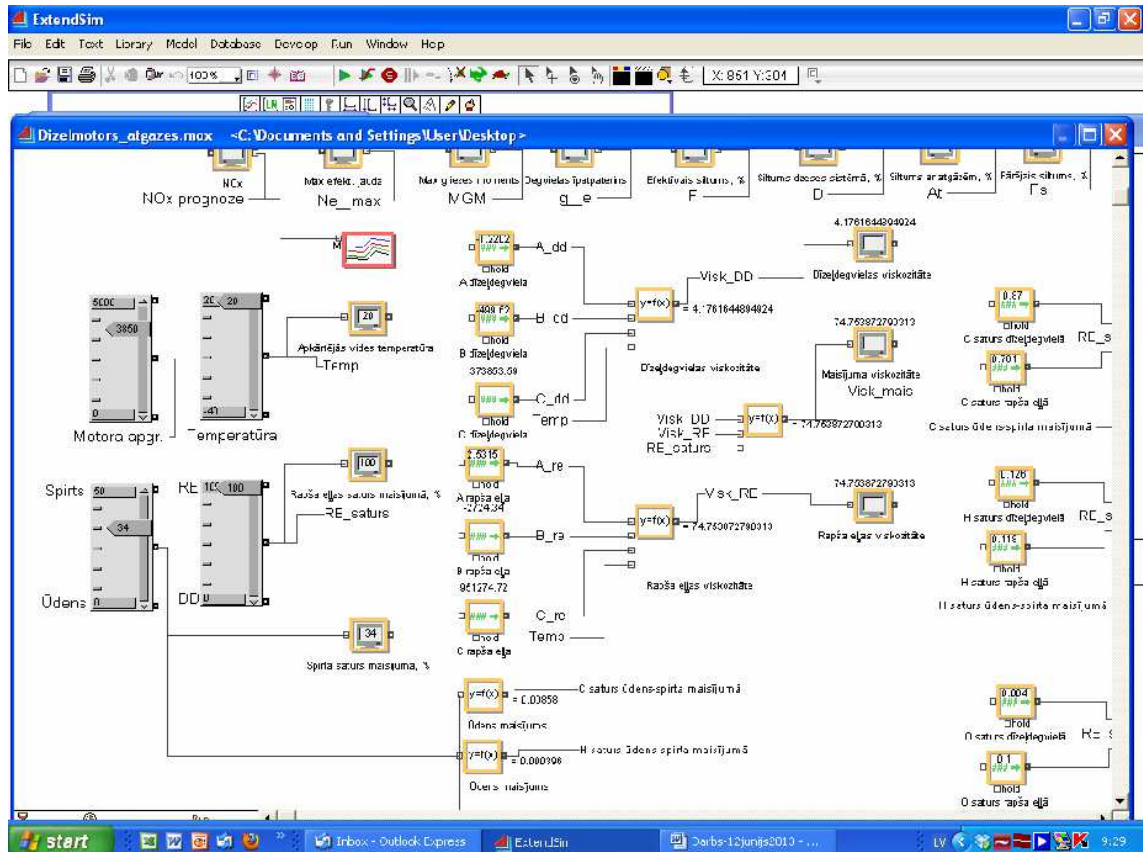
2.17. att. **Slāpekļa oksīdu daudzuma aprēķina bloks**

Modelēšanas programmas *ExtendSim* darba virsmā dažādu aprēķinu bloki izvietoti lielā laukumā, kuru nav iespējams pārredzēt datora monitora displejā. Arī piedāvātā darba panelī nav iespējams izvietot visus datu ievades rīkus, lai ērti varētu veikt modelēšanas procesu.

Tāpēc, lai atvieglotu mainīgo parametru ievadi un simulācijas rezultātu aplūkošanu, uz modeļa darba virsmas noteikto faktoru reģistrēšanas blokiem tuvumā

novietoti iegūto datu pārskata bloki, kuros pēc simulācijas procesa veikšanas var apskatīt iegūto datu skaitliskās vērtības – NO_x daudzumu, maksimālo jaudu, maksimālo griezes momentu, degvielas īpatpatēriņu un siltuma bilanci.

Uz modelēšanas programmas darba virsmas ērti pieejamā pozīcijā izveidoti visi četri bīdņi galveno modelēšanas procesu veikšanai – motora apgriezienu maiņas bīdņis (ja tiek aprēķināts slāpekļa oksīdu daudzums pie konstantiem apgriezieniem), ārējās temperatūras iestatīšanas bīdņis, ūdens-spirta maisījuma koncentrācijas bīdņis un rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas maisījuma noteikšanas bīdņis. Darba virsmas augšējā daļā izvietoti NO_x daudzuma pārskata bloks un siltuma bilances sadalījuma pārskata bloki (sk. 2.18. att.).



2.18. att. Modelēšanas programmas *ExtendSim* darba vide

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.

2.3. Gāzu spiediena maiņas aprēķins dīzeļmotorā

Reālā motorā saspiedes process ir sarežģītu parādību kopa. Tā laikā notiek gāzes noplūde caur neblīvumiem starp virzuļa gredzeniem un cilindra sienām, siltuma apmaiņa starp svaigo pildījumu un motora detaļām utt. No tā izriet, ka saspiedes process ir nevis adiabatisks, bet gan politropisks process ar mainīgu pakāpes rādītāju. Lai vienkāršotu saspiedes procesa aprēķinu, politropas mainīgo pakāpes rādītāju aizstāj ar vidēju lielumu n_1 , kurš visa procesa laikā paliek nemainīgs un kura vērtību izvēlas tā, lai gāzes saspiešanai šajā procesā būtu jāpatērē tāds pats darbs kā procesā ar mainīgo pakāpes rādītāju.

Eksperimentāli pierādīts, ka gāze sienām atdod lielāku siltuma daudzumu, nekā saņem no tām. Tāpēc politropas rādītāja vidējā vērtība ir mazāka nekā adiabatās pakāpes rādītājs. Līdz ar to politropas rādītāju raksturojošā līnija atrodas zem adiabatās rādītāja līnijas (Blīvis u.c., 1980).

Motora darbības pilns cikls sastāv no četriem procesiem – ieplūde, saspiešana, izplete un izplūde. Šajos aprēķinos tiek veikts saspiešanas un izpletes parametru aprēķins, jo tie ir būtiskākie rādītāji, kas maina motora efektīvos parametrus, izmantojot ūdens-spirta maisījumu, respektīvi, iesmidzinot to motora ieplūdes kolektorā. Atkarībā no spirta koncentrācijas ūdens-spirta maisījumā, ir atkarīgs arī spiediens motora cilindrā pēc degmaisījuma sadegšanas.

Lai salīdzinātu gāzu spiedienu motora cilindrā, dīzeļmotoram darbojoties ar ūdens-spirta maisījuma piedevu un bez tās, tiek aprēķinātas un konstruētas indikatora diagrammas. Indikatora diagrammās tiek aprēķināta saspiešanas takts un darba takts, kas ir galvenie motora jaudas raksturojošie parametri.

Indikatora diagrammas parametri tiek aprēķināti pēc formulām:

$$\text{saspiešana} - P_s = P_a \left(\frac{V_a}{V_s} \right)^{n_1}, \quad (2.23)$$

kur P_s – spiediens saspiešanas taktī, MPa;
 P_a – spiediens ieplūdes takts beigās, MPa;
 V_a – cilindra tilpums, dm³;
 V_s – cilindra tilpums, pie kāda tiek veikts aprēķins, MPa;
 n_1 – politropas pakāpes rādītājs.

$$\text{izplete} - P_i = P_b \left(\frac{V_b}{V_s} \right)^{n_2}, \quad (2.24)$$

kur P_i – spiediens izpletes taktī, MPa;
 P_b – spiediens saspiešanas takts beigās, MPa;
 V_b – cilindra tilpums, dm³;
 V_s – cilindra tilpums, pie kāda tiek veikts aprēķins, MPa;
 n_2 – adiabatās rādītājs.

Tālāk ar *Microsoft Excel* programmas palīdzību tiek konstruēta indigramma, kas ir motora darbības raksturotāja diagramma un rāda gāzu spiediena maiņu cilindrā darba cikla laikā. Virzuļmotora indigrammā uz abscisu ass attēlots cilindra virsvirzuļa telpas tilpums atbilstoši virzuļa pārvietojumam, uz ordinātu ass – attiecīgais gāzu spiediens. To var uzskatīt par motora darbības grafiku, kuru var izmantot motora darba procesa pētīšanai.

Gāzu spiedienu maiņu motora cilindrā parāda indikatora diagramma, kur uz abscisu ass atlikts cilindra virsvirzuļa telpas tilpums V atbilstoši virzuļa pārvietojumam, bet uz ordinātu ass – attiecīgais gāzu spiediens P . Ieplūdes takts laikā virzulis pārvietojas no *AMP* uz *ZMP* un gāzu spiediens samazinās līdz spiedienam, kas ir zemāks par atmosfēras spiedienu. Taču svarīgākie rādītāji, kas raksturo siltuma enerģijas pāreju mehāniskā enerģijā, ir parametri saspiešanas un izpletes taktīs.

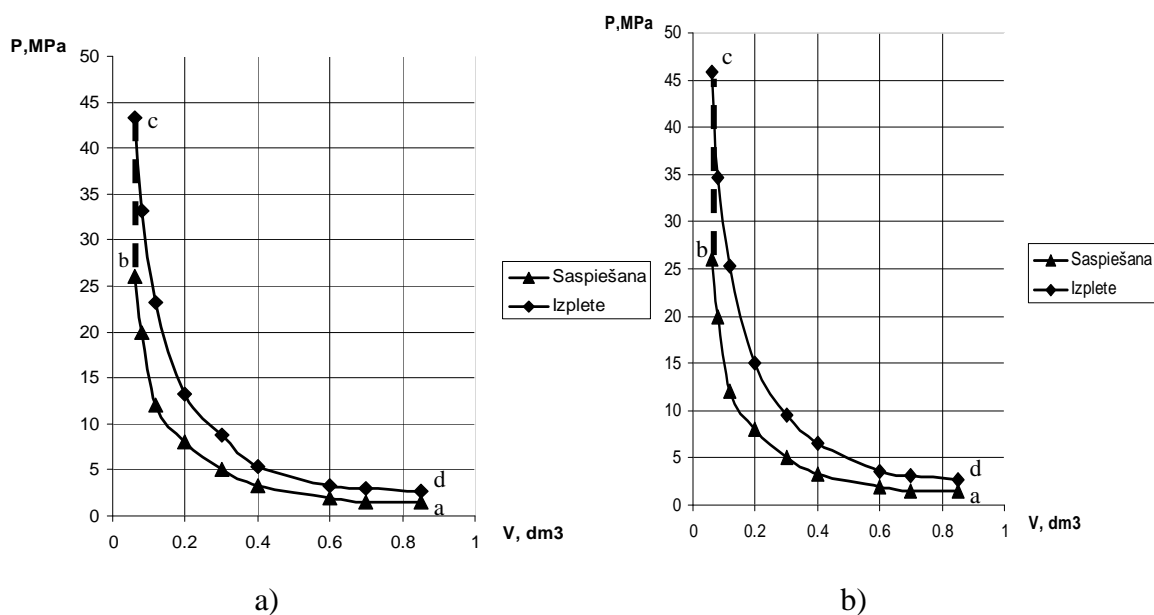
Adiabatās un politropas parametru aprēķinos tiek izmantoti spiediena aprēķini saspiešanas un izpletes taktīs, cilindra tilpums dažādos virzuļa stāvokļos, pakāpes rādītājs, kas raksturo spiedienu un temperatūru saspiešanas takts beigās, un izpletes politropas rādītājs.

Parametri apkopoti 2.1. tabulā, bet indigrammas parādītas 2.19. attēlā.

2.1. tabula. Gāzu maisījuma saspiešanas un izpletes parametri

Parametri bez ūdens-spirta piedevas			Parametri ar ūdens-spirta piedevu		
V, dm ³	Saspiešana, MPa	Izplete, MPa	V, dm ³	Saspiešana, MPa	Izplete, MPa
0.85	1.527	2.687	0.85	1.527	2.725
0.70	1.496	3.021	0.70	1.496	3.102
0.60	1.997	3.311	0.60	1.997	3.631
0.40	3.311	5.365	0.40	3.311	6.498
0.30	5.021	8.762	0.30	5.021	9.488
0.20	8.036	13.241	0.20	8.036	15.001
0.12	12.108	23.253	0.12	12.108	25.354
0.08	19.987	33.211	0.07	19.987	34.689
0.06	26.312	43.231	0.05	26.315	45.765

Saspiedes takti indigrammā (sk. 2.19. att.) attēlo līnija a-b, kur punkts c raksturo, līdz kādam spiedienam tiktu saspiests gaiss, ja nenotiktu degvielas iesmidzināšana, bet darba takti raksturo līnija c-d, kur tiek parādīts maksimālais gāzu spiediens motora cilindrā. Indigrammās redzams, ka maksimālais gāzu spiediens motora cilindrā, darbinot to ar ūdens-spirta piedevu, ir lielāks. Tas izskaidrojams ar to, ka ūdens-spirta piedeva darbojas kā papildus degviela.



2.19. att. Indikatora diagramma motoram *FORD YTR*:

a – bez ūdens-spirta piedevas; b – ar ūdens-spirta piedevu

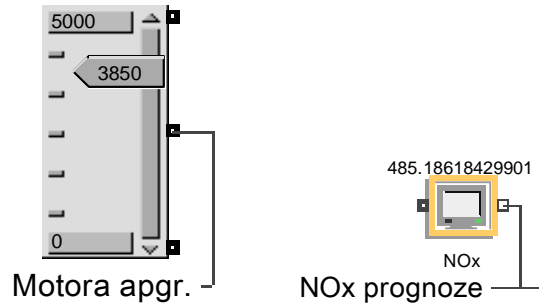
Detalizēts dīzeļmotora *FORD YTR* indikatora diagrammu salīdzinājums un analīze aprakstīta 4.1. apakšnodaļā.

2.4. Modeļpētījumi

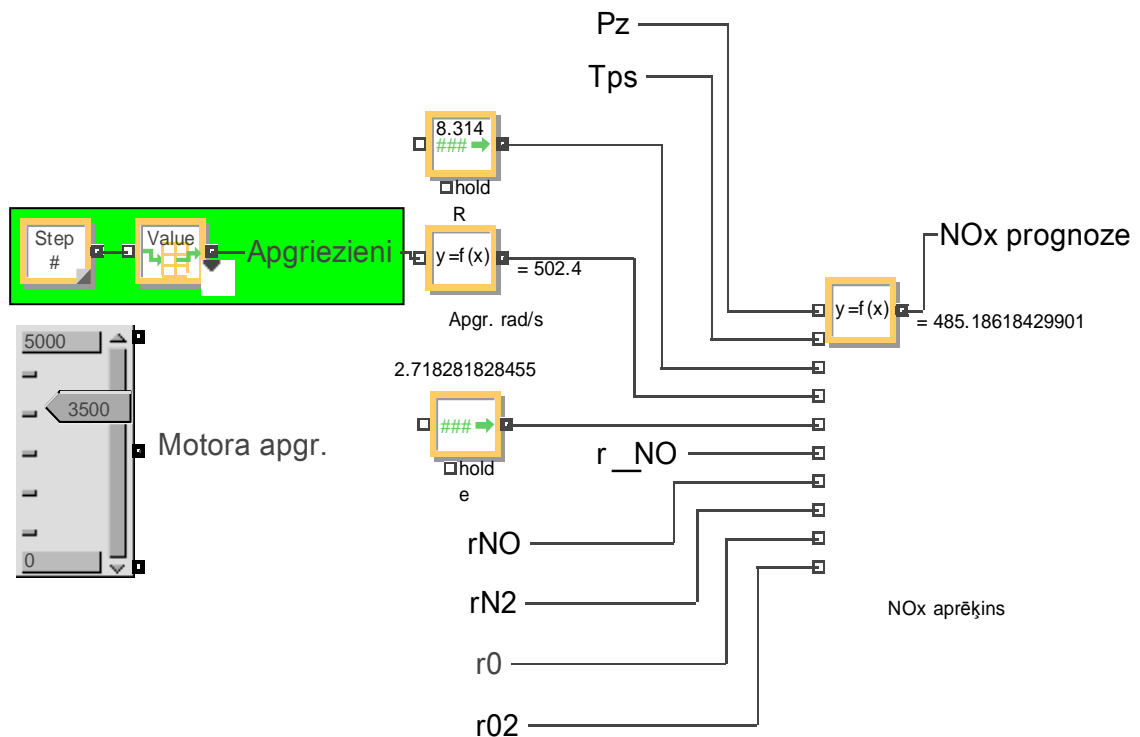
Ar izveidotā modeļa palīdzību var noteikt slāpekļa oksīdu (NO_x) daudzumu (ppm) dīzeļmotora atgāzēs, darbinot to ar rapša eļļas degvielu. Ja dīzeļmotorā tiek izmantota fosilā dīzeļdegviela vai tās maisījumi, tad nepieciešams veikt izmaiņas atsevišķos

modeļa blokos, jo degvielai mainās ķīmiskais sastāvs. Modelī izvietotie aprēķina bloki ļauj noteikt NO_x daudzumu, kas rodas pie augstas sadegšanas temperatūras – 2000 līdz 2500 K, ievērtējot sadedzes ātrumu. Tie veido 90% no visiem slāpekļa oksīdiem, kas ir motora izplūdes gāzēs (pārējie rodas ķīmiskā procesā un tos nav iespējams aprēķināt).

Slāpekļa oksīdu daudzuma aprēķinus iespējams veikt pie dažādiem motora apgriezieniem divos veidos: ievadīt apgriezienu skaitu ar reģistrācijas bloka bīdņa palīdzību (sk. 2.20. att.) vai, pievienojot skaitļu ģeneratoru, kas maina apgriezienus no 800 līdz 5000 ar soli 100 min^{-1} (sk. 2.21. att.).



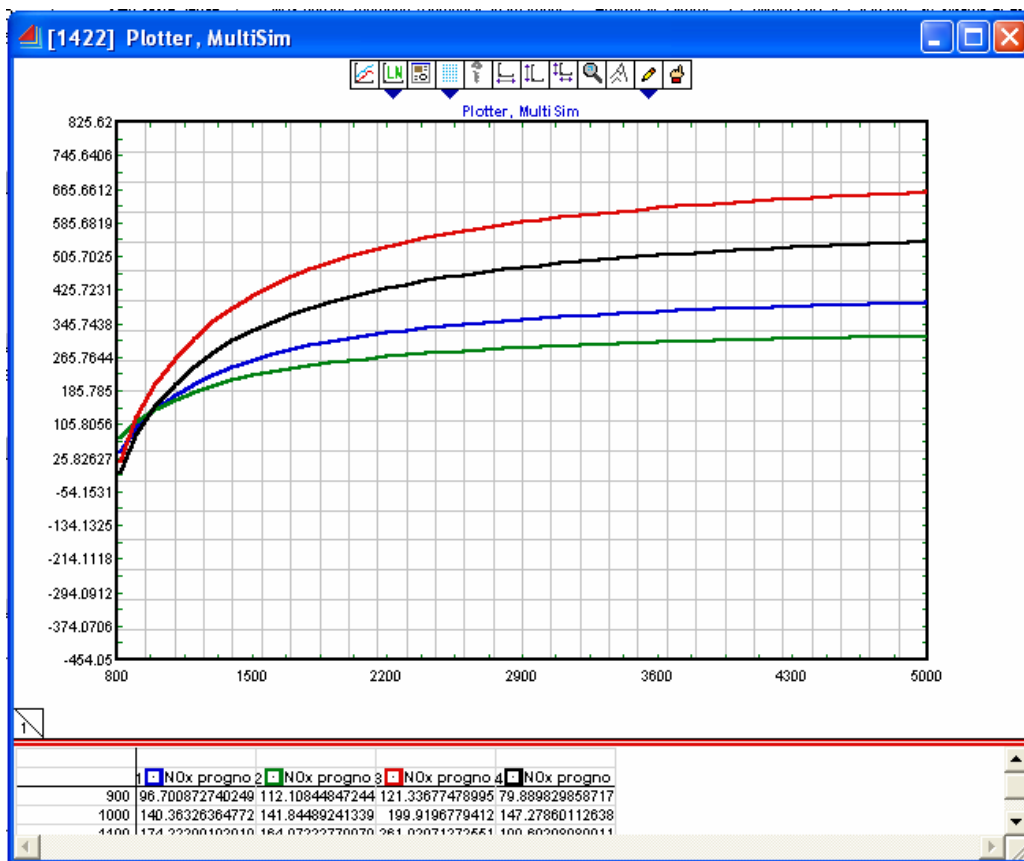
2.20. att. **Motora apgriezienu reģistrācijas un NO_x aprēķinu rezultāta bloki**



2.21. att. **Apgriezienu ģeneratora pievienojums modeļa bloku sistēmai**

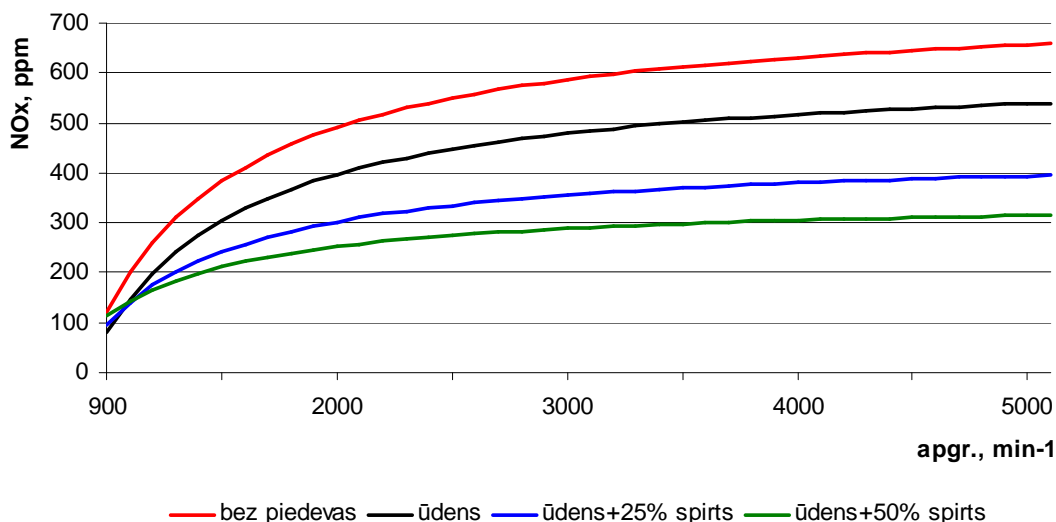
Izmantojot apgriezienu reģistrācijas bloku, iespējams noteikt slāpekļa oksīdu daudzumu pie konstantiem apgriezieniem, izmainot ūdens-spirta procentuālo sastāvu iesmidzināšanai ieplūdes kolektorā. Taču daudz uzskatāmāk ir noteikt NO_x daudzumu, izmantojot skaitļu ģeneratoru, kur iespējams redzēt slāpekļa oksīdu daudzuma izmaiņas visā apgriezienu diapazonā un ar dažādu spirta koncentrāciju.

Programmas *MultiSim Plotter* dialoga logā iespējams saglabāt četru pēdējo simulāciju līknes (sk. 2.22. att.), kas uzskatāmi parāda slāpekļa oksīdu veidošanos pie dažādiem motora apgriezieniem.



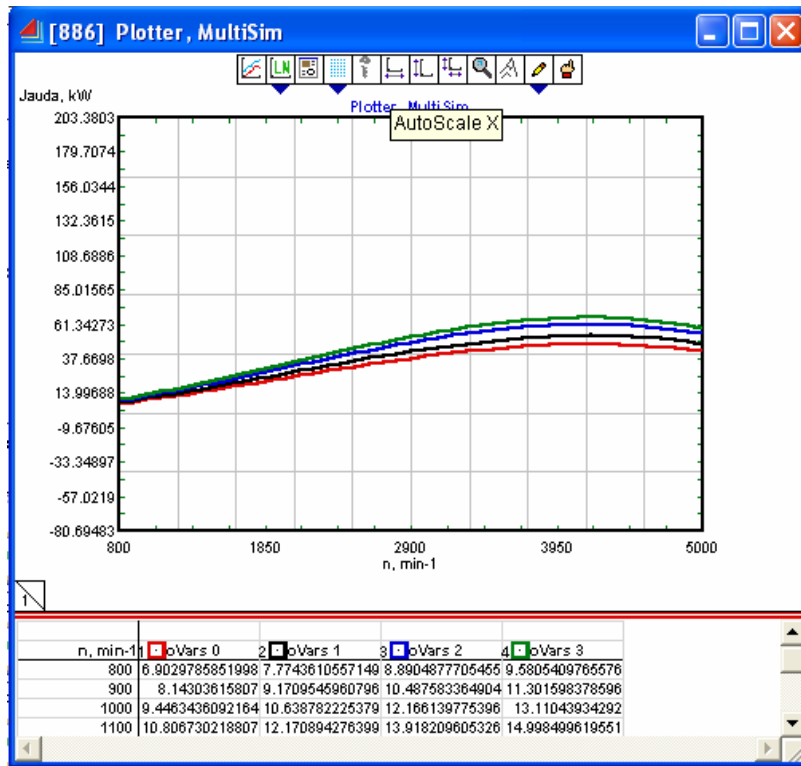
2.22. att. NO_x prognozes līknes *MultiSim Plotter* dialoga logā

2.23. attēlā parādītas teorētiskā NO_x daudzuma aprēķina diagrammas dīzeļmotoram *FORD YTR*. Kā redzams attēlā, tad vislielākais slāpekļa oksīdu daudzums ir, motoram darbojoties ar lieliem apgriezieniem. Tas izskaidrojams ar to, ka pie lieliem motora apgriezieniem ir jāsadedzina vairāk degvielas, un ir augstāka sadedzes temperatūra. Taču, iesmidzinot ūdens-spirta maisījumu ieplūdes kolektorā, būtiski samazinās NO_x daudzums, un pie 2000 min⁻¹, izmantojot ūdens-spirta 50% maisījumu tā daudzums ir tikai 252 ppm.

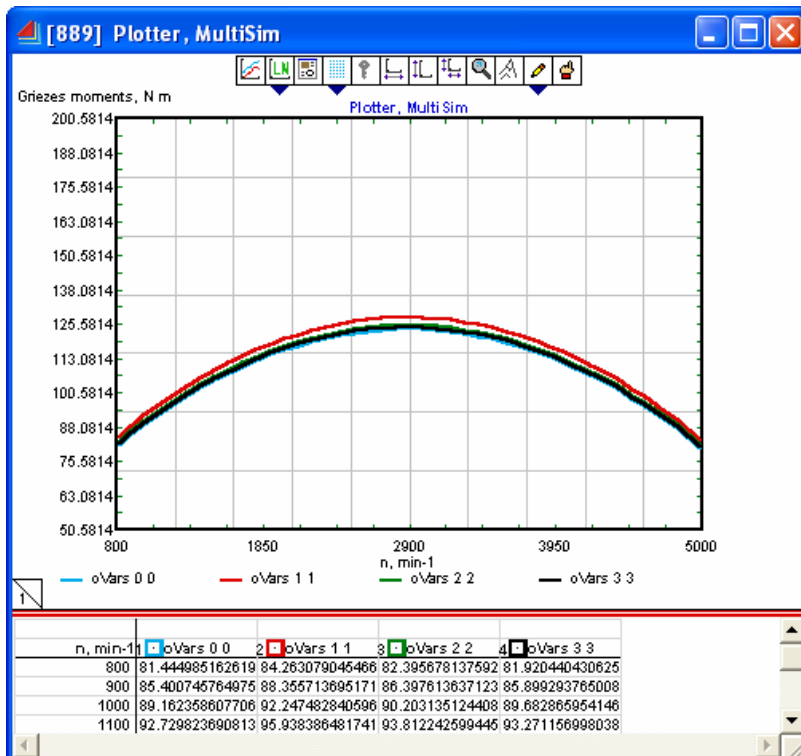


2.23. att. NO_x daudzums atkarībā no iesmidzināmās piedevas satura

Lai noteiktu dīzeļmotora efektīvo parametru (jauda, griezes moments) izmaiņas, iesmidzinot dažādas koncentrācijas ūdens-spirta maisījumu, ir izveidoti divi *MultiSim Plotter* dialoga logi, kur uzskatāmi var salīdzināt pēdējo četru simulāciju rezultātus (sk. 2.24. un 2.25. att.).

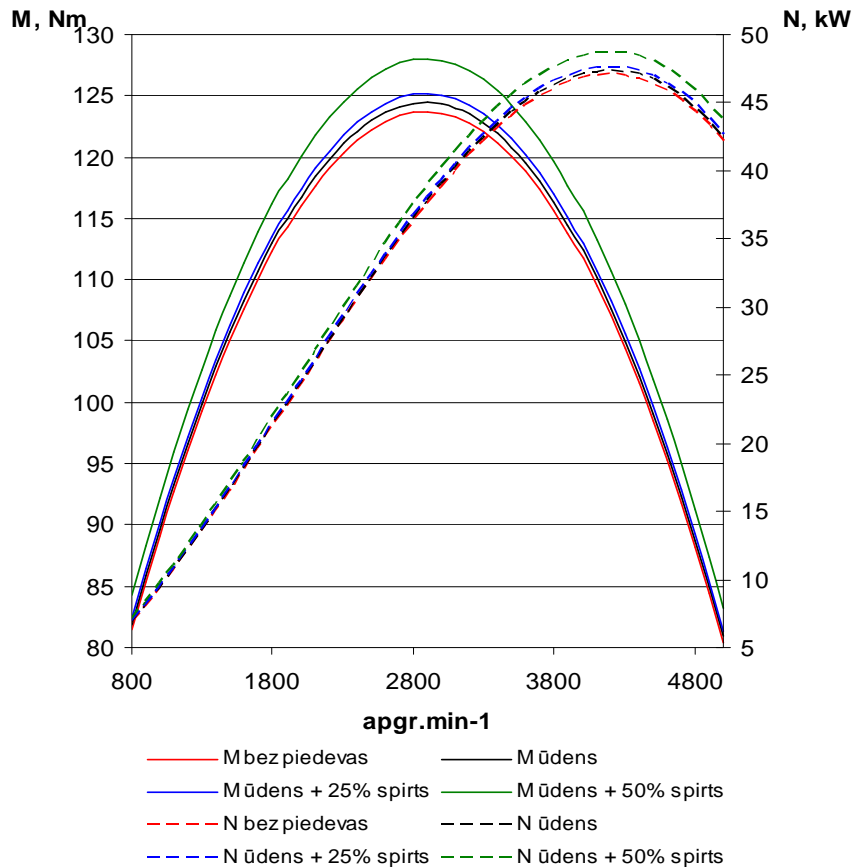


2.24. att. Jaudas līknes *MultiSim Plotter* dialoga logā



2.25. att. Griezes momenta līknes *MultiSim Plotter* dialoga logā

Jaudas un griezes momenta raksturlīknes motoram *FORD YTR* parādītas 2.26. attēlā. Maksimālā jauda palielinās par 1.63 kW jeb 3.5%, iesmidzinot ieplūdes kolektorā ūdens-spirta 50% maisījumu. Tas izskaidrojams ar to, ka ūdens-spirta maisījums strādā kā papildus degviela.



2.26. att. **Jaudas un griezes momenta izmaiņas atkarībā no iesmidzināmās piedevas satura**

Kā redzams 2.26. attēlā, maksimālais griezes moments, iesmidzinot ūdens-spirta 50% maisījumu, palielinās no 123.74 Nm līdz 128.03 Nm jeb par 3.5%. Nelielas griezes momenta izmaiņas vērojamas arī, iesmidzinot ūdeni vai 25% ūdens-spirta maisījumu.

Degvielas īpatņrīņš izstrādātajā modelī ir neprecīzs, jo tas tiek rēķināts kopā no visa degmaisījuma sastāva, ieskaitot gan rapša eļļu, gan spirtu. Līdz ar to dati par degvielas patēriņu tiks noteikti empīriskos pētījumos.

Teorētisko pētījumu rezultātu kopsavilkums

Dīzeļmotoru atgāzu komponentes NO_x prognozēšanai izmantota modelēšanas programma *EkstendSim Suite*. Rezultātu iegūšanai izmantotas modelēšanas un prognozēšanas metodes. Teorētisko pētījumu rezultāti uzskaitīti zemāk pieminētajos punktos.

1. Izveidots matemātiskais modelis, lai prognozētu slāpekļa oksīdu daudzumu ar rapšu eļļu darbināmu dīzeļmotoru atgāzēs, izmantojot ūdeni vai ūdens-spirta maisījuma piedevu ieplūdes gaisam.
2. Ar izveidotā modeļa palīdzību iespējams noteikt jaudas un griezes momenta izmaiņas, iesmidzinot ūdens-spirta maisījumu dažādās koncentrācijās motora ieplūdes kolektorā.

3. Izveidotais modelis paredzēts NO_x daudzuma prognozēšanai dīzeļmotoriem, kuri tiek darbināti ar tīru rapšu eļļu (AE100), vai ar tās maisījumiem ar fosilo dīzeļdegvielu.
4. Modelpētījumos noteikta NO_x daudzuma prognoze dīzeļmotoram *FORD YTR*, kuram analogiski mērījumi veikti eksperimentālos pētījumos.
5. Modelēšanas procesā noskaidrots, ka NO_x daudzumu eksperimentālajam motoram iespējams regulēt atkarībā no ūdens vai ūdens-spirta maisījuma daudzuma iesmidzināšanas ieplūdes kolektorā vai spirta koncentrācijas ūdens-spirta maisījumā.
6. Modelpētījumos konstatēts, ka motoram *FORD YTR* slāpekļa oksīdu daudzums samazinās vidēji par 59%, iesmidzinot ūdeni, bet 7 reizes, ja tiek iesmidzināts ūdens-spirta 50% maisījums.
7. Nosakot jaudu un griezes momentu motoram *FORD YTR*, aprēķināts, ka gan jauda, gan griezes moments palielinās par 3.5%, iesmidzinot ūdens-spirta 50% maisījumu.

3. SLĀPEKĻA OKSĪDU SAMAZINĀŠANAS EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI

No izplūdes gāzēm gaisā nokļūst tādas kaitīgās vielas, kā slāpekļa oksīdi, oglekļa oksīdi, oglekļa dioksīds, svārstīgā gāze, kvēpi vai cietās daļiņas, sēra dioksīds. Visvairāk kaitīgo izplūdes gāzu rodas, motoru iesildot un tam darbojoties brīvgaitā. Tāpēc pirmie eksperimenti tika veikti uz izveidotā motorstenda, izmantojot tīru rapša eļļu (AE100) kā degvielu un ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēmu ieplūdes kolektorā.

3.1. Atgāzu pētījuma metodika, izmantojot motorstendu

Transporta līdzekļus, kuru motori aprīkoti darbināšanai ar rapšu eļļu un tās maisījumiem ar fosilo dīzeļdegvielu, brīvi iespējams ekspluatēt līdz -25 °C (Birkavs, Dukulis, Birzietis, 2010.).

No līdzšinējo pētījumu rezultātiem var secināt, ka augu eļļu AE100, kura atbilst ES pieņemtā standarta prasībām, var lietot dīzeļmotoros ilgstoši, un tās lietošana neizraisa motora vai to sistēmu bojājumus. Pētījumi par augu eļļas degvielas izmešu sastāvu liecina par to, ka toksisko vielu saturs izplūdes gāzēs, līdzīgi biodīzeļdegvielai, samazinās salīdzinājumā ar fosilo dīzeļdegvielu un atsevišķu toksisko izmešu komponentu daudzums ir pat mazāks kā biodīzeļdegvielai (Dukulis et al., 2009).

Taču dažu toksisko komponentu samazinājums nebūt nenozīmē, ka atgāzes kopumā ir nekaitīgākas. Tāpēc veikts eksperiments, kurā salīdzināts atgāzu toksisko komponentu sastāvs, izmantojot rapša eļļas degvielu AE100, pakāpeniski veicot ūdens-spirta iesmidzināšanu dīzeļmotora ieplūdes kolektorā.

3.1.1. Rapša eļļas izmešu izpētes apstākļu raksturojums un metodika

Eksperimentālie testi veikti Alternatīvo degvielu zinātniskajā laboratorijā (ADZL). Toksiskie izmeši noteikti ar *AVL SESAM FTIR* atgāzu analītisko sistēmu. Iekārta paredzēta gan ottomotoru, gan dīzeļmotoru atgāzu komponentu noteikšanai dažādos motora darbības režīmos. Atgāzu sastāvs noteikts ar infrasarkanu staru spektrometra palīdzību. Ar šo iekārtu iespējams noteikt 24 – 27 dažādas atgāzu komponentes. Galvenās no tām ir: AHC; C_2H_2 ; C_2H_4 ; C_2H_6 ; C_3H_8 ; C_4H_6 ; C_4H_8 ; CH_4 ; CO_2 ; CO ; COS ; H_2O ; $HCHO$; HCN ; $HCOOH$; $HNCO$; $MeCHO$; N_2O ; NC_{10} ; NC_8 ; NH_3 ; NO_2 ; NO ; SO_2 . Ar *AVL* atgāzu analītisko sistēmu iespējams mērīt un reģistrēt atgāzu sastāvu gan brīvgaitas, gan arī dažādos slodzes režīmos. Nepārtrauktās mērīšanas režīmā iekārta ir spējīga darboties 60 minūtes (Alternatīvo degvielu zinātniskā..., B.g.).

Degvielas patēriņa noteikšanai eksperimenta veikšanai tika izmantoti elektroniskie svāri *Kern – 440-49A*. Elektronisko svaru *Kern – 440-49A* specifikācija:

- maksimālais mērīšanas diapazons – 6000 g;
- precizitāte līdz 0.1 g;
- svēršanas dati tiek pārraidīti un saglabāti datorā;
- reproducējamība 0.1 g;
- linearitāte ± 0.3 g;
- stabilizācijas laiks 3 s;
- pieļaujamais apkārtējās vides temperatūra + 5 līdz + 35 °C.

Atgāzes noteiktas, izmantojot motorstendu, kurš aprīkots ar *Opel 16 DA* vienrindas četru cilindru OHC dīzeļmotoru. Tā darba tilpums ir 1598 cm^3 , kompresijas pakāpe – 23 un jauda 40 kW. Motors aprīkots ar degvielas sūkni Bosch VE 4/9R215 un nodrošina sprauslu atvēršanās spiedienu līdz 135 bar.

Tas aprīkots ar „divu tvertņu sistēmu”, kas ļauj to darbināt ar rapšu eļļu (AutoData..., 2007). Degvielas padeves un uzsildīšanas sistēmas pamatā ir degvielas sūkņi, kuri paredzēti augu eļļas un fosilās dīzeļdegvielas padevei uz dīzeļmotora augstspiediena sūkni, kā arī, lai nodrošinātu vajadzīgo degvielas spiedienu zemspiediena sistēmā. Augu eļļas vajadzīgās viskozitātes nodrošināšanai kalpo siltummainis, kurš nodrošina siltuma apmaiņu starp dzesēšanas sistēmu un augu eļļas barošanas sistēmu. Papildus degvielas tvertne kalpo fosilās dīzeļdegvielas uzglabāšanai, kura nepieciešama dīzeļmotora uzsildes procesā, kā arī pirms tā apstādināšanas darba beigās barošanas sistēmas papildīšanai. Elektromagnētiskais vārsts nodrošina augu eļļas plūsmu barošanas sistēmā uz augu eļļas degvielas tvertni. Šo vārstu iespējams vadīt arī manuāli.

Elektriskās vadības sistēmas pamatā ir vadības bloks, kura uzdevums ir nodrošināt visu komponentu pareizu funkciju un uzturēt motora stabilu darbību darbā gan ar fosilo dīzeļdegvielu, gan ar augu eļļu vai tās maisījumiem. Viens no svarīgākajiem elektriskās sistēmas elementiem ir termoslēdzis, kurš ļauj pārslēgt dīzeļmotoru darbībai ar augu eļļu tikai pēc 70 – 80 °C motora temperatūras sasniegšanas. Ja motora temperatūra krītas zem 70 °C, sistēma automātiski pārslēdzas barošanai ar fosilo dīzeļdegvielu.

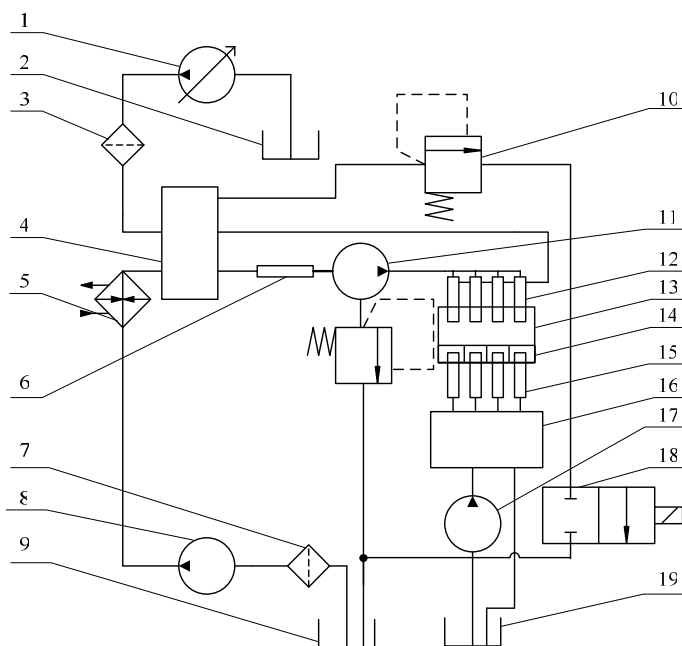
Pirms eksperimentu sākšanas izveidots 50% (pēc tilpuma) ūdens-spirta maisījums *WE50*, kuru iespējams pielietot transporta līdzekļu dīzeļmotoros visu gadu. Motorstends tika aprīkots ar sprauslu sistēmu *WE50* iesmidzināšanai, lai, veicot mērījumus, varētu konstatēt piemērotāko gaisa-*WE50* maisījumu, kas dotu vēlamo rezultātu – NO_x minimizāciju, būtiski nepalielinot citu toksisko izmešu emisiju.

Pēc sagatavošanās darbu veikšanas motors iedarbināts un uzsildīts ar fosilo dīzeļdegvielu līdz darba temperatūrai 85 – 87 °C, pie kuras visām dīzeļmotoru degvielām viskozitāte ir līdzīga. Piedevas *WE50* iesmidzināšanas regulācija nodrošināta ar izveidotās sprauslu sistēmas palīdzību, kura dod iespēju regulēt *WE50* iesmidzināšanas daudzumu. *WE50* iesmidzināšanas sistēma sastāv no četriem smidzinātājiem, kas novietoti ieplūdes kolektorā pretī katram cilindram, sadalītāja-regulatora, sūkņa un tvertnes.

Pirms eksperimentālo mērījumu uzsākšanas pie dīzeļmotora izpūtēja tiek pieslēgta *AVL SESAM FTIR* atgāzu mērīšanas sistēma. Tālāk veic sekojošas darbības:

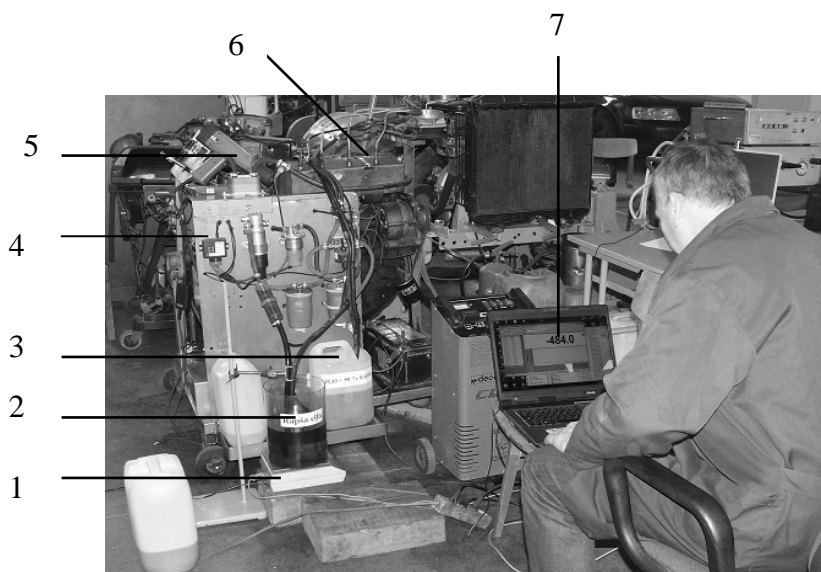
- pievieno atgāzu nosūkšanas sistēmu;
- pievieno motora apgriezienu noteikšanas ierīci (stroboskopu);
- pārbauda motora tehnisko stāvokli, īpašu vērību pievēršot motoreļļas un dzesēšanas šķidrumu līmeņiem;
- ieslēdz elektroenerģijas padevi un veic regulēšanas darbus degvielas patēriņa mērīšanas svāriem;
- novieto testējamās degvielas trauku uz svāriem un nostiprina degvielas vadus ar statīva palīdzību tā, lai tie nepieskartos degvielas trauka malām;
- ielej degvielas traukā testējamo degvielu;
- pārbauda, vai dīzeļmotors pārslēgts barošanai ar fosilo dīzeļdegvielu;
- iedarbina dīzeļmotoru;
- pārbauda motora apgriezienu ierīces darbību;
- uzsilda motoru līdz 70 – 80 °C;
- pārslēdz motoru darbam ar testējamo degvielu;
- pēc šo operāciju sekmīgas beigšanas uzsāk mērījumus.

Motorstenda principiālā shēma parādīta 3.1. attēlā, bet tas darbībā atspoguļots 3.2. attēlā.



3.1. 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



3.2. att. Motorstends eksperimentu veikšanai:

1 – svari Kern – 440-49A; 2 – rapšu eļļas tvertne; 3 – WE50 tvertne; 4 – „divu tvertņu sistēma”; 5 – stroboskops; 6 – WE50 iesmidzināšanas sistēma; 7 – degvielas patēriņa datu reģistrācijas dators

Testi veikti pie 1500 min^{-1} – 120 sekundes un pie 2500 min^{-1} – 120 sekundes. Atkātojumu skaits – 3. Šādi laika diapazoni un atkātojumu skaits ņemti, balstoties uz iepriekš veiktajiem pētījumiem, kas pierādīja, ka ar šādu mērījumu skaitu var nodrošināt rezultātu ticamību (Birkavs, Dukulis, 2011).

Vispirms veikti atgāzu un degvielas patēriņa mērījumi dīzeļmotoram, darbojoties ar rapša eļļu noteiktajos režīmos, bez WE50 piedevas. Pēc tam pakāpeniski tika iesmidzināta piedeva ieplūdes kolektorā no 5 līdz 45 g min⁻¹ ar soli 10 g min⁻¹, kas atbilst relatīvām vērtībām no 0 līdz 1.86% no ieplūstošā gaisa masas, un veikti trīs atkārtojumi katram ieregulētajam režīmam.

3.1.2. Rapša eļļas izmešu izpētes rezultāti, izmantojot motorstendu

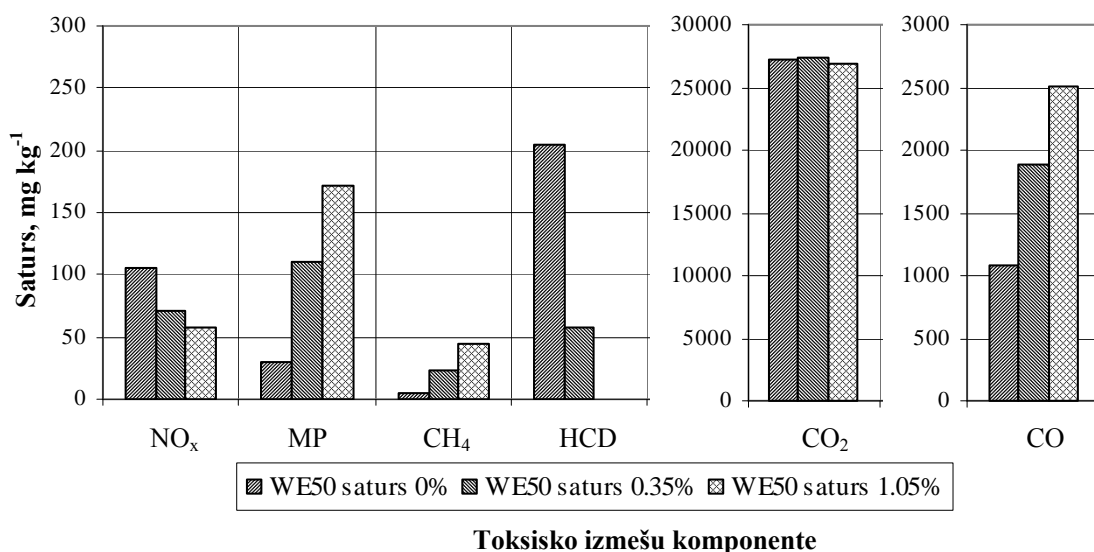
Eksperimenta laikā dīzeļmotora darbības traucējumi netika konstatēti. Visi iegūtie dati ir atspoguļoti turpmākajās tabulās un attēlos. Visas atgāzu komponentes mērītas ppm (daļiņas uz miljonu) mērvienībās. Mērījumu rezultāti apstrādāti, un to izkliede novērtēta ar programmas *Microsoft Excel* palīdzību.

Pirmie testi veikti motoram darbojoties ar 1500 min⁻¹ (sk. 3.1. tab.). Testa rezultāti uzskatāmi parāda, ka NO_x (slāpekļa oksīdi) un HCD (nesadeģušie oglekļa ūdeņraži) samazinās, palielinot piedevas WE50 iesmidzināšanas daudzumu, CO₂ daudzums ir aptuveni līdzīgs, bet CO un cieto daļiņu saturs atgāzēs palielinās. Neskatoties uz nelielo CH₄ (metāna) daudzuma palielināšanos, kopējais oglekļa ūdeņražu saturs atgāzēs samazinājās līdz vērā neņemamam daudzumam.

3.1. tabula. Toksisko izmešu daudzums atgāzēs pie motora apgriezieniem 1500 min⁻¹

WE50 piejaukums, %	NO _x , ppm	MECHO, ppm	CH ₄ , ppm	HCD, ppm	CO ₂ , ppm	CO, ppm
0.00	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	0.00	26908.79	2509.60

Mērījumi pie 1.05% WE50 iesmidzināšanas tika pārtraukti, jo vairāk kā divas reizes pieauga CO un cieto daļiņu saturs atgāzēs (sk. 3.3. att.). Līdz ar to par efektīvāko rezultātu tika atzīts 0.35% WE50 piejaukums ieplūdes gaisam pie 1500 min⁻¹ motora apgriezieniem.



3.3. att. Toksisko izmešu saturs atgāzēs pie motora apgriezieniem 1500 min⁻¹

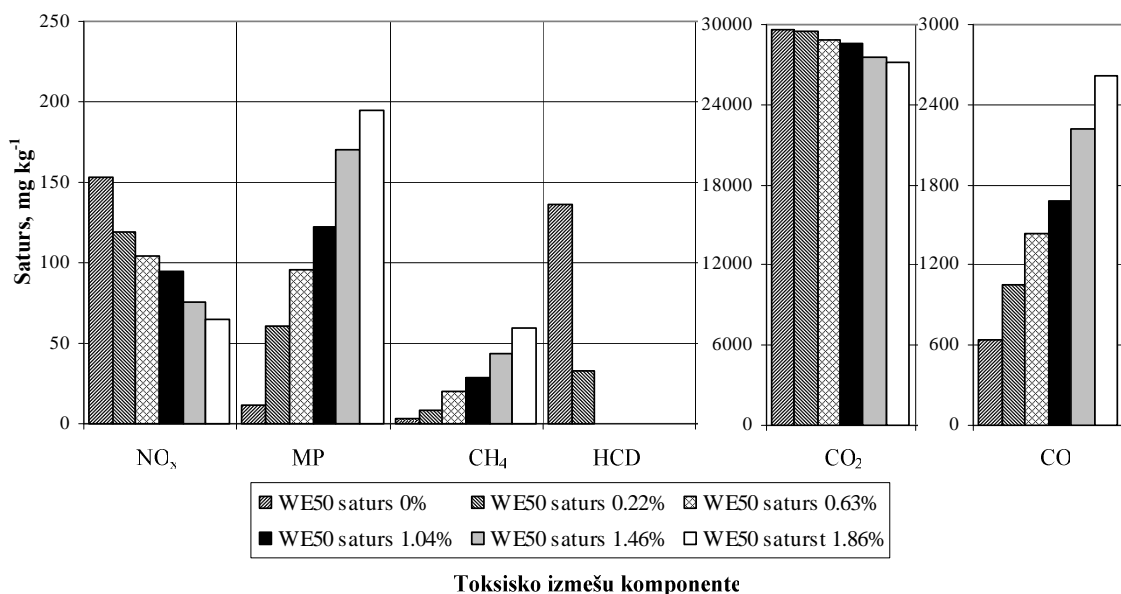
Lai precīzāk varētu noteikt atgāzu izmaiņu tendences pie motora apgriezieniem 2500 min^{-1} , eksperimenti tika veikti vairākos *WE50* padeves režīmos. Mērījumu rezultāti atspoguļoti 3.2. tabulā.

3.2. tabula. Toksisko izmešu daudzums atgāzēs pie motora apgriezieniem 2500 min^{-1}

WE50 piejaukums, %	NO _x , ppm	MECHO, ppm	CH ₄ , ppm	HCD, ppm	CO ₂ , ppm	CO, ppm
0.00	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	0.00	28801.63	1434.64
1.04	94.15	122.17	28.44	0.00	28585.84	1680.85
1.46	76.05	169.75	43.74	0.00	27505.30	2220.19
1.86	64.38	194.98	59.11	0.00	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 nesadegušo ogļūdeņražu saturs, neskatoties uz CH₄ (metāna) satura palielināšanos, samazinājās līdz vērā neņemamai koncentrācijai.

Šajā motora apgriezienu režīmā, palielinot *WE50* padevas daudzumu, izteikti samazinājās CO₂ saturs atgāzēs (sk. 3.4. att.). Taču cieto daļiņu un CO daudzums motora atgāzēs palielinājās vairākas reizes, un līdz ar to mērījumi pie 1.86% *WE50* piejaukuma tika pārtraukti.

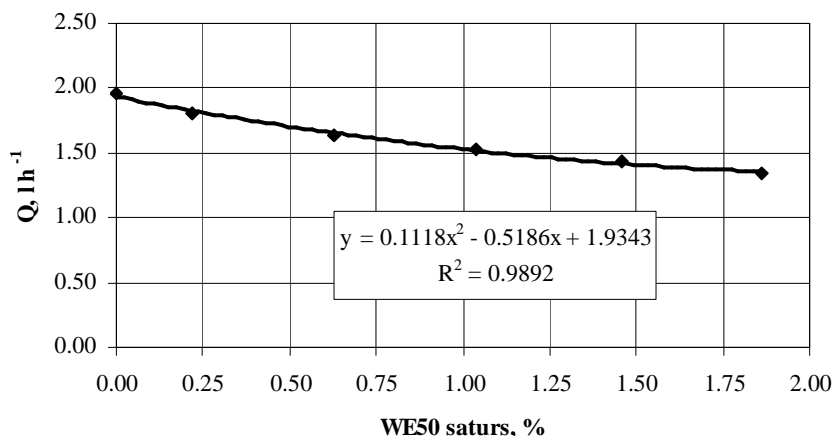


3.4. att. Toksisko izmešu saturs atgāzēs pie motora apgriezieniem 2500 min^{-1}

Pie motora apgriezieniem 2500 min^{-1} par efektīvāko gaisa-*WE50* maisījumu pieņemts 0.63% piejaukums cilindrā ieplūstošajam gaisam, jo NO_x saturs samazinājās par 32%, nesadegušie ogļūdeņraži, neskatoties uz CH₄ (metāna) daudzuma palielināšanos, sasniedza vērā neņemamu vērtību, bet CO₂ samazinājās par 819.2 ppm.

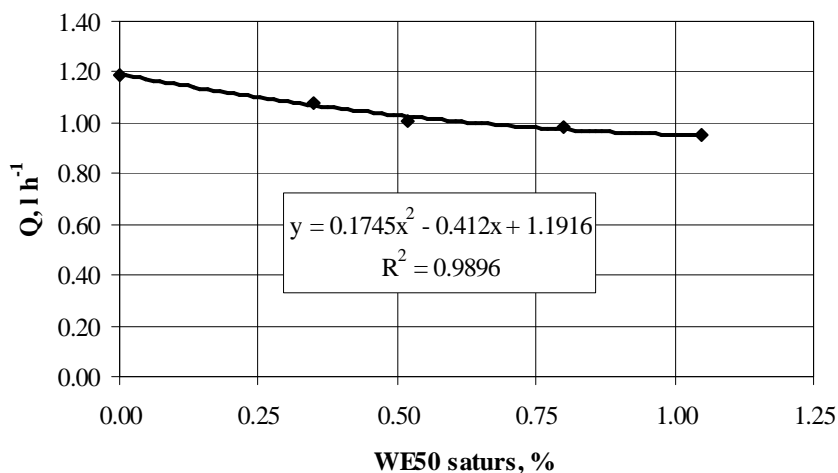
Degvielas patēriņa mērījumi

Motoram darbojoties gan ar 1500 min^{-1} , gan ar 2500 min^{-1} , palielinot *WE50* iesmidzināšanas daudzumu, novērota līdzīga degvielas patēriņa samazināšanās. Degvielas patēriņa diagrammas parādītas 3.5. un 3.6. attēlā.



3.5. att. Degvielas patēriņa diagramma pie motora apgriezieniem 1500 min^{-1}

Pie motora apgriezieniem 1500 min^{-1} degvielas patēriņš samazinājās vidēji par 10% uz katrām 10 g pievienotā *WE50*. Ņemot vērā efektīvāko izmēšu emisijas optimizāciju pie 1500 min^{-1} , degvielas patēriņš tika samazināts par 0.11 l h^{-1} jeb par 9%.



3.6. att. Degvielas patēriņa diagramma pie motora apgriezieniem 2500 min^{-1}

Pie motora apgriezieniem 2500 min^{-1} degvielas patēriņš samazinājās vidēji par 6% uz katrām 10 g pievienotā *WE50*. Ņemot vērā efektīvāko izmēšu emisijas optimizāciju pie 2500 min^{-1} , degvielas patēriņš tika samazināts par 0.33 l h^{-1} jeb par 16%.

Šāds rezultāts daļēji izskaidrojams ar to, ka piedeva *WE50* satur 50% etilspirta un līdz ar to darbojas kā papildus degviela. Tāpēc konstanti palielinot *WE50* pievienojumu ieplūdes gaisam, degvielas patēriņa samazinājums veido lineāru sakarību.

3.2. Atgāzu pētījumi dīzeļmotoram *FORD YTR*

Eksperimentālie pētījumi, izmantojot dīzeļmotoru *FORD YTR* veikti, lai salīdzinātu toksisko izmēšu daudzumu, darbībā ar rapša eļļu un rapša eļļu ar ūdensspirta piedevu. Papildus atgāzu mērījumiem, tika noteiktas motora dinamisko rādītāju

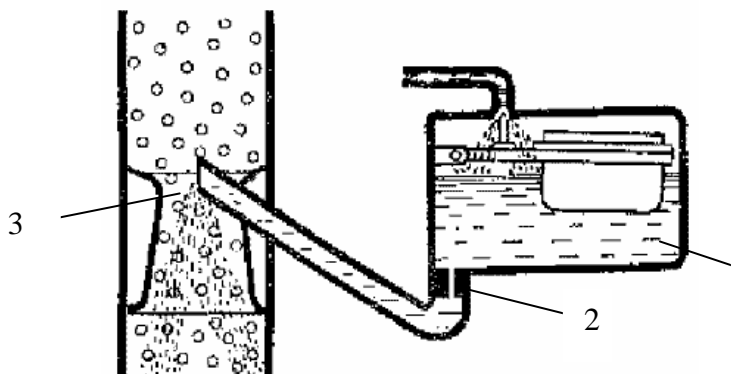
izmaiņas un degvielas stundas patēriņš. Motora *FORD YTR* darba tilpums ir 2304 cm³, kompresijas pakāpe – 22.2 un jauda 49 W. Motors aprīkots ar degvielas sūkni *RotoDiesel* un nodrošina sprauslu atvēršanās spiedienu līdz 115 ± 5 bar.

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

3.2.1. Difuzora un žikleru aprēķins ūdens-spirta padevei *FORD YTR* dīzeļmotorā

Atgāzu pētījumos izmantots dīzeļmotors *FORD YTR*, kas aprīkots ar divu tvertņu sistēmu darbināšanai ar rapšu eļļu.

Ūdens-spirta padeve dīzeļmotora ieplūdes kolektorā tiek nodrošināta uz ežekcijas principa, izmantojot Venturi efektu (Эффект Вентури, Б.г.), kur gaisa plūsma notiek pa sašaurinātu ieplūdes kolektora daļu jeb difuzoru. Difuzorā iemontēta sprausla, no kuras tiek izsmidzināts ūdens-spirta maisījums, kura daudzums atkarīgs no gaisa plūsmas ātruma ieplūdes kolektorā. Lai precīzi varētu pieregulēt vajadzīgo ūdens-etanola padevi, iespējams regulēt tā līmeni padeves kamerā (sk. 3.7. att.). Difuzors uzmontēts ieplūdes kolektora kanālā aiz gaisa filtra.



3.7. att. Ūdens-spirta padeves sistēma motora ieplūdes kolektorā:

1 – ūdens-bioetanola tvertne, 2 – žiklers, 3 – difuzors.

Lai aprēķinātu difuzora izmēru, vispirms tiek noteikts maksimālais ieplūstošā gaisa daudzums V_{iepl} motora cilindrā vienas takts laikā:

$$V_{iepl} = 4S_c \cdot W_c \cdot k, \quad (3.1)$$

kur S_c – virzuļa virsmas laukums, mm²,

W_c – virzuļa vidējais ātrums, m s⁻¹,

k – cilindra pildījuma koeficients (dīzeļmotoram to pieņem 1.5 – 3) (Aizsils, 2011).

Virzuļa ātrumu nosaka pēc formulas:

$$W_c = \frac{G_v \cdot n_{max}}{120}, \quad (3.2)$$

kur G_v – virzuļa gājiens, mm,

n_{max} – maksimālais motora apgriezienu skaits, min⁻¹.

Formula izmantojama tikai četru taktu motoros, jo tiem divu apgriezīenu laikā notiek viena ieplūdes takts.

Virzuļa gājienu iespējams izteikt arī, izmantojot zināmo motora tilpumu:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D_c^2 \cdot G_v}{4}, \quad (3.3)$$

kur V_c – motora tilpums, cm^3 ,
 D_c – virzuļa diametrs, mm.

No formulas 3.3 var izteikt virzuļa gājienu:

$$G_v = \frac{V_c \cdot 4}{\pi \cdot D_c^2}. \quad (3.4)$$

Izmantojot formulas 3.3 un 3.4, var izteikt virzuļa ātrumu:

$$W_c = \frac{V_c \cdot 2 \cdot n_{mah} \cdot k}{\pi \cdot D_c^2}. \quad (3.5)$$

Ievieto virzuļa ātruma izteiksmi sākuma vienādojumā:

$$V_{iepl} = 2 \cdot V_c \cdot n_{max} \cdot k = S_d \cdot W_d. \quad (3.6)$$

No izteiksmes 3.5 izsaka difuzora laukumu:

$$S_d = \frac{2 \cdot V_c \cdot n_{mah} \cdot k}{W_d}. \quad (3.7)$$

Ja izsaka cilindra tilpumu, izmantojot kopējo motora tilpumu, tad iegūst izteiksmi:

$$S_d = \frac{V_m \cdot n_{max} \cdot k}{2 \cdot W_d}, \quad (3.8)$$

kur V_m – motora tilpums, cm^3 .

Formula 3.8 ir izteiksme, ko izmanto, lai aprēķinātu difuzora caurplūdes laukumu. Lai motors varētu attīstīt maksimālo jaudu pie lieliem apgriezīeniem, pildījuma koeficients nedrīkst būtiski samazināties. Līdz ar to vajadzīga tāda difuzora caurplūdes spēja, lai optimāli varētu piepildīt cilindru ar nepieciešamo gaisa un ūdens-spirta maisījumu arī pie lieliem motora apgriezīeniem.

Difuzora caurplūde atkarīga no motora tilpuma, maksimāliem motora apgriezīeniem, pildījuma koeficienta un plūsmas ātruma difuzorā. Eksperimentos noteikts, ka gaisa plūsmas ātrums difuzorā visiem motoru tipiem ir aptuveni vienāds un tā lielums ir 85 m s^{-1} . Noskaidrots arī tas, ka plūsmas ātrums 120 m s^{-1} jau sāk negatīvi ietekmēt jauna maisījuma uzpildīšanu cilindrā (Грибанов и Орлов, 1966). Atsaucoties uz šiem pētījumiem un ņemot vērā, ka eksperimentā izmantotajam motoram nav turbopūtes, pieņem, ka plūsmas ātrums ir 85 m s^{-1} . Šis pieņēmums izmantots difuzora aprēķinā.

Žiklera aprēķins veikts saskaņā ar ūdens-spirta maisījuma pievadīšanai nepieciešamo daudzumu pie maksimāliem motora apgriezīeniem. Aprēķins balstīts uz Puazeila (Puazeja) formulu, kuru lietojot, var aprēķināt šķidrums tilpuma caurplūdumu.

19. gs. sākumā franču fiziķis Puazeils veica vairākkārtējus eksperimentus pētot šķidrums plūsmu cilindriskās caurulēs (Victor and Benjamin, 1985). Viņš novēroja, ka

plūsma apgriezti proporcionāla caurules garumam un šķidrums viskozitātei, kā arī izstrādāja likumu, kas ļauj aprēķināt plūsmas apjomu:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot \mu \cdot l} \cdot (p_1 - p_2), \quad (3.9)$$

kur Q – tilpuma caurplūdums, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

d – žiklera diametrs, mm;

l – žiklera garums, mm;

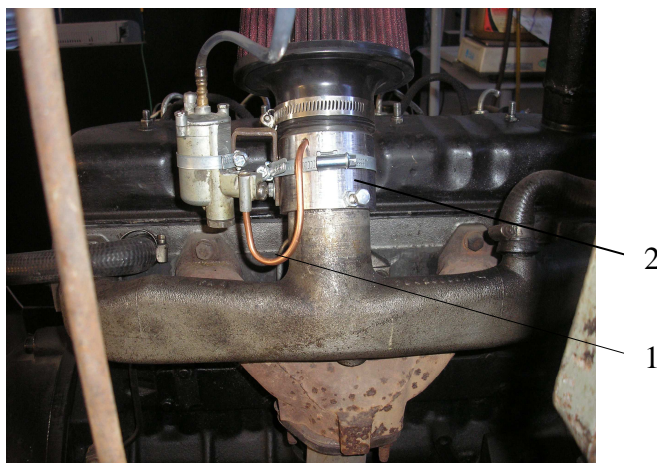
μ – šķidrums dinamiskā viskozitāte, Pa;

p_1 un p_2 – attiecīgi ieplūdes un izplūdes spiedieni, Pa.

No formulas 3.9 var izteikt žiklera diametru d :

$$d = \sqrt[4]{\frac{Q \cdot 128 \cdot \mu \cdot l}{\pi \cdot (p_1 - p_2)}}, \quad (3.10)$$

Ūdens-spirta maisījuma padeves žiklera un difuzora aprēķins parādīts 7. pielikumā. Sistēmas uzstādīšana uz dīzeļmotora parādīta 3.8. attēlā.



3.8. att. Ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēma dīzeļmotoram FORD YTR:

1 – ūdens-spirta maisījuma pievads; 2 – difuzors.

3.2.2. Izpētes apstākļu raksturojums

Pētījumu veikšanai izmantota salīdzinoša izmēģinājumu metode, ar kuras palīdzību var noteikt nepieciešamos motora parametrus, un, salīdzinot iegūtos rezultātus, pārlicināties par aprēķināto un faktisko parametru saderību.

Eksperimenta laikā izmantota rapša eļļa AE100, kas iegādāta SIA „Iecavnieks” un, ūdens-spirta maisījuma pagatavošanai bioetanolis no SIA „Jaunpagasts Plus”.

Eksperimentā izmantots firmas „Elbtalwerk Heidenau” līdzstrāvas balansmašīnas tipa motora testēšanas stends *Rapido 100*. Tā jauda, strādājot ģenerators režīmā, ir 100 kW, bet motora režīmā 89 kW. Stends nodrošina ātruma un slodzes vienmērīgu regulēšanu.

Dīzeļmotors ir pievienots sloģošanas stenda balansmašīnai ar kardānpārveda starpniecību. Motora sloģošanu veic, mainot dinamisko slodzi uz motora kloķvārpstu. Balansmašīna bremsē motoru un izraisīto griezes momentu pārveda svaru iekārtai, kas

uzrāda bremzēšanas spēku. Ja stends ieslēgts testēšanas režīmā, tad dīzeļmotors griež balansmašīnu, kas darbojas ģenerators režīmā un piedzen līdzstrāvas elektromotoru. Pēdējais griež maiņstrāvas asinhrono elektroģeneratoru, kas ražo 380 V maiņstrāvu un to padod tīklā. Vienlaikus tiek piedzīts ierosmes ģenerators, kura ražoto strāvu pievada galveno elektromašīnu ierosmes tinumiem caur regulējamām pretestībām, kuru stāvokli iestata ar rokratu. Mainot ierosmes pretestības, mainās enkura un ierosmes tinumu magnētiskie lauki, un stenda dinamometrs uzrāda slodzi (bremzēšanas spēku).

Papildus izmantota indikatora diagrammas nolasīšanas iekārta.

3.2.3. *Atgāzu pētījumu metodika dīzeļmotoram FORD YTR*

Toksisko izmešu noteikšanai izmantota *AVL SESAM FTIR* atgāzu analītiskā sistēma.

Motorstends *FORD YTR* ir aprīkots ar „divu tvertņu sistēmu”, darbināšanai ar rapša eļļu, bet tvertņu pārslēgšana notiek manuāli, sekojot līdzi motora temperatūras rādītājiem. Ja motora temperatūra krītas zem 70 °C, sistēma tiek pārslēgta barošanai ar fosilo dīzeļdegvielu.

Pirms eksperimentu sākšanas izveidots 50% (pēc tilpuma) ūdens-spirta maisījums. Dīzeļmotora izpūtējam tiek pievienots atgāzu nosūcējs, ar uzstādītu *AVL SESAM FTIR* atgāzu analizatora uztveršanas zondi un uzstādīts stroboskops *Strobotester DG85* apgriezienu kontrolei. Pēc sagatavošanās darbu veikšanas motors tiek iedarbināts un uzsildīts ar fosilo dīzeļdegvielu līdz darba temperatūrai 85 – 87 °C, pie kuras visām dīzeļmotoru degvielām viskozitāte ir līdzīga.

Degvielas patēriņa noteikšanai izmantoti elektroniskie svāri *Kern 440-49A* ar mērīšanas diapazonu līdz 6000 g un precizitāti 0.1 g (specifikācija 3.1.1. apakšnodalā).

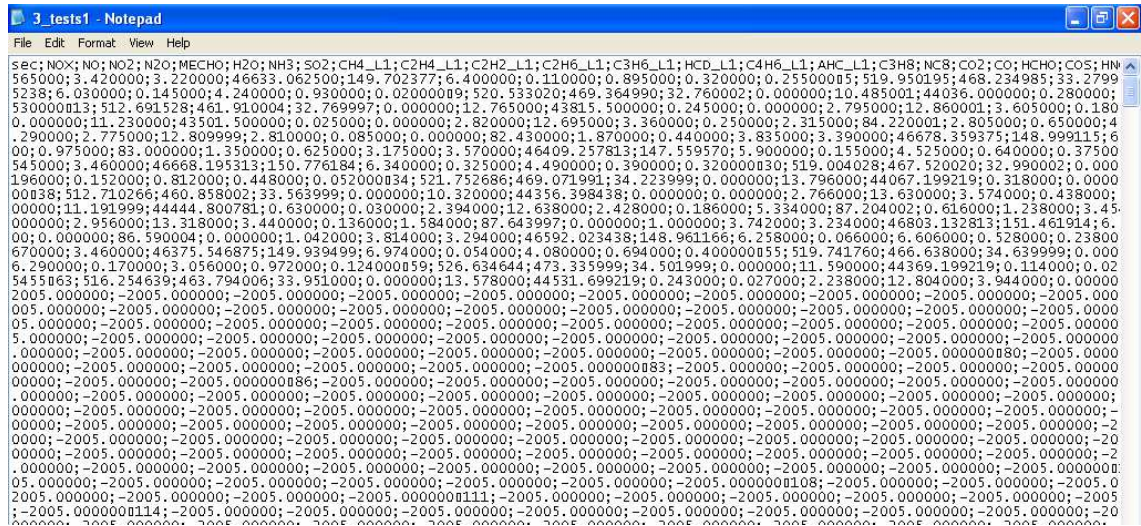
Pirms eksperimentālo mērījumu uzsākšanas tiek uzpildīta ūdens-spirta tvertne. Tālāk veic sekojošas darbības:

- pārbauda motora tehnisko stāvokli, īpašu vērību pievēršot motoreļļas un dzesēšanas šķidrumu līmeņiem;
- ieslēdz elektroenerģijas padevi un veic regulēšanas darbus degvielas patēriņa mērīšanas svāriem;
- novieto testējamās degvielas trauku uz svāriem un nostiprina degvielas vadus ar statīva palīdzību tā, lai tie nepieskartos degvielas trauka malām;
- ielej degvielas traukā rapša eļļu;
- pārbauda, vai dīzeļmotors pārslēgts barošanai ar fosilo dīzeļdegvielu;
- iedarbina dīzeļmotoru;
- pārbauda motora apgriezienu ierīces darbību;
- uzsilda motoru līdz 70 – 80 °C;
- pārslēdz motoru darbam ar rapša eļļu;
- pēc šo operāciju sekmīgas beigšanas uzsāk mērījumus.

Vispirms tika veikti atgāzu un degvielas patēriņa mērījumi dīzeļmotoram, darbojoties ar rapša eļļu noteiktajos režīmos bez piedevas, tad tika nodrošināta ūdens padeve, bet pēc tam tika atvērta ūdens-spirta padeve. Katram ieregulētajam režīmam tika veikti pieci atkārtojumi. Testi tika veikti pie slodzes 50 N, kas atbilst jaudas patēriņam 11.02 kW (≈ 14 Zs), un 1500 min⁻¹ – 120 sekundes un pie slodzes 100 N, kas atbilst jaudas patēriņam 14.71 kW (≈ 19 Zs), un 2000 min⁻¹ – 120 sekundes. Jaudas patēriņš 11.02 kW nodrošina gaisa pāruma koeficientu ≈ 1.5 , bet jauda 14.71 kW – aptuveni 1.2. Atkārtojumu skaits tika pieņemts, balstoties uz iepriekš veiktajiem pētījumiem (Birkavs un Dukulis, 2011), kā arī, novērojot eksperimentālā motora darbības stabilitāti.

3.2.4. Eksperimenta rezultāti un to analīze

Visa eksperimenta gaitā vajadzīgās darbības tika izpildītas saskaņā ar iepriekš izstrādāto metodiku. Vispirms atgāzu mērījumu rezultāti tiek iegūti teksta formātā (sk. 3.9. att.), pēc tam importēti un apstrādāti izklājlapu lietotnē *Microsoft Excel* (sk. 3.10. att.).



3.9. att. Atgāzu mērījumu rezultāti teksta formātā

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	sec	NOX	NO	NO2	N2O	MECHO	H2O	NH3	SO2	CH4_L1	C2H4_L1	C2H2_L1	C2H6_L1	C3H6_L1	HCD_L1
2	1	136.818528	68.406998	66.250999	0	11.881001	24635	0.138	0.399	2.419	16.132	3.58	0	4.562	121.50
3	2	137.040344	68.033997	66.835999	0	9.177	24718.80078	0.466	0.931	2.295	16.223	3.199	0	1.814	124.35
4	3	135.411621	66.531998	66.681	0	10.994	25140.40039	0.336	0	2.159	16.031	3.632	0	3.973	135.61
5	4	137.071228	68.318001	66.503998	0	11.665	25261.30078	0.099	0	2.235	15.587999	3.935	0	5.729	135.90
6	5	136.344437	67.542	66.587997	0	12.272	25096	0.231	0	2.269	16.556	3.038	0	6.539	132.59
7	6	135.167313	66.582001	66.393997	0	13.408001	25066	0	0.141	2.391	16.737	3.49	0	5.488	131.53
8	7	135.277267	67.055	66.080002	0	6.687	24693.40039	0	0.329	2.3	16.187	3.275	0	2.221	126.78
9	8	135.383575	67.257004	65.957001	0	12.037	24859.09961	0.15	0	2.285	16.091999	3.377	0	2.835	131.66
10	9	134.760925	66.514999	66.094002	0	13.333	24773.40039	0.35	0	2.364	16.555	3.363	0	4.41	132.83
11	10	133.909348	65.942001	65.834999	0	14.544	24780.59961	0.015	0	2.576	16.931999	4.226	0	3.968	129.56
12	11	134.751007	66.961998	65.655998	0	13.643	24687.19922	0.035	0	2.342	17.691	3.601	0	0.455	129.45
13	12	136.469818	68.363998	65.962997	0	11.233	24560.5	0.033	0.294	2.201	17.273001	3.331	0	0.144	130.22
14	13	136.028549	67.705002	66.191002	0	13.704	24537	0.239	0.686	2.454	16.387001	3.089	0	0.459	128.28
15	14	134.598114	66.867004	65.596001	0	14.443	24720	0.378	0	2.455	16.313	3.622	0	0.536	138.59
16	15	134.862534	67.768997	64.961006	0	17.855999	24669.80078	0.069	0	2.553	16.584999	3.329	0	0.581	139.05
17	16	136.107117	68.880005	65.061996	0	13.927	24764.19922	0.398	0.12	2.574	16.111	3.777	0	0.297	132.72
18	17	135.612274	68.360001	65.115997	0	11.165	24610.80078	0.553	0.508	2.394	16.323	3.071	0	1.164	130.18

3.10. att. Atgāzu mērījumu rezultātu apstrāde izklājlapu lietotnē

Kļūdu aprēķinos izmantota vispārpieņemtā statistisko datu apstrādes metodika (piemērs 3.3. tab.) (Pommers, 1989; Arhipova un Bāliņa, 2003).

Lai kvalitatīvi veiktu kļūdu aprēķinu, vispirms tiek noteikta vidējā aritmētiskā vērtība, kas ir visu mērīšanas rezultātu summa dalīta ar to skaitu. Tālāk tiek noteikta standartnovirze jeb vidējā kvadrātiskā novirze, kas raksturo varianšu izkliedi ap vidējo aritmētisko, un variāciju koeficients, kas ir universāls izkļiedes rādītājs. Ja variāciju koeficients ir mazāks par 10%, tad var secināt, ka mērījumi ir vienveidīgi, pretējā gadījumā tos par vienveidīgiem uzskatīt nevar un jānoskaidro lielās variācijas cēloņi.

3.3. tabula. Eksperimentālo mērījumu kļūdu aprēķins dīzeļmotoram *FORD YTR* pie 2500 min⁻¹ bez ūdens-spirta maisījuma piedevas

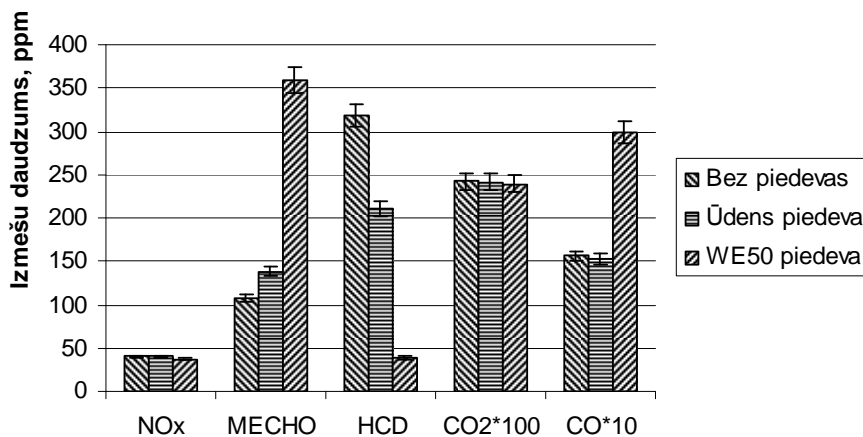
Parametrs	NO _x	MECHO	HCD	CO ₂	CO
Vidējā vērtība	546.95	15.04	48.44	53170.67	141.24
Standartkļūda	2.25	1.72	4.90	300.57	2.11
Standartnovirze	3.90	2.97	8.49	520.61	3.66
Amplitūda	7.61	5.90	16.98	1034.00	6.99
Minimālā vērtība	543.63	12.30	39.99	52689.00	138.37
Maksimālā vērtība	551.24	18.20	56.97	53723.00	145.36
Mērījumu skaits	3	3	3	3	3
Variāciju koeficients	0.7%	19.7%	17.5%	0.9%	2.5%

Standartkļūda raksturo neprecizitāti, kas rodas, vispārinot paraugkopas vidējo aritmētisko uz ģenerālkopu, un to parasti pieraksta kopā ar vidējo aritmētisko, atdalot ar plus-mīnus zīmi.

Papildus kļūdu aprēķinam, tabulā ierakstītas minimālā un maksimālā vērtības, lai pārlicinātos, vai teorētisko aprēķinu rezultāts iekļaujas šajā diapazonā.

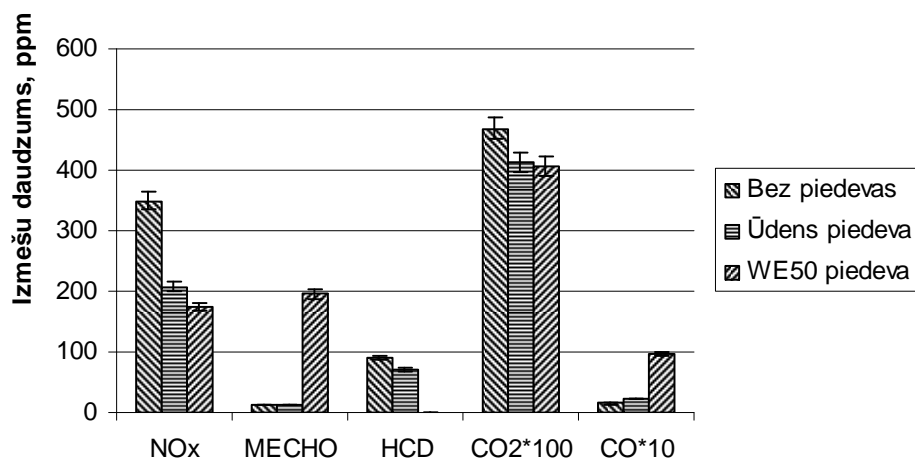
Pirmā eksperimenta posmā tika veikti pētījumi, motoram darbojoties brīvgaitas režīmā ar 900 min⁻¹ un trijos jaudas režīmos – 1500 min⁻¹, 2000 min⁻¹ un 2500 min⁻¹ pie slodzes 50 N. Šādi motora režīmi tika izvēlēti tāpēc, ka tas atbilst dīzeļmotora darbībai gan pilsētas, gan ārpuspilsētas braucienos, nodrošinot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

Brīvgaitas režīmā (sk. 3.11. att.) NO_x daudzuma samazināšanās, izmantojot ūdens-spirta maisījumu, nav novērojama, 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%.



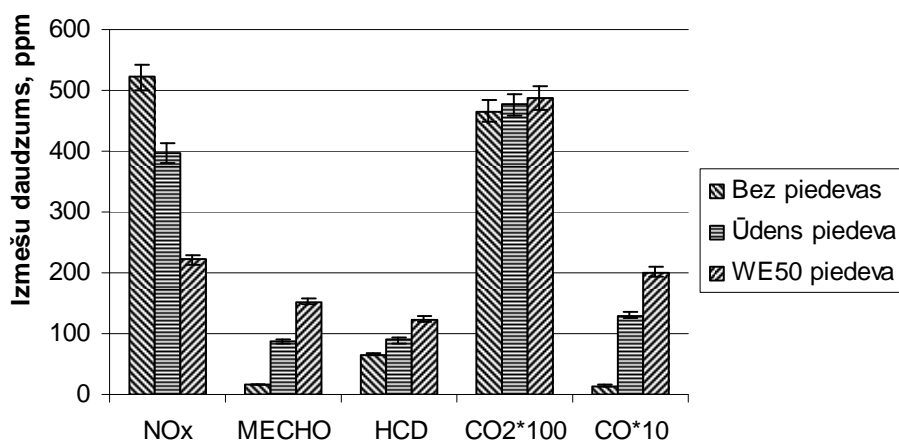
3.11. att. Toksisko izmešu daudzuma izmaiņas dīzeļmotoram *FORD YTR* pie 900 min⁻¹

Pie motora apgriezieniem 1500 min⁻¹ NO_x daudzuma samazinājums, izmantojot ūdens vai ūdens-spirta maisījumu, ir izteikts – attiecīgi par 39% un 52%. Nesadegušo oglekļa dioksīda daudzums samazinās līdz minimumam. Tas izskaidrojams ar to, ka ūdens-spirta piedeva uzlabo sadedzes procesu dīzeļmotora cilindrā (sk. 3.12. att.).

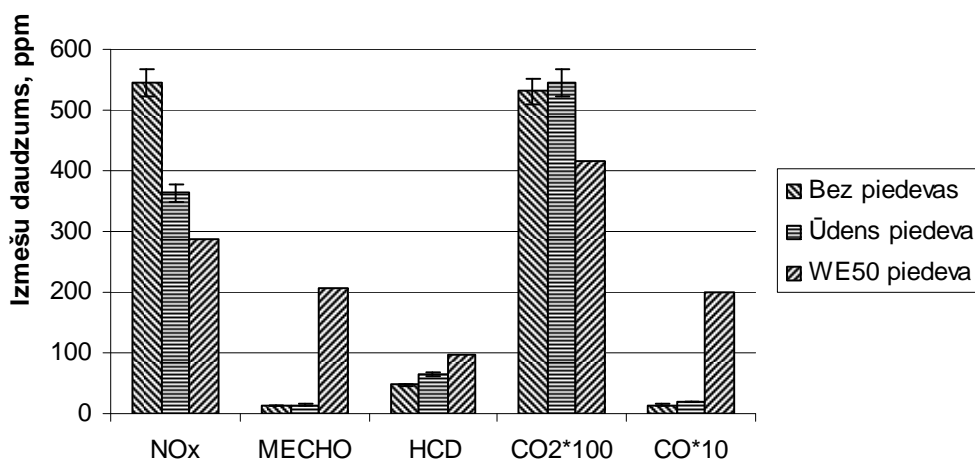


3.12. att. Toksisko izmešu daudzuma izmaiņas dīzeļmotoram *FORD YTR* pie slodzes 50 N un 1500 min⁻¹

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 nesadedušo ogļūdeņražu (HCD) daudzums palielinās (sk. 3.13. un 3.14. att.). Tas izskaidrojams ar to, ka ūdens-spirta piedeva rada gaisa pāruma koeficienta samazināšanos, līdz ar to visa degviela nesadeg.

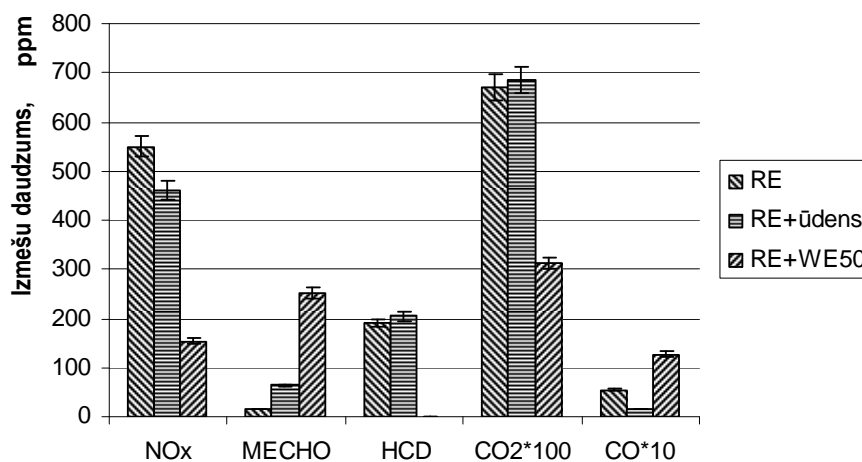


3.13. att. Toksisko izmešu daudzuma izmaiņas dīzeļmotoram *FORD YTR* pie slodzes 50 N un 2000 min⁻¹



3.14. 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 kustības ātruma $\approx 90 \text{ km h}^{-1}$. 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 (sk. 3.15. att.). Tvana gāzes satura palielināšanās izskaidrojama ar gaisa pāruma koeficienta samazināšanos, bet cieta daļiņu daudzumu var izskaidrot ar pakāpenisku motora attīrīšanos laba degšanas procesa rezultātā.



3.15. att. Toksisko izmešu daudzuma izmaiņas dīzeļmotoram *FORD YTR* pie slodzes 100 N un 2000 min^{-1}

Papildus atgāzu mērījumiem, tika noteiktas rapša eļļas degvielas patēriņa izmaiņas, izmantojot gan ūdens iesmidzināšanu, gan ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanu (sk. 3.4. tab.). Mērījumu kļūdu aprēķins dots 5. pielikumā.

3.4. tabula. Rapša eļļas patēriņš motoram *FORD YTR*, g min^{-1}

Režīms	RE	RE+ūdens	RE+WE50	RE pret RE+ūdens	RE pret RE+WE50
Brīvgaita, 900 min^{-1}	11.37	11.38	11.36	+8%	-8%
Brīvgaita, 1500 min^{-1}	12.66	11.43	9.81	-9%	-15%
Brīvgaita, 2000 min^{-1}	14.32	13.92	11.73	-3%	-18%
Slodze 50 N pie 900 min^{-1}	25.07	24.86	21.95	-1%	-12%
Slodze 50 N pie 1500 min^{-1}	34.32	30.30	28.12	+3%	-18%
Slodze 50 N pie 2000 min^{-1}	36.11	35.92	31.2	-1%	-14%
Slodze 100 N pie 900 min^{-1}	46.83	46.01	44.82	-2%	-4%
Slodze 100 N pie 1500 min^{-1}	58.22	54.40	51.36	-6%	-12%
Slodze 100 N pie 2000 min^{-1}	68.69	67.79	63.83	-1%	-7%

Kā redzams 3.4. tabulā, rapša eļļas degvielas patēriņš vairāk samazinās, ja tiek lietota ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšana, un atsevišķos režīmos tā sasniedz ietaupījumu līdz pat 18%. Tas izskaidrojams ar to, ka ūdens-spirta maisījums darbojas kā degviela, un nepieciešamās jaudas sasniegšanai mazāk vajadzīga pamatdegviela – rapša eļļa.

Lietojot tikai ūdens iesmidzināšanu, degvielas ekonomija ir maza, jaudas režīmos nepārsniedzot 6%. Taču tā arī būtiski nepalielina degvielas patēriņu, jo ūdens

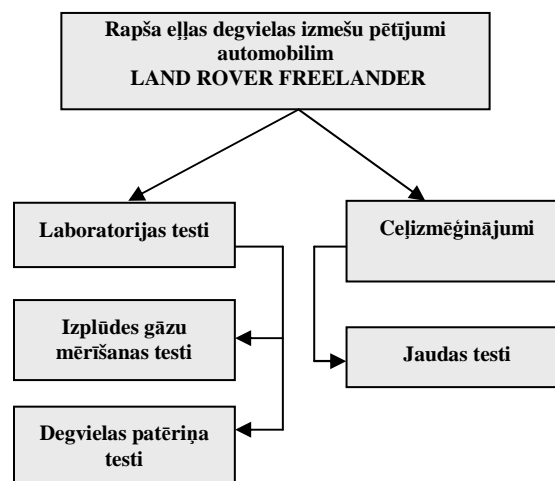
iesmidzināšana samazina iekšējās gaisa temperatūru, līdz ar to vairāk cilindrā tiek iesūkts skābeklis, kas uzlabo sadedzes procesu.

3.3. Atgāzu pētījumi automobilim *LAND ROVER FREELANDER*

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 4×4 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 tas aprīkots ar ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēmu, kuru darbina augstspiediena sūkņi (sk. 8. pielikumu).

Automobiļa *LAND ROVER FREELANDER* konstrukcijā izmantota automātiskā pārnese, tādēļ izmēģinājumi tika veikti divos posmos: atgāzu mērīšana – laboratorijas apstākļos un jaudas mērījumi ceļa apstākļos. Jaudas mērījumi laboratorijas apstākļos nav iespējami, jo, veicot eksperimentu ar tiešo pārnese un nospiežot akseleratora sviru „kickdown” režīmā, automātiskās pārnese vadības sistēma pārslēdz zemāku pārnese, līdz ar to nav iespējams precīzi nomērīt motora jaudu un griezes momentu.

Ņemot vērā līdzšinējo darba pieredzi, materiāli tehnisko nodrošinājumu un rapša eļļas izmantošanas izpētei nepieciešamo parametru klāstu, izveidota eksperimentālo testu shēma (sk. 3.16. att.).



3.16. att. Rapša eļļas degvielas eksperimentālo testu shēma

3.3.1. Izpētes apstākļu raksturojums laboratorijā

Pētījumu veikšanai izmantota salīdzinošā izmēģinājumu metode, ar kuras palīdzību var noteikt atgāzu sastāvu, darbinot automobili ar rapša eļļu bez ūdens-spirta piedevas un izmantojot piedevu.

Pirms testu veikšanas tika demontēts automobiļa aizmugures tilta piedziņas kardāna pārvads, jo jaudas stends *Mustang MD-1750* paredzēts automobiļu testiem ar vienu velkošo tiltu (sk. 3.17. att.). Reālo braukšanas apstākļu imitācija laboratorijā un atgāzu sastāva mērīšana tika nodrošināta, izmantojot jaudas stendu. Laboratorijā vieglāk kontrolēt arī dažādu gadījuma faktoru, piemēram, gaisa temperatūras, vēja, nokrišņu, ceļa apstākļu, satiksmes intensitātes u.tml. ietekmi uz mērījumu rezultātiem. Sloģošanas režīmu precizitāti un mērījumu rezultātu uzkrāšanu nodrošina datorizētā vadības platforma *MDSP-7000*.



3.17. att. **Automobilis LAND ROVER FREELANDER uz testēšanas stenda**

Maksimālais braukšanas ātrums uz jaudas stenda *Mustang MD-1750* – 362 km h⁻¹ (*MD-1750 Chassis...*, 2004).

Uz stenda var veikt šādus pārbažu testus:

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

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

Atgāzu sastāva noteikšanai tika izmantota *AVL SESAM (System for Emission Sampling and Measurement)* ir daudzkomponentu izplūdes gāzu mērīšanas sistēma, kuras apraksts dots apakšnodaļā 3.1.1., bet degvielas patēriņa noteikšanai tika izmantoti elektroniskie svāri *Kern 440-49A* ar mērīšanas diapazonu līdz 6000 g un precizitāti 0.1 g (svaru apraksts 3.1.1. apakšnodaļā).

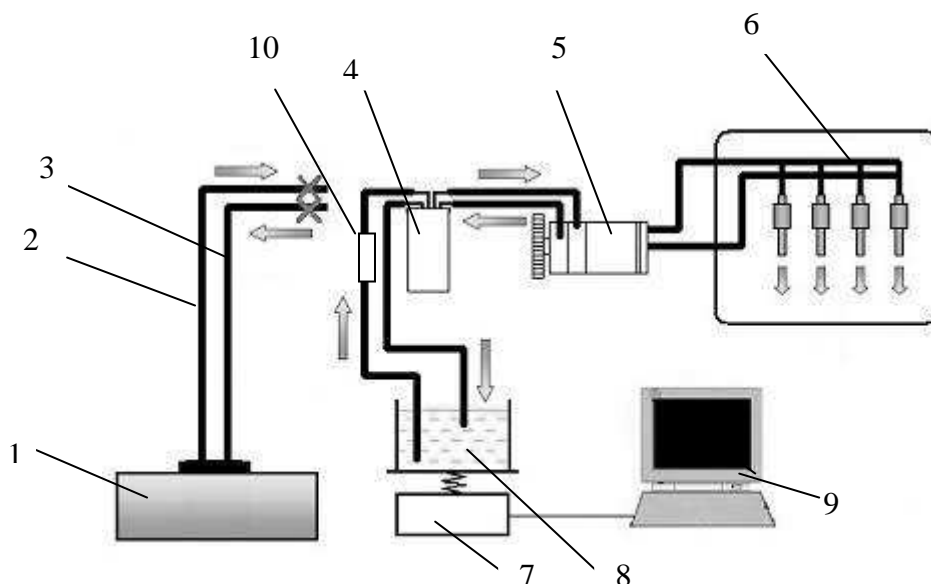
3.3.2. *Atgāzu pētījumu metodika automobilim LAND ROVER FREELANDER*

Uzsākot izmēģinājumus, tika saslēgtas izvēlētais iekārtas testu veikšanai: jaudas stends *Mustang MD-1750* ar vadības sistēmu *MDSP-7000*, daudzkomponentu izplūdes gāzu analīzes sistēma *AVL SESAM FTIR* (sk. 3.18. att.) un svaru sistēma *Kern 440-49A*. Visas iekārtas tika kalibrētas.



3.18. att. Izplūdes gāzu mērīšanas sistēma AVL SESAM FTIR

Lai noteiktu automobiļa degvielas patēriņu, automobiļa barošanas sistēmai tika pieslēgta uz svāriem novietotā degvielas tvertne (sk. 3.19. att.). Automobilim degvielas padeve nodrošināta pieslēdzot degvielas tvertnes pievadu degvielas mērtraukam, atvienojot padevi no automobiļi uzstādītās degvielas tvertnes. Degvielas atplūdi novada atpakaļ mērtraukā, kas novietots uz svāriem.



3.19. att. Degvielas padeves sistēmas pieslēgšanas shēma:

1 – automobiļa degvielas tvertne; 2 – degvielas ieplūdes līnija; 3 – degvielas atplūdes līnija; 4 – degvielas filtrs; 5 – degvielas sūkņis; 6 – automobiļa motors; 7 – digitālie svāri; 8 – degvielas mērtrauks; 9 – dators; 10 – rapša eļļas sūkņis

Atgāzu pētījumu metodika balstīta uz vienoto biodegvielu izmantošanas izpētes metodiku automobiļu darbināšanai un testu veikšanai laboratorijas apstākļos. Šāda izmēģinājumu metodika tika izveidota, lai būtu iespējams salīdzināt dažādu eksperimentālo testu rezultātus, kas iegūti dažādos laika periodos, izmantojot atšķirīgas degvielas, atšķirīgus motora regulējumus, vai pat veicot eksperimentus ar dažādiem automobiļiem. Šī metodika paredz dažādu automobiļu testēšanu, lietojot LLU Alternatīvo degvielu zinātniskās laboratorijas tehnisko aprīkojumu, un par degvielu, izmantojot gan fosilās degvielas – benzīnu un dīzeļdegvielu, gan arī biodegvielas – bioetanolu, rapša eļļu un biodīzeļdegvielu. Izstrādātā metodika paredz un pamato nepieciešamo testu veidus, testu ilgumus un atkārtojumu skaitu (Pīrs, 2011).

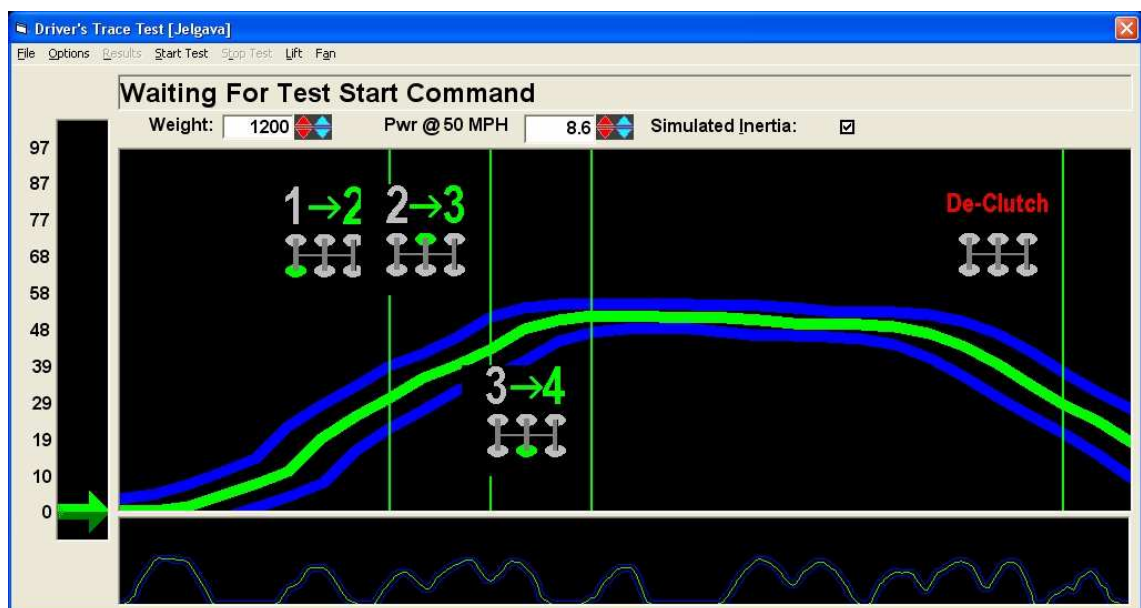
Ceļa simulācijas testi, jeb tā dēvētie braukšanas cikli, tiek lietoti, lai imitētu reālu automobiļa kustību pa ceļu, veicot gan paātrināšanās un bremsēšanas manevrus, gan vienmērīgas kustības un brīvgaitas režīmus, gan arī piespiedu brīvgaitas režīmus. Ar biodegvielām darbināmu automobiļu izmēģinājumos tiek lietoti divu veidu cikli – *IM-240* cikls un Jelgavas cikls.

Cikls *IM-240* ir standartizēts cikls, kas paredzēts vieglo automobiļu izplūdes gāzu noteikšanai uz veltņu tipa sloģošanas stenda. Cikla kopējais ilgums ir 240 s, maksimālais braukšanas ātrums 91.2 km h^{-1} , vidējais braukšanas ātrums 47.3 km h^{-1} un cikla garums 3.1 km (Dukulis and Pirs, 2009).

Jelgavas cikls ir LLU Spēkratu institūtā izveidots cikls, kas reprezentē reālu automobiļa kustību pilsētas apstākļos. Cikla raksturs atbilst intensīvas pilsētas satiksmes raksturam ar biežu apstāšanos un ātruma maiņu. Cikla kopējais ilgums ir 360 s, maksimālais braukšanas ātrums nepārsniedz 50 km h^{-1} , vidējais braukšanas ātrums 23.2 km h^{-1} un cikla garums 2.3 km (Dukulis and Pirs, 2009).

Abi ceļa simulācijas cikli sākas un beidzas ar automobiļa stāvēšanu. Mēraparatūras datu fiksācija sākas vienlaicīgi ar cikla sākuma momentu un beidzas vienlaicīgi ar cikla beigu momentu. Braukšanas atkārtojums tiek uzskatīts par derīgu tikai gadījumā, ja nav fiksēta neviena novirze ārpus braukšanas cikla pieļaujamām robežām.

Faktiskā nobrauktā cikla atbilstību teorētiskajam jeb nepieciešamajam fiksē veltņu stenda vadības programma (sk. 3.20. att.).



3.20. att. Braukšanas ātruma norādījumi iekārtas monitorā

3.3.3. Atgāzu un degvielas patēriņa mērījumu rezultāti

Atgāzu sastāvs (sk. 3.21. att.) automobilim *LAND ROVER FREELANDER* noteikts, testējot to divos braukšanas ciklos – *IM-240* un Jelgavas ciklā. Katrā ciklā tika veikti 3 atkārtojumi.



3.21. att. Atgāzu mērīšanas iekārtas zondes novietojums automobiļa izpūtējā:

1 – atgāzu nosūcēja uztvērējs; 2 – atgāzu mērīšanas zonde; 3 – izpūtējs

Lietojot rapša eļļu kā degvielu, 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.

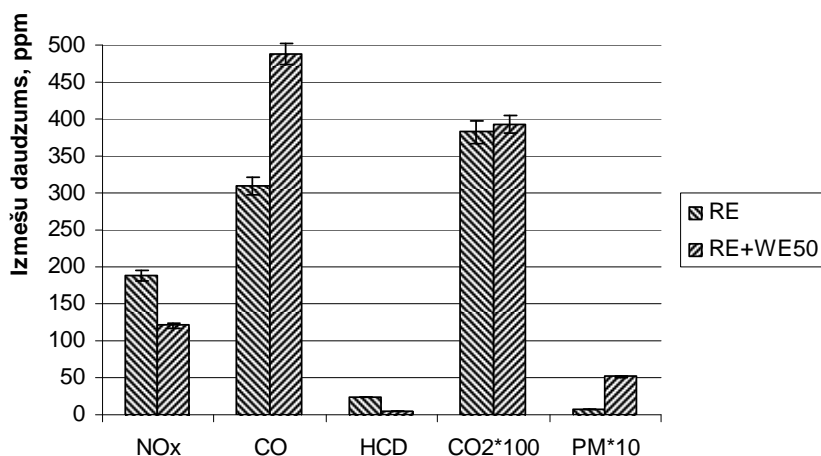
Izmantojot ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanu, samazinās NO_x (slāpekļa oksīdu) daudzums atgāzēs par 35%, bet HCD (nesadegušo ogļūdeņraži) daudzums sasniedz vērā neņemamu daudzumu (sk. 3.5. tab.).

3.5. tabula. Atgāzu sastāvs automobilim *LAND ROVER FREELANDER*

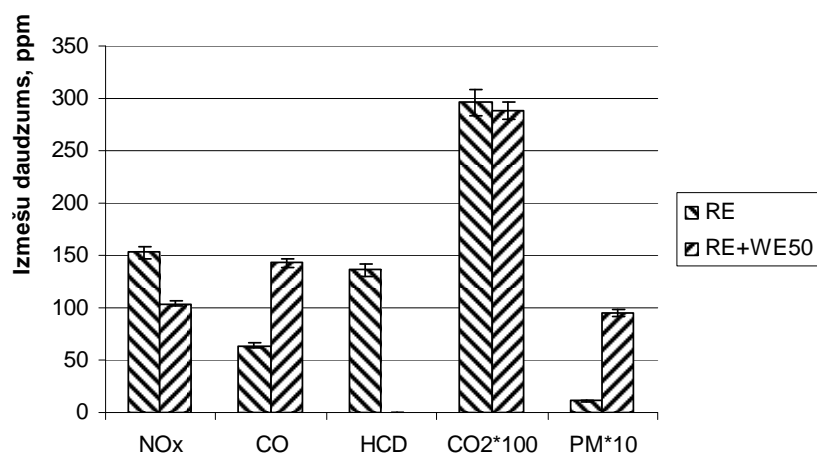
Cikla nosaukums	NO _x , ppm			CO, ppm			Nesadegušie ogļūdeņraži (HCD), ppm			CO ₂ , ppm			Cietās daļiņas (PM), ppm		
	RE	RE+WE50	+/-, %	RE	RE+WE50	+/-, %	RE	RE+WE50	+/-, %	RE	RE+WE50	+/-, %	RE	RE+WE50	+/-, %
IM240	188	121	-35	309	488	+57	24	5	-80	38300	39200	+2	65	420	+546
Jelgavas cikls	153	104	-32	64	143	+123	136	0	-100	29600	28800	-2	23	95	+313

Jāpiezīmē, ka absolūtajos skaitļos šis daudzumi nav lieli, jo, automobili darbinot dažādos režīmos, CO saturs mainījās no 75 līdz 300 ppm (parts per million), bet 1 ppm = 0.0001% pēc tilpuma. Salīdzinājumam, smēķējot cigareti, CO saturs izelpā ir 70 ppm.

CO₂ (ogļskābās gāze) koncentrācija automobiļa atgāzēs bija līdzīga gan darbinot to ar rapša eļļu, gan ar rapšu eļļu un piedevu WE50 – starpība dažādos režīmos nepārsniedza 2% (sk. 3.22. un 3.23. att.). Ņemot vērā to, ka rapsis augot uzņem aptuveni 3 reizes vairāk ogļskābās gāzes nekā tiek izdalīts sadegšanas procesā, CO₂ bilance ir izteikti pozitīva.

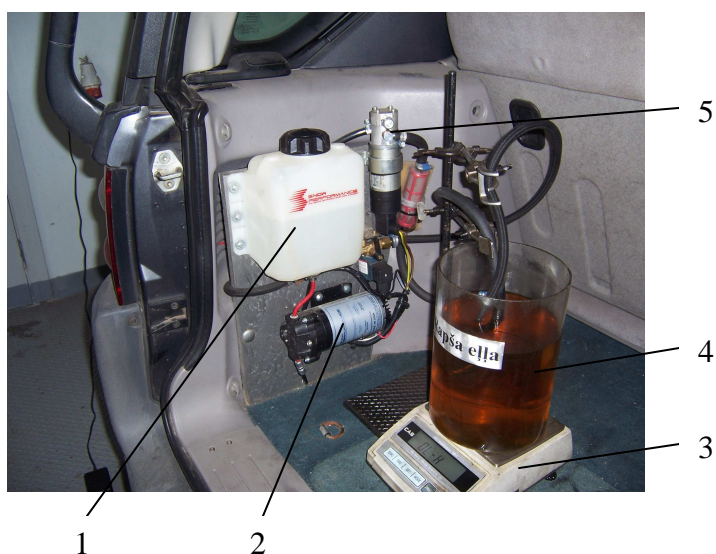


3.22. att. Atgāzu mērījumu rezultāti ciklā IM-240



3.23. att. Atgāzu mērījumu rezultāti Jelgavas ciklā

Degvielas patēriņa mērīšanas sistēmas pamatā ir svāri *KERN 440-49A* (sk. 3.24. att.), kuri nodrošina dinamiskos mērījumus ar precizitāti 0.1 g. Svaru vadība un datu reģistrācija notiek ar datora palīdzību.



3.24. att. Svaru novietojums degvielas patēriņa mērīšanai:

1 – ūdens-spirta maisījuma tvertne; 2 – augstspiediena sūknis ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanai; 3 – svāri *KERN 440-49A*; 4 – rapša eļļas degvielas tvertne; 5 – rapša eļļas degvielas sūknis

Degvielas patēriņa mērījumi automobilim *LAND ROVER FREELANDER* veikti, izmantojot sintētisko eksperimentu metodiku, kas ļauj maksimāli tuvināt automobiļa kustību pilsētas, ārpus pilsētas vai kombinētajam braukšanas režīmam.

Pārbaudes tika veiktas kombinētajā ciklā *IM-240* un Jelgavas ciklā. *IM-240* ciklā ir apvienota braukšanas imitācijā pilsētā ar braukšanu ārpus pilsētas režīmā, kā arī ietverti paātrinājumi, apstāšanās un braukšana ar ātrumu līdz pat 100 km h⁻¹.

Gan *IM-240* braukšanas ciklā, gan arī 2.35 km brauciena pa Jelgavas centru imitācijā tika konstatēts, ka lietojot ūdens-spirta iesmidzināšanu ieklūdes kolektorā, rapša eļļas patēriņš samazinājās par 8-9% (sk. 3.6. 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 ir lielāks spiediens un gaisa daudzums ieklūdes kolektorā, un attiecīgi vairāk tiek padots ūdens-spirta maisījums.

3.6. tabula. Degvielas patēriņa salīdzinājums

Cikla nosaukums	RE, l (100km) ⁻¹	RE+WE50, l (100km) ⁻¹	WE50, l (100km) ⁻¹	RE pret RE+WE50
IM-240	9.72	8.83	0.85	-9%
Jelgavas cikls	10.65	9.78	1.02	-8%

3.3.4. Jaudas pētījumu metodika automobilim *LAND ROVER FREELANDER* ceļa apstākļos

Ceļizmēģinājumos tika izmantota diagnostikas ierīce *G-TECH/Pro*, kas ir vienkāršākais un efektīvākais veids, lai novērtētu automobiļa veiktspēju pirms un pēc izmaiņām. Ierīce paredzēta transportlīdzekļa dinamikas testu veikšanai. *G-TECH/Pro* uztver vienlaicīgi 7-12 satelītu signālus un uzrāda precīzu transporta līdzekļa pārvietošanās ātrumu un paātrinājumu. Iegūtie dati var neatbilst tehniskajā dokumentācijā uzrādītajiem parametriem, bet dotajā situācijā tas nav primārais, jo uzdevums ir konstatēt jaudas izmaiņas, pielietojot ūdens-spirta iesmidzināšanu dīzeļmotora ieklūdes kolektorā.

Ar ierīci *G-TECH/Pro* iespējams veikt šādus mērījumus:

- *HP & Torque vs RPMs* – jauda un griezes moments noteiktā apgriezīnu diapazonā;
- *HP vs time* – jauda laika vienībās;
- *Speed vs time* – ātrums laika vienībās;
- *Gs (Acceleration) vs time* – paātrinājums laika vienībās;
- *Braking Distance* – bremzēšanas ceļa garums.

Pirms mērījumu uzsākšanas ierīces programmatūrā jāievada automobiļa parametri.

Pirmais solis ir auto svēršana. To veic ar 30 litriem dīzeļdegvielas tvertnē, lai auto svars uz visiem mērījumiem būt pēc iespējas nemainīgāks, kā arī ar šoferi un portatīvo datoru automašīnā, visu lieko izņemtu no automašīnas, atstājot tikai rūpnīcas komplektāciju. Iegūtais rezultāts ir 1838 kg.

Otrais solis ir *G-Tech/Pro* iestatījumu pielāgošana automašīnai, kurai tiks mērīta jauda. Iestatījumos ievada automašīnas svaru, kā arī maksimālos apgriezienus, kurus motors spēj attīstīt. Apgriezienu iestatījums ir jāveic ar ieslēgtiem visiem tiem elektroenerģijas patērētājiem, kas tiks izmantoti mērījumu veikšanas brīdī, piemēram, tuvās gaismas, loga apsilde, salona ventilācijas elektromotors un citi.

Trešais solis ir *G-Tech/Pro* nostiprināšana. Šim nolūkam paredzēts statīvs, kas ar speciāla „piesūcekņa” palīdzību stiprinās pie vējstikla (sk. 3.25. att.). Jāievēro, lai tas netraucētu redzamībai un būtu nostiprināts nekustīgi attiecībā pret stiklu un attiecīgi visu auto virsbūvi.



3.25. att. Ierīces „*G – Tech/Pro*” novietojums automobili:

1 – automobiļa priekšējais stikls; 2 – ierīce *G – Tech/Pro*

Ceturtais solis ir mērījumu veikšana:

- ieslēdz ierīci un gaida, kamēr tiks uztverts signāls no 7 līdz 12 GPS pavadoņiem (tas tiek parādīts iekārtas labā augšējā monitora stūrī);
- ieslēdz automobiļa pārnesumu sviru „D” režīmā;
- ieslēdz ieraksta slēdzi, lai braucienu fiksētu mikroatmiņas kartē;
- uzsāk braukšanu, nospiežot akceleratora pedāli „kickdown” režīmā (līdz atdurei);
- sasniedzot kustības ātrumu 100 km h^{-1} , atlaiž akceleratora pedāli un uzsāk bremsēšanu;
- pēc automobiļa apstādināšanas, izslēdz ieraksta slēdzi un sagatavo automobili nākamajam testam.

Lai iegūtu pēc iespējas precīzākus rezultātus, tiek veikti vairāki desmiti braucieni, no kuriem tiek atlasīti desmit braucieni, kuru rezultāti ir ar vismazāko vērtību atšķirību. No šiem desmit braucieniem tiek aprēķināta vidēja jaudas vērtība.

3.3.5. *Jaudas mērījumi automobilim LAND ROVER FREELANDER ceļa apstākļos*

Ceļizmēģinājumos tika pārbaudīta visu uzstādīto sistēmu darbība, t.i., gan rapša eļļas degvielas sistēma, gan ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēma. Atgāzu mērījumi ceļa apstākļos netika veikti, jo nav iespējams aprīkot automobili ar mobilu atgāzu mērīšanas iekārtu.

Izmēģinājuma testu veikšanai ar ierīci *G-Tech/Pro* tiek izmantota tai atbilstošā programmatūra *G-Tech Pass SS*. Aprēķinos tiek pielietoti algoritmi, kuri izstrādāti „*Tesla Electric Inc*” kompānijā. Programmā vienlaicīgi iespējams salīdzināt līdz pat četriem eksperimentāliem braucieniem. Divu eksperimentālo braucienju jaudas līknes parādītas 3.26. attēlā.

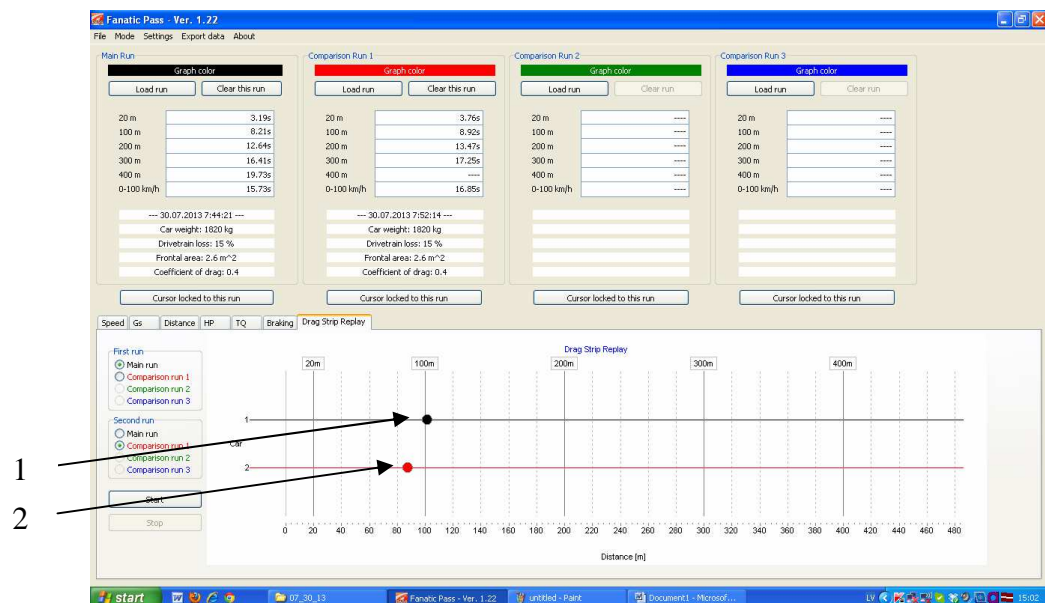


3.26. att. *G-Tech Pass SS* programmatūras logs:

1 – jaudas līkne bez ūdens-spirta iesmidzināšanas; 2 – jaudas līkne ar ūdens-spirta iesmidzināšanu

Uzskatāmi redzams, ka 2. braucienu līkne rāda lielāku iegūto jaudu. Šī jaudas līkne iegūta, izmantojot ūdens-spirta iesmidzināšanu, bet 1. līkne – bez ūdens-spirta iesmidzināšanas.

G-Tech Pass SS programmatūrā iespējams salīdzināt divu braucienu attēlojumu animācijā (sk. 3.27. att.).



3.27. att. Braucienu animācijas attēlojums *G-Tech Pass SS* programmatūras izvēlņu logā:

1 – braucienu attēlojums, izmantojot ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanu; 2 – braucienu attēlojums bez ūdens-spirta piedevas

Šajā logā redzams, ka automobilis 100 m attālumu ātrāk sasniedz, izmantojot ūdens-spirta iesmidzināšanu ietilpdes kolektorā.

Eksperimentālo pētījumu rezultātu kopsavilkums

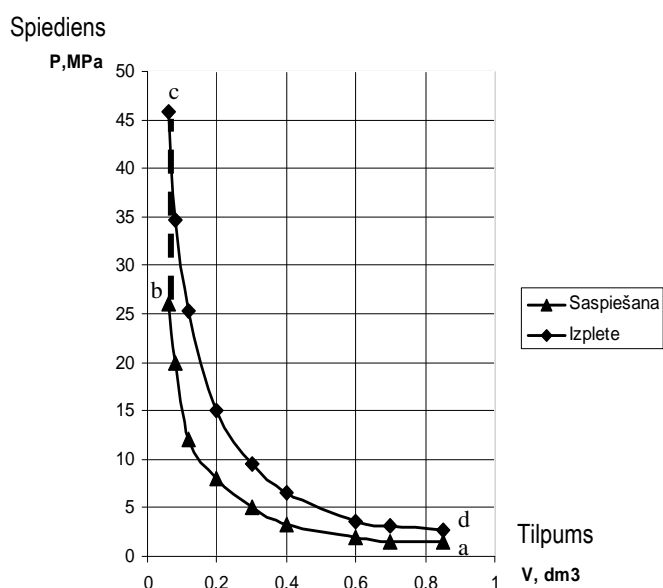
1. Izveidotais ūdens-spirta maisījums ir efektīvs līdzeklis, lai samazinātu NO_x un kopējo nesadegušo ogļūdeņražu daudzumu dīzeļmotoru atgāzēs, turklāt to var pielietot ziemas apstākļos.
2. Ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanas sistēma nav sarežģīta, un tās uzstādīšana neprasa būtisku dīzeļmotora pārbūvi.
3. Ūdens-spirta maisījuma *WE50* iesmidzināšanas sistēmai jābūt precīzai, jo pat pie nelielām maisījuma padeves daudzuma izmaiņām, strauji mainās atgāzu sastāvs.
4. NO_x daudzuma efektīvākā samazināšanās novērojama, izmantojot ūdens-spirta maisījumu un sasniedz 128 ppm, kas ir par 63% mazāk, nekā, darbinot motoru bez *WE50* piedevas, bet nesadegušo ogļūdeņražu (HCD) daudzums samazinās līdz minimumam.
5. Rapša eļļas degvielas patēriņš samazinās pat par 18%, ja tiek pielietota ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšana. Tas izskaidrojams ar to, ka ūdens-spirta maisījums darbojas kā degviela, un nepieciešamās jaudas sasniegšanai mazāk vajadzīga pamatdegviela – rapša eļļa.
6. Lietojot rapša eļļu kā degvielu bez ūdens-spirta maisījuma piedevas, atsevišķu toksisko gāzu koncentrācija ir mazāka, nekā ar ūdens-spirta maisījuma piedevu. Tā, piemēram, CO (tvana gāze) saturs atgāzēs ir mazāks par 57%, bet PM (cieto daļiņas) saturs ir mazāks aptuveni piecas reizes.
7. Izmantojot ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanu, samazinās NO_x (slāpekļa oksīda) daudzums atgāzēs par 35%, bet HCD (nesadegušo ogļūdeņražu) daudzums sasniedz vērā neņemamu daudzumu.
8. CO_2 (ogļskābās gāze) koncentrācija automobiļa atgāzēs ir līdzīga gan darbinot to ar rapša eļļu, gan ar rapšu eļļu un piedevu *WE50* – starpība dažādos režīmos nepārsniedz 2%.
9. Gan braukšanas ciklā *IM-240*, gan brauciena pa Jelgavas centru imitācijā, konstatēts, ka lietojot ūdens-spirta iesmidzināšanu ieplūdes kolektorā, rapša eļļas patēriņš samazinājās par 8-9%.
10. Ceļizmēģinājumos pierādīts, ka, izmantojot ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanu dīzeļmotora gaisa ieplūdes kolektorā, jauda un griezes moments palielinās par 7 līdz 10%.
11. Gan rapšu eļļas degviela, gan ūdens-spirta maisījums *WE50* ir iegūti no atjaunojamiem resursiem, un šim faktoram ir būtiska nozīme klimata pārmaiņu novēršanā.
12. Pēc veiktajiem eksperimentālajiem pētījumiem var apgalvot, ka izstrādātā tehnoloģija tehniski realizējama visos dīzeļmotoru tipos, arī tajos, kuriem degvielas iesmidzināšanas sistēmā ir paredzēta elektroniska vadība ar izpūtējā iemontētiem skābekļa devējiem, un izstrādāto tehnoloģiju ieteicams pielietot dīzeļmotoros, kas pielāgoti darbināšanai ar augu eļļu, lai samazinātu slāpekļa oksīdu daudzumu izplūdes gāzēs.

4. RAPŠU EĻĻAS DEGVIELAS SADEGŠANAS PRODUKTU IZPĒTES REZULTĀTU IZVĒRTĒJUMS

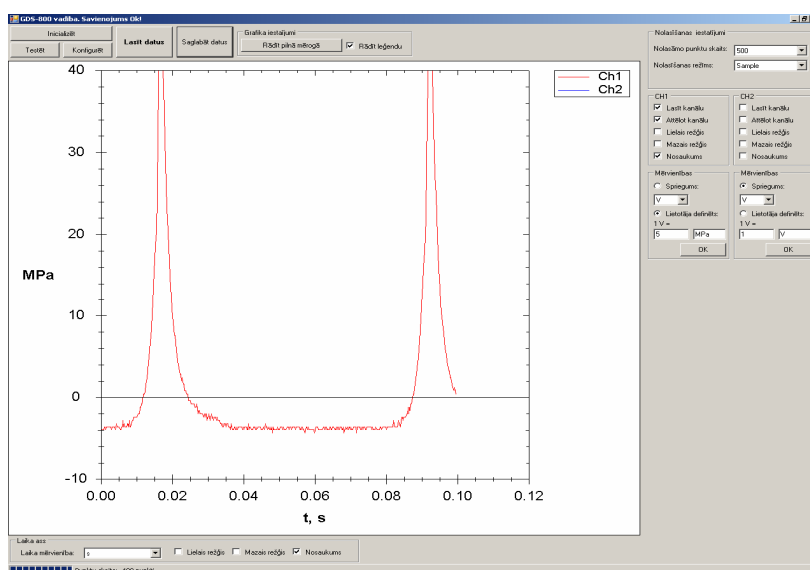
4.1. Teorētisko un eksperimentālo pētījumu salīdzinājums

Teorētisko un eksperimentālo pētījumu salīdzinājumā veikts aprēķināto un eksperimentos iegūto rezultātu salīdzinājums par motora *FORD YTR* darbību, kas ietver degvielas (rapša eļļas) un ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēmas ietekmi uz motora jaudas parametriem un atgāzēm.

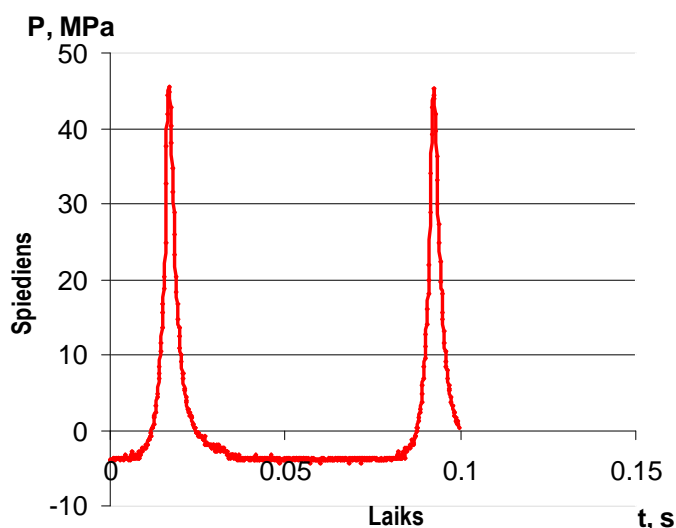
Aprēķinātā indigrama (sk. 4.1. att.) un eksperimentos nolasītā indigrama (sk. 4.2. un 4.3. att.) apstiprina, ka dīzeļmotora darbība ir atkarīga no spirta daudzuma ūdens-spirta maisījumā.



4.1. att. Aprēķinātā indigrama motoram *FORD YTR* ar ūdens-spirta piedevu



4.2. att. Eksperimentos iegūtās indikatora diagrammas attēls datora monitorā



4.3. att. Eksperimentos iegūtā indikatora diagramma motoram *FORD YTR* ar ūdens-spirta piedevu

Slāpekļa oksīdu teorētiskā daudzuma salīdzināšanai ar eksperimentālo pētījumu rezultātiem izmantotas diagrammas. Teorētiskās diagrammas norāda NO_x daudzumu dīzeļmotora apgriezību diapazonā no 800 līdz 5000 min^{-1} . Eksperimentālie pētījumi veikti četros motora darbības režīmos: 800; 1500; 2000 un 2500 min^{-1} . Šie režīmi attēloti ar punktiem, bet mērījumu rezultātu diapazons atzīmēts ar robežatzīmēm.

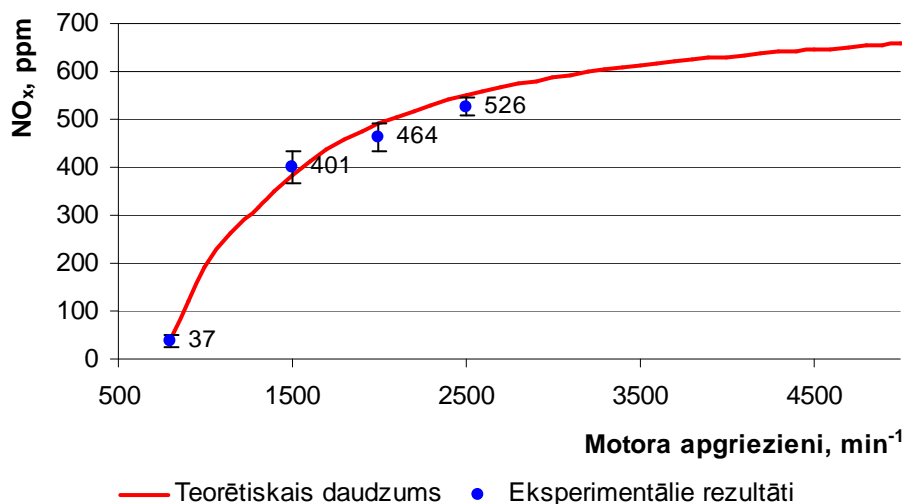
Pirmais teorētisko un eksperimentālo datu salīdzinājums veikts, vadoties pēc rezultātiem, kad dīzeļmotors tiek darbināts bez piedevām. Salīdzinot slāpekļa oksīda daudzumu teorētiski aprēķinātos un eksperimentos iegūtos datus, vislielākā rezultātu starpība ir pie maziem motora apgriezieniem, respektīvi, darbojoties motoram brīvgaitā. Variāciju koeficients ir 22% norāda, ka datu izkliede brīvgaitas režīmā ir liela (sk. 4.1. tab.). Tas izskaidrojams ar to, ka motors strādā bez slodzes, līdz ar to gaisa pāruma koeficients ir lielāks, kā arī mazākā kļūda degvielas sistēmas darbībā (piemēram, sprauslas iesmidzināšanas kvalitātes pasliktināšanās), ietekmē slāpekļa oksīdu daudzumu.

4.1. tabula. NO_x daudzuma mērījumu kļūdu aprēķina rezultāti dīzeļmotoram *FORD YTR* bez piedevas iesmidzināšanas

Parametrs	800 min^{-1}	1500 min^{-1}	2000 min^{-1}	2500 min^{-1}
Vidējā vērtība	37.29	401.64	464.34	526.26
Standartkļūda	3.76	14.31	8.98	5.94
Standartnovirze	8.40	31.99	20.09	13.29
Amplitūda	22.99	68.56	54.66	28.95
Minimālā vērtība	25.36	368.32	435.69	511.36
Maksimālā vērtība	48.36	436.89	490.36	540.32
Mērījumu skaits	5	5	5	5
Variāciju koeficients	22.0%	7.9%	4.3%	2.5%

Teorētiski aprēķinātā NO_x daudzuma un eksperimentu testos iegūtās vērtības dīzeļmotoram *FORD YTR* bez piedevas iesmidzināšanas parādītas 4.4. attēlā. Uzskatāmi redzams, ka modelēšanas procesā iegūtā diagramma šķērso eksperimentālo rezultātu izkliedes laukus.

Vislielākā amplitūda novērota pie 1500 min^{-1} , taču kļūdu aprēķins, kur variāciju koeficients ir 7.9%, liecina par testu rezultātu vienvēidīgumu un rupju mērīšanas kļūdu izslēgšanu. Mazāks rezultātu izkliedes lauks un variāciju koeficients 2.5% ir motoram darbojoties ar 2500 min^{-1} . Tas izskaidrojams ar dīzeļmotora stabilu darbību, jo pie šādiem apgriezieniem nebūtiski barošanas sistēmas defekti nav jūtami.



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

Iesmidzinot dīzeļmotora ieplūdes kolektorā ūdeni, NO_x daudzums samazinās vidēji par 20%. Eksperimentos iegūto rezultātu izkliedes lauki ir līdzīgi, kā mērījumos bez piedevas pievienošanas. Mazākā rezultātu izkliede ir pie 2500 min^{-1} (sk. 4.5. att.), kas izriet no motora darbības stabilitātes.

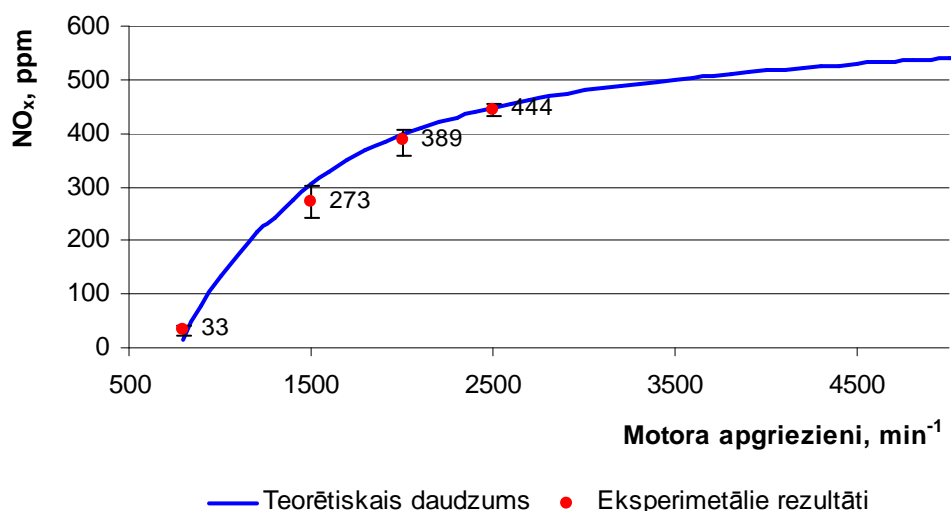
Visus eksperimentālo rezultātu izkliedes laukus šķērso teorētiski iegūtā diagramma, kas liecina par to, ka aprēķinos prognozētie rezultāti atbilst NO_x daudzuma pieauguma tendencei, atkarībā no motora apgriezieniem.

4.2. tabula. **NO_x daudzuma mērījumu kļūdu aprēķina rezultāti motoram FORD YTR ar ūdens iesmidzināšanu**

Parametrs	800 min^{-1}	1500 min^{-1}	2000 min^{-1}	2500 min^{-1}
Vidējā vērtība	33.12	273.22	389.86	444.13
Standartkļūda	2.98	9.74	9.37	3.09
Standartnovirze	6.67	21.79	20.95	6.91
Amplitūda	15.87	54.29	52.30	16.69
Min.vērtība	24.36	244.36	354.33	436.98
Max.vērtība	40.23	298.65	406.63	453.68
Mērījumu skaits	5	5	5	5
Variāciju koeficients	20.1%	7.9%	5.3%	1.5%

Eksperimentā iegūto rezultātu kļūdu aprēķinā (sk. 4.2. tab.) redzams, ka par vienvēidīgiem var uzskatīt mērījumus pie 1500 ; 2000 un 2500 min^{-1} , jo variāciju koeficients nepārsniedz robežvērtību – 10%. Turpretī brīvgaitas režīmā, lai gan mērījumos iegūto rezultātu amplitūda nav liela, standartnovirze attiecībā pret vidējo vērtību uzrāda palielinātu variācijas koeficientu.

Salīdzinot eksperimentālo pētījumu rezultātus bez piedevas un ar ūdens piedevu, redzams, ka motora brīvgaitas režīmā tiem ir maza atšķirība. Tas izskaidrojams ar to, ka brīvgaitā motora ieplūdes kolektorā ir maza gaisa plūsma, līdz ar to maza ūdens piedevas ietekme uz sadedzes procesu.



4.5. att. **Teorētisko un eksperimentālo rezultātu salīdzinājums dīzeļmotoram *FORD YTR* ar ūdens iesmidzināšanu**

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

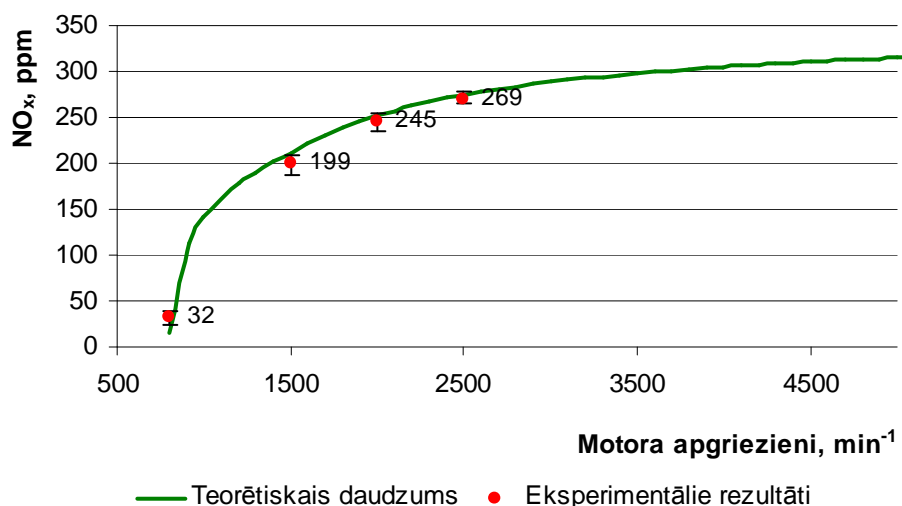
Teorētiski aprēķinātie un eksperimentālos pētījumos iegūtie rezultāti, pielietojot ūdens-spirta 50% maisījuma iesmidzināšanu dīzeļmotora ieplūdes kolektorā, parādīti 4.6. attēlā, bet eksperimentālo pētījumu rezultātu kļūdu aprēķina vērtības atspoguļotas 4.3. tabulā.

4.3. 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%

Lai gan teorētiskos aprēķinos, dīzeļmotoram darbojoties brīvgaitā ar ūdens-spirta piedevu NO_x daudzums ir mazāks, nekā ar ūdens piedevu vai bez piedevas, eksperimentos novērots nebūtisks NO_x samazinājums. Tas izskaidrojams ar lēnu gaisa plūsmu ieplūdes kolektorā, līdz ar to nelielu ūdens-spirta maisījuma padevi.

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.



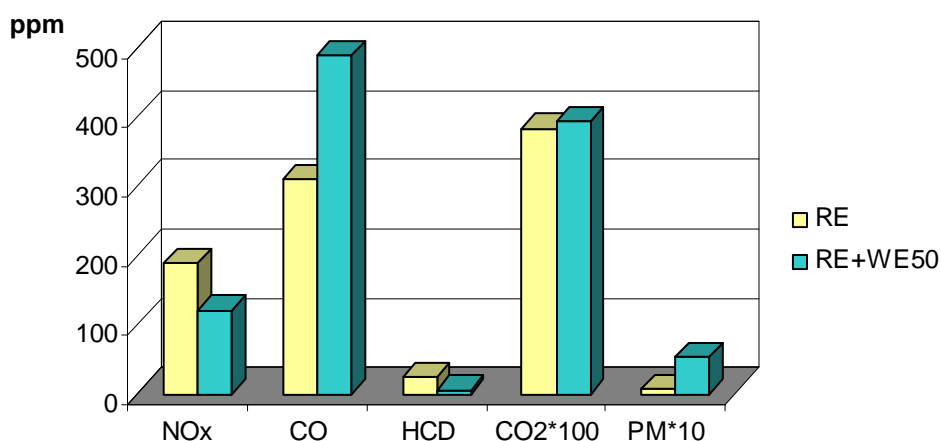
4.6. att. **Teorētisko un eksperimentālo rezultātu salīdzinājums dīzeļmotoram *FORD YTR* ar ūdens-spirta maisījuma iesmidzināšanu**

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

4.2. Slāpekļa oksīdu daudzuma samazinājuma ietekme uz citu toksisko komponentu daudzumu

Eksperimentālajos pētījumos konstatēts, ka, samazinot slāpekļa oksīdu daudzumu ar rapšu eļļu darbināma dīzeļmotora izplūdes gāzēs, pieaug oglekļa monoksīda un cieto daļiņu saturs izmešos.

Toksisko izmešu daudzuma izmaiņas automobilim *LAND ROVER FREELANDER*, izbraucot ciklu *IM-240*, parādītas 4.7. attēlā.



4.7. att. **Toksisko izmešu emisijas izmaiņu salīdzinājums bez piedevas un, pielietojot ūdens-spirta piedevu**

Attēlā redzams, ka, lietojot ūdens-spirta 50% maisījuma iesmidzināšanu dīzeļmotora ieplūdes kolektorā, samazinās NO_x un HCD daudzums, taču atgāzēs palielinās CO daudzums par 180 ppm, bet PM (cieto daļiņu) saturs aptuveni 7 reizes.

Cieto daļiņu daudzumu iespējams novērst ar kvēpu filtru palīdzību, kuri jāattīra biežāk, nekā darbinot dīzeļmotoru bez piedevas.

Par CO (tvana gāze) CSDD rokasgrāmatā (Skaidrojums par...,B.g.) skaidrots, ka dīzeļmotoru atgāzu galvenās komponentes ir dūmainība, NO_x, PM₁₀(cietās daļiņas diametrā mazākas par 10 μm), CO un HC, un dīzeļmotori ir galvenie NO_x un PM izplatītāji apkārtējā vidē, savukārt to CO un HC emisijas nav būtiskas.

Automobiļiem ar benzīnmotoriem no 2001. gada ir noteikts maksimālais CO izmešu daudzums 0.4% (tilpuma), kas aptuveni atbilst 4000 ppm. Kā rāda veiktie pētījumi, tad maksimālais CO daudzums ar rapšu eļļu darbināmam dīzeļmotoram, pielietojot ūdens-spirta iesmidzināšanu, brīvgaitas režīmā ir līdz 3000 ppm, bet kombinētajā braukšanas ciklā *IM-240* nepārsniedz 500 ppm. Vēl problēmu par CO daudzuma palielināšanās kaitīgumu raksturo pētījums, ka cilvēkam, smēķējot cigareti un izpūšot dūmus, izelpā ir 70 ppm CO jeb tvana gāzes.

4.3. Rapša eļļas degvielas izmantošanas ekoloģiskais novērtējums, lietojot ūdens-spirta iesmidzināšanu motora cilindrā

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

Cik daudz piesārņojošo vielu transporta līdzeklis emitē, to parāda īpatnējā emisija, nobraucot vienu kilometru, taču šis lielums var mainīties samērā plašās robežās. Kaitīgo vielu daudzums ir atkarīgs no izmantotās degvielas kvalitātes, no dīzeļmotora veida un citiem ar transporta līdzekli saistītiem faktoriem, kā arī no dīzeļmotora izmantošanas un uzturēšanas apstākļiem. Tas lielā mērā ir atkarīgs no transporta līdzekļa ekspluatācijas apstākļiem, tas ir, braukšanas režīma – ar konstantu ātrumu, paātrināti, bieži apstājoties vai operējot ar sajūgu un ātruma pārslēdzēju.

Lai būtiski samazinātu vides piesārņojumu, jāveic esošā un potenciālā transporta līdzekļu piesaistes objektu, stāvvietu un transporta plūsmas analīze. Balstoties uz šādu analīzi, ja tā uzrāda satiksmes situācijas pasliktināšanās tendences, jāveic pasākumi situācijas uzlabošanai. Taču, kā parādīts šajā darbā, minimizēt toksisko izmešu daudzumu ir iespējams, izmantojot rapša eļļu kā degvielu un pilnveidojot degšanas procesu dīzeļmotorā.

Lietojot rapša eļļu kā degvielu, veidojas labvēlīga enerģētiskā un CO₂ bilance. Pamatizejviela rapša eļļas ražošanai ir rapša sēklas, pilnībā atjaunojamais enerģijas avots un pieejams alternatīvs dīzeļmotoru enerģijas avots. Lietojot rapša eļļu kā degvielu, netiek izjaukts CO₂ līdzsvars atmosfērā, jo, tai sadegot motoros, izdalītā CO₂ daudzums izmešos atbilst uzņemtajam augu augšanas periodā. Līdz ar to tiek samazināts „siltumnīcas efekts”. Rapša eļļa ir netoksiska un nekaitīga veselībai.

Īpaši noderīga rapša eļļa ir transporta līdzekļos dabas liegumos, rezervātos, ūdens satiksmes līdzekļos, kā kurināmais koģenerācijas stacijās u.c.

Automobiļu izplūdes gāzes satur vairākus vidi piesārņojošus elementus, taču dīzeļmotoru toksisko atgāzu daudzumu Eiropas Savienībā pieņemts novērtēt pēc piecu galveno piesārņojošo izmešu daudzuma. Tie ir oglekļa monoksīds (CO), nesadeģušie oglekļa oksīdi (HC), oglekļa oksīdu un slāpekļa oksīdu kopējā masa (HC+NO_x), slāpekļa oksīdi (NO_x) un cieto daļiņu daudzums (PM).

Lietošanai stratēģiskā mērogā izmešu faktori, kas balstīti uz vidējiem ātrumiem un tipisku satiksmes situāciju, ļauj izdarīt izmešu novērtējumu ar apmierinošu precizitāti. Bet ir noteiktas zonas, kur ir jānovērtē izmešu izmaiņas atkarībā no izmaiņām braukšanas dinamikā un satiksmes intensitātē. Tādos gadījumos ir nepieciešama momentāno izmešu modeļu lietošana, lai iegūtu precīzākus rezultātus.

Parasti toksisko izmešu emisijas aprēķinu veic katrai transporta līdzekļu grupai atsevišķi gan apdzīvotās vietās, gan arī braucienos ārpus apdzīvotām teritorijām. Lai aprēķinātu transporta līdzekļu toksisko izmešu daudzumu, nepieciešams ņemt vērā sekojošus faktorus:

- transporta sadalījumu pa grupām (vieglie, kravas);
- transporta līdzekļa motora tipu (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:

$$L_{ii} = A_i \cdot \alpha_{ii} \cdot l_{dni} \cdot D_g, \quad (4.1)$$

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 (tonnās) automobiļu grupai ar noteiktu motora tilpumu apdzīvotās vietās:

$$M_{ai} = m_{ai} \cdot l_{ai} \cdot K_{av} \cdot K_{izm} \cdot 10^{-6}, \quad (4.2)$$

kur m_{ai} – izmešu daudzums, atkarībā no motora tilpuma, $g \cdot km^{-1}$;
 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) (Макарьин и Иугии, 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. Daļa distances tiek veikta apdzīvotās teritorijās, daļa lauku teritorijās un pārējā daļa tiek veikta pa ātrgaitas ceļiem. Katru ceļa veidu raksturo atšķirīgs vidējais ātrums, kas ietekmē izmešu faktorus.

Lai lietotu 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.

$$E_k = \sum_{i=1}^{i\text{-kategorijas}} \cdot n_i \cdot l_i \cdot \sum_{j=1}^{j\text{-ceļveids}} \cdot p_{ij} \cdot e_{ijk}, \quad (4.3)$$

kur k – identificē piesārņotāju;
 i – transportlīdzekļa kategorija;
 j – ceļa veids;

n_i – transportlīdzekļu skaits i -tajā kategorijā;

l_i – vidējā ikgadējā distance, ko veikuši i -tās kategorijas transportlīdzekļi;

p_{ij} – ikgadējās veiktās distances procentuālā daļa, kādu uz j -tā ceļa veida veica i -tās transportlīdzekļu tips;

e_{ijk} – piesārņotāja k izmešu faktors atbilstoši vidējam ātrumam uz j -tā ceļa veida i -tajai transportlīdzekļu kategorijai (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 kā degvielas izmantošanas ekoloģiskais novērtējums, izmantojot ūdens-spirta iesmidzināšanu motora cilindrā, aprēķināts salīdzinoši, un noteiktas tā relatīvās izmaiņas pie vienādiem ārējiem faktoriem, ņemot vērā tikai dīzeļmotoru tilpumu.

Toksisko izmešu vidējās vērtības apkopotas 4.4. tabulā, bet toksisko komponentu relatīvās izmaiņas 4.5. tabulā.

4.4. tabula. **Vidējais toksisko izmešu daudzums uz vienu litru motora tilpuma motoram FORD YTR pie slodzes 50 N un 1500 min⁻¹**

Sadedzes procesa veids	Toksisko izmešu daudzums, ppm				
	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	MP
Bez WE50 pielietošanas	95	45	220	175	11
Ar ūdens iesmidzināšanu	110	33	134	101	15
Ar WE50 iesmidzināšanu	455	0	85	85	78

4.5. 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 WE50 iesmidzināšanu	+378	–	-61	-51	+609

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

4.4. Rapša eļļas degvielas izmantošanas ekonomiskais novērtējums, lietojot ūdens-spirta iesmidzināšanu motora cilindrā

Spēkratu dīzeļmotoru pielāgošana darbināšanai ar rapšu eļļu atkarīga no to veida, un līdz ar to atšķiras un atbilstoši veidojas arī prasītā cena no pielāgošanas pakalpojumu sniedzējiem. Vācijas apstākļos izmaksas cena vieglām automašīnām sastāda ap 500 līdz 2000 EUR, saimnieciskajiem transporta līdzekļiem no 2000 līdz 5000 EUR. Uzskata, ka motoru pielāgošana uz „divu tvertņu sistēmas” moduļa ierīkošanu no izmaksu viedokļa

ir izdevīgāka, nekā izmantojot „vienas tvertnes sistēmu”. Pēdējā gadījumā motora darbības kritiskās fāzes nodrošina, sasildot motoru ar elektrību. Šīs motoru pārkārtošanas izmaksas pakāpeniski samazinās. Bez traktoriem un kombainiem praksē ar tīru rapša eļļu brauc arī vairāki tūkstoši vieglo automašīnu un autofurģoni, kā arī lielāki transporta līdzekļi – sākot ar kravas automašīnām līdz vilcienu lokomotīvēm (Kalniņš, 2007).

Kā piemēru, automobiļa pielāgošanai braukšanai ar rapša eļļu, var minēt *VOLVO FH12* pārbūvi. Šī automobiļa pārbūve maksā apmēram 2000 LVL (2845.74 EUR). Kravu pārvadājumos ar šādu automobili var nobraukt līdz pat 80 000 km gadā. Pie degvielas patēriņa $30 \text{ l} (100 \text{ km})^{-1}$, dīzeļdegvielas cenas 0.95 LVL (1.35 EUR) un rapša eļļas cenas 0.60 LVL (0.85 EUR), *VOLVO FH12* pārbūves izmaksas tiek atpelnītas jau pēc nepilna pusgada, tālāk nodrošinot zemākas transporta izmaksas un paaugstinātu konkurētspēju transporta pakalpojumu tirgū. Degvielas izmaksas uz vienu km samazinās no 0.29 LVL (0.41 EUR) (braucot ar dīzeļdegvielu) līdz 0.19 LVL (0.27 EUR), izmantojot rapša eļļu kā degvielu. Tā kā noteikti var apstiprināt to, ka rapša eļļu kā degvielu var droši un ekonomiski izmantot dīzeļdzinējos, ja tā atbilst kvalitātes prasībām, kuras noteiktas MK noteikumos (Birkavs, 2010).

Analizējot transporta līdzekļa kopējās ekspluatācijas izmaksas, var secināt, ka tās veidojās no pastāvīgajām izmaksām un mainīgajām izmaksām. Pastāvīgās izmaksas ir izmaksas, kuras noteiktā laika periodā nemainās atkarībā no automobiļa izmantošanas apjoma. Pie pastāvīgajām izmaksām var pieskaitīt (Priekulis, Strautnieks, 2000):

- automobiļa iegādes izmaksas;
- automobiļa amortizācijas jeb atjaunošanas kapitālieguldījumi, ja automobiļa noslodze gadā nepārsniedz izmantošanas sliekšni (normatīvo noslodzi);
- piesaistītā kapitāla izmaksas;
- automobiļa glabāšanas un apdrošināšanas izmaksas.

Nemot vērā mūsdienu automobiļu iegādes iespējas, pie šīm izmaksām var pievienot līzings maksājums, vienreizējos nodokļus un valsts nodevas, tehniskās apskates apmaksu, kā arī tādus pakalpojumus kā uzglabāšana un 24 h palīdzība uz ceļa. Pielāgojot automobili darbināšanai ar rapšu eļļu, pie pastāvīgajām izmaksām jāiekļauj automobiļa pielāgošanas komplekta iegādes un ūdens-bioetanola iesmidzināšanas iekārtas uzstādīšanas izmaksas. Šīs ir vienīgās pastāvīgās izmaksas, kuras ir atšķirīgas rapšu eļļas un ūdens-spirta iesmidzināšanas iekārtas izmantošanas gadījumos. Citas pastāvīgās izmaksas nav atkarīgas no automobili izmantotā degvielas veida.

Būtiskākās izmaksu atšķirības rapšu eļļas izmantošanas gadījumā ietekmē tieši mainīgās izmaksas. Pie mainīgajām izmaksām pieder:

- automobiļa amortizācijas jeb atjaunošanas kapitālieguldījumi, ja automobiļa noslodze gadā pārsniedz izmantošanas sliekšni (normatīvo noslodzi);
- izmaksas tehniskajām apkopēm to materiāliem un remontiem;
- izmaksas automobiļa pielāgošanai;
- degvielas izmaksas;
- ūdens-spirta *WE50* izmaksas.

Kopējās izmaksas atspoguļotas formulā (4.4.):

$$I_{kop.} = IP + IM = I_{apdr.} + I_{uztur.} + I_{amort.} + I_{DA} + I_{degv.} + I_{sp} + I_{TA-mat.} + I_{TA-D} + I_p, \quad (4.4)$$

kur *IP* – patstāvīgās 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 transporta līdzekļa 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:

$$I_{kop.salīal.} = I_{degv.} + I_{sp.} + I_{TA-mat.} + I_{TA-D} + I_p. \quad (4.5)$$

Rapšu eļļas degvielas izmantošanas ekonomisko efektu I_e var aprēķināt, ja no ekspluatācijas izmaksām, transporta līdzekli ekspluatējot ar rapša eļļu + piedevu WE50, tiek atņemtas ekspluatācijas izmaksas, automobili ekspluatējot tikai ar rapšu eļļu:

$$I_E = I_{EWE} - I_{ERE}, \quad (4.6)$$

kur I_E – ekspluatācijas izmaksu starpība, LVL;
 I_{EWE} – ekspluatācijas izmaksas, automobili ekspluatējot ar rapšu eļļu un piedevu WE50, LVL;
 I_{ERE} – ekspluatācijas izmaksas, automobili ekspluatējot ar rapšu eļļu, LVL.

Transporta līdzekļa pielāgošanas izmaksas veidojas tad, kad standarta automobili nepieciešams sagatavot rapšu eļļas degvielas izmantošanai. Pielāgošanas izmaksas veidojas atkarībā no konkrēta automobiļa uzbūves konstruktīvajām īpašībām un izvēlētajā pielāgošanas paņēmiena. Vienkāršākā sistēma, kura tiek izmantota Latvijā, ir „divu tvertņu sistēma”.

Apkopojot visus transporta līdzekļa pielāgošanai nepieciešamos materiālu un darba patēriņu, kopējās izmaksas tiek aprēķinātas pēc sekojošas formulas:

$$I_P = I_{PK} + I_{PM} + I_U + I_{WE}, \quad (4.7)$$

kur I_P – kopējās automobiļa pielāgošanas izmaksas, LVL;
 I_{PK} – pielāgošanas komplekta izmaksas, LVL;
 I_{PM} – palīgmateriālu izmaksas, LVL;
 I_U – uzstādīšanas (pielāgošanas) izmaksas, LVL;
 I_{WE} – ūdens-bioetanol sistēmas uzstādīšanas izmaksas, LVL.

Transporta līdzekļa tehnisko apkopju izmaksas veidojas no to veikšanai nepieciešamo materiālu izmaksām un darba izmaksām:

$$I_{TA} = I_{TA-M} + I_{TA-D}, \quad (4.8)$$

kur I_{TA} – kopējās tehniskās apkopes izmaksas, LVL;

I_{TA-M} – materiālu izmaksas, LVL;

I_{TA-D} – darba izmaksas, LVL.

Ekspluatējot transporta līdzekli ar rapšu eļļu, tiek rekomendēta biežāka motoreļļas un eļļas filtra maiņa. Piemēram, vieglajiem automobiļiem tas jādara ik pēc 10000 km nobraukuma. Līdz ar to var uzskatīt, ka motoreļļas maiņu biežums jāpalielina 1.5 līdz 2 reizes, bet citu automobiļa mehānismu apkopju un remontu biežums nemainās. Taču, lai nesarežģītu nepieciešamo darbu apjomu, kuru nosaka rūpnīca vienlaicīgi ar eļļas maiņu motorā, gan eļļas maiņu, gan tehniskās apkopes darbus vēlams veikt vienlaicīgi pēc noteiktā, saīsinātā apkopes intervāla. Līdz ar to tehniskā apkopē veicamo darbu izmaksas konkrētā ekspluatācijas periodā palielinās par papildus tehniskās apkopēs veikto darbu izmaksām.

Zinot viena strādājošā darba stundas (cilv.h) izcenojumu, iespējams aprēķināt darba izmaksas pēc sekojošas formulas:

$$I_{TA-D} = (T_E \cdot n_E + T_A \cdot n_A) \cdot I_{cilv.h}, \quad (4.9)$$

kur T_E – eļļas maiņas intervāla apkopes darbietilpība, cilv.h;

n_E – eļļas maiņas apkopju skaits izvēlētajā laika periodā vai nobraukumā;

T_A – citu mehānismu apkopju darbietilpība, cilv.h;

n_A – citu mehānismu apkopju skaits izvēlētajā laika periodā vai nobraukumā;

$I_{cilv.st.}$ – vienas cilv.h izcenojums autoservisā, LVL.

Papildus šīm izmaksām jāpieskaita eļļas maiņas laikā izmantoto materiālu izmaksas (motoreļļa, eļļas filtrs). Šīs izmaksas iespējams aprēķināt pēc formulas:

$$I_{TA-M} = I_{TE} \cdot n_E + I_{TA} \cdot n_A, \quad (4.10)$$

kur I_{TE} – eļļas maiņas intervāla apkopes nepieciešamo materiālu izmaksas, LVL;

I_{TA} – citu mehānismu apkopju nepieciešamo materiālu izmaksas, LVL.

Degvielas izmaksas veidojas no automobiļa degvielas patēriņa, nobrauktā ceļa un degvielas cenas:

$$I_D = \frac{Q_D \cdot S \cdot D_C}{100}, \quad (4.11)$$

kur I_D – degvielas izmaksas, LVL;

Q_D – degvielas patēriņš, l (100 km)⁻¹;

S – automobiļa nobraukums, km;

D_C – viena litra degvielas cena, LVL.

Tā kā rapšu eļļas uzpilde transporta līdzeklī parasti notiek bāzes uzņēmumā, bet „divu tvertņu sistēmas” pielietojuma gadījumā fosilās degvielas uzpilde ir ļoti reti, un to var izdarīt būtiski nenovirzoties no maršruta, tad izmaksu pozīcija, kas saistīta ar automobiļa uzpildēm, speciāli braucot uz *DUS* (degvielas uzpildes stacija), netiek iekļauta.

Ūdens-spirta maisījuma *WE50* izgatavošanas izmaksas aprēķina pēc formulas:

$$I_{WE} = I_U + I_B, \quad (4.12)$$

kur I_U – destilēta ūdens cena, LVL;

I_B – bioetanolā cena, LVL.

Lai uzskatāmāk radītu priekšstatu par reālām izmaksām, aprēķinos izmantots automobilis *VOLVO FH12*, un iegūtās skaitliskās vērtības apkopotas 4.6. tabulā. Pieņemot, ka pielāgošanas komplekts tiek uzstādīts uz lietota automobiļa, kura plānotais ekspluatācijas periods līdz tā norakstīšanai vai pārdošanai ir 500 000 km, veic aprēķinus atbilstoši izvēlētajam nobraukumam. Pielāgošanas komplekta kalpošanas laiks tiek pieņemts 500 000 km. Aprēķinos netiek ietvertas izmaksas, kuras neiespaido izmantotais degvielu veids.

Objektīvākai ekspluatācijas izmaksu salīdzināšanai jāaprēķina gada ekspluatācijas izmaksas. Pieņemot, ka vidējais automobiļa gada nobraukums ir 80 000 km, tad 500 000 km nobraukums tiks sasniegts nepilnos septiņos gados.

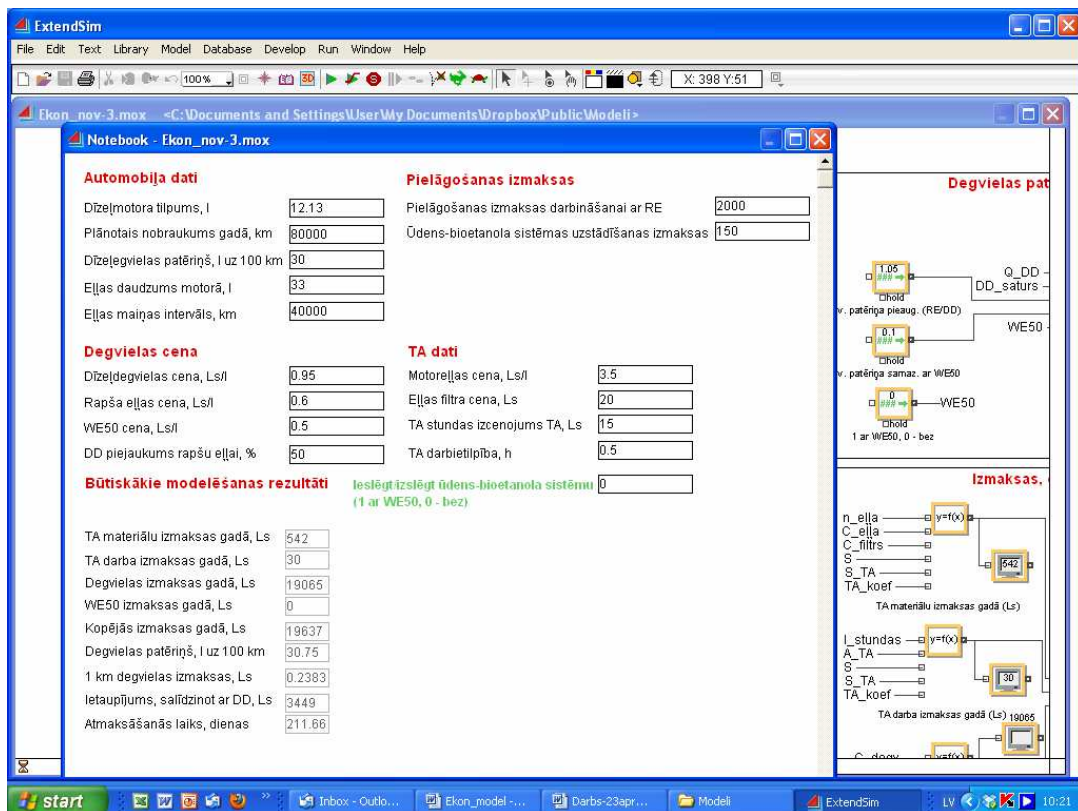
Gada ekspluatācijas izmaksas aprēķina pēc sekojošas sakarības:

$$I_{EG} = \frac{I_{EK}}{T}, \quad (4.13)$$

kur $I_{E,G}$ – ekspluatācijas izmaksas vienā gadā, LVL,
 T – plānotais ekspluatācijas periods, gadi.

Latvijā pastāvošā likumdošana nedod nekādas priekšrocības biodegvielas lietotājiem, tāpēc vadoties pēc šī aprēķina, rapšu eļļas lietotājam ir vieglāk pieņemt lēmumu par degvielas izvēli un automašīnas pielāgošanu braukšanai ar rapšu eļļu.

Iekārtas atmaksāšanās laika aprēķins (sk. 4.8. att.) ir izveidots, izmantojot *ExtendSim* programmu un ir vienkārši lietojams.



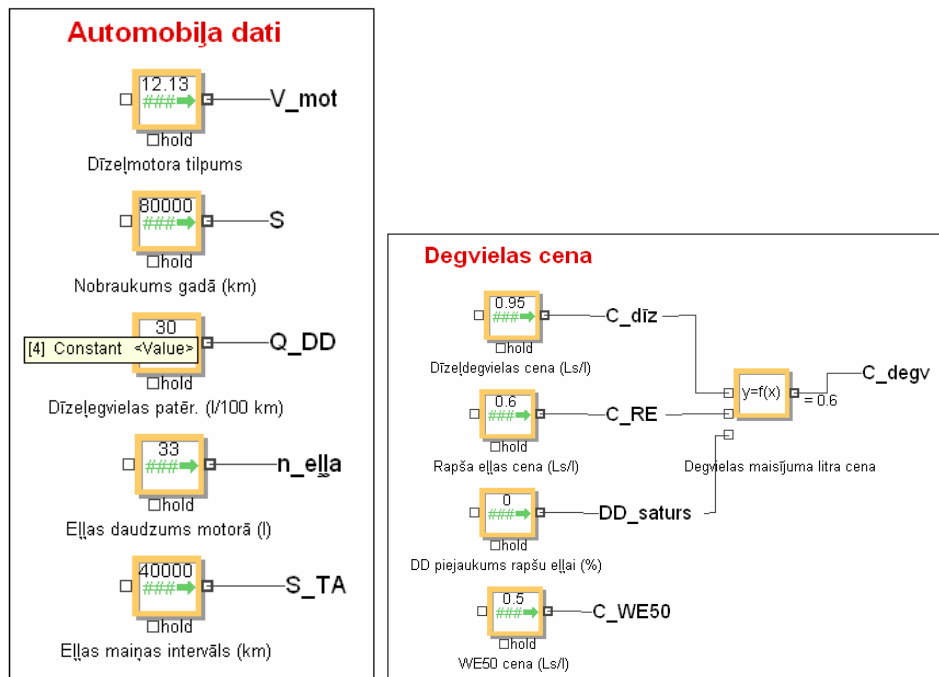
4.8. att. Programmas *ExtendSim* darba panelis

Ierakstot attiecīgajos lauciņos zināmo informāciju, tas ir, pārbūves izmaksas, nobraukumu gada laikā, automobiļa degvielas patēriņu, rapša eļļas un dīzeldegvielas cenu, kā arī maisījuma procentuālo attiecību, var iegūt precīzus datus par sagaidāmajām izmaksām plašā diapazonā. Ar šī aprēķina palīdzību var noteikt ne tikai iekārtas

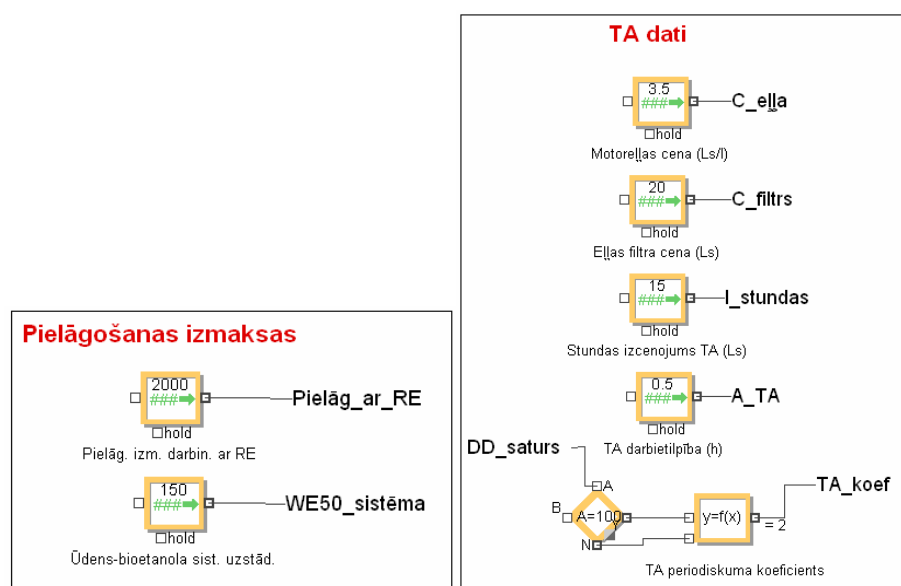
atmaksāšanās laiku, bet arī precīzas izmaksas uz vienu km, braucot ar rapša eļļu, dīzeļdegvielu vai arī veidojot dažādus šo degvielu maisījumus, un, izmantojot vai neizmantojot ūdens-spirta piedevu.

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

- automobiļa datu bloks (sk. 4.9. att.);
- degvielas cenas bloks (sk. 4.9. att.);
- pielāgošanas izmaksu bloks (sk. 4.10. att.);
- TA datu bloks (sk. 4.10. att.);
- degvielas patēriņa bloks (sk. 4.11. att.);
- izmaksu un ietaupījuma aprēķina bloks (sk. 4.12. att.).



4.9. att. Automobiļa datu un degvielas cenas bloki

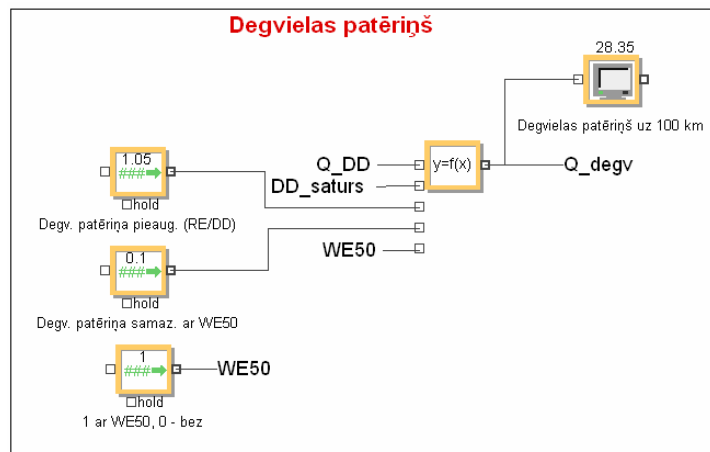


4.10. att. Automobiļa pielāgošanas un TA datu bloki

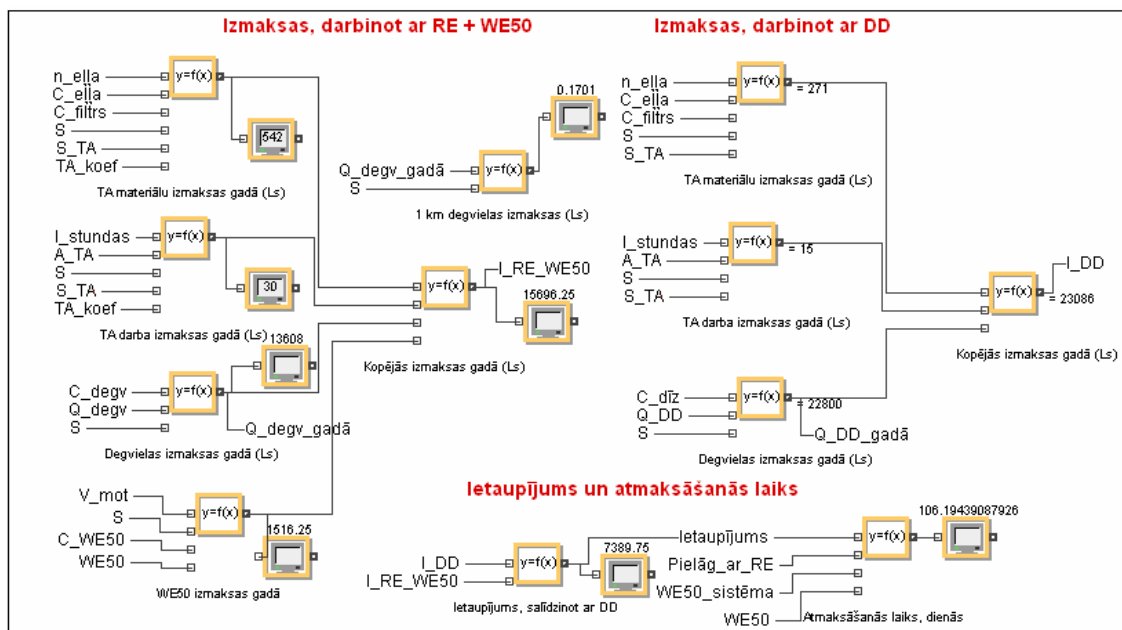
Automobiļa datu blokā tiek ievadīti zināmie dati par automobili un tā ekspluatāciju: motora tilpums, nobrauktais attālums gadā, vidējais degvielas patēriņš, eļļas daudzums motorā un eļļas maiņas intervāls. Eļļas maiņas intervāls ir svarīgs faktors ekonomiskajā aprēķinā, jo, ja tiek izmantota rapša eļļa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

Degvielas cenu blokā tiek ievadītas visu izmantoto degvielu cena un to proporcija automobiļa darbināšanai, kā arī ūdens-spirta maisījuma cena. Rapša eļļas un fosilās dīzeļdegvielas proporcija izteiktāka ir automobiļiem, kuriem ir uzstādīta „divu tvertņu sistēma”. Savukārt ūdens-spirta pielietošana ietekmē degvielas patēriņu un līdz ar to degvielas izmaksas. Pielāgošanas izmaksu un TA datu blokā tiek ievadītas izmaksas, kas nepieciešamas automobiļa pielāgošanai darbībai ar rapša eļļu, un ūdens-bioetanola sistēmas uzstādīšana. TA datu blokā ir atspoguļotas eļļas un filtru cenas, kā arī darba izmaksas autoservisā. Papildus tiek noteikts TA intervāla koeficients, kas ir atkarīgs no tā, vai kā degviela tiek izmantota rapša eļļa.

Degvielas patēriņa blokā tiek izskaitļots degvielas patēriņš uz 100 km, jo tas ir atkarīgs no pielietojamās degvielas veida. Pie degvielas patēriņa tiek pieskaitītas arī ūdens-spirta izmaksas, jo šīs sistēmas pielietošana tieši ietekmē degvielas patēriņu.



4.11. att. Degvielas patēriņa bloks



4.12. att. Izmaksu un ietaupījuma aprēķinu bloks

Izmaksu un ietaupījumu aprēķināšanas blokā tiek veikti ekonomiskā modeļa noslēdzošie aprēķini, kas nosaka automobiļa ekspluatācijas izmaksas darbinot to gan ar dīzeļdegvielu, gan rapšu eļļu, ar un bez ūdens-spirta piedevas. Bez izmaksām šajā blokā tiek aprēķināts atmaksāšanās laiks pēc automobiļa pārbūves.

Ekonomiskā aprēķinā izmantotās sakarības:

$$I_{TAMD} = (n_e \cdot C_{ella} + C_{filtr}) \cdot \frac{S_{gada}}{S_{TA}}, \quad (4.14)$$

kur I_{TAMD} – tehniskās apkopes materiālu izmaksas gadā, izmantojot dīzeļdegvielu, LVL;

n_e – eļļas daudzums motorā, l;

C_{ella} – motoreļļas cena, LVL;

C_{filtr} – eļļas filtra cena, LVL;

S_{gada} – automobiļa nobraukums gadā, km;

S_{TA} – eļļas maiņas intervāls, km.

$$I_{TADD} = \frac{I_{stundas} \cdot A_{TA} \cdot S_{gada}}{S_{TA}}, \quad (4.15)$$

kur I_{TADD} – tehniskās apkopes darba izmaksas gadā, izmantojot dīzeļdegvielu, LVL;

$I_{stundas}$ – vienas stundas izcenojums servisā, LVL;

A_{TA} – nepieciešamo stundu skaits, lai veiktu eļļas maiņu motorā.

$$V_{izm} = \frac{S_{gada}}{\left(\frac{100}{P_{degv}} \right)}, \quad (4.16)$$

kur V_{izm} – izmantotās degvielas daudzums gadā, l;

P_{degv} – degvielas patēriņš, l (100 km)⁻¹;

S_{gada} – nobraukums gadā, km.

$$I_{diz} = V_{izm} \cdot C_{diz}, \quad (4.17)$$

kur I_{diz} – dīzeļdegvielas izmaksas gadā, LVL;

V_{izm} – izmantotās degvielas daudzums gadā, l;

C_{diz} – dīzeļdegvielas cena, LVL l⁻¹.

$$I_{ekspl} = I_{TAMD} + I_{TADD} + I_{diz}, \quad (4.18)$$

kur I_{ekspl} – automobiļa ekspluatācijas izmaksas vienā gadā, LVL.

$$I_{kmd} = \frac{C_{diz}}{\left(\frac{100}{P_{degv}} \right)}, \quad (4.19)$$

kur I_{kmd} – izmaksas uz vienu km, braucot ar dīzeļdegvielu, LVL;

C_{diz} – dīzeļdegvielas cena, LVL l⁻¹;

P_{degv} – degvielas patēriņš, l (100 km)⁻¹.

$$I_{TAMR} = (n_e \cdot C_{ella} + C_{filtrrs}) \cdot \frac{S_{gada}}{\left(\frac{S_{TA}}{2}\right)}, \quad (4.20)$$

kur I_{TAMR} – tehniskās apkopes materiālu izmaksas gadā, izmantojot rapšu eļļu, LVL;

n_e – eļļas daudzums motorā, l;

C_{ella} – motoreļļas cena, LVL;

$C_{filtrrs}$ – eļļas filtra cena, LVL;

S_{gada} – automobiļa nobraukums gadā, km,;

S_{TA} – eļļas maiņas intervāls, km.

$$I_{TADR} = \frac{I_{stundas} \cdot A_{TA} \cdot S_{gada}}{\left(\frac{S_{TA}}{2}\right)}, \quad (4.21)$$

kur I_{TADR} – tehniskās apkopes darba izmaksas gadā, izmantojot rapšu eļļu, LVL;

$I_{stundas}$ – vienas stundas izcenojums servisā, LVL;

A_{TA} – nepieciešamo stundu skaits, lai veiktu eļļas maiņu motorā.

$$C_{REM} = \frac{C_{diz} \cdot D_{RE}}{100} + \frac{C_{RE} \cdot (100 - D_{RE})}{100}, \quad (4.22)$$

kur C_{REM} – rapšu eļļas vai maisījuma cena, LVL;

C_{diz} – dīzeļdegvielas cena, LVL;

D_{RE} – rapšu eļļas daudzums degvielā, %.

$$P_{RE} = 1.05 \cdot P_{degv}, \quad (4.23)$$

kur P_{RE} – degvielas patēriņš, darbinot motoru ar rapšu eļļu, l (100 km)⁻¹.

$$V_{izmRE} = \frac{S_{gada}}{\left(\frac{100}{P_{RE}}\right)}, \quad (4.24)$$

kur V_{izmRE} – izmantotās rapšu eļļas vai maisījuma daudzums gadā, l;

P_{RE} – degvielas patēriņš, darbinot motoru ar rapšu eļļu, l (100 km)⁻¹;

S_{gada} – nobraukums gadā, km.

$$I_{RE} = V_{izm} \cdot C_{RE}, \quad (4.25)$$

kur I_{RE} – rapšu eļļas izmaksas gadā, LVL;

C_{RE} – rapšu eļļas cena, LVL l⁻¹.

$$I_{eksplRE} = I_{TAMR} + I_{TADR} + I_{RE}, \quad (4.26)$$

kur $I_{eksplRE}$ – automobiļa ekspluatācijas izmaksas vienā gadā, izmantojot rapšu eļļu vai maisījumu, LVL;

I_{RE} – rapšu eļļas izmaksas gadā, LVL.

$$I_{ekonRE} = I_{ekspl} - I_{eksplRE}, \quad (4.27)$$

kur I_{ekonRE} – iekonomētās izmaksas, salīdzinot ar dīzeļdegvielas izmantošanu, LVL.

$$T_{RE} = \frac{I_p \cdot 365}{I_{ekon}}, \quad (4.28)$$

kur I_p – automobiļa pielāgošanas izmaksas, darbināšanai ar rapšu eļļu, LVL;
 I_{ekon} – iekonomētās izmaksas, ekspluatējot automobili ar rapšu eļļu, LVL.

$$I_{TAMRW} = (n_e \cdot C_{ella} + C_{filtr}) \cdot \frac{S_{gada}}{\left(\frac{S_{TA}}{2}\right)}, \quad (4.29)$$

kur I_{TAMRW} – tehniskās apkopes materiālu izmaksas gadā, izmantojot rapšu eļļu un WE50 piedevu, LVL;

n_e – eļļas daudzums motorā, l;

C_{ella} – motoreļļas cena, LVL;

C_{filtr} – eļļas filtra cena, LVL;

S_{gada} – automobiļa nobraukums gadā, km;

S_{TA} – eļļas maiņas intervāls, km.

$$I_{TADRW} = \frac{I_{stundas} \cdot A_{TA} \cdot S_{gada}}{\left(\frac{S_{TA}}{2}\right)}, \quad (4.30)$$

kur I_{TADRW} – tehniskās apkopes darba izmaksas gadā, izmantojot rapšu eļļu un WE50 piedevu, LVL;

$I_{stundas}$ – vienas stundas izcenojums servisā, LVL;

A_{TA} – nepieciešamo stundu skaits, lai veiktu eļļas maiņu motorā.

$$P_w = 0.9 \cdot P_{RE}, \quad (4.31)$$

kur P_w – degvielas patēriņš, izmantojot rapšu eļļu vai maisījumu ar dīzeļdegvielu, un pievienojot piedevu WE50, l (100 km)⁻¹.

$$V_{izmREW} = \frac{S_{gada}}{\left(\frac{100}{P_w}\right)}, \quad (4.32)$$

kur V_{izmREW} – izmantotās rapšu eļļas vai maisījuma daudzums gadā, pievienojot piedevu WE50, l.

$$I_{REW} = C_{RE} \cdot V_{izmREW}, \quad (4.33)$$

kur I_{REW} – izmantotās rapšu eļļas vai maisījuma izmaksas gadā, pievienojot piedevu WE50, LVL.

$$I_w = \frac{0.005 \cdot V_{mot} \cdot S_{gada} \cdot C_w}{1.6}, \quad (4.34)$$

kur V_{mot} – motora darba tilpums, l;

C_w – WE50 cena, LVL.

$$I_{eksplw} = I_{TAMRW} + I_{TADRW} + I_{REW} + I_w, \quad (4.35)$$

kur I_{eksplw} – automobiļa ekspluatācijas izmaksas vienā gadā, izmantojot rapšu eļļu vai maisījumu un piedevu WE50, LVL.

$$I_{kmw} = \frac{C_{RE}}{\left(\frac{100}{P_w}\right)}, \quad (4.36)$$

kur I_{kmw} – rapšu eļļas vai maisījuma patēriņš uz vienu km, izmantojot WE50, l (km)⁻¹.

$$I_{ekonw} = I_{ekspl} - I_{eksplw}, \quad (4.37)$$

kur I_{ekonw} – iekonomētās izmaksas, izmantojot WE50, salīdzinot ar dīzeļdegvielas izmantošanu, LVL.

$$I_e = I_{eksplRE} - I_{eksplw}, \quad (4.38)$$

kur I_{ekonw} – iekonomētās izmaksas, izmantojot WE50, salīdzinot ar rapšu eļļas vai maisījumu izmantošanu, LVL.

$$T_k = \frac{I_{pielag} + I_w}{I_{ekon}} \cdot 365, \quad (4.39)$$

kur T_k – atmaksāšanās laiks, dienās;

I_{pielag} – spēkratu pielāgošanas izmaksas darbināšanai ar rapšu eļļu, LVL;

I_w – WE50 iesmidzināšanas sistēmas uzstādīšanas izmaksas, LVL;

I_{ekon} – iekonomētās gada izmaksas, LVL.

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, dots 4.6. tabulā.

4.6. tabula. **Izmaksu salīdzinājums automobilim VOLVO FH12**

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 vienu 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.

Kopsavilkums

Šajā darbā izstrādātās tehnoloģijas būtība ir aizsargāt cilvēka veselību un apkārtējo vidi, ierobežojot spēkratu izmešu daudzumu. Tādēļ ekoloģiskais novērtējums ir nozīmīgs pamatojums ekoloģiski efektīvā transporta attīstībā.

Automobiļu izplūdes gāzes satur vairākus vidi piesārņojošus elementus, taču dīzeļmotoru toksisko atgāzu daudzumu Eiropas Savienībā pieņemts novērtēt pēc piecu galveno piesārņojošo izmešu daudzuma. Tie ir oglekļa oksīdi (CO), nesadegušie oglekļa oksīdi (HC), oglekļa oksīdu un slāpekļa oksīdu kopējā masa (HC+NO_x), slāpekļa oksīdi (NO_x) un cieto daļiņu daudzums (PM). Pielietojot ūdens-bioetanolā maisījuma iesmidzināšanas tehnoloģiju dīzeļmotora ieplūdes kolektorā, būtiski iespējams samazināt toksisko komponentu NO_x un HC daudzumu motora atgāzēs, taču vairākas reizes palielinās cieto daļiņu (PM) daudzums izmešos. Daļēji šo faktu var izskaidrot ar to, ka dīzeļmotors tiek attīrīts, ja tiek iesmidzināts ūdens-spirta maisījums. Lai par to pārliecinātos, nepieciešams veikt papildus eksperimentus ilgākā ekspluatācijas periodā.

Kopumā, lai noteiktu vides piesārņojumu konkrētā vietā no autotransporta atgāzēm, nepieciešams veikt transporta monitoringa procesu, kā arī izstrādāt matemātiskos modeļus, lai aprēķinātu kaitīgo vielu koncentrāciju jebkurā laika momentā, jebkurā izskatāmās teritorijas atmosfēras punktā, izmantojot minimālu mērījumu skaitu.

GALVENIE 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. Tvana 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 (nesadegušie ogļūdeņraži) 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 paņēmiens dīzeļmotora izmešu regulēšanai apstiprināts ar patentu LV14648 B (starptautiskās klasifikācijas indekss: F02B47/04). Noskaidrots, ka ūdens-spirta iesmidzināšanas tehnoloģija pielietojama visiem dīzeļmotoru tipiem. Tehnoloģija aprobēta 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.

INFORMĀCIJAS AVOTI

1. Abromovich H., Klofutar C. (1998) The temperature dependence of dynamic viscosity for some vegetable oils. *Acta Chim. Slov.*, Nr. 45, 69. - 77. lpp.
2. Adamovičs A., Agapovs J., Daņiļevičs A. u.c. (2007) Enerģētisko augu audzēšana un izmantošana Sast. A. Varika. – Rīga: Vides projekti – 192 lpp.
3. Aizsils G. (2011). Dīzeļmotoru barošanas sistēmas. // Mācību līdzeklis. – Jelgava, 2011.– 202 lpp.
4. Akronīmu un saīsinājumu vārdnīca. (B.g.) [tiešsaiste] [skatīts 11.03.2011.]. Pieejams: <http://www.all-acronyms.com/PHSBO>.
5. Alex Spataru (2003) Emulsified Fuels in Western Europe. [online] [cited 16.05.2011]. Available: http://www.arb.ca.gov/fuels/diesel/altdiesel/a_spataru.pdf#search=%22emulsified%20diesel%22
6. Alternatīvo degvielu zinātniskā laboratorija. (2007) Tehniskais aprīkojums. [tiešsaiste] [skatīts 12.04.2012.]. Pieejams: <http://www.tf.llu.lv/adzl/aprikojums.htm>
7. Alternatīvo degvielu zinātniskā laboratorija (B.g.) Biogāze. [tiešsaiste] [skatīts 18.05.2011.] Pieejams: <http://www.tf.llu.lv/adzl/biogaze.htm>
8. Alternatīvo degvielu zinātniskā laboratorija (B.g.) Rapša eļļa. [tiešsaiste] [skatīts 18.05.2011] Pieejams: <http://www.tf.llu.lv/adzl/rapsaella.htm>
9. Arhipova I., Bāliņa S. (2003) Statistika ekonomikā. Risinājumi ar SPSS un Microsoft Excel: mācību līdzeklis. Rīga: Datorzinību centrs, 352 lpp.
10. Andre M., Joumard R., Vidon R., Tassel P., Perret P. (2006) Real-world European driving cycles, for measuring pollutant emissions from high- and low-powered cars. *Atmospheric Environment*, No. 40, p. 5944 – 5953.
11. Autodata CDA-3 (2007). Autodata Limited 2007. Version 5.373.
12. Autobiļu degvielas degšanas aktivizators. (2012) [tiešsaiste] [skatīts 01.05.2011.] Pieejams: <http://aktivna.lv/lv>
13. AVL SESAM FTIR. User's Manual. (2007) AVL Emission Test Systems GmbH, Gaggenau, Germany, AT2547E, Rev. 10, 104 p.
14. Baks V., Dukulis I., Birkavs A. (2011) Emission and fuel consumption studies using separated at low temperatures pure rapeseed oil. *Proceedings of the 10th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 26 – 27, 2011., pp. 239. – 243.
15. Benfelde S. (2010) Biodegviela – ceļš uz tīrāku nākotni. [tiešsaiste] [skatīts 12.11.2010.]. Pieejams: <http://videsvestis.lv/content.asp?ID=53&what=20> - 22k
16. Berjoza D. (2007) *Automobilis un vide* – Jelgava, 132 lpp.
17. Bērziņa A. (2007) *Ievads šūnas bioloģijā: lekcijas materiāli*. – Rīga: 53 lpp.
18. Biodegvielas izmantošanas iespējas Latvijā: projekts Nr. EIE/05/190/SI2.420028 Bio-NETT - Developing local supply chain networks, linking bio-fuel producers with public sector users. [tiešsaiste] [skatīts 28.05.2010.]. Pieejams: [http://www.rms.lv/bionett/Files/BIODEGVIELAS_\(celvedis\).pdf](http://www.rms.lv/bionett/Files/BIODEGVIELAS_(celvedis).pdf).
19. Biodegvielas likums (2005). LR likums. Spēkā ar 15.04.2005. Latvijas Vēstnesis, Nr. 52.
20. Biodegvielas ražošana un lietošana Latvijā (2003.– 2010.) (2003). Latvijas Republikas programma. Rīga: Zemkopības Ministrija. 42 lpp.
21. Birkavs A., Dukulis I. (2011) Development of Experimental Equipment for Vegetable Oil Fuel Research. „Research for Rural Development”, Volume 1, Jelgava: LUA, p. 173 – 178.

22. Birkavs A., Dukulis I., Birzietis G. (2010) Investigation of Flowability of Rapeseed Oil and Diesel Fuel Blends in Winter Conditions. Kaunas: Lithuanian University of Agriculture, pp. 204. – 213.
23. Birkavs A.(2010) Rapša eļļas kā dīzeļmotoru degvielas izmantošanas pētījumi.– Jelgava: LLU, 99 lpp.
24. 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.
25. 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.
26. CarUp Lab Test Results (S.a.) [online] [cited 16.05.2011]. Available: <http://www.carup.com.au/test.html>
27. Center for diet and disease (2008) [online] [cited 21.05.2011]. Available: <http://www.cdd-tum.de/>.
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. Dukulis I., Pirs V. (2009) Development of Driving Cycles for Dynamometer Control Software Corresponding to Peculiarities of Latvia. In: Proceedings of the 15th International Scientific Conference „Research for Rural Development”, May 20 – 22, 2009. Jelgava: LUA, p. 95 – 102.
33. 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.
34. Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 97/68/EK (1997. gada 16. decembris) par dalībvalstu tiesību aktu tuvināšanu attiecībā uz pasākumiem pret gāzveida un daļiņveida piesārņotāju emisiju no iekšdedzes motoriem, ko uzstāda visurgājējai tehnikai. (B.g.) [tiešsaiste] [skatīts 19.03.2009.]. Pieejams: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31997L0068:LV:HTML>
35. Emission Test Cycles. Summary of worldwide engine and vehicle test cycles (S.a.) [online] [cited 19.03.2011]. Available: <http://www.dieselnet.com/standards/cycles/>
36. Engine & Emissions Control Standards (S.a.) [online] [cited 12.01.2011]. Available: <http://www.factsaboutscr.com/scr/engine-control-standards.aspx>
37. Ericsson E. (2000) Urban driving patterns- characterization, variability and environmental implications, Bulletin 186, LUND University, Lund institute of

- technology, Department of technology and society, Traffic planning. [tiešsaiste] [skatīts 10. 01.2011.] Pieejams: http://www.dieselnet.com/tech/fuel_dme.html
38. EUROFuelSaver Srl. (S.a.) [online] [cited 04.04.2011]. Available: <http://supertech.it/en/supertech-the-product-description>
 39. European emission standarts. (S.a.) [online] [cited 08.06.2011]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/European_emission_standards
 40. Eyzat P. (1972) Lysx. Le'moteur diesel et l'environnement. - Entropie, №48,p. 117... 129.
 41. FFI (S.a.) MPG – CAPS [online] [cited 08.06.2011]. Available: <http://www.myffi.biz/t-MPG-CAPS.aspx>
 42. Fizikas terminu skaidrojošā vārdnīca (B.g.) Turbulenta plūsma. [tiešsaiste] [skatīts 04.03.2011.] Pieejams: http://www.lielvarads.lv/fizika_termini/?klase_get=1&tema_get=9&t_id=126
 43. Green Car Conress. (2006) [online] [cited 16.05.2011]. Available: http://www.greencarcongress.com/2006/10/kanagawa_univer.html
 44. Hames, R., Merrion, D., and Ford, H. (1971) „Some Effects of Fuel Injection System Parameters on Diesel Exhaust Emissions,” SAE Technical Paper 710671, doi:10.4271/710671.
 45. Hazar H., Aydin H. (2010) Performance and emission evaluation of a CI engine fueled with preheated raw rapeseed oil (RRO) – diesel blends. Applied Energy. No. 26, p. 786 – 790.
 46. Hickman A. J. (1999) METHODOLOGY FOR CALCULATING TRANSPORT EMISSIONS AND ENERGY CONSUMPTION. Transport Research Laboratory, Berkshire, pp. 381.
 47. Hickman J., Hassel D., Joumard R. (1999) Methodology for calculating transport emissions and energy consumption. Anglija: 362 lpp. SE/491/98.
 48. Hung W.T., Tong H.Y., Lee C.P., Ha K., Pao L.Y. (2007) Development of a practical driving cycle construction methodology: A case study in Hong Kong. Transportation Research Part D: *Transport and Environment*, Vol. 12, Issue 2, March, p. 115 – 128.
 49. Iespēja izdevumu samazināšanai – degvielas taupīšana ar SuperTech. (B.g.) [tiešsaiste] [skatīts 11.11.2011.]. Pieejams: <http://www.diena.lv/pr-iespeja-izdevumu-samazinasanai-degvielas-taupisana-ar-supertech-668600>
 50. Informatīvais ziņojums par pasākumiem Valsts kopējo emisiju gaisā samazināšanai. (2006) [tiešsaiste] [skatīts 11.11.2010.]. Pieejams: http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/nat_prog/latvia_lv.pdf
 51. Kalniņš A. (2007) Biodegvielas izmantošanas iespējas Latvijā. Rīga, Rīgas menedžeru skola, 2007., 99.lpp.
 52. Kleinová A., Vailing I., Lábaj J., Mikulec J., Cvengroš J. (2011) Vegetable oils and animal fats as alternative fuels for diesel engines with dual fuel operation. Fuel Processing Technology. No. 92, p. 1980 – 1986.
 53. Koloīdās dzirnavas (B.g.) [tiešsaiste] [skatīts 16.05.2011.] Pieejams: http://www.bitumen.org.ua/colloid_mill_bitumen_emulsion.htm
 54. Labeckas G., Slavinskā S. (2005) Performance and exhaust emissions of direct-injection diesel engine operating on rapeseed oil and its blends with diesel fuel. Transport – 2005, No. 5, p. 186 – 194.
 55. LIAA (B.g.) Polija: informatīvs materiāls. [tiešsaiste] [skatīts 21.09.2011.]. Pieejams: http://www.liaa.gov.lv/uploaded_files/EKSPORTETAJIEM%20sadala/Polija/1.Visp_inf_POL.pdf

56. Liepiņš Viesturs. (B.g.) Mans auto – videi draudzīgs. [tiešsaiste] [skatīts 13.05.2011.] Pieejams: <http://www.videsvestis.lv/content.asp?ID=62&what=52>
57. LZA terminoloģijas komisija (B.g.) AkadTerm: Akadēmiskā terminu datubāze [tiešsaiste] [skatīts 12.05.2011.]. Pieejams: [http://termini.lza.lv/term.php?term=.](http://termini.lza.lv/term.php?term=)
58. *MD-1750 Chassis Dynamometer* (2004). Maintenance & Service Manual. Twinsburg, USA, 68 p.
59. Miķelsons Z., Pīrs V. (2008) Spēkratu konstrukcijas. – Jelgava, 2008. – 199 lpp.
60. Mitrovich. S. (2003) Vide, enerģija un transports. Mācību materiāls transporta jomā. [tiešsaiste] [skatīts 18.02.2010.] Pieejams: http://www.eu-portal.net/material/downloadarea/kt5_wm_lv.pdf
61. Molecular Libraries (S.a.) Roadmap Initiative: PubChem Compound Search. [online] [cited 12.05.2011]. Available: <http://mli.nih.gov/mli/>
62. Noteikumi par biodegvielas kvalitātes prasībām, atbilstības novērtēšanu, tirgus uzraudzību un patērētāju informēšanas kārtību (2007): Ministru kabineta noteikumi Nr. 515 „Grozījumi Ministru kabineta 2005. gada 18. oktobra noteikumos Nr. 772”. Spēkā ar 28.07.2007. Latvijas Vēstnesis, Nr. 121, 27. jūl.
63. OBST Fuel Saver (S.a.) [online] [cited 03.05.2011]. Available: <http://www.obstdesign.com.au/1752.html>
64. Par enerģijas patēriņa, kas ražota no atjaunojamajiem energoresursiem, nodrošināšanu transportā 2020. gadā vismaz 10% apmērā no enerģijas galapatēriņa transportā (2011) [tiešsaiste]. LR Ekonomikas Ministrija. [skatīts 08.06.2011]. Pieejams: <http://www.em.gov.lv/em/2nd/?lang=lv&id=31696&cat=621>
65. Paulsen H.M., Wichmann V., Schuemann U., Richter B. (2011) Use of straight vegetable oil mixtures of rape and camelina as on farm fuels in agriculture. *Biomass and Bioenergy*. No. 35, p. 4015 – 4024.
66. Pīrs V. (2011) Bioetanola izmantošana ottomotoros: promocijas darbs. Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, 190 lpp.
67. Pommers J., (1989) Studentu zinātniskā darba pamati. 2. pārstr. izd. Rīga: Zvaigzne, 295 lpp.
68. Priekulis J., Strautnieks N. (2000) Lauksaimniecības darbu mehanizācijas ekonomiskais vērtējums. 1. daļa, Jelgava: LLU, 29. lpp.
69. Przybylski R. (2009) Canola Oil: Physical and Chemical Properties 6. lpp.
70. Pure Plant Oil: review (S.a.) [tiešsaiste] [online] [cited 21.09.2011]. Available: http://www.uk-energy-saving.com/pure_plant_oil.html
71. Rapšu eļļa. (2012) [tiešsaiste] [skatīts 12.01.2011.]. Pieejams: <http://www.latvijaspirts.lv/web/?id=400771>
72. Rauhvargers A. (1996) Vispārīgā ķīmija. Rīga, „Zinātne”, 378 lpp.
73. Reiter C. (1997) Erstellung von Emissionskennfeldern. Diplomarbeit. Technical University of Graz, Austria.
74. Rīcības plāns programmas „Biodegvielas ražošana un lietošana Latvijā” īstenošanai (2004). Ministru kabineta 2004. gada 22. jūlija rīkojums Nr. 511. Rīga: Zemkopības Ministrija. 15 lpp.
75. Robert Bosch GmbH (2005) Diesel engine Management. 4-th edition, Bentley Publisher, 501 p.
76. Robert Bosch GmbH (2006) Gasoline-Engine Management. 3-rd edition., Bentley Publisher, 364 p.
77. RTU Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte (B.g.) Augu eļļas kā atjaunojamo degvielu un ziežvielu izejvielas (buklets).

78. Sachse J. (1975) Lastahangige Förderbeginnverstellung und Abgasrückführung als wirksame Maßnahmen zur Verminderung der NO_x-Emission von Dieselmotoren. Kraftfahrzeugtechnik, № 12, S.366...369.
79. Schumarm R. (1973) Verbrennungstechnische Feinwicklungsarbeiten beim Daimler-Benz-Vorläufer-Dieselmotor für Personenwagen. - MTZ, 34, № 9, S.288...292.
80. Scott W.M. (1972) Recent developments in diesel engine research at the Ricardo laboratories. - Entropie, № 48, p. 69...79.
81. Shahidi F. (2005) Bailey's industrial oil and fat products. Sixth Edition Copyright. John Wiley & Sons, Inc. 411 lpp.
82. Skaidrojums par automašīnu gāzu izplūdes radīto siltumnīcefektu (B.g.) Rokasgrāmata par vidējo degvielas patēriņu un CO₂ izplūdi [tiešsaiste] [skatīts 18.05.2011.] Pieejams: http://www.csdd.lv/lat/par_csdd/rokasgramata_par_videjo_degvielas_paterinu/
83. Sidibe S.S., Blin J., Vaitilingom G., Azoumah Y. (2010) Use of crude filtered vegetable oil as a fuel in diesel engines state of the art: Literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 14, p. 2748 – 2759.
84. Skaidrojošā vārdnīca (B.g.) Klusters [tiešsaiste] [skatīts 04.05.2011.] Pieejams: <http://www.tezaurs.lv/sv/>
85. Soltic P., Edenhauser D., Thurnheer T., Schreiber D., Sankowski A. (2009) Experimental investigation of mineral diesel fuel, GTL fuel, RME and neat soybean and rapeseed oil combustion in a heavy duty on-road engine with exhaust gas aftertreatment. Fuel. No. 8, p. 1 – 8.
86. Spiediens. Vikipēdija. (B.g.) Brīvā enciklopēdija. [tiešsaiste] [skatīts 05.07.2013.] Pieejams: <http://lv.wikipedia.org/wiki/Spiediens>
87. Strēle M., Seržane R., Rabkēviča S. u.c. (B.g.) Dabai draudzīgas alternatīvas dīzeļdegvielas – rapšu eļļas augstāko taukskābju metil- un etilēsteru stabilitāte. [tiešsaiste] [skatīts 12.05.2011.]. Pieejams: www.ecobalt.lv/request.php?108.
88. Stump G. (1973) Reduction of exhaust emissions of diesel engines by means of the injection equipment. - 10 th Int. Congr. Combust. Engines, Washington, New York.
89. Super – fuelsaver (S.a.) [online] [cited 21.05.2011]. Available: <http://www.superfuelsaver.com/installation-a7.html?sessionID=858f35b1b3a8fe137a3c68120a9105ac>
90. Supertech Latvija (B.g.) [tiešsaiste] [skatīts 04.04.2011.] Pieejams: http://www.supertech.lv/produkts_uzb.htm
91. Šmigins R. (2008) Atgāzu toksiskuma novērtēšana: lekciju materiāls. Jelgava: LLU, 2008. 40 lpp.
92. 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.
93. Thuneke K., Emberger P., Gassner T., Remmele E. (2008) Mutagenic potential of particle emissions of a vegetable oil compatible tractor. In: European biomass conference: Proceedings of 16th European Biomass Conference & Exhibition, Valencia, Spain, 3 lpp.
94. Thuneke K. (2006) Rapeseed Oil Fuel – Production, Quality Demands and Use Experience. In: Biomass for Energy – Challenges for Agriculture, September 25 – 26, 2006, Bruges, Belgium [online] [cited 10.10.2012]. Available: http://www.northseabioenergy.org/files/17397/Klaus_Thuneke.pdf.

95. Tornado Gas Saver (S.a.) [online] [cited 03.05.2011]. Available: <http://www.tornadoair.com/buy1/results.html>
96. Tzirakis E., Pitsas K., Zannikos F., Stournas S. (2006) Vehicle emissions and driving cycles: comparison of the Athens driving cycle (ADC) with ECE-15 and European driving cycle (EDC). Global NEST Journal, Vol. 8, No. 3, p. 282 – 290.
97. Vācija: informatīvs materiāls (2010) [tiešsaiste] [skatīts 21.09.2011.]. Pieejams: <http://www.pro5.lv/modules.php?name=Encyclopedia&op=content&tid=141>.
98. Victor L., E. Benjamin (1985) Fluid mechanics. New York: McGraw-Hill, c1985.
99. Vide, enerģija un transports. (2003) Mācību materiāls transporta jomā. Apkop. Sergio Mitrovich. Portāla www.eu-portal.net rakstiskais materiāls, 57 lpp.
100. Vides pārskats (2007) Rīcības programma valsts kopējo emisiju gaisā samazināšanai. [tiešsaiste] [skatīts 12.11.2010.]. Pieejams: www.vidm.gov.lv/lat/print/?doc=3936&from=27 - 8k
101. Volvo Truck Latvia/TV NET (2009)Dīzeļmotors – teicama efektivitāte, zems izmešu līmenis. [tiešsaiste] [skatīts 12.11.2010.]. Pieejams: http://www.tvnet.lv/auto/jaunumi/86784_dizelmotors_teicama_efektivitate_zems_izmesu_limenis
102. ZEBO (B.g.) CarUp Tehnoloģija [tiešsaiste] [skatīts 22.04.2011.] Pieejams: <http://www.carup.lv/?wp=230&lg=2>
103. Zubkovs M., Juris V. (B.g.) Biodīzeļa, biodīzeļdegvielas uzglabāšanas nosacījumi [tiešsaiste] [skatīts 28.05.2010.]. Pieejams: http://www.lpaa.lv/docs/299/Biodizela_uzglabšanas_nosacijumi.doc.
104. Zviedrija: informatīvs materiāls. (2010) [skatīts 21.09.2011.]. Pieejams: http://www.celojumubode.lv/?valsts_page_id=17&Zviedrija.
105. Баширов Р.М. (1978) Основные показатели работы топливных систем автотракторных дизелей. Ульяновск, с 82.
106. Вапшейдта В.А. и др. (1977) Дизели. Справочник. Изд. 3-е. Под общей редакцией, Машиностроение, с. 480. 145
107. Варшавский И.Л. (1969) Мачульский Ф.Ф. Токсичность дизельной сажи и измерение сажесодержания дизельного выхлопа. - Тр. ЛАНЭ. М.: Знание, с.120...157.
108. Варшавский И.Л. (1969) Состояние работы по уменьшению токсичности автомобилей // Сб. трудов ЛАНЭ, с. 7...33.
109. Вымораживание (винтеризация) растительных масел. (Б.г.) [прямая ссылка] [осмотрено 12.05.2011]. Доступен: http://www.adm-demetra.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=57.
110. Второва О. (2007) В глобальном потеплении "виновато" Солнце, считает эксперт. [прямая ссылка] [осмотрено 11.04.2011]. Доступен: <http://www.rian.ru/science/20070115/59061625.html>
111. Применение перлита NORDISK в процессе винтеризации масел. (Б.г.) ГК «АЛЬТАИР» [прямая ссылка] [осмотрено 12.05.2011]. Доступен: http://altairon.ru/?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=102.
112. Гнатюк Е.В., Шевченко П.Л., Марахина М.С. и др (1974) Исследование токсичности отработавших газов при работе двигателя Д-20 на дизельном топливе и сжиженном бутане. В кн.: Двигатели внутреннего сгорания. Омск, СибАДИ, выш.5 с.57...67.
113. Грибанов В.И., Орлов В.А. (1966) “Карбюраторы двигателей внутреннего сгорания”. Ленинградское отделение издательство “Машиностроение”, с 253.

114. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. (1996) Биология. – М.: Мир, 1996. – 1 том. с 166 – 170., 2 том., с 80 – 91.
115. Демочка О.И., Ложкин В.Н. (1984) Пути снижения токсичности отработавших газов автотракторных двигателей.// ЦНИИТЭИ тракторсельхозмаш, серия 1, выпуск 13, с 54.
116. Ждановский Н.С. (1977) Диагностика автотракторных двигателей. - Л.: Колос, с 264.
117. Жернов А.С. (1985) Улучшение экономических и экологических показателей автомобильного дизеля совершенствованием способа регулирования. - Харьков. с.26
118. Звонов В., Козлов А., Теренченко А. (2008) Исследование эффективности применения в дизельных двигателях топливных смесей и биотоплив. Рос. хим. ж., №. 6, 2008, 147 – 151. lpp. УДК 665.3:621.436.
119. Звонов В.А. (1981) Токсичность двигателей внутреннего сгорания. - Москва: Машиностроение, с 160.
120. Звонов В.А., д.т.н. 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>
121. Зельдович Я.Б., Садовников П.Я. (1947), Франк-Каменецкий В.И. Окисление азота при горении. М.-Л.: Изд-во АН СССР, с 148.
122. Ищук Ю.Г. (1978) Интенсификация процесса сгорания топлива в судовых дизелях. - Л.: Судостроение. С. 56.
123. Кривошеева Л.В., Лазарев А.П., Пономарёв Е.Г., Френкель А.И. (1979) Снижение степени дымности и токсичности отработавших газов дизеля посредством воздействия на характер тепловыделения в процессе сгорания топлива. // Пути повышения топливной экономичности и снижения токсичности автотракторных двигателей. - Баку. с. 356.
124. Кульчитский А.Р. (2004) Токсичность автомобильных и тракторных двигателей. 2-е изд., -М. Академический Проект, с. 400.
125. Лоскутов А.С. (1982) Исследование механизмов образования окислов азота и сажи в цилиндре дизеля. - Л с. 25.
126. Луканина В.Н. (2005) Двигатели внутреннего сгорания: Теория рабочих процессов. Кн.1.: Под ред.. – 2-е изд – М.: Высш. шк., с. 479.
127. 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.
128. 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, 2 0 0 4 . - 1 8 с., УДК 502.3:504.5:621.43.064
129. Малов Р.В. (1977) Малотоксичные дизеля подземного транспорта. // Защита воздушного бассейна от загрязнения токсичными выбросами транспортных средств. - Харьков. с. 142... 168.
130. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. (2002) Токсичность отработавших газов дизелей. Издание второе, переработанное и дополненное. Москва: Издательство МГУ им. Н.Э. Баумана, 375 с.
131. Марченко А.П., Семёнов В.Г. (Б.г.) Проблемы использования растительных масел в виде органического топлива. [прямая ссылка] [осмотрено 28.05.2010]. Доступен: <http://www.apk-inform.com/showart.php?id=58095>.

132. Николаенко А.В. (1984) Теория, конструкция и расчёт автотракторных двигателей. -М.: Колос, с. 335.
133. Николаенко А.В. (1990) Улучшение топливно-энергетических и экологических показателей автотракторных двигателей. - Л., с.46...47.
134. Николаенко А.В. (1984) Теория, конструкция и расчет тракторных и автомобильных двигателей - Москва.: Колос, 1984. - 335 с.
135. Плотность масел и воска: информативный материал. (Б.г.) [прямая ссылка] [осмотрено 12.05.2011]. Доступен: <http://www.habit.ru/35/183.html>.
136. Попов А. (2007) Биотопливо вместо солярки. (Б.г.) [прямая ссылка] [осмотрено 12.05.2011]. Доступен: <http://www.bioethanol.ru/biodiesel/news/775/>.
137. РОТОРНЫЙ АППАРАТ ГИДРОУДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ "САМПО" (1992). Патент Российской Федерации RU2019281. [прямая ссылка] [осмотрено 16.05.2011].
Доступен:http://www.ntpo.com/patents_building_materials/building_materials_12/building_materials_406.shtml
138. Салова Т.Ю. (1998) Экологический мониторинг окружающей среды при эксплуатации автотракторной техники. С- П.: Индикатор, с. 80.
139. Смайлис В.И. (1972) Малотоксичные дизели. - Л.: Машиностроение, с. 128.
140. Смирнов Г.А., Филинозянц Г.Р., Кратко А.П. (1977) Исследование бенз(а)-пирена и основных токсичных компонентов в отработавших газах двигателей. // Защита воздушного бассейна от загрязнения токсичными выбросами транспортных средств. - Харьков. с.313...331.
141. Сравнительная оценка качества растительных масел отечественного и импортного производства: информативный материал. (Б.г.) [прямая ссылка] [осмотрено 05.12.2011]. Доступен: <http://www.ref.by/refs/1/29557/1.html>
142. Сторчеус Ю.В. (2001) Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Системы ДВС» (для студентов специальности «Двигатели внутреннего сгорания») /Сост.: - Луганск: изд-во Восточно- укр. нац. ун-та,- с.27.
143. Файплейб Б.Н. (1974) Топливная аппаратура автотракторных дизелей. - Л.: Машиностроение, с. 264.
144. Филин И.Н. (1995) Улучшение экологических показателей автомобилей семейства КамАЗ путём применения рациональных регулировок топливной системы и нейтрализации отработавших газов Дис. к.т.н. - Л., с. 169.
145. Фомин В.М., Игнатович И.В., Носков В.А. (1983) Оценка износа цилиндропоршневой группы дизеля по показателям токсичности. // Двигатели внутреннего сгорания. - Л.: НИИинформтяжмаш, с. 17... 18.
146. Фортунин В. (2006) „Зелёное” дизельное топливо. [прямая ссылка] [осмотрено 28.05.2010]. Доступен: [http://www.tek.web-standart.net/article0\\$t!1\\$pa!401\\$a!346351.htm](http://www.tek.web-standart.net/article0$t!1$pa!401$a!346351.htm).
147. Хэмалян Д.М., Коган Я.А. (1976) Теория горения и топочные устройства. - Москва: Энергия, 1976., 488с.
148. Эффект Вентури. (Б.г.) [прямая ссылка] [осмотрено 25.10.2012]. Доступен:: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%92%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B8
149. Янышева Н.Я., Киреева И.С., Черненко И.А., Баленко Н.В., Павлова Н.А. (1985) Гигиенические проблемы охраны окружающей среды от загрязнения канцерогенами. - Киев.: Здоровье, с. 102.

PIELIKUMI

1. pielikums. **Ministru kabineta 2005.gada 18.oktobra noteikumi Nr.772**

Kvalitātes prasības tīrai rapša sēklu eļļai un citai no eļļas augiem iegūtai tīrai nerafinētai vai rafinētai augu eļļai, kas kā degviela ir piemērota izmantošanai noteiktu veidu iekšdedzes dzinējos⁽¹⁾

(Pielikums MK 24.07.2007. noteikumu Nr.515 redakcijā, kas grozīta ar MK 03.11.2009. noteikumiem Nr.1254)

Nr. p.k.	Īpašības	Mērvienība	Robežlielums	
			minimālais	maksimālais
1.	Blīvums, 15 °C ⁽²⁾	Kg m ⁻³	900	930
2.	Uzliesmošanas temperatūra	°C	220	-
3.	Kinemātiskā viskozitāte, 40 °C	mm ² s ⁻¹	-	36.0 (38.0*)
4.	Siltumspēja ⁽³⁾	kJ kg ⁻¹	36 000	-
5.	Cetānskaitlis	-	39	-
6.	Koksēšanas atlikums ⁽⁴⁾	% (m/m)	0	0.40
7.	Joda skaitlis	g I ₂ (100 g) ⁻¹	95	125
8.	Sēra saturs	mg kg ⁻¹		10
9.	Kopējais piesārņojums	mg kg ⁻¹		24
10.	Skābes skaitlis	mg KOH g ⁻¹		2.0 (3.5*)
11.	Oksidēšanās stabilitāte, 110 °C ⁽⁵⁾	stundas	6.0 (5.0*)	
12.	Fosfora saturs	mg kg ⁻¹		12 (20*)
13.	Magnija un kalcijs saturs	mg kg ⁻¹		20
14.	Pelnu saturs	% (m/m)		0.01
15.	Ūdens saturs	% (m/m)		0.075

Piezīmes.

⁽¹⁾ Testēšanas metodes konkrētām tādās tīras rapša sēklu eļļas un citas no eļļas augiem iegūtas tīras nerafinētas vai rafinētas augu eļļas īpašībām, kas kā degviela ir piemērota izmantošanai noteiktu veidu iekšdedzes dzinējos, noteiktas piemērojamajos standartos, ko Ekonomikas ministrija ieteikusi sabiedrībai ar ierobežotu atbildību „Standartizācijas, akreditācijas un metroloģijas centrs” un kas ir publicēti laikrakstā „Latvijas Vēstnesis”.

⁽²⁾ Ja blīvums eksperimentāli noteikts citā temperatūrā, to pārrēķina 15 °C temperatūrai.

⁽³⁾ Vidējā siltumspēja (tirgus dati liecina, ka tā ir aptuveni 37500 kJ kg⁻¹).

⁽⁴⁾ Nosaka eļļai, nevis tās destilācijas 10% atlikumam.

⁽⁵⁾ Pārbauda bez piedevu pievienošanas.

(*) Rādītāji piemērojami pārejas periodā līdz 2010. gada 1. janvārim.

1. pielikuma nobeigums

Latvijā iegūtās, SIA „Saules enerģija” ražotās rapšu eļļas degvielas parametru un kvalitātes standarta – E DIN 51605 parametru prasību salīdzinājums

Nr.	Īpašības	Mērv.	Metode	Vērtība	
				Pieļaujamā	Noteiktā
1	Blīvums pie 15° C	kg m ⁻³	DIN EN ISO 12185	900 – 930	918
2	Uzliesmošanas temperatūra	°C	DIN EN ISO 2719	min. 220	n/d
3	Kinemātiskā viskozitāte 40°C	mm ² s ⁻¹	DIN EN ISO 3104	max. 36.0	33
4	Siltumspēja	kJ kg ⁻¹	DIN 51 900-2	min. 36 000	n/d
5	Cetānskaitlis	-	IP 498	min. 39	n/d
6	Koksēšanas atlikums	% (m/m)	DIN EN ISO 10370	max. 0.40	0.38
7	Joda skaitlis	g Jod (100 g) ⁻¹	DIN EN 14111	95 – 125	114
8	Sēra saturs	mg kg ⁻¹	DIN EN ISO 20884	max. 10	n/d
9	Kopējais piesārņojums	mg kg ⁻¹	DIN EN 12662	max. 24	22
10	Skābes skaitlis	mg KOH g ⁻¹	DIN EN 14104	max. 2.0	1.4
11	Oksidēšanās stabilitāte 110°C	h	DIN EN 14112	min. 6.0	n/d
12	Fosfora saturs	mg kg ⁻¹	DIN NE 14107	max. 12	10
13	Magnija un kalcija saturs	mg kg ⁻¹	E DIN EN 14538	max. 20	4.3
14	Pelnu saturs	% (m/m)	DIN EN ISO 6245	max. 0.01	n/d
15	Ūdens saturs	mg mg ⁻¹	DIN EN ISO 12937	max. 0.075	0.07

2. pielikums. Spirta kvalitātes sertifikāts



SIA "JAUNPAGASTS PLUS"
LABORATORIJA

KVALITĀTES SERTIFIKĀTS Nr.43

Spirta nosaukums	dehidrēts etilspirts
Spirta izejviela	lauksaimniecības izejvielas
Spirta izgatavotājs	SIA "Jaunpagasts Plus"
Pavadzīmes numurs	TH-IX 788806
Nosūtāmā spirta daudzums dkl a.a.	20.62
Spirta izgatavošanas laiks	02.07.

Spirta analīžu dati:

Ārējais izskats	caurspīdīgs šķidrums
Krāsa	bezkrāsains
Alkohola saturs, tilpuma %	99.9
Ūdens saturs tilp.%	≤ 0.2
Aldehīdu saturs, rēķinot pēc acetaldehīda, mg/l	< 300
Metilspirta saturs mg/l	<1300
Augstāko spirtu saturs, mg/l	<5000
Ēsteru saturs, rēķinot pēc etilacetāta, mg/l	< 500
Skābju saturs, rēķinot pēc etiķskābes, mg/l	< 56
Skābums, pH	neitrāls

Spirta uzglabāšanas laiks

neierobežots

Pēc analīžu rezultātiem spirts atbilst LV UTN 40003356850 - 11

Laboratorijas vadītāja:



07.03.07.

3. pielikums. Atgāzu analītiskās sistēmas *AVL SESAM FTIR* mērāmās un aprēķināmās gāzu komponentes un to apzīmējumi

Mērāmās gāzu komponentes

CO	oglekļa oksīds	C ₂ H ₅ OH	etanols
CO ₂	oglekļa dioksīds	CH ₃ OH	metanols
H ₂ O	ūdens	CH ₃ COOH	etiķskābe
NO	slāpekļa oksīds	CH ₃ CHO	acetaldehīds
NO ₂	slāpekļa dioksīds	HCHO	formaldehīds
N ₂ O	slāpekļa oksiduls (smieklu gāze)	HCOOH	skudrskābe
NH ₃	amonjaks	SO ₂	sēra dioksīds
CH ₄	metāns	IC ₅	iso-pentāns
C ₂ H ₂	acetilēns	NC ₅	n-pentāns
C ₂ H ₄	etilēns	NC ₈	n-oktāns
C ₂ H ₆	etāns	HNCO	izociānskābe
C ₃ H ₆	propilēns	HCN	ciānūdeņražskābe
C ₃ H ₈	propāns	COS	karbonilsulfīds
C ₄ H ₆	1,3 butadiēns	AHC	aromātiskais ogļūdeņradis

Aprēķināmās gāzu komponentes

HCG	ogļūdeņraži benzīnam	NO _x	kopējie slāpekļa oksīdi (NO+NO ₂)
HCD	ogļūdeņraži dīzeļdegv.	TALC	kopējie alkoholi
NMHC	nemetāna ogļūdeņraži	TCARB	kopējie oglekļa oksīdi

4. pielikums. Degvielas patēriņam mērījumu kļūdu aprēķinu metodika

Kļūdu aprēķinu veikšanai izmantota J. Pommera grāmatā aprakstītā kļūdu aprēķinu metodika (Pommers, 1989). Vispirms aprēķina vidējo degvielas patēriņu ar katru degvielas veidu visos testēšanas režīmos no iegūtajiem datiem pēc formulas:

$$Q_{t,vid} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{ii}, \quad (\text{K.1})$$

kur $Q_{t,vid}$ – vidējais degvielas patēriņš, g min⁻¹;
 n – veikto mērījumu skaits;
 Q_{ii} – izmērītais degvielas patēriņš, g min⁻¹.

Pēc tam aprēķina vidējās vērtības novirzi no absolūtās vērtības pēc formulas:

$$\Delta Q_{ii} = Q_{ii} - Q_{t,vid}, \quad (\text{K.2})$$

kur ΔQ_{ii} – absolūtā novirze, g min⁻¹;
 Q_{ii} – izmērītais degvielas patēriņš, g min⁻¹;
 $Q_{t,vid}$ – aprēķinātais vidējais degvielas patēriņš, g min⁻¹.

Aprēķina mērījumu rezultātu izkliedi atsevišķam mērījumam pēc formulas:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \Delta Q_{ii}^2, \quad (\text{K.3})$$

kur S – dispersija, g² min⁻²;
 n – mērījumu skaits.

Aprēķina mērījumu rezultātu izkliedi vidējam aritmētiskajam, kuru iegūst pēc formulas:

$$S_n = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum \Delta Q_{ii}^2}. \quad (\text{K.4})$$

Aprēķina brāķēšanas lielumu pēc formulas:

$$|\Delta Q_{ii}| \geq \beta \cdot S, \quad (\text{K.5})$$

kur β – koeficients no tabulām (Pommers, 1989, 243. lpp., 8.3. tab.);
 S – dispersija, g min⁻¹.

Aprēķina ticamības intervāla ε robežas pēc formulas:

$$\varepsilon = \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}}, \quad (\text{K.6})$$

kur t – ticamības intervāla relatīvais platumš (Pommers, 1989, 242. lpp., 8.2. tab.).

Mērījumu precizitātes raksturošanai aprēķina variācijas koeficientu, izsakot to procentos no vidējā aritmētiskā pēc formulas:

$$V_n = \frac{S_n}{Q_{t,vid}} \cdot 100\%, \quad (\text{K.7})$$

kur $Q_{t,vid}$ – aprēķinātais vidējais degvielas patēriņš, g min⁻¹.

5. pielikums. **Aprēķinātās degvielas patēriņa rezultātu mērīšanas kļūdas brīvā gaitā motoram FORD YTR**

Degviela	n_i	Q_{ti}	$\Delta Q_{ti},$ $g \text{ min}^{-1}$	$(\Delta Q_{ti})^2,$ $g^2 \text{ min}^{-2}$	S^2	S	Brāķēšanas lielums	ε	S_n	V_n
RE	1.	11.6	0.23	0.05	0.1	0.32	0.37	0.80	0.19	1.63
Brīvā gaita 900 min⁻¹	2.	11	-0.37	0.13						
	3.	11.5	0.13	0.02						
Summa		34.1		0.2						
$Q_{t,vid}$	11.37									
RE + ūdens	1.	11.6	0.17	0.03	0.08	0.29	0.33	0.72	0.17	1.46
Brīvā gaita 1500 min⁻¹	2.	11.1	-0.33	0.11						
	3.	11.6	0.17	0.03						
Summa		34.3		0.17						
$Q_{t,vid}$	11.43									
RE + WE50	1.	11.6	-0.13	0.02	0.05	0.23	0.27	0.57	0.13	1.14
Brīvā gaita 2000 min⁻¹	2.	12	0.27	0.07						
	3.	11.6	-0.13	0.02						
Summa		35.2		0.11						
$Q_{t,vid}$	11.73									

Aprēķinātās degvielas patēriņa rezultātu mērīšanas kļūdas pie slodzes 5 N motoram FORD YTR

Degvielas padeves režīms	n_i	Q_{ti}	$\Delta Q_{ti},$ $g \text{ min}^{-1}$	$(\Delta Q_{ti})^2,$ $g^2 \text{ min}^{-2}$	S^2	S	Brāķēšanas lielums	ε	S_n	V_n
RE	1.	26.0	0.93	0.87	1.86	1.37	1.57	3.39	0.79	3.14
Slodze 5 N 900 min⁻¹	2.	23.5	-1.57	2.45						
	3.	25.7	0.63	0.40						
Summa		75.2		3.72						
$Q_{t,vid}$	25.07									
RE + ūdens	1.	32.50	2.20	4.84	4.63	2.15	2.47	5.34	1.24	4.10
Slodze 5 N 1500 min⁻¹	2.	28.20	-2.10	4.41						
	3.	30.20	-0.1	0.01						
Summa		90.9		9.26						
$Q_{t,vid}$	30.3									
RE + WE50	1.	29.8	-1.40	1.96	1.72	1.31	1.51	3.26	0.76	2.43
Slodze 5 N 2000 min⁻¹	2.	31.40	0.20	0.04						
	3.	32.40	1.20	1.44						
Summa		93.6		3.44						
$Q_{t,vid}$	31.2									

**Aprēķinātās degvielas patēriņa rezultātu mērīšanas kļūdas pie slodzes 10 N
motoram *FORD YTR***

Degvielas padeves režīms	n_i	Q_{ti}	$\Delta Q_{ti},$ $g \text{ min}^{-1}$	$(\Delta Q_{ti})^2,$ $g^2 \text{ min}^{-2}$	S^2	S	Brāķēšanas lielums	ϵ	S_n	V_n
RE	1.	50	3.17	10.03	7.72	2.78	3.20	6.90	1.60	3.43
Slodze 10 N 900 min⁻¹	2.	45.7	-1.13	1.28						
	3.	44.8	-2.03	4.13						
Summa		140.5								
$Q_{t,vid}$	46.83									
RE + ūdens	1.	54.80	0.40	0.16	0.48	0.70	0.80	1.73	0.40	0.74
Slodze 10 N 1500 min⁻¹	2.	54.81	0.41	0.17						
	3.	53.60	-0.80	0.65						
Summa		163.21		0.97						
$Q_{t,vid}$	54.40									
RE + WE50	1.	64.1	0.27	0.07	0.54	0.74	0.85	1.83	0.43	0.87
Slodze 10 N 2000 min⁻¹	2.	64.4	0.57	0.32						
	3.	63	-0.83	0.69						
Summa		191.5		1.09						
$Q_{t,vid}$	63.83									

6. pielikums. Dīzeļmotora termodinamiskā aprēķinā izmantotās formulas

Uzsākot dīzeļmotora termodinamisko aprēķinu, noteikti jāņem vērā apkārtējās vides parametri – spiediens un temperatūra, kā arī degvielas sastāvs. Tālāk nepieciešams noteikt teorētisko gaisa daudzumu, kas nepieciešams noteiktā degvielas daudzuma sadedzināšanai:

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

$$L_0 = \frac{1}{0.208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right). \quad (\text{T.2})$$

Svaigā pildījuma daudzumu nosaka pēc formulas:

$$M_1 = \alpha L_0, \quad (\text{T.3})$$

kur α – gaisa pāruma koeficients.

Tālāk tiek aprēķināts spiediens ieplūdes beigās. Ņemot vērā tangenciālā kanāla konstrukciju, kas veido virpuļkustību, tiek pieņemts spiediena korekcijas koeficients $\xi_{iepl} = 0.89$. Līdz ar to spiedienu ieplūdes beigās nosaka:

$$p_a = \xi_{iepl} \cdot p_0, \quad (\text{T.4})$$

kur p_0 – apkārtējās vides spiediens.

Kompresijas pakāpi aprēķina testējamajam dīzeļmotoram, izmērot kompresiju, bet ieplūdes gaisa uzsilšanas temperatūru nosaka, ņemot vērā motora konstrukciju, respektīvi, kur atrodas ieplūdes kolektors.

Ņemot vērā izpūtēja pretestību, tiek pieņemts izplūdes sistēmas pretestības koeficients $\xi_{izpl} = 1.11$. Līdz ar to tiek aprēķināts izplūdes beigu spiediens:

$$p_r = \xi_{izpl} \cdot p_0. \quad (\text{T.5})$$

Nākamais jānosaka atliku gāzu koeficients:

$$\gamma_r = \xi_{att} \frac{(T_o + \Delta T)}{\xi_{pild} T_r} \cdot \frac{p_r}{(\varepsilon p_a - \xi_{att} p_r)}. \quad (\text{T.6})$$

Ņemot vērā motora apgriezienu frekvenci, tiek ievērtēts, ka gaiss inerces rezultātā tiek padots vairāk, tādēļ to koriģē koeficients $\xi_{pild} = 1.02$. Dīzeļmotoram bez turbopūtes tiek pieņemti atīrīšanās koeficients un siltumietilpības attiecība, kas ir $\xi_{att} = \xi = 1.0$.

Kopējo sadedzes produktu daudzumu nosaka:

$$M = M_1 + M_r = M_1 (1 + \gamma_r). \quad (\text{T.7})$$

Darba maisījuma temperatūru ieplūdes beigās aprēķina pēc formulas:

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \xi_{pild} \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}. \quad (\text{T.8})$$

Pildījuma koeficientu raksturo formula:

$$\eta_v = \xi_{pild} \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \frac{p_a}{p_k} \frac{T_k}{T_k + \Delta T} \left(1 - \frac{\xi p_r}{\varepsilon p_a} \right). \quad (\text{T.9})$$

Spiedienu un temperatūru saspiešanas takts beigās aprēķina:

$$p_c = p_a \varepsilon^n, \quad (\text{T.10})$$

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1 - 1}, \quad (\text{T.11})$$

kur n_1 – griešanās frekvence, min^{-1} .

Ņemot vērā, ka motoram ir slēgtā tipa šķidrums dzesēšanas sistēma un nav turbopūtes, pieņem, ka $n_1 = 1.38$.

Tālāk tiek veikts sadedzes procesa parametru aprēķins. Sadedzes produkti kopējais daudzums pie pieņemtā gaisa pāruma koeficienta:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}. \quad (\text{T.12})$$

Oglekļa dioksīda daudzums:

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12}. \quad (\text{T.13})$$

Ūdens tvaika daudzums:

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2}. \quad (\text{T.14})$$

Atlikušā skābekļa daudzums:

$$M_{O_2} = 0.208(\alpha - 1)L_0. \quad (\text{T.15})$$

Slāpekļa daudzums:

$$M_{N_2} = 0.792 \cdot \alpha \cdot L_0. \quad (\text{T.16})$$

Sadedzes produktu komponentu tilpuma daļas:

$$r_{CO_2} = \frac{M_{CO_2}}{M_2}. \quad (\text{T.17})$$

Analoģiski tiek aprēķinātas tilpuma daļas skābeklim, ūdens tvaikiem un slāpeklim. Pēc tam tiek veikta pārbaude, kur nosaka, vai visu komponentu daudzums kopā ir 100 % ($\sum r_i = 1$).

Kā nākamie tiek noteikti molu maiņas koeficienti:

- degmaisījumam

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1}, \quad (\text{T.18})$$

- darba maisījumam

$$\mu_{darba.m.} = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r}. \quad (\text{T.19})$$

Sadedzes produktu temperatūru T_z procesa beigās nosaka, izmantojot enerģijas līdzsvara vienādojumu:

$$\frac{\xi_z H_z}{M_1(1 + \gamma_r)} + \frac{[(\mu c_v)^{t_c} + \gamma_r (\mu c_v'')^{t_c}]}{1 + \gamma_r} + 8.315 \lambda T_c = \mu_{darba.m.} [(\mu c_v'')^{t_z} + 8.315 T_z] \quad (\text{T.20})$$

Siltuma izmantošanas koeficients dīzeļmotoram tiek pieņemts atbilstoši degkamerai konstrukcijai, $\xi_z = 0.8$.

H_z ir zemākā degvielas degšanas temperatūra, bet p_z ir maksimālais spiediens degšanas procesā, un dīzeļmotoriem tas ir $p_z = 7.5 \dots 12$ MPa.

Aprēķina spiediena palielinājuma pakāpi degšanas procesā:

$$\lambda = \frac{p_z}{p_c}. \quad (\text{T.21})$$

Aprēķina gaisa temperatūru saspiešanas takts beigās:

$$t_c = T_c - 273. \quad (\text{T.22})$$

Mola siltumietilpību gaisam pie konstanta tilpuma un gaisa temperatūras $t_c = 664 \text{ }^\circ\text{C}$ aprēķina ar interpolācijas metodi:

$$(\mu c_v)^{664} = (\mu c_v)^{600} + \frac{(\mu c_v)^{700} - (\mu c_v)^{600}}{700 - 600} 64. \quad (\text{T.23})$$

Izpletes procesu raksturo izpletes pakāpe, kuru nosaka:

$$\rho = \frac{\mu_{darbam} T_z}{\lambda T_c}. \quad (\text{T.24})$$

Izpletes procesa parametru aprēķins:

- spiediens izpletes beigās

$$p_b = \frac{p_z}{\delta^{n_2}}; \quad (\text{T.25})$$

- temperatūra izpletes beigās

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2}}; \quad (\text{T.26})$$

- turpmākās izpletes pakāpe

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho}. \quad (\text{T.27})$$

Izpletes rādītāju politropai n_2 nosaka, izmantojot adiabātas rādītāju k_2 , ņemot vērā kļūdu:

$$n_2 = k_2 - \Delta n_2. \quad (\text{T.28})$$

Izpletes adiabātas rādītāju atrod, izmantojot nomogrammu. Pēc tam tiek pārbaudīta parametru precizitāte, izmantojot divas formulas:

$$T_{rp} = \frac{T_b \sqrt[3]{p_r}}{p_b}, \quad (\text{T.29})$$

$$\left| \frac{T_{rp} - T_r}{T_r} \approx 0.1 \right|. \quad (\text{T.30})$$

Cikla indigrammas rādītāju noteikšana.

Vidējā indikatorā spiediena aprēķins:

$$p_{ip} = \frac{p_a \varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \left[\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] \quad (\text{T.31})$$

Indikatorais lietderības koeficients pie nosacījuma $p_k = p_0$ un $T_k = T_0$:

$$\eta_i = \frac{p_i R_\mu M_1 T_K}{p_k \eta_v H u}. \quad (\text{T.32})$$

Indikātorais degvielas patēriņš:

$$g_i = \frac{3600}{Hz \eta_i}. \quad (\text{T.33})$$

Dīzeļmotora efektivitātes rādītāju aprēķins.

Ņemot vērā automobiļa dīzeļmotora augstos apgriezienus, pieņem vidējo virzuļa pārvietošanās ātrumu $W_v = 11.8 \text{ m s}^{-1}$. Noteikto vidējo spiedienu aprēķina, ņemot vērā mehāniskos zudumus:

$$p_M = A + B W_v, \quad (\text{T.34})$$

kur $A = 0.090$;

$$B = 0.0118.$$

Mehānisko lietderības koeficientu aprēķina:

$$\eta_M = 1 - \frac{p_M}{p_i}. \quad (\text{T.35})$$

Vidējais efektīvais spiediens:

$$p_e = p_i - p_M. \quad (\text{T.36})$$

Efektīvais lietderības koeficients:

$$\eta_e = \eta_i \eta_M. \quad (\text{T.37})$$

Efektīvais degvielas patēriņš:

$$g_e = \frac{3600}{Hz \eta_e}. \quad (\text{T.38})$$

Dīzeļdzinēja parametru un cilindra izmēru noteikšana.

Cilindra darba tilpums:

$$V_h = \frac{30 \tau_d N_e}{p_e n i}. \quad (\text{T.39})$$

Cilindra diametrs.

Parasti dīzeļmotora virzuļa diametrs ir mazāks par virzuļa gājienu, bet aprēķinos, ņemot vērā motora augstos apgriezienus, var pieņemt, ka $S = D$.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V_h}{\pi \left(\frac{S}{D}\right)}}. \quad (\text{T.40})$$

Virzuļa vidējais ātrums:

$$W_{vv} = \frac{S \cdot n}{30}. \quad (\text{T.41})$$

Cilindra darba tilpums:

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} S. \quad (\text{T.42})$$

Motora nominālā jauda:

$$N_e = \frac{p_e i V_h n}{30 \tau_d}. \quad (\text{T.43})$$

Motora viena litra jauda:

$$N_{el} = \frac{N_e}{i V_h}. \quad (\text{T.44})$$

Motora virzuļa jauda:

$$N_{ep} = \frac{4 N_e}{i \pi D^2}. \quad (\text{T.45})$$

Degvielas patēriņš stundā:

$$G_T = \frac{N_e g_e}{1000}. \quad (\text{T.46})$$

Efektīvais griezes moments:

$$M_{ke} = \frac{9550 \cdot N_e}{n}. \quad (\text{T.47})$$

7. pielikums. Difuzora aprēķins

Izejas dati difuzora aprēķinam:

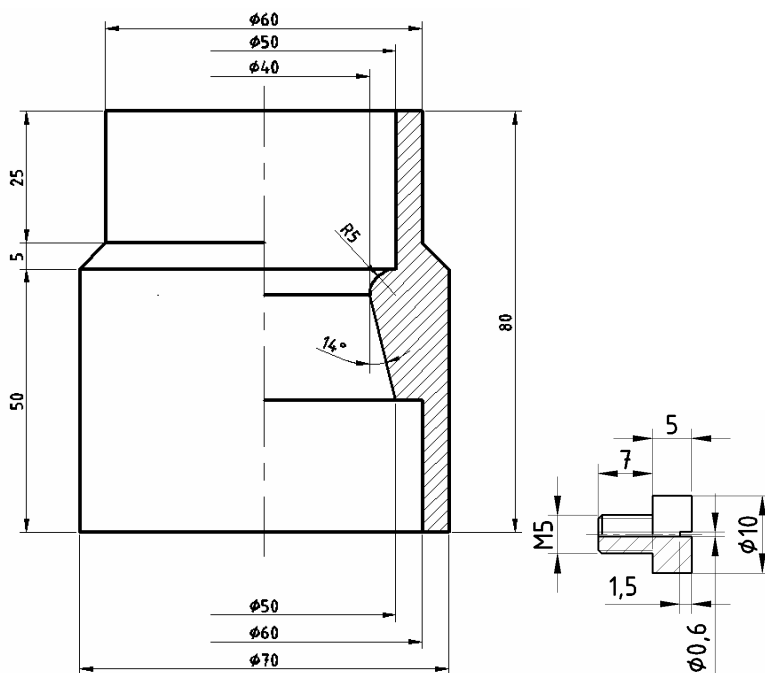
- dīzeļmotora tilpums $V_m = 2304 \text{ cm}^3 = 0.002304 \text{ m}^3$;
- maksimālie apgriezieni $n_{max} = 4850 \text{ min}^{-1} = 81 \text{ s}^{-1}$;
- cilindru pildījuma koeficients $k = 1.2$ (pildījuma koeficients tiek pieņemts, izvērtējot gaisa plūsmas inerci);
- gaisa plūsmas ātrums $W_d = 85 \text{ m s}^{-1}$.

$$S_d = \frac{V_m \cdot n_{max} \cdot k}{2 \cdot W_d} = \frac{0.002304 \cdot 81 \cdot 1.2}{2 \cdot 85} = 0.001317 \text{ m}^2 = 13.17 \text{ cm}^2$$

Lai varētu izgatavot difuzoru, nepieciešams aprēķināt tā rādiusu R_d :

$$R_d = \sqrt{\frac{S_d}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.001317}{3.14}} = 0.0204 \text{ m} = 2.04 \text{ cm}$$

Citi difuzora izmēri iegūti, ņemot vērā ieplūdes kolektora konfigurāciju un izmērus (sk.att.).



Difuzora un žiklera skice

$$Q = 6.934 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1};$$

$$\mu = 0.6255 \cdot 10^{-3} \text{ Pa s};$$

$$l = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m};$$

$$p_1 = 101.325 \text{ kPa} = 0.101325 \cdot 10^3 \text{ Pa},$$

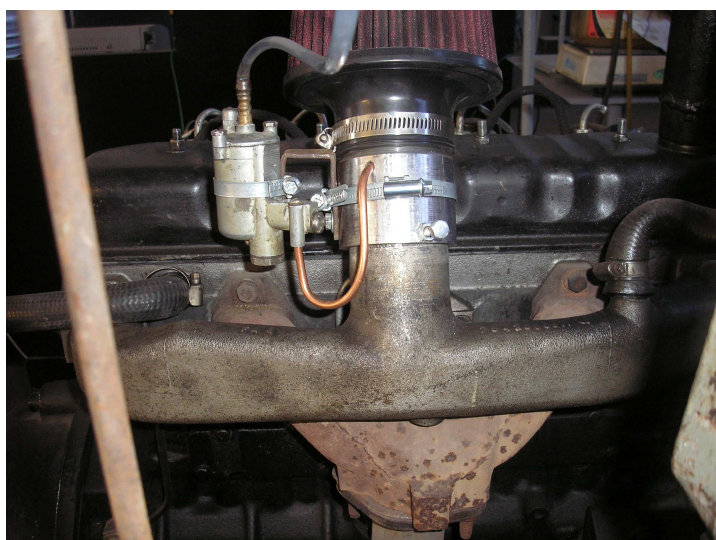
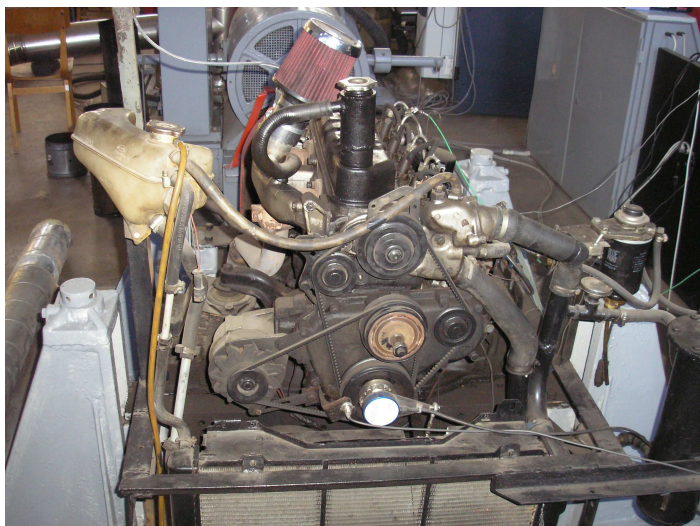
$$p_2 = 20 \text{ kPa} = 0.02 \cdot 10^3 \text{ Pa}.$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{Q \cdot 128 \cdot \mu \cdot l}{\pi \cdot (p_1 - p_2)}} = \sqrt[4]{\frac{5.44 \cdot 10^{-5} \cdot 128 \cdot 0.6255 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{3.14 \cdot (0.101325 - 0.02) \cdot 10^3}} = 5.56 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

8. pielikums. Motorstends *Opel 1.6 D*, aprīkots ar „divu tvertņu sistēmu”, darbināšanai ar rapša eļļu un ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēmu eksperimentu veikšanai



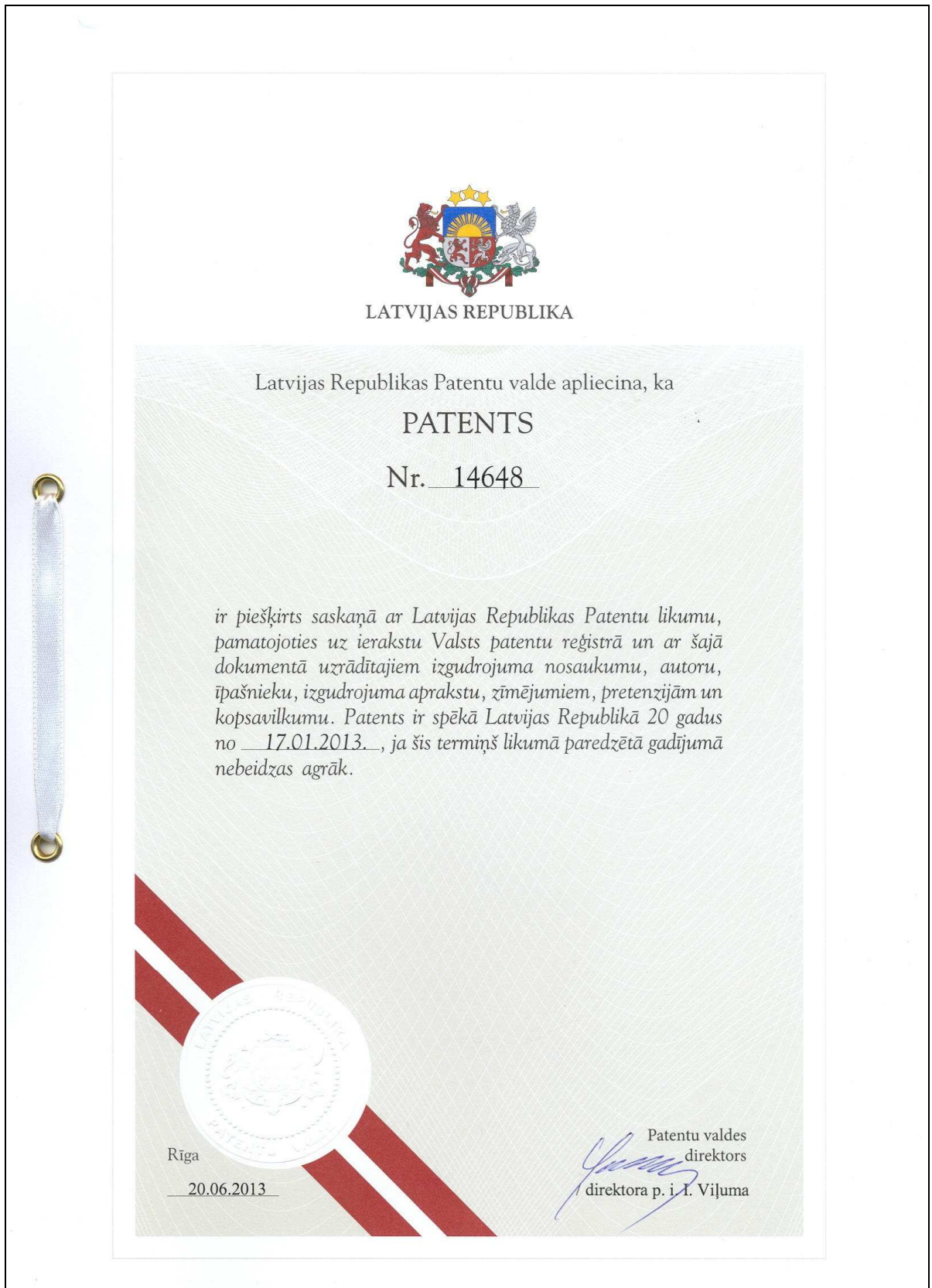
9. pielikums. Motorstends *FORD YTR*, aprīkots ar „divu tvertņu sistēmu”, darbināšanai ar rapša eļļu un izstrādāto ūdens-spirta padeves sistēmu



10. pielikums. **Automobilis *LAND ROVER FREELANDER*, aprīkots ar „divu tvertņu sistēmu”, darbināšanai ar rapša eļļu, un uzstādītu ūdens-spirta iesmidzināšanas sistēmu**



11. pielikums. Patents „Paņēmiens dīzeļmotora izmešu normalizācijai”



19



LATVIJAS REPUBLIKAS
PATENTU VALDE

11 LV 14648 B

51 Int.Cl F02B47/04

Latvijas patents uz izgudrojumu
2007.g. 15.februāra Latvijas Republikas likums

12

Īsziņas

21	Pieteikuma numurs:	P-13-05	73	Īpašnieks(i): LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE; Lielā iela 2, Jelgava LV-3001, LV
22	Pieteikuma datums:	17.01.2013	72	Izgudrotājs(i): Aivars BIRKAVS (LV), Ilmārs DUKULIS (LV)
41	Pieteikuma publikācijas datums:	20.03.2013		
45	Patenta publikācijas datums:	20.06.2013		

54 Vīsraksts: **PAŅĒMIENS DĪZELMOTORA IZMEŠU NORMALIZĀCIJAI**

57 Kopsavilkums: Izgudrojums attiecas uz paņēmieniem slāpekļa oksīdu samazināšanai dīzeļmotoru izmešos. Tā mērķis ir samazināt slāpekļa oksīdu veidošanos dīzeļmotoru izmešos, kā degvielu izmantojot ūdens-spirta šķīdumu, un paplašināt iesmidzināšanas funkcionālās iespējas pie negatīvas apkārtējās vides temperatūras. Piedāvātais paņēmieni dīzeļmotoru izmešu normalizācijai (Fig.1) ir raksturīgs ar to, ka dīzeļmotora gaisa ieplūdes kolektorā tiek iesmidzināts ūdens-spirta šķīdums un tā sajaukšanai tiek izmantota virpuļkamera.

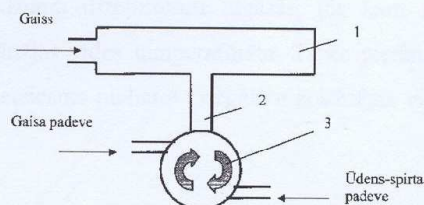


Fig.1