



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Marius Gutauskas

**BENZININIŲ VARIKLIŲ SISTEMŲ REGULIAVIMO OPTIMIZAVIMAS
NAUDOJANT ALTERNATYVIUS DEGALŲ MIŠINIUS**

**OPTIMIZATION OF THE ADJUSTMENT SYSTEMS OF PETROL
ENGINES IN THE CASE OF USE OF ALTERNATIVE FUEL MIXTURES**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62103T110

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

Transporto technologijos mokslo kryptis

Vilnius, 2006



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Alvydas Pikūnas

(Vardas, pavardė)

(Data)

Marius Gutauskas

**BENZININIŲ VARIKLIŲ SISTEMŲ REGULIAVIMO OPTIMIZAVIMAS
NAUDOJANT ALTERNATYVIUS DEGALŲ MIŠINIUS**

**OPTIMIZATION OF THE ADJUSTMENT SYSTEMS OF PETROL
ENGINES IN THE CASE OF USE OF ALTERNATIVE FUEL MIXTURES**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62103T110

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

Transporto technologijos mokslo kryptis

Vadovas prof. habil. dr. Algis Butkus

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantė lekt. Angelika Petrėtienė

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantė prof. habil. dr. Ona Lukoševičienė

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2006

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS
AUTOMOBILIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Technikos mokslo sritis

Transporto technologijos mokslo kryptis

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62103T110

Automobilių transporto inžinerijos specializacija

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Alvydas Pikūnas

(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS

2006-.....Nr.

Vilnius

Studentui (ei)

Marin Gitauskui

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema

"Benzininių variklių sistemų reguliavimo optimizavimas naudojant alternatyvius degalų mišinius"

patvirtinta 2006 m. vasario mėn. 22 d. dekanų įsakymu Nr. 72ti.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2006 m. gegužės mėn. 31 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Dalykinė apžvalga nagrinėjant benz. variklio tinkamumo galimybes altern. degalams. Altern. degalų baig. d. parin-
kimas iš naudojimų pasaulio, įvertinant reguliavimo
apimtį ir gautą teigiamą teorinį skaičiavimą. Kai
degalų kelios rūšys. Apibendrinimas. Eksperimentinė
dalis ir jos rezultaty analizė. Eskiizinis biudžet.
stotelių projektas. Galutinės išvados

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas

(Parašas)

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

(Parašas)

Marin Gitauskas

(Vardas, pavardė)

2006.02.23

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Transporto inžinerijos fakultetas

Automobilių transporto katedra

ISBN ISSN

Egz. sk. **3**

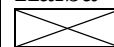
Data 2006 05 08

Transporto inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas

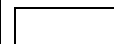
Pavadinimas: **Benzininių variklių sistemų reguliavimo optimizavimas naudojant alternatyvius degalų mišinius**

Autorius: **Marius Gutauskas**

Kalba



lietuvių



užsienio

Anotacija

Naftinės kilmės degalų kiekis nuolatos mažėja, kuro kainos kyla, o aplinkos tarša didėja. Alternatyvių degalų panaudojimas išspręstų dalį problemų. Lietuvoje yra nemažai alternatyvių energijos šaltinių, kuriuos galima panaudoti vidaus degimo variklių (VDV) kurui gaminti.

Atliktas VDV, veikiančio įvairiais alternatyviais degalais ir jų mišiniais šilumos ciklo tyrimas parodė, jog alternatyvūs degalai yra ekologiškesni už įprastinius naftinės kilmės degalus, o variklio darbo parametrai mažai kuo skiriasi nuo įprastiniais degalais veikiančių VDV.

Atlikti bandymai VGTU Automobilių transporto katedros laboratorijoje naudojant Kauno nuotekų biodujas. Gautos VDV, veikiančio biodujomis, greitinės charakteristikos. Panaudojus mažiausių kvadratų metodą, gautos variklio galios ir sukimo momento regresijos lygtys.

Darbą sudaro 3 dalys: įvadas, literatūros šaltinių apžvalga, teoriniai skaičiavimai, eksperimentinė dalis, išvados, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 60 p. teksto be priedų, 18 pav., 17 lentelių, 44 bibliografiniai šaltiniai.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Reikšminiai žodžiai: Vidaus degimo variklis, alternatyvūs degalai, biodujos

Vilnius Gediminas technical university

Faculty of Transport Engineering

Department of Automotive Transport Engineering

ISBN ISSN

No. of copies. **3**

Date 2006 05 08

Final Master Thesis

Pavadinimas: **Optimization of the adjustment systems of petrol engines in the case of use of alternative fuel mixtures**

Author: **Marius Gutauskas**

Language

☐

lithuanian

☒

english

Summary

Usually used oil fuel limits get lower, fuel prices get higher and air pollution becomes big problem. These problems can be solved using alternative fuel or alternative fuel mixtures. There are several alternatives instead of usually used oil fuel for internal combustion engines in Lithuania.

Thermal cycle calculation of Internal Combustion Engine (ICE) using several alternative fuels and alternative fuel mixtures shows lower emissions, changes in power curve and raised fuel consumption.

VW Passat 1.6 engine test with biogas is made to find out ICE Power and rotation moment diagrams and functions.

Key words: Internal combustion engine, alternative fuel, biogas

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	7
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	8
SANTRUMPOS.....	9
ĮVADAS.....	10
1. LITERATŪROS ŠALTINIŲ APŽVALGA.....	12
1.1. Energijos šaltinių apžvalga.....	12
1.2. Spiritiniai degalai.....	20
1.2.1. Etanolis.....	22
1.2.2. Metanolis.....	23
1.3. Degiosios dujos.....	24
1.3.1. Suslėgtos gamtinės dujos.....	25
1.3.2. Suskystintos gamtinės dujos.....	26
1.3.3. Suskystintos naftos dujos.....	27
1.3.4. Biodujos.....	27
1.4. Elektros energija.....	33
1.5. Kitos alternatyvių degalų rūšys.....	34
1.5.1. Kuro kameros.....	34
1.5.2. Biodyzelinas.....	34
1.5.3. Sintetinis dyzelinas.....	35
1.5.4. Dimetilo eteris.....	35
1.5.5. Vandėnilis.....	36
2. VIDAUS DEGIMO VARIKLIO (VDV), VEIKIANČIO ĮVAIRIAIS ALTERNATYVIAIS DEGALAIS IR JŲ MIŠINIAIS, ŠILUMOS CIKLO TYRIMAS.....	37
2.1. Šiluminio ciklo tyrimo rezultatai	51
3. EKSPERIMENTINĖ DALIS.....	52
3.1. Eskizinis biodujų stotelės projektas.....	57
IŠVADOS.....	58
LITERATŪRA.....	59
PRIEDAI.....	61
1 priedas. Galios diagnostikos rezultatai naudojant benzina.....	61
2 priedas. Galios diagnostikos rezultatai naudojant nuotekų biodujas.....	62
3 priedas. Alternatyvių degalų panaudojimas kibirkštinio uždegimo vidaus degimo variklyje: biodujos. 9-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos pranešimas.....	63

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Išžvalgyti naftos ištekliai.....	10
2 lentelė. Naftos gavyba.....	10
3 lentelė. Etanolio, RME ir tradicinių degalų gamybos ciklą palyginimas.....	11
4 lentelė. Transporto oro tarša.....	14
5 lentelė. Degalų cheminės ir fizikinės savybės.....	16
6 lentelė. Atsinaujinančios energijos šaltinių apžvalga.....	17
7 lentelė. Biodegalų gamyba ir sunaudojimas.....	20
8 lentelė. Alkoholių privalumai ir trūkumai lyginant su degalais iš naftos.....	21
9 lentelė. Kariotiškių sąvartyno biodujų išsiurbimas.....	29
10 lentelė. CO ₂ emisija naudojant įvairius degalus.....	33
11 lentelė. Degalų ir jų mišinių fizikiniai ir cheminiai rodikliai.....	40
12 lentelė. Variklio šilumos ciklo skaičiavimo rezultatai naudojant įvairius degalus ir degalų mišinius.....	40
13 lentelė. Lyginamosios efektyvios degalų sąnaudos varikliui veikiant įvairiais degalais.....	44
14 lentelė. Lyginamosios efektyvios variklio energijos sąnaudos.....	44
15 lentelė. Variklio išplėtojama efektyvioji galia.....	45
16 lentelė. Variklio greičio charakteristika naudojant benzina.....	54
17 lentelė. Variklio greičio charakteristika naudojant nuotekų biudijas.....	54

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Teršalų emisijos procentinis palyginimas naudojant alternatyvius degalus ir įprastinį bešvinį benzina.	14
2 pav. Bendro atsinaujinančių degalų išgaunamo kiekio ir energijos poreikio transportui prognozavimas ES 2030 metais.	20
3 pav. UAB “Kauno vandenys” nuotekų valykla.	30
4 pav. Pūdintuvas.	30
5 pav. Biodujomis varomas sportinis automobilis.	32
6 pav. Gamtinėmis diodujomis varomas automobilis BMW316.	32
7 pav. Sintetinio dyzelino deginių emisijos palyginimas su naftinės kilmės dyzelinu.	35
8 pav. Lyginamosios efektyvios degalų sąnaudos.	46
9 pav. Lyginamosios efektyvios variklio energijos sąnaudos.	47
10 pav. VDV, veikiančio įvairiais degalais, teorinė greičio charakteristika.	48
11 pav. VDV, veikiančio įvairiais degalais, galio priklausomybė nuo alkūninio veleno sūkių.	49
12 pav. Dujų talpykla.	52
13 pav. Biodujų kondensato išpylimo anga.	52
14 pav. Biodujų prileidimo schema.	53
15 pav. Galios diagnostika traukos stendu MAHA LPS 2000.	53
16 pav. VW Passat 1.6 variklio, veikiančio 95 OS benzinu, greičio charakteristika.	55
17 pav. Variklio, veikiančio nuotekų biodujomis, greičio charakteristika.	56
18 pav. Eskizinis biodujų stotelės projektas.	57

Santrumpos

Biodujos1 – sąvartyno biodujos;

Biodujos2 – nuotekų biodujos;

CH – angliavandeniliai;

CH₄ – metanas;

C₂H₆ – pentanas;

C₃H₈ – propanas;

C₄H₁₀ – butanas;

C₂H₁₂ – pentanas;

CH₃OH – metanolis;

C₂H₅OH – etanolis;

CO – anglies monoksidas;

CO₂ – anglies dioksidas;

CS – cetaninis skaičius;

D – stūmoklio skersmuo;

ES – Europos Sąjunga;

E15 – benzino (85 %) ir etanolio (15 %) mišinys;

E25 – benzino (75 %) ir etanolio (25 %) mišinys;

ETP – elektrinė transporto priemonė;

H₂ – vandenilis;

H₂S – sieros vandenilis;

H₂O – vanduo;

LPG – suskystintos naftos dujos;

M15 - benzino (85 %) ir metanolio (15 %) mišinys;

M25 - benzino (75 %) ir etanolio (25 %) mišinys;

N₂ – azotas;

NO_x – azoto oksidai;

OS – oktaninis skaičius;

TP – transporto priemonė;

RME – rapsų metilesteris;

RON – oktaninis skaičius, nustatytas tiriamuoju metodu;

VDV – vidaus degimo variklis;

ε - suslėgimo laipsnis.

Ivadas

Vienetinės alternatyvius degalus naudojančios transporto priemonės kuriamos ir plėtojamos jau daugiau kaip šimtmetį [30]. Tačiau tik pastaruoju laikotarpiu jos tampa masinio susidomėjimo reiškiniu dėl staigiai mažėjančių naftos resursų ir didėjančios atmosferos taršos [25].

Turimi naftos ištekliai Lietuvos teritorijoje (žr. 1 ir 2 lenteles) nėra gausūs, todėl daugiau kaip 95 % naftos Lietuva importuoja [17,27]. Taigi mažiau naudojant naftos degalų transporte būtų taupomi mūsų šalies energijos resursai [25].

1 lentelė. Išvalgyti naftos ištekliai sausio 1d.*

Laikotarpis	1996 m.	1997 m.	1998 m.	1999 m.	2000 m.	2001 m.	2002 m.	2003 m.
Nafta, mln. t	4,9	4,7	4,8	4,7	4,5	4,2	3,7	3,2

2 lentelė. Naftos gavyba sausio 1 d.*

Laikotarpis	1996 m.	1997 m.	1998 m.	1999 m.	2000 m.	2001 m.	2002 m.	2003 m.
Nafta, mln. t	0,115	0,161	0,212	0,277	0,232	0,316	0,471	0,434

* - Šaltinis: Lietuvos statistikos departamentas.

Jau senokai susirūpinta dėl susidariusios kritiškos ekologinės situacijos planetoje būklės ir stebimų šio reiškinio pasėkmių. Kadangi daugiau kaip 80 % aplinkos taršos su išmetamais deginiais tenka vidaus degimo varikliams, tai alternatyvių degalų naudojimas VDV efektyviai spręstų šią opią problemą.

Naujas alternatyvių degalų energijos gavybos ir jos pritaikymo galimybes skatina ir aukštus ekologinius reikalavimus iškėlusios Rio de Žaneiro ir Kyoto konferencijos [28].

Pasaulio šalys, tarp kurių yra ir ES, pasirašydamos Kyoto protokolą, įsipareigojo iki 2012 metų, lyginant su 1990 m., sumažinti anglies dvideginio emisiją 13 proc. Nuo 2003 metų gegužės 1 d. šiuos įsipareigojimus privalo vykdyti ir Lietuva.

2004 metų vasario 5 d. Lietuvos Respublikos Seimas priėmė Lietuvos Respublikos biokuro įstatymo naują redakciją, kurioje skatinama biokuro, biodegalų ir bioalyvų gamyba bei naudojimas. Pažymėtina, kad pagal 2003 m. gegužės 8 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą 2003/30/EB dėl biodegalų ir kitų atsinaujinančių degalų naudojimo transporte skatinimo“ Lietuvoje iki 2005 m. gruodžio 31 d. biodegalai turi sudaryti ne mažiau kaip 2 procentus (sudarytų apie 20 tūkst. tonų biodegalų), skaičiuojamus nuo bendro šalies rinkoje esančio benzino ir dyzelino, skirto transportui, energijos kiekio, o iki 2010 m. gruodžio 31 d. – 5,75 procento [11,19].

Mūsų šalyje biodegalai jau yra naudojami. Biodyzeliną vartoja Vilniaus gatvėmis važinėjantys SPAB “Vilniaus autobusų parko” maršrutiniai autobusai. UAB “Lukoil Baltija Servisas” 2003 metų rugsėjį pirmoji mūsų šalyje pradėjo pardavinėti biodegalus - etanoliu skiestą

92 oktaninio skaičiaus benzina 92e5, atitinkantį standartą **LST EN 228**, kuris leidžia benzina naudoti su 5 proc. etanolio priedu.

Tačiau alternatyvių degalų gamyba nėra pigi, vairuotojai nepatikimai žiūri į naujus ekologiškesnius degalus. Susiduriama su biodegalų realizavimo problemomis. Mažeikių įmonės „Rapsoila“ gaminamo biodyzelino „Lukoil“ tinkle pavyko parduoti vos 500 tonų, o įmonė pajėgi per metus pagaminti 10 tūkst. tonų šių degalų [8]. Per aštuonis 2004 metų mėnesius „Stumbro“ Šilutės gamykloje buvo pagaminta 175 tūkst. dekalitų bioetanolio, tačiau pavyko parduoti mažiau nei pusę minėto kiekio - beveik visą parduotą produkciją įsigijo užsienio klientai, o likusį bioetanolį bendrovė priversta krauti į sandėlius. Į stringantį bioetanolio gamybos projektą Kauno alkoholio bendrovė „Stumbras“ 2004 metų pavasarį investavo apie 8 mln. litų ir nuo kitų metų galėtų dvigubai padidinti gamybos pajėgumą. Taigi, norint didinti alternatyvių degalų naudojimą, būtina žymi valstybės parama, didesnis informacijos kiekis vairuotojams, aktyvus mokslinių įstaigų darbas tiriant ir pritaikant alternatyvius degalus įprastiniams vidaus degimo varikliams.

Remiantis sukaupta medžiaga apie alternatyvių degalų naudojimą automobiliams, gamybą Lietuvos gamtinėmis ir ekonominėmis sąlygomis [1,3,6,9,17,19,21,25,27,28] tinkamiausi yra etanolis ir rapsų metilesteris. Lietuvoje tinkamiausia žaliava etanolui gaminti yra grūdai, bulvės ir cukriniai runkeliai [28]. Kitose šalyse tam tikslui plačiai naudojami kukurūzai ir cukranendrės. Dyzeliniai biodegalai gaminami iš rapsų, saulėgrąžų, sojų, alyvų ar kitų augalų aliejaus, taip pat iš gyvulinių riebalų. Pasaulyje daugiausia dyzelinių biodegalų gaminama iš rapsų (apie 80 proc.) ir saulėgrąžų (apie 10 proc.) aliejaus. Trečioje vietoje būtų sojų aliejus (ypač JAV).

Tradicinių degalų (pagamintų iš naftos) ir etanolio bei RME gamybos ciklą palyginimas pateiktas 3-oje lentelėje. Ir energetiniu, ir teršalų išmetimų į aplinką atžvilgiu geriausi yra RME rodikliai.

3 lentelė. **Etanolio, RME ir tradicinių degalų gamybos ciklą palyginimas**

Produktas	Žaliava	Energijos sąnaudos, %.	CO ₂ išmetimai, %.	Šiltnamio dujų išmetimai, %.
Etanolis	Kukurūzai	83,67	93,15	111,29
Etanolis	Kviečiai	104,3	95,03	109,65
Etanolis	Cukriniai runkeliai	88,42	81,27	91,27
RME	Rapsų aliejus	66,39	50,18	80,64

Svarbiausias biodegalų pranašumas palyginti su tradiciniais degalais - mažesni kenksmingų medžiagų išmetimai į atmosferą.

Darbo tikslai:

- a) nustatyti, kokie alternatyvūs VDV degalai yra Lietuvoje;
- b) ištirti alternatyvių degalų panaudojimo VDV galimybes;
- c) teoriškai ištirti VDV šilumos ciklą naudojant įvairius alternatyvius degalus ir jų mišinius;
- d) remiantis eksperimentų duomenimis, gauti VDV, veikiančio nuotekų biodujomis, greičio charakteristikas.

1. Literatūros šaltinių apžvalga

1.1. Energijos šaltinių apžvalga

Šiandien žinoma įvairių transporto priemonių rūšių ir naudojami įvairūs degalai:

✓ Gyvoji traukos jėga. Tai pats seniausias ir ligi šiol naudojamas nepamainomas energijos šaltinis transporto priemonėse. Ji naudojama visose žmogaus gyvenimo srityse: ūkyje, buityje, susisiekimo reikmėms ir kt. Buivolai, arkliai, kupranugariai, dramblių, šunys, na ir, žinoma, paties žmogaus raumenų jėga yra patys seniausi, paprasčiausi ir ekologiškiausi energijos šaltiniai.

✓ Vėjo energija. Pirmasis automobilis buvo varomas vėjo, važiavo ratais per sausumą, o pagamintas buvo Briuselyje (XVII a. pradžioje) [30]. Tuomet prasidėjusiame XVII amžiuje paminėtinas dar vienas faktas: to šimtmečio viduryje pasirodo spyruoklinio mechanizmo varoma konstrukcija – savaeigis vežimas. Šiuo metu paplito iš vėjo energijos generuojama elektros energija, tačiau vėjo jėga buvo naudojama ir kaip tiesioginis traukos šaltinis įtaisant bures transporto priemonėse.

✓ Jūros potvynio bangos. Šiuo gamtos reiškiniu naudodavosi žvejai, kurių plaustus ar valteles potvynio banga nunešdavo gana toli į jūrą.

✓ Garo šiluminė energija. 1765 metais pasirodo pirmoji mechaninė transporto priemonė, kurią varo garas. Greitis – 2 mylios per valandą [29]. Konstruktorius – prancūzas *Michael – Joseph Cugnot*. Naudojant garo variklį nereikia nei pavarų dėžės, nei sankabos. Garo varikliai pasižymi dideliu galingumu (išjudina visą keliasdešimt tonų sveriantį traukinio sąstatą), pasiekiamas daugiau nei 100 km/h greitis, paprastas garo variklių valdymas (paprasta sklendė atveria ar užveria garo tiekimo angą), labai mažai teršiantys orą, naudoja atsinaujinačius energijos šaltinius (malkas, anglis). Tačiau garu varomos mašinos populiarumą prarado dar pačioje XX amžiaus pradžioje, kadangi garo variklio paleidimas užtrunka kol paruošiamas garas, atsiranda problemų norint išlaikyti variklyje esantį vandenį neužšalusį.

✓ Elektros energija. 1835 metais amerikietis kalvis *Davenport* pagamino pirmąjį automobilį su elektrine pavara [26]. Ir šiuo metu bandymai su šio tipo transporto priemonėmis dar nėra užbaigti, nors į elektroninius automobilius, neteršiančius oro išmetamosiomis dujomis, dedamos didelės viltys.

✓ Kitokie energijos šaltiniai. Tai įvairios degalų rūšys, kurios naudojamos dabar (naftinės kilmės degalai, spiritiniai degalai, dujiniai degalai ir kt).

Toliau trumpai apžvelgiama alternatyvių degalų istorija.

Prieš pristatant benziną kaip pagrindinę kuro rūšį automobilių transporte, XIX a. pabaigoje transporto priemonės dažnai naudojo tai, ką dabar įprasta vadinti alternatyviais degalais. Pavyzdžiui, 1860 metais akmens anglies dujos (tai atskira metano arba gamtinių dujų rūšis) buvo naudojamos pirminiuose vidaus degimo varikliuose (VDV) [30]. Nuo 1830 iki 1920 populiarius transporto priemonių energijos šaltinis buvo elektra, gaunama iš švininių akumuliatorių. Na, o 1880 metais **Henris Fordas** (angl. *Henry Ford*) sukūrė vieną iš savo pirmųjų automobilių, kurie naudojo etanolį (etilo alkoholį), pagamintą iš grūdų. Šiuose automobilių konstruktoriaus sukurtuose modeliuose *Ford Ts* buvo įmontuoti reguliuojami karbiuratoriai tam, kad automobilis galėtų naudoti etanolį.

Suskystintos naftos dujos (dažniau vadinamos propanu) buvo pradėtos naudoti nuo 1930 metų. Šiuo ankstyvuoju automobilių istorijos laikotarpiu benzinas buvo brangus ir pardavinėjamas pintomis (0,47 l) vaistinėse. Tik pradėjus taikyti naujas naftos perdirbimo operacijas (terminis ir katalitinis krekingas) benzinas tapo pagrindinis degalas VDV. Ši kuro rūšis pasižymėjo dideliu šilumingumu ir nedidele kaina, lyginant su alternatyviais degalais.

Tačiau riboti naftos ištekliai nuolatos mažėja, naftinės kilmės degalų degimo produktuose daug teršalų, o transportas yra pagrindinis atmosferos teršėjas (žr. 4 lentelę). Taigi būtina naudoti ekologišką kurą, modernias deginių nukenksminimo sistemas, pažangius VDV. Alternatyvūs degalai yra ekologiškesni, kadangi jie chemiškai paprastesni ir sudega kokybiškiau. Alternatyvūs degalai, naudojami šiuolaikiniuose moderniuose VDV, kuriuose įdiegta efektyvi deginių neutralizavimo sistema, sudega kokybiškiau nei įprastiniai naftinės kilmės degalai, t.y. susidaro mažiau nevisiško degimo produktų (CO ir CH). Be to, alternatyvūs degalai nėra tokie lakūs, todėl sukelia mažiau garavimo teršimo (CH).

1992–1994 metais *Battelle Memorial* institutas (Pietų Kalifornija) atliko alternatyvių degalų tyrimus [30]. Buvo naudojamos 6 degalų rūšys (5 alternatyvūs degalai ir įprastinis benzinas) 111 Kalifornijos pašto sunkvežimiuose, kurie nuvažiavo daugiau kaip 5,4 mlj. km per 2 metų laikotarpį.

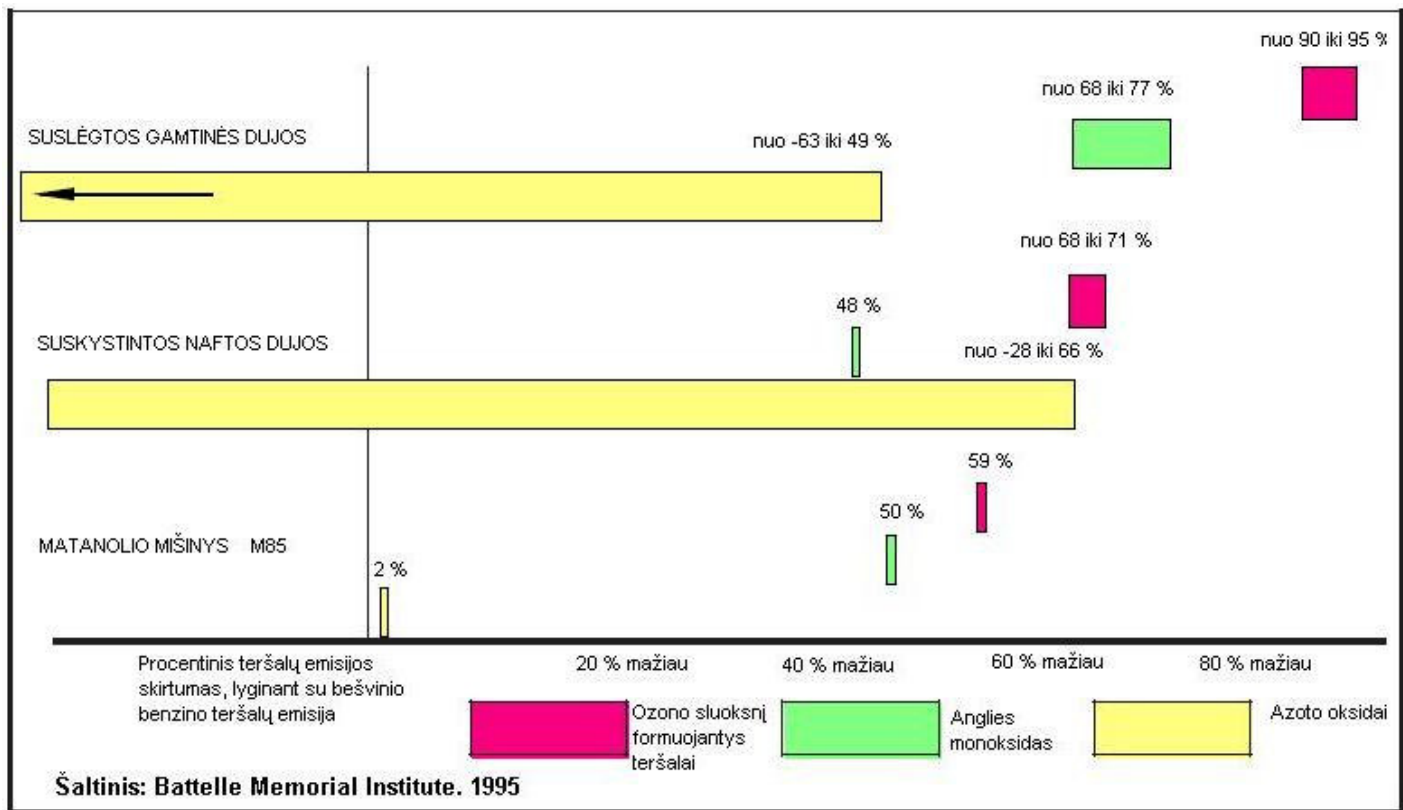
Buvo naudojami *Chevrolet*, *Dodge* ir *Ford* markės automobiliai, kurie pasižymėjo panašiomis techninėmis charakteristikomis.

4 lentelė. Transporto oro tarša*

Šalis	1997 m.	1998 m.	1999 m.	2000 m.	2001 m.	2002 m.
Anglies dioksidas CO₂ (×1000 t)						
ES	842400.26	869042.12	893863.80	889361.38	902722.26	912062.32
Vokietija	177158.90	180426.56	186066.63	182348.57	178224.06	176387.58
Latvija	2116.20	2081.88	2015.57	2234.59	2628.24	2631.85
Lietuva	4008.63	3754.00	3713.92	3673.84	3633.75	3593.67
Azoto oksidai NO_x (×1000 t)						
ES	69.50	74.15	78.17	81.23	83.48	86.68
Vokietija	18.13	17.98	17.65	16.57	15.65	14.80
Latvija	0.21	0.19	0.18	0.19	0.23	0.24
Lietuva	0.04	0.02	0.05	0.08	0.12	0.15

* - "Eurostat" duomenų bazės duomenys. 2005 m.

Beveik visose teršalų emisijos kategorijose alternatyvūs degalai buvo pranašesni(1 pav.).



1 pav. Teršalų emisijos procentinis lyginimas naudojant alternatyvius degalus ir įprastinį bešvinį benzina

Remiantis gausiais įvairiose šalyse atliktais laboratoriniais, eksploataciniais, ekologiniais ir ekonominiais tyrimais buvo suformuluoti keli pagrindiniai reikalavimai alternatyviems degalams [1,27]:

- ✓ Alternatyvieji degalai turi pasižymėti tokiomis fizikinėmis bei cheminėmis savybėmis, kurios nesukeltų transporto priemonės techninių parametrų pablogėjimo arba pačių alternatyvių degalų panaudojimo apribojimų.
- ✓ Žaliavų ištekliai alternatyvių degalų gamybai turi būti pakankamai dideli, neišsenkantys arba atsinaujinantys.
- ✓ Alternatyvių degalų gaminimo technologija, sandėliavimas, vežimas ir panaudojimas turi būti kuo mažiau kenksmingi aplinkai.

Alternatyvių degalų gamybos žaliavos, gamybos technologija, sandėliavimo, transportavimo ir panaudojimo sąlygos turi būti techniškai įgyvendinamos ir ekonomiškai pagrįstos konkrečiai valstybei.

Remiantis šiais reikalavimais artimiausiu laikotarpiu Lietuvoje perspektyviausi augalinės kilmės degalai – biodegalai. 5-oje lentelėje pateiktos pagrindinės degalų cheminės ir fizikinės savybės.

5 lentelė. Degalų cheminės ir fizikinės savybės

Rodiklis	Naftiniai degalai		Spiritai		Suskystintos naftos dujos	Gamtinės dujos		Vandenilis		Metanas ¹
	Benzinas	Dyzelinas	Metanolis	Etanolis		Dujinis būvis	Skystasis būvis	Dujinis būvis	Skystasis būvis	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tankis ρ , kg/m ³	710...760	820...870	795	790	542	0,71	420	680	1,173	128 ²
Virimo temperatūra t_s , °C	35...195	180...360	64,7	78,0	-42	-	-162	-	-252,76	-161
Užšalimo taškas, °C	-60...80	-10...60	-97,8	-114,6	-187	-	-182	-	-259,2	-182
Sočiųjų garų slėgis, kai yra 38 °C, kPa	62...92	0,3...0,35	12,6	17,0	160	-	-	-	-	-
Steciometrinis oro ir degalų santykis l_0 , kg oro/kg degalų	14,8...15,0	14,1-14,3	6,5	9,0	15,2	16,8-17,4		34,8		17,2
Degimo temperatūra, K	2336	2289	2185	2235	2149	2065		2449		2316
Energinis tankis, MJ/l	32,56	36,55	15,88	21,25	24,93	(32,27...34,1)*	20,92	10,8*	8,52	35,76*
Garavimo šiluma, kJ/kg	280...420	250...300	1173	920	412	-	511	-	-	512,4
Kaitringumas, MJ/kg	44,0	43,4...43,5	20,0	26,9	46,9	48,94...50,15		120,0		49,6
Degiojo mišinio kaitringumas, MJ/kg	2,78...2,81	2,72...2,79	2,66	2,67	2,84	2,74...2,75		3,38		2,93
Stabilaus variklio darbo ribos pagal α	0,7...1,1	0,9...5,0	0,7...1,4	0,7...1,5	0,7...1,2	0,7...1,3		0,6...5,0		-
OS:										
-varikliniu būdu	82...92	-	91	92	90...94	100...105		30...40		97
-tiriamuoju būdu	91...100	-	107	108	93...113	110...115		45...90		112
Cetaninis skaičius	8...14	45...55	3	8	18...22	-		-		-

¹ – pagrindinis biodeujų komponentas.² – kai temperatūra 80 °F (26,67 °C).* - dujinio būvio energetinis tankis pateiktas MJ/m³.

Atsinaujinančių degalų ekonominius ir ekologinius tyrimus Europos Sąjungoje(ES) atliko bendra Vokietijos mokslinė grupė, kurią sudarė įvairios Vokietijos mokslinės institucijos[31]. Tyrimai buvo atliekami 2002 metais ir užbaigti 2003 vasarį. Visos transporto rūšys, kaip potencialios alternatyvių degalų naudotojos, buvo aptartos: lengvieji ir krovininiai automobiliai, geležinkelio lokomotyvai, laivai ir lėktuvai. Tyrimų rezultatai pateikti 6-oje lentelėje.

6 lentelė. Atsinaujinančios energijos šaltinių apžvalga

Pirminis šaltinis	Perdirbama medžiaga	CO ₂ -emisija	Bendri gamybos kaštai	Galimas energijos kiekis * EU 15	Galimas energijos kiekis* EU 30
1	2	3	4	5	6
Biodyzelinas					
Rapsų grūdai	Augalinis aliejus iš rapsų grūdų	20 kg/GJ	15 €/GJ	260 PJ/a	520 PJ/a
	Rapsų aliejaus metilo esteris	24 kg/GJ	20 €/GJ	250 PJ/a	510 PJ/a
Etanolis					
Cukrinių runkelių auginimas	Etanolis iš cukrinių runkelių	24 kg/GJ	35 €/GJ	1000 PJ/a	1880 PJ/a
Kukurūzų auginimas	Etanolis iš kukurūzų fermentacija)	65 kg/GJ	38 €/GJ	380 PJ/a	740 PJ/a
Grūdinės kultūros	Etanolis iš grūdų	60 kg/GJ	41 €/GJ	330 PJ/a	590 PJ/a
Kvietrugių kultūra (kviečių rugių hibridas)	Etanolis iš kvietrugių	59 kg/GJ	39 €/GJ	320 PJ/a	570 PJ/a
Bulvių auginimas	Etanolis iš bulvių	69 kg/GJ	37 €/GJ	680 PJ/a	1220 PJ/a
Metanolis					
Greitai augantys medžiai	Metanolis iš greitai augančių medžių	43 kg/GJ	23 €/GJ	330 PJ/a	640 PJ/a
Daugiamečių augalų auginimas (daugiametė žolė)	Metanolis iš daugiamečių augalų	77 kg/GJ	32 €/GJ	410 PJ/a	820 PJ/a
Miško ruošos liekanos	Metanolis iš medienos biomasės	37 kg/GJ	26 €/GJ	210 PJ/a	310 PJ/a
Medienos liekanos iš pramonės	Metanolis iš medienos	37 kg/GJ	19 €/GJ	650 PJ/a	960 PJ/a

1	2	3	4	5	6
Sintetiniai degalai					
Greitai augantys augalai (medžiai)	Sintetiniai degalai iš greitai augančios augmenijos	42 kg/GJ	29 €/GJ	200 PJ/a	380 PJ/a
Miscanthus cultivation (daugiametė žolė)	Sintetiniai degalai iš daugiamečių augalų	105 kg/GJ	45 €/GJ	240 PJ/a	490 PJ/a
Miško ruošos liekanos	Sintetinis kuras iš medienos biomasės	32 kg/GJ	32 €/GJ	125 PJ/a	180 PJ/a
Pramoninės medienos atliekos	Sintetinis kuras iš medienos	32 kg/GJ	20 €/GJ	390 PJ/a	570 PJ/a
Biodujos					
Gyvūnų išmatų rinkimas	Išvalytos ir perdirbtos biodujos	14,5 kg/GJ	31 €/GJ	360 PJ/a	490 PJ/a
Namų ūkio organinės atliekos	Biodujų valymas ir perdirbimas ir organinių	14,8 kg/GJ	32 €/GJ	40 PJ/a	59 PJ/a
Augalinės liekanos iš žemės ūkio	Išvalytos ir perdirbtos biodujos	14,8 kg/GJ	26 €/GJ	200 PJ/a	320 PJ/a
Organinių pramoninių atliekų rinkimas	Išvalytos ir perdirbtos biodujos	14,8 kg/GJ	32 €/GJ	20 PJ/a	35 PJ/a
Elektros generavimas					
Gyvulių išmatų surinkimas	Biodujų deginimas gaminant elektros energiją	27 kg/GJ	33 €/GJ	150 PJ/a	210 PJ/a
Namų ūkio organinių atliekų surinkimas	Biodujų deginimas gaminant elektros energiją	28 kg/GJ	33 €/GJ	17 PJ/a	25 PJ/a
Organinių pramoninių atliekų rinkimas	Pramoninių atliekų deginimas, gaminant elektros energiją	28 kg/GJ	33 €/GJ	10 PJ/a	15 PJ/a
Vandenilis, išgaunamas elektrolizės būdu					
Hidroenergija	Hidroenergija	2,9 kg/GJ	37 €/GJ	1300 PJ/a	2200 PJ/a
Vėjo energija	Vėjo energija	12,9 kg/GJ	34 €/GJ	9000 PJ/a	10100 PJ/a

6 lentelės tęsinys

1	2	3	4	5	6
Saulės spindulių energija	Saulės energija	43 kg/GJ	189 €/GJ	1040 PJ/a	1600 PJ/a
Saulės šiluminė energija	Saulės šiluminė energija	7,0 kg/GJ	89 €/GJ	3600 PJ/a	7200 PJ/a
Branduolinė energija	Branduolinė energija	0 kg/GJ	19 €/GJ	0 PJ/a	0 PJ/a
Vandenilis, išgaunamas termocheminių reakcijų būdu					
Greitai augantys augalai	Vandenilis iš biomasės vykdant termochemines reakcijas	23 kg/GJ	12,5 €/GJ	450 PJ/a	850 PJ/a
Daugiamečiai augalai	Vandenilis iš daugiamečių augalų vykdant termochemines reakcijas	51 kg/GJ	20 €/GJ	540 PJ/a	1100 PJ/a
Miško ruošos liekanos	Vandenilis iš miško ruošos liekanų vykdant termochemines reakcijas	18 kg/GJ	14,2 €/GJ	280 PJ/a	410 PJ/a
Pramoninės medienos liekanos	Vandenilis iš pramoninių medienos atliekų vykdant termochemines reakcijas	18 kg/GJ	8,9 €/GJ	870 PJ/a	1300 PJ/a

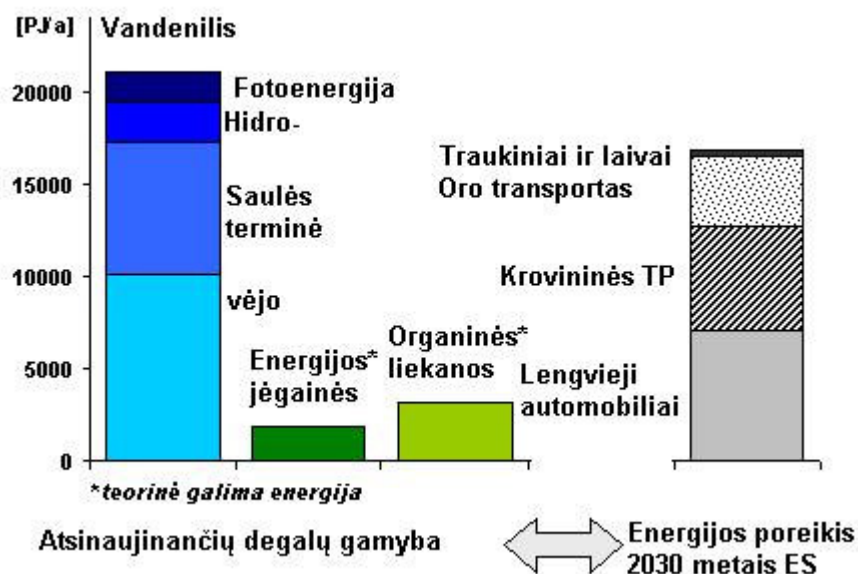
**Galimas išgaunamas energijos kiekis apskaičiuotas priimant, jog prieinama 10 % ariamos žemės*

Atsižvelgiant į gavimo kiekius, CO₂ emisiją ir išgavimo sąnaudas perspektyviausi Europos Sąjungoje šie alternatyvūs degalai [31]:

- ✓ etanolis iš cukrinių runkelių;
- ✓ metanolis iš medienos atliekų ir greitai augančių medžių;
- ✓ rapsų metilo esteris;
- ✓ sintetiniai degalai iš medienos atliekų ir greitai augančių medžių;
- ✓ vandenilis iš miškininkystės atliekų;
- ✓ vandenilis, gaunamas elektrolizės būdu, naudojant atsinaujinančią elektros energiją.

Taigi atsinaujinantys degalai Europos Sąjungoje bus gaminami iš kurios nors rūšies biomasės arba iš atsinaujinančios elektros energijos, kuri naudojama vandenilio gamybai. Pažymėtina, jog

bendras iš biomasės pagaminamų degalų kiekis yra mažesnis, nei degalų poreikis ES (2 pav.), o didžiausi energijos resursai yra naudojant vandenilį kaip transporto priemonių degalus.



2 pav. Bendro atsinaujinančių degalų išgaunamo kiekio ir energijos poreikio transportui prognozavimas ES 2030 metais

Beje, biodegalų gamyba ir jų sunaudojimas nuolatos auga visoje Europos Sąjungoje (7 lentelė).

7 lentelė. Biodegalų gamyba ir sunaudojimas*

Šalis	1997 m.	1998 m.	1999 m.	2000 m.	2001 m.	2002 m.
Biodegalų gamyba (× 1000 t)						
ES	468	435	527	815	952	1282
Vokietija	90	100	130	250	350	550
Prancūzija	363	319	344	398	391	417
Biodegalų sunaudojimas kelių transporte (× 1000 t)						
ES	460	427	499	785	878	1178
10 naujų ES narių	0	0	17	41	36	32
Vokietija	90	100	130	250	350	550
Prancūzija	363	319	344	404	401	399

* - "Eurostat" duomenų bazės duomenys. 2005 m.

1.2. Spiritiniai degalai

Iš visų spiritų ir jų mišinių, naudojamų vidaus degimo variklių degalams, labiausiai yra paplitę metanolis, etanolis bei jų eteriai [1,25,27].

Pagrindiniai spiritinių degalų naudojimo VDV trūkumai ir pranašumai, palyginti su degalais, pagamintais iš naftos, pateikti 8-oje lentelėje [25].

8 lentelė. **Alkoholių privalumai ir trūkumai, palyginti su degalais iš naftos**

Eil. nr.	Privalumai	Trūkumai
1.	Didelis oktaninis skaičius (110...115 tiriamuoju metodu)	Mažas cetaninis skaičius (apie 3...8)
2.	Plačios užsiliepsnojimo ribos	Didelis sočiųjų garų slėgis (nors tai gali būti kaip privalumas, mažinant išgaravimo nuostolius)
3.	Didelis liepsnos plitimo greitis	Mažas tūrinio vieneto kaitringumas
4.	Didelė garavimo šiluma padidina tūrinį kaitringumą	Didelė garavimo šiluma apsunkina variklio paleidimą
5.	Mažesnis anglies viendeginio (CO) kiekis deginiuose	Padidėja formaldehidų kiekis deginiuose
6.	Nesusidaro suodžių nuosėdų cilindruose	Nematoma liepsna
7.	Tirpūs vandenyje	Galimybė sprogti gryniesiems alkoholių garams uždarose patalpose

Kadangi spiritiniai degalai turi didelį oktaninį skaičių, tiksliausia juos naudoti kibirkštinio uždegimo varikliuose. Naudojant spiritinius degalus, galima padidinti variklio suslėgimo laipsnį. Norint efektyviau išnaudoti geras antidetonacines savybes $\varepsilon = 12...14$. Kadangi etanolio cetaninis skaičius yra labai mažas, tai slėginio uždegimo varikliuose jo panaudojimas yra labai keblus.

Pagrindinis alkoholių trūkumas – sudėtingas kibirkštinio variklio paleidimas dėl didelės garavimo šilumos ir mažo sočiųjų garų slėgio. Variklio paleidimą palengvina į spiritus įmaišomi priedai – izopentanas arba dimetilo eteris.

Dėl mažo alkoholių kaitringumo lyginamosios degalų sąnaudos gali padidėti iki 2 kartų [25].

Naudojant spiritinius degalus sumažėja kenksmingų medžiagų kiekis deginiuose. Dėl žemesnės degimo temperatūros cilindruose susidaro iki 10 % mažiau azoto oksidų (NO_x). Kadangi alkoholiuose yra deguonies, tai spiritinių degalų degimo reakcija tobulesnė, t.y. susidaro mažiau nevisiško degimo produktų deginiuose (CO ir CH) [1,25,27,30]. Naudojant spiritinius degalus deginiuose padidėja tik aldehidų kiekis.

Spiritinių degalų naudojimas slėginio uždegimo varikliuose problematiškas, kadangi mažas alkoholių cetaninis skaičius, aukšta savaiminio užsiliepsnojimo temperatūra ir blogos tepimo savybės.

Naudojant grynuosius spiritus vidaus degimo varikliuose intensyviau dyla cilindro ir stūmoklio grupės detalės [27], nes ant cilindro sienelių atsiranda nemažai neišgaravusių degalų, kurie nuplauna nuo sienelių alyvą, taip pat nuo besitrinančių paviršių susidaro spirito ir alyvos emulsija, alkoholis veikia alyvos priedus, todėl naudojamos specialios variklių alyvos [25].

Pasaulyje plačiausiai naudojami benzino ir spirito mišiniai.

1.2.1. Etanolis

Etanolis ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) yra skystis, išgaunamas iš žemės ūkio produktų ar atliekų. Etilo alkoholis yra skaidrus, bespalvis, bet kokių santykiu su vandeniu gerai besimaišantis skystis. Jis lengvai užsiliepsnoja ir dega blyškiai melsva liepsna. Etanolis yra populiarus degalas JAV Vidurio Vakaruose [30]. Daugiau nei 4 mlj. transporto priemonių Brazilijoje naudoja etanolį, pagamintą iš cukranendrių [25].

Etanolis yra atsinaujinantis energijos šaltinis, kadangi yra gaminamas iš žemės ūkio produkcijos ar biomasės. Etanolis gali sumažinti CO_2 išmetimą. Jis patrauklus dėl to, jog gali būti gaminamas šalyje.

Ankstyvosios alkoholio formos buvo paprasčiausi rauginti gėrimai. 6000-4000 prieš Kristaus gimimą klestėjo alaus ir vyno gamybos menas. Tikėtina, jog kinai buvo pirmieji, kurie 800 m.p.m.e distiliavo alkoholį tiesiai iš surauginto gėrimo. 500 m.p.m.e. distiliuojant buvo gaunamos beveik grynos alkoholio formos, naudojamos kosmetikoje, parfumerijoje ir medicinoje. Nuo XVIII a. chemijos laimėjimai sudarė sąlygas etanolį gaminti pigiai iš įvairių organinių medžiagų. Pastaruoju laikotarpiu etanolis tapo alternatyvi kuro rūšis dėl didėjančių naftos kainų.

Etanolio naudojimo kurui pradininkas gali būti laikomas *Henry Ford* (1880 m). Jis sukūrė modelį *Ford Ts*, kuriame buvo įmontuotas keturtaktis, etanoliu veikiantis VDV. Šio konstruktoriaus vizija buvo sukurti transporto priemonę, prieinamą dirbančiai šeimai ir naudojančią kurą, kuris pakeltų kaimo ekonomiką.

Didėjantys etanolio mokesčiai, mažos benzino kainos ir naftos perdirbinėtojų reklaminė kompanija nustūmė etanolį ir kitas alternatyvas į šalį. Per Pirmąjį ir Antrąjį pasaulinius karus JAV ir Europoje alkoholiai buvo naftinės kilmės degalų priedas. Per Pirmąjį pasaulinį karą buvo naudojamas 80 % benzino ir 20 % etanolio mišinys. Pasibaigus karams naftos kainos vėl sumažėjo ir alkoholis vėl buvo užmirštas. Ir tik 1970 metų naftos krizė sudarė sąlygas atsirasti gasoholio (10 % etanolio) (ang. *gasohol*) erai.

Etanolį naudojančios TP yra pritaikytos naudoti 85 % etanolio ir 15 % benzino mišinį (E85). Šios TP turi modernų mikroprocesorių, kuris nuolatos reguliuoja variklio darbą, oro pertekliaus koeficientą, priklausomai nuo alkoholio ir benzino santykio degalų bake. Be to, šio TP gali dirbti bet kokio alkoholio ir benzino santykio mišiniu. Pirmoji moderni serijinė etanoliu varoma TP JAV buvo *Chevrolet Lumina Variable Fuel Vehicle* (1992 m.) [30].

Labiausiai šiuo metu paplitęs benzino su 10 % etanolio priedu mišinys “gasocholas” (angl. *Gasohol*) [25]. Naudojant “gasocholį” VDV, deginiuose anglies monoksido CO sumažėja 26 %, angliavandenilių CH – 4,5 % ir azoto oksidų NO_x – 6 % [32].

Nors etanolis ir yra vienas saugiausių iš alternatyvių degalų, tačiau jis yra degus ir gali turėti priemaišų, kurios gali būti pavojingos įkvėpus ar nurijus.

Etanolis mažiau toksiškas, pasižymi ryškesne degimo liepsna nei metanolis; jo nereikia suslėgti sandėliuojant; neužšalantis; netokie pavojingi nutekėjimai; plačios degimo ribos ir žemas garų slėgis. Be to, jo gamyba iš biomasės Lietuvos Respublikoje yra perspektyvi.

Lietuvoje jau atlikta daug tyrimų ir darbų nagrinėjant etilo spirito panaudojimo galimybes [1,2,3,4,6,25,26,27].

1.2.2. Metanolis

Metanolis (CH_3OH) yra naudojamas įvairių plastmasių, sintetinio kaučiuko, formalino, kuro priedų gamyboje ir kitų organinių junginių sintezėje.

Metanolis – bespalvis, nuodingas, lengvai užsiliepsnojantis skystis. Pagal poveikį žmogaus organizmui metanolis klasifikuojamas kaip toksiška medžiaga ir sukelia pakenkimus žmogaus organizmui. Dažniausiai gaminamas iš gamtinių dujų ar kitų medžiagų, pasižymi aukštu oktaniniu skaičiumi, degant išsiskiria nedaug kenksmingų deginių.

Metanolis buvo naudojamas kaip tirpiklis ar cheminė medžiaga gaminant plastiką, fanerą ir dažus. Jis buvo atrastas 1823 metais kondensuojant degančios medienos dujas. Jis naudojamas langų plovikliuose, neužšalantiuose skysčiuose ir orlaivių degalų gamyboje [30].

Metanolis gali būti išgaunamas beveik iš visų medžiagų, kurios turi anglies, įskaitant gamtines dujas, akmens anglį ir biomasę. Įprastai metanolis gaminamas naudojant aukštos temperatūros garą ir slėgį, katalizatorių, kuris gamtines dujas ar metaną paverčia į skystą metanolį. Metano dujos, išsiskiriančios puvimo procese savartynuose taip pat yra metanolio šaltinis.

Metanolis buvo populiarus *Indianapolio* (JAV) lenktyniniuose automobiliuose nuo 1965 dėl aukštos pliūpsnio temperatūros. Metanolio liepsna gali būti slopinama vandeniu, be to, metanolis dega žemesnėje temperatūroje nei benzinas.

Metanolis dažnai naudojamas mišiniuose su benzinu. Paplitęs M85 mišinys (85 % metanolio ir 15 % benzino). Benzinas suteikia liepsnai spalvą ir pagerina variklio paleidimą šaltu oru. Kadangi M85 mišinio oktaninis skaičius siekia 102 vienetų, tai optimizuojant VDV metanolio mišiniui galimas 7-10 % variklio galios padidėjimas.

TP, kurios pritaikytos naudoti bet kokio metanolio benzino santykio mišinius iš vieno degalų bako, turi specialius jutiklius degalų tiekimo sistemoje. Šie jutikliai perduoda informaciją valdymo procesoriui, kuris automatiškai reguliuoja degalų tiekimo kiekį, oro pertekliaus koeficientą ir uždegimo paskubos kampą.

Metanolis dėl gerų antidetonacinių savybių ir galimybės jį pagaminti iš nenaftinės kilmės žaliavų vertinamas kaip perspektyvus benzino priedas oktaniniam jo skaičiui padidinti. Optimalus metanolio priedo kiekis – nuo 5 iki 20 % [28,32].

Metanolio priedas sumažina variklio išmetamųjų deginių toksiškumą. Naudojant benzina su 10 % metanolio priedu variklio deginiuose anglies monoksido CO sumažėja 38 %, azoto oksidų NO_x – 8 %, o angliavandenilių kiekis deginiuose nesikeičia [33].

Viena pagrindinių metanolio naudojimo kaip benzino priedą kliūčių yra blogas benzino ir metanolio mišinių stabilumas ir jautrumas vandeniui.

Alkoholiai yra gumą ir plastiką ėdančios medžiagos, todėl degalų bakai, degalų tiekimo linijos, purkštuvai, degalų siurbiai ir filtrai turi būti pagaminti iš medžiagų, kurios nereaguoja su metanolio.

Metanolį naudojančių TP remonto ir priežiūros išlaidos niekuo nesiskiria nuo įprastinių TP, išskyrus tepalų keitimą, kadangi metanolį naudojančiam varikliui reikalingas specialus tepalas, o pageidautinas alyvos keitimo intervalas yra 5000-10000 km [30].

Metanolis ir jo mišiniai su benzinu yra pavojingi ir turi būti naudojami apdairiai ir atsargiai. M85 negalima perpompuoti iš degalų bako kaip benzino ar nuryti, nes jis gali būti mirtinas. Užtiškus M85 ant odos, būtina nedelsiant nuplauti. Drabužiai taip pat turi būti nedelsiant pakeisti ir išskalbti, jei ant jų užlašėjo metanolio.

Metanolio degimo produktuose yra mažai teršalų. Paprasta metanolio cheminė struktūra (CH_3OH) sąlygoja kokybišką metanolio degimą.

Degant M85 susidaro 50 % mažiau ozono sluoksnį formuojančių teršalų nei degant benzinui.

Degant M100 ir M85 susidaro mažiausiai kancerogeninį poveikį turinčių teršalų (benzenas, 1-3 butadienas ir acetaldehidas). Na o didesnis formaldehido kiekis nėra toks svarbus, kadangi pavojingiausi kancerogeniniai požiūriu yra benzenas ir 1-3 butadienas. Taigi, naudojant metanolio ir benzino mišinius kancerogeninis poveikis sumažinamas 50 %, o didesnis formaldehido kiekis gali būti sumažintas naudojant naujas katalitinių neutralizatorių technologijas.

Metanolis yra tirpus vandenyje., todėl gali greitai užteršti didelius gruntinio vandens kiekius. Tačiau metanolio nutekėjimai neturėtų būti laikomi pavojingesni nei benzino, o kai kuriais atvejais metanolio išsivalymo greitis yra didesnis. Kol metanolio įtaka gruntiniams vandenims dar tiriama, būtina išvengti metanolio nutekėjimų (gaminami dvisieniai bakai ir kt.).

1.3. Degiosios dujos

Degiosios dujos gali visiškai pakeisti skystąjį kurą vidaus degimo varikliuose. Pagal kilmę dujos skirstomos į gamtines ir dirbtines [24].

Pagrindiniai dujinių degalų privalumai:

- ✓ aukštas oktaninis skaičius;
- ✓ mažesnis deginių toksiškumas: CO kiekis deginiuose sumažėja 3...4 kartus, NOx – 1,2...2,0, CH – 1,2...1,4 karto lyginant su naftinės kilmės degalais [12,13];
- ✓ deginiuose nėra nuodingų švino junginių;
- ✓ variklio triukšmingumas sumažėja 8...9 dB;
- ✓ dujiniai degalai pigesni už benziną bei dyzeliną;
- ✓ pagerėja žiedų ir cilindrų įvorių tepimo sąlygos, rečiau keičiama alyva ir alyvos filtrai.

Pagrindiniai dujinių degalų trūkumai:

- ✓ jei suslėgimo laipsnis ε nepadidinamas, sumažėja variklio galia: naudojant suskystintas naftos dujas ~ 8 %, naudojant gamtines ~ 17 % [7];
- ✓ dujų oro mišinys aktyviau reaguoja į aplinkos temperatūrą (dujų tankis krenta), susidaro variklio paleidimo problemų;
- ✓ dujų balionuose slėgis siekia 20 MPa, todėl griežtesni saugumo reikalavimai;
- ✓ naudojant suskystintas dujas, automobilio masė padidėja 60...150 kg, o suslėgtas gamtines dujas – 400...900 kg, be to, dujų balionai užima daug vietos [12].

1.3.1. Suslėgtos gamtinės dujos

Tai degus dujų mišinys iš įvairių angliavandenilių, dažniausiai aptinkamos poringose uolienose 900 – 4570 m gylyje [29].

Gamtinės dujos per daugelį tūkstančių metų susidarė biochemiškai ir termiškai skylant organinėms gyvūnų ir augalų liekanoms, kurios įsiterpė į aktyvius nuosėdinius žemės sluoksnius, iš viršaus ir apačios apribotus dujoms nelaidžiais (pvz., molio) sluoksniais [24]. Daugeliu atvejų apatiniame sluoksnyje būna nafta arba vanduo. Gamtinių dujų telkiniai skirstomi į tris grupes: sausieji, dujų kondensato ir naftingieji. Sausųjų telkinių dujų pagrindą sudaro metanas (CH_4); be to, jose būna nedidelis kiekis etano (C_2H_6), propano (C_3H_8), butano (C_4H_{10}) ir pentano (C_5H_{12}). Dujų kondensato telkiniuose, be metano, yra dideli sunkiųjų angliavandenilių (propano, butanų) kiekiai iki benzino ir žibalo frakcijų. Naftingųjų telkinių naftoje yra ištirpusių lengvų ir sunkesnių angliavandenilių.

Kadangi gamtinės dujos yra iš žemės gelmių išgaunamas kuras, tai jo atsargos yra ribotos ir skaičiuojamos 120 metų į ateitį dabartiniam vartojimui (2000 metų duomenimis) [30].

Gamtinės dujos stacionariems VDV buvo naudojamos jau daugelį metų. Šie varikliai pasižymėjo dideliu efektyvumu ir patikimumu. Dėl mažos kainos, prieinamumo ir mažo deginių kenksmingumo šis kuras tapo viena iš populiariausių alternatyvų benzinui ir dyzelinui. Pagrindiniai

tūkumai buvo dujų laikymas automobiliuose ir automobilio darbo charakteristikos. Dėl mažo energinio tankio gamtinės dujos turi būti suslėgtos arba suskystintos, norint padidinti energijos tūrinį tankį (MJ/m^3). Gamtinės dujos pasižymi labai aukštu oktaniniu skaičiumi (iki 115 RON).

Lengvosioms TP naudojamos dvi sistemos: TP, naudojančios tik suslėgtas gamtines dujas, ir TP, naudojančios arba suslėgtas gamtines dujas, arba benzina. Abi sistemos turi aukšto slėgio dujų balionus, kuriuose talpinamos gamtinės dujos, suslėgtos iki 20 MPa.

Gamtinių dujų, kaip ir daugumos alternatyvių degalų, sąnaudos didesnės nei benzininių VDV dėl mažesnio energinio tankio ir (gamtinėms dujoms) aukšto slėgio balionų.

Krovininiuose automobiliuose naudojamos dvi VDV, veikiančios gamtinėmis dujomis, sistemos: kibirkštinė ir slėginio uždegimo (šiuo atveju dujų oro mišinį uždega nedidelis kiekis dyzelino, įpurškiamo į degimo kamerą).

Gamtinių dujų VDV deginiai nėra tokie kenksmingi lyginant su dyzeliniais VDV. Suslėgtų gamtinių dujų deginiuose yra nedaug kietųjų dalelių ir azoto oksidų.

Dėl aukšto slėgio balionuose turi būti užtikrintas balionų patvarumas. Bet koks dujų išleidimas į atmosferą yra žalingas, kadangi pagrindinis gamtinių dujų komponentas (metanas) yra šiltnamio efektą sukeliantis teršalas.

1.3.2. Suskystintos gamtinės dujos

Šių dujų pagrindinis komponentas yra metanas (CH_4). Jos yra gera alternatyva suslėgtoms gamtinėms dujoms, benzinui ir dyzelinui. Gamtinės dujos suskystėja, kai atšaldomos iki kriogeninės temperatūros ($-165\text{ }^\circ\text{C}$). Suskystintos gamtinės dujos yra didesnio tankio nei suslėgtos gamtinės dujos, pigios ir jų deginiai mažai kenksmingi.

Naudojant kaip kurą, suskystintos gamtinės dujos laikomos automobilyje virimo taške tiršto skystio pavidalu. Bako slėgis nusako tikrą degalų temperatūrą. Tipinis slėgis yra apie 0,35 MPa. Šios būklės suskystintų gamtinių dujų energinis tankis yra 230 % suslėgtų gamtinių dujų energinio tankio ir apie 55 % dyzelino [30].

Šios dujos nelabai tinkamos naudoti tose TP, kurios eksploatuojamos nenuolatos, nes ilgiau kaip savaitę neeksploatuojant TP, suskystintų dujų slėgis gali pakilti nuo įvairių šilumos šaltinių.

Žema suskystintų gamtinių dujų temperatūra gali sukelti ūmius odos nušalimus. Ir suslėgtas gamtines dujas, ir suskystintas draudžiama išleisti į atmosferą, kadangi jose yra daug šiltnamio efektą sukuriančio teršalo – metano. Padidėjęs slėgis dujų balionuose, kai TP nenaudojama daugiau kaip savaitę, priverčia atsidaryti apsauginį dujų išleidimo vožtuvą, kuris išleidžia dalį dujų.

1.3.3. Suskystintos naftos dujos

Šių dujų pagrindinis komponentas yra propanas (dar yra butano, propileno, butileno). Propanas yra dujos natūraliomis sąlygomis ir gaunamas iš naftos rafinavimo ir gamtinių dujų gamybos. Propanas pavirsta skysčiu, kai yra tam tikras slėgis ir laikomas automobilyje balionuose, suslėgtos iki 1,6 MPa [7,24,26,29,30].

Suskystintų naftos dujų degimo produktuose mažai kietųjų dalelių ir sieros junginių. Sumažėja CO, NO_x ir angliavandenilių (CH) išmetimas lyginant su benzininiais VDV [12,29]. Pvz., Kalifornijoje autobusuose buvo įmontuoti varikliai „Cummis L10“, kurie naudojo suskystintas naftos dujas, metanolį ir suslėgtas gamtines dujas [30]. Tyrimai parodė, jog suskystintomis naftos dujomis veikiančio variklio deginiai buvo mažiausiai kenksmingi ir susidarė mažiausiai teršalų.

Ši kuro rūšis naudojama nuo 1912 metų. Suskystintos naftos dujos yra trečias kuras po benzino ir dyzelino. Be to, suskystintų naftos dujų sąnaudos (l/km) yra mažiausios iš visų alternatyvių degalų.

Suskystintos naftos dujos neteršia gruntinių vandenų. Dujų balionai storasieniai ir atsparesni įlinkimams ir sumažina sprogimo pavojų avarijos atveju.

Kadangi suskystintos naftos dujos sunkesnės už orą 1,5 karto, tai jos susikaupia prie žemės. Dujos bespalvės ir bekvapės, todėl norint nustatyti dujų nutekėjimą dedama specialių kvapiųjų medžiagų.

1.3.4. Biodujos

Šios dujos priskiriamos dirbtinėms dujoms. Biodujos susidaro biologiškai skaidant organines medžiagas aplinkoje, neturinčioje sąlyčio su atmosferos oru, t.y. anaerobinėmis sąlygomis, veikiant mikroorganizmams, kurie gyvena ir dauginasi bedeguonėje aplinkoje. Šis savaiminis organinių medžiagų skilimo procesas gamtoje vyksta nuolatos. Iš sąvartynų, užpildytų dujomis nelaidžiu grunto sluoksniu, išgręžus gręžinius, išgaunamos ten susidariusios biodujos. Į biodujų sudėtį įeina du pagrindiniai komponentai: metanas (CH₄) ir anglies dvideginis (CO₂). Be jų, dar būna nedidelis kiekis vandenilio (H₂), sieros vandenilio (H₂S), azoto (N₂) ir kai kurių sunkiųjų angliavandenilių pėdsakų [24].

Biodujos išgaunamos įvairiais būdais iš įvairių medžiagų: gyvūnų išmatos, namų ūkio organinės atliekos, augalinės liekanos iš žemės ūkio ir organinės pramoninės atliekos [31]. Jas perdirbus gaunamas vandenilis (H₂) arba metanolis (CH₃OH), kuriuos galima naudoti kaip degalus vidaus degimo varikliuose. Neperdirbtos biodujos naudojamos tik gamybos vietoje, kadangi jų šiluminė vertė maža. Tačiau suslegiant biodujas į nedidelio slėgio balionus ir maišant su gamtinėmis arba naftos dujomis galima būtų naudoti ir kaip degalus vidaus degimo varikliuose.

Plačiausiai paplitęs sąvartynų dujų panaudojimo būdas yra jų deginimas specialiuose įrenginiuose arba varikliuose, gaminant [16,27]:

- elektros energiją,
- elektros energiją ir šilumą (taip vadinama kogeneracija),
- šilumą.

Elektra iš sąvartynų dujų gaminama dujiniais varikliais varomais generatoriais. Tokių energetinių įrenginių naudingumo koeficientas siekia tik 37-42%, nes juose susidaro pakankamai dideli šilumos nuostoliai.

Specialiais energetiniais įrenginiais (kogeneratoriais) vienu metu gaminant elektrą ir šilumą, pasiekiamas naudingumo koeficientas iki 85-88%.

Ir pagaliau, deginant sąvartynų dujas tiesiogiai, kaip papildomą kurą, moderniose didelio pajėgumo katilinėse pasiekiamas iki 95% naudingumo koeficientas.

Lietuvoje veikiantis Kariotiškių komunalinių atliekų sąvartynas yra už 27 km nuo Vilniaus centro ir už 15 km nuo jo ribos, Trakų rajone, 3 km nuo Rykantų gyvenvietės. Pagal šalinamų atliekų kiekį tai didžiausias sąvartynas Lietuvoje. Remiantis oficialia statistika, vien 2000 m. į jį buvo pristatyta 234 tūkst. tonų komunalinių atliekų [16]..

2000 metais Kariotiškių sąvartyne atlikus ilgalaikį (13 savaitių) bandomąjį išsiurbimą, nustatyta, kad vien tik iš I sąvartyno sekcijoje esančių kiek daugiau kaip 1,0 mln. m³ atliekų 2003 metais (arba pirmaisiais dujų panaudojimo sistemos eksploatavimo metais) susidarys apie 4,5 mln. m³ arba 550 m³ per valandą dujų, kuriose yra ne mažiau kaip 50 % metano. Pusę šio kiekio arba 2,3 mln.m³ (260 m³/val.) įrengta sistema techniškai būtų pajėgi išsiurbti ir panaudoti energijos gamybai.

Didėjant sąvartyne sukauptų atliekų kiekiui 2006 m. sąvartyno dujų susidarymas visose keturiose sąvartyno sekcijose turėtų pasiekti maksimumą ir išaugti iki 14,7 mln. m³ per metus. Tais metais dujų būtų galima išsiurbti apie 6,85 mln. m³ arba 790 m³ per valandą. Skaičiuotinas sąvartyno dujų susidarymas 2022 metais sumažės iki 4,8 mln. m³, o išsiurbimas atitinkamai iki 2.26 mln. m³.

Bandomojo dujų išsiurbimo metu paimtų dujų mėginių sudėties laboratorinę analizę atliko firmos C.A.U. (Vokietija) analitinė laboratorija. Nustatyta, kad Kariotiškių sąvartyno dujų sudėties pagrindinių komponentų proporcijos yra tokios: metanas ~57 %, anglies dioksidas ~30 %, azotas ~12 %, kitos ~1 % [16].

Sąvartyno dujose taip pat rasti nedideli halogenidų (bendras jų kiekis . iki 3 mg/m³) bei DLK (pagal HN 23-1993 .Kenksmingos medžiagos. Didžiausia leidžiama koncentracija darbo aplinkos ore.) neviršijantys aromatinių angliavandenilių (benzolo, toluolo, etilbenzolo, ksilolo) kiekiai, tačiau

gerokai padidintas vinilchlorido 32,0 mg/m³ (DLK yra 5 mg/m³) ir chloro - iki 30,6 mg/m³ (DLK yra 1 mg/m³) kiekis.

9 lentelė. Kariotiškių sąvartyno dujų išsiurbimas

Metai	Išsiurbiamas iš I sekcijos tūkst. m ³	Išsiurbiamas iš II sekcijos tūkst. m ³	Išsiurbiamas iš III sekcijos tūkst. m ³	Išsiurbiamas iš IV sekcijos tūkst. m ³	Iš viso tūkst. m ³	m ³ /val
2003	2283	2874	-	-	5157	597
2004	2130	2681	-	-	4811	557
2005	1987	2502	1451	-	5940	687
2006	1854	2334	1353	1310	6851	793
2007	1730	2178	1263	1222	6393	740
2008	1614	2032	1178	1140	5964	690
2009	1506	1896	1099	1064	5565	644
2010	1405	1769	1026	992	5192	601
2011	1311	1651	957	926	4845	561
2012	1223	1540	893	864	4520	523
2013	1141	1437	833	806	4218	488
2014	1065	1341	777	752	3935	455
2015	994	1251	725	702	3672	425
2016	927	1167	677	655	3426	396
2017	865	1089	631	611	3196	370
2018	807	1016	589	570	2982	345
2019	753	948	550	532	2783	322

Visų analitiškai nustatytų dujų komponentų skaitinės reikšmės yra mažesnės už kritinius dydžius, nurodomus dujų variklių gamintojų specifikacijose, todėl Kariotiškių sąvartyno dujos be jokio specialaus išvalymo yra tinkamos naudoti dujų varikliuose. Kariotiškių sąvartyno dujų šiluminė vertė: 13.7 MJ/kg (3870 kcal/m³ ; 4.5 kWh/m³).

UAB „Kauno vandenys“ valymo įrenginiuose [25] pagal BDS₇ rodiklį nuotekų išvalymo efektas vidutiniškai sudaro 60-65%. Pagal SM rodiklį išvalymo efektas didesnis –80-85%.

Į nuotekų valyklą iš miesto nuotekos atiteka 1,2 m skersmens vamzdžiais. Stambūs nešmenys sulaikomi grotose, kurių tankumas 3 mm. Taip prakošus nuotekas sulaikoma apie 0,6 tn/parą įvairių plaukiojančių atliekų, kurios anksčiau patekdavo į Nemuną. Smėlis nusodinamas aeruojamose smėliagaudėse. Nešmenys nusauginami presu, o smėlis separatoriumi ir visos šios atliekos išvežamos specialiomis mašinomis į Lapių sąvartyną.

Toliau nuotekos keliauja požeminiu 3x2 m g/b kanalu į paskirstymo kamerą, iš kurios nukreipiamos į pirminius sėdintuvus. Kiekvieno sėdintuvo pralaidumas valant nuotekas su koaguliantu - 3500 m³/val.

Koaguliantu naudojamas bazinio aliuminio sulfato tirpalas, sandėliuojamas reagentų ūkyje. Koaguliantas dozavimo siurbliais įterpiamas į nuotekas prieš pirminius sėdintuvus. Koaguliantas naudojamas sėdinimo procesui paintensyvinti ir fosforo pašalinimui. Esant reikalui gali būti atliekamas išvalytų nuotekų dezinfekavimas natrio hipochlorito tirpalu.



3 pav. UAB “Kauno vandenys” nuotekų valykla

Dumblo apdorojimas. Pirminiuose radialiniuose sės dintuvuose nusodintas dumblas siurbliais tiekiamas į rezervuarą, esantį šalia dumblo siurblynės. Iš šio rezervuaro per šilumokaičius "dumblas-dumblas" "žalias" dumblas tiekiamas į pūdytuvą (4 pav.), kurio talpa 9000 m³. Jame 35°C temperatūroje vyksta anaerobinis dumblo pūdymas.



4 pav. Pūdintuvas

Išpūdytas dumblas iš metantankų kitais siurbliais per šilumokaitį tiekiamas į saugyklą. Išpūdytas dumblas pašildo paduodamą "žalią" dumblą. Reikalingas temperatūrinis režimas

palaikomas šilumokaičiu "dumblas-vanduo", kuriame cirkuliuojantis pūdomas dumblas šildomas termofikaciniu vandeniu. Išpūdytas dumblas iš saugyklos centrifugų maitinimo siurbliais tiekiamas į centrifugas. Dumblui nusausti jose naudojamas flokuliantas "Zetag", kurio tirpalas ruošiamas specialia įranga. Nusaustas dumblas surenkamas bunkeriuose, o iš jų išvežamas specialiu autotransportu į dumblo saugojimo aikštelę. Kiekvieną dieną į dumblo saugojimo aikštelę išvažiuoja dvi tokios automašinos. Anksčiau šis dumblas nusėsdavo Nemuno dugne.

Dumblo, esančio dumblo saugojimo aikštelėje, kokybė kontroliuojama, atliekant sunkiųjų metalų koncentracijos ir bakteriologinius tyrimus. Dumblo saugojimo aikštelėje jau sukaupta virš 68 tūkst. tonų dumblo. Šiuo kiekiu padengtume beveik 7 m storio dumblo sluoksniu futbolo aikštės dydžio plotą.

Negalima užbaigti nuotekų valymo proceso, neturint efektyvaus ir ekologiškai nepavojingo dumblo utilizavimo būdo. Pasaulinėje praktikoje nėra kokių nors vyraujančių nuotekų dumblo utilizavimo būdų: vienur jis deginamas, kitur sandėliuojamas sąvartynuose. Taip pat naudojamas dirvoms tręšti bei karjerams rekultivuoti. Kaune nuotekų dumblo utilizavimo būdų paieškos buvo pradėtos dar 1991 metais. Darbuose dalyvavo: Lietuvos miškų, Geologijos, Ekologijos institutų bei Kauno visuomeninės sveikatos centro specialistai. Tyrimai buvo vykdomi Kauno rajono Kajackaraisčio, ir Ežerėlio išnaudotuose durpynuose. UAB "Kauno vandenys" užsakymu Geologijos institutas 2000 m. Žiemkelio 62 ha sklype atliko išsamius tyrimus, kad išsiaiškinti gruntinio ir paviršinio vandens nuotėkio pasiskirstymo ypatumus, durpės fizikines-mechanines savybes gretimų teritorijų gruntų geocheminį ir hidrocheminį foną. Remiantis atliktais tyrimais buvo paruoštas ir suderintas Kauno miesto nuotekų valyklos energetinio miško plantacijos detalusis planas. Kauno rajono taryba šį planą patvirtino 2001 metų liepos 12 d. sprendimu Nr.33. Šiame plote buvo numatyta auginti energetinį mišką, tręšiant nuotekų dumblu iki 250-300 t/ha.

Pati dumblo saugojimo aikštelė įrengta taip, kad gruntiniai vandenys būtų apsaugoti nuo galimos taršos. Po betono aikštele yra patiesta vandeniui nelaidi plėvelė, o visas drenažinis vanduo subėga į griovį iš kurio siurbliais grąžinamas į nuotekų valyklą.

Dujų ūkis. Pūdymo proceso metu metantankuose susidariusios biodujos per dujų valymo, šaldymo ir paskirstymo įrenginius patenka į 1200 m³ dujų metalinę talpyklą, iš kurio per kompresorinę į nuotekų valyklos katilinę, o perteklius tiekiamas į Noreikiškių rajoninę katilinę, arba į dujų sudeginimo žvakę. 2004 metais pagaminta 1829 tūkst. m³ biodujų, t.t. 1,178 tūkst. m³ parduota Noreikiškių rajoninei.

2006 rugsėjo 16 d. Frankfurto automobilių parodoje [43] pristatytas biodujomis varomas automobilis **MILA Concept(5 pav.)**.



5 pav. **Biodujomis varomas sportinis automobilis**

Šio automobilio techniniai parametrai stulbinantys. Gale įmontuotas 1.6 l darbinio tūrio dujomis varomas vidaus degimo variklis išplėtoja 110 kW (150 AG). Jokių esminių degalų tiekimo sistemos pakeitimų nėra. Tik panaudoti specialūs biodujų purkštuvai. Šis automobilis turi 76 l dujų balionus, kuriuose esančių biodujų užtenka nuvažiuoti apie 200 km.

Beje biokuras yra ekologiškai švarus. Biodujomis varomi automobiliai Švedijoje [44] surengtame konkurse (Best Environmental Car for 2005) užėmė pirmąsias aštuonias vietas CO₂ emisijos kategorijoje. Net gi tokių didelių automobilių kaip Volvo S80 (6 vieta) ir Mercedes E200 NGT (8 vieta), dirbančių biodujomis, emisija mažesnė 25% nei Ford Focus, veikiančio E85 etanolio benzino mišiniu (žr. 10 lentelę [44]).



6 pav. **Gamtinėmis dujomis varomas automobilis BMW 316**

10 lentelė. CO₂ emisija naudojant įvairius degalus

Nr.	Automobilio markė	Degalų rūšis	CO ₂ emisija, g/km
1	Fiat Punto 5-d 1,2 60 Bi-power Active	Biodujos	9
2	VW Golf Variant Bi-fuel 2,0	Biodujos	11
3	Opel Astra CNG	Biodujos	11
4	Volvo S60 2,4 Bi-Fuel	Biodujos	12
5	Opel Zafira 1.6 CNG	Biodujos	12
6	Volvo S80 Bi-Fuel CNG	Biodujos	12
7	Volvo S70 Bi-Fuel CNG	Biodujos	13
8	Mercedes E200 NGT sedan	Biodujos	14
9	Ford Nya Focus 1,8 FlexiFuel	E85 (etanolio-benzino mišinys)	54
10	Saab 9-5 Sedan 2,0t BioPower	E85 (etanolio-benzino mišinys)	69
11	Toyota Prius HSD Bensin	Benzinas	107

1.4. Elektros energija

Nors elektrinės TP nėra plačiai paplitusios, tačiau nuo ankstyvojo XX amžiaus jos nuolatos naudojamos įvairiose transporto srityse (pavojingose sprogimo atžvilgiu aplinkose, oro uostuose, viešajame miesto transporte, golfo aikštelėse ir kt.)[30].

Elektrinėse transporto priemonėse (ETP) įmontuotas elektros variklis ir elektroninė valdymo sistema. Ši sistema gauna signalą iš akceleratoriaus paminos ir reguliuoja elektros variklio tekančią srovę ir įtampą, kuri tiekama iš akumuliatoriaus baterijų. Taigi, šiuo atveju elektros energija elektros variklyje sukuria sukimo momentą.

Yra 2 pagrindinės elektrinės pavaros rūšys: kintamos ir nuolatinės srovės. Kintamos srovės varikliai paprastai būna efektyvesni platesnėse darbo ribose, tačiau dėl sudėtingos elektronikos jie yra brangesni[14,30]. Nuolatinės srovės varikliai turi paprastesnę valdymo sistemą ir yra pigesni, bet jie didesnių gabaritų, bei sunkesni. Abi technologijos naudojamos šiuolaikinėse ETP.

Pažymėtina, jog didelis ETP privalumas tas, jog stabdant elektros variklis paverčiamas generatoriumi ir baterijos įkraunamos. Tai prailgina baterijų darbo laiką apie 5-10 %. Stabdant įprastiniai diskiniai stabdžiai suveikia tik pačioje paskutinėje stabdymo fazėje.

Daugumos stambiausių automobilių gamintojų ETP turi daug įprastinių saugumo sistemų: oro pagalves, vairo stiprintuvą, ABS ir kt. Pagrindiniai skirtumai tarp ETP ir transporto priemonės su VDV :vietoj VDV naudojamas elektros variklis, akumuliatorių baterijos ir valdymo sistema naudojama vietoj degalų tiekimo sistemos, elektroninė kontrolės sistema vietoj uždegimo sistemos.

ETP išplėtoja didesnę pagreitį, kadangi elektros varikliai sukuria didžiausius sukimo momentus, kai maži sūkiai.

Nors pati ETP yra ekologiškai švari, bet pirminis jos teršalų šaltinis yra elektros jėgainės. Tačiau, įskaitant ir šiuos teršalų šaltinius, ETP vis vien apie 90 % sudaro mažiau teršalų nei VDV [14]. Pavyzdžiui, 1995 metais JAV nustatyta, jog CO₂ išmetimas sumažėja 71,2 % per visą TP eksploatavimo laikotarpį naudojant ETP vietoje VDV. Be to, tai priklauso nuo elektrinės tipo (rekomenduotinos hidroelektrinės, saulės, vėjo, geoterminės elektrinės).

Taip pat sumažinama ir akustinė tarša, kadangi tiek stovint, tiek važiuojant ETP skleidžia mažiau triukšmo.

Didžiausias ETP trūkumas – sunkūs ir mažos talpos akumulatoriai. Bet yra sukurta nikelio metalo hidrido (NiMH) baterijų, kurioms vieno pakrovimo užtenka TP nuvažiuoti 140 – 200 km.

1.5. Kitos alternatyvių degalų rūšys

1.5.1. Kuro kameros

Kuro kameros yra energiją gaminančios sistemos elektrinėms TP, kurios jungdamos vandenilį su deguonimi išsiskiriančią cheminę energiją paverčia elektros energija. Išsiskiria šiluma ir vanduo. Tai gali būti laikoma hibridinio automobilio rūšimi, nors kuro kameros skiriasi nuo akumuliatorių baterijų tuo, jog jos nekaupia energijos, o naudoja energiją, esančią degaluose [14,30].

Visoms kuro kameroms reikalingas vandenilis, kuris gali būti išgaunamas iš vandenilio gausių degalų, pavyzdžiui benzino ar metanolio.

Vandenilį išgauna tam tikros sistemos, naudojančios šilumą ir katalizatorius, atplėšdamos vandenilio atomą nuo anglies. Laisva anglis jungiasi su deguonimi (iš oro ar vandens) ir susidaro CO₂. Būtent šiame etape gali susidaryti nežymus teršalų kiekis.

Pagrindinė problema, naudojant kuro kameras, yra vandenilio išgavimas. Galimas ir gryno vandenilio naudojimas. Tokiu atveju nereikalingos automobilyje vandenilio išgavimo iš degalų sistemos.

Mažesnė teršalų emisija ir aukštesnis efektyvumas yra dideli kuro kamerų pranašumai prieš VDV.

1.5.2. Biodyzelinas

Pagrindinis komponentas yra metilo esteris, gaunamas iš žemės ūkio produktų ir biomasės. Tai atsinaujinantis kuras, kadangi gaminamas iš sojų (JAV) ar rapsų (Europoje). Kiti metilo esterio šaltiniai: grūdai, medvilnės sėklos, žemės riešutai, saulėgrąžos, gyvulinės kilmės riebalai [27,30].

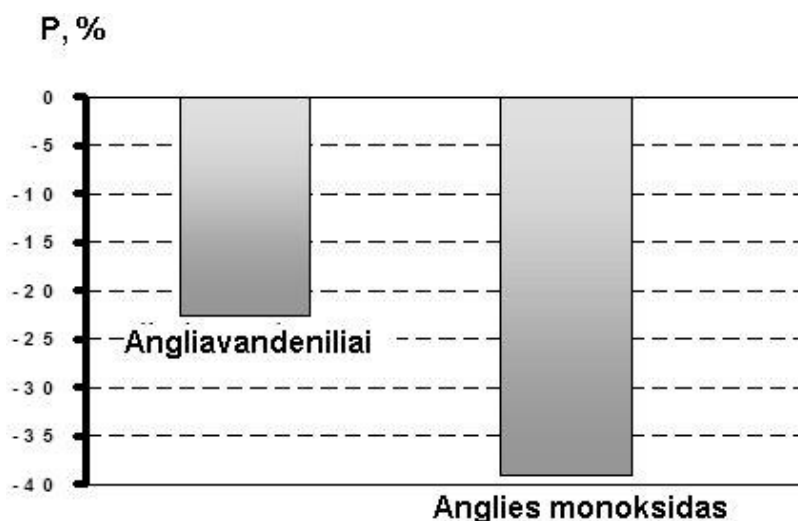
Biodyzelinas gaunamas kataliziniame procese, naudojant alkoholį (metilo alkoholį) ir katalizatorių. Metanolis sumaišomas su sodos hidroksidu ir sojos aliejumi. Susidaręs glicerinas nusėsta. Šiame procese susidaro riebiūs esteriai, kurie vėliau išskaidomi į dvi fazes. Vėliau iš pirmos fazės lengvai pašalinamas glicerinas. Likęs alkoholio/esterio mišinys atskiriamas ir alkoholio perteklius vėl tiekiamas į kitą ciklą. Toliau esteriai valomi: šalinamas vanduo, filtruojama. Šis gamtos dyzelinas turi aukštesnį cetaninį skaičių. Šilumingumas, klampumas ir fazės yra panašios kaip ir naftinės kilmės dyzelino. Biodyzelinas dažnai maišomas su 20 % naftiniu dyzelinu, kurio sudėtyje mažai sieros.

Biodyzelinas tirpina kai kurias gumos rūšis, todėl degalų tiekimo linijos turi būti pritaikytos biodyzelinui. Biodyzelinas drumsčiasi ir kondensuojasi aukštesnėse temperatūroje nei įprastas dyzelinas.

Taigi, pirminiai biodyzelino privalumai yra dūmingumo sumažinimas, jo atsinaujinimas ir paprastas pritaikymas vidaus degimo varikliuose [27].

1.5.3. Sintetinis dyzelinas

Tai iš gamtinių dujų išgauti degalai. Jie yra ekologiškai švaresni lyginant su naftinės kilmės dyzelinu (7 pav.) [27,30].



7 pav. Sintetinio dyzelino deginių emisijos palyginimas (%) su naftinės kilmės dyzelinu

1.5.4. Dimetilo eteris

Tai oksiduotas angliavandenilis (CH_3OCH_3), kuris yra paprasčiausias eterių klasės junginys. Dažniausiai gaminamas iš gamtinių dujų, bet gali būti išgaunamas ir iš žalios naftos, akmens anglių, pasėlių likučių, medienos ir šiaudų. Jo cetaninis skaičius siekia iki 55 vienetų. Degant mažai susidaro kietųjų dalelių ir sieros junginių. Naudojant deginių grąžinimo sistemą ir modifikuotą

degalų tiekimo sistemą galima žymiai sumažinti NO_x emisiją. Dimetilo eterio energinis tankis sudaro 50 % dyzelino energinio tankio [30]..

Dimetilo eteris pasižymi prastomis tepimo ir klampumo savybėmis. Aplinkos sąlygomis dimetilo eteris yra dujinio būvio, todėl automobilyje turi būti laikomas suslėgtas (suskystintas).

1.5.5. Vandenilis

Vandenilis naudojamas kuro kameroje ir Vankelio variklyje. Tai gausiausias visatoje elementas, sudarantis 75 % visatos masės. Vandenilio degimo produktas yra tik vanduo.

Nors jo kiekiai labai dideli, tačiau norint jį išgauti iš įvairių junginių, reikia daug energijos. Yra keli vandenilio išgavimo būdai:

- a) iš gamtinių dujų, veikiant aukštos temperatūros garu, išgaunamas H_2 , CO ir CO_2 . CO dar praleidžiamas su garu, kad susidarytų dar daugiau H_2 ir CO_2 . Efektyvumas 70-75 %. Tai labiausiai paplitęs būdas.
- b) Elektrolizė – elektros energija suskaido vandenį į H_2 ir deguonį ($2\text{H}_2 + \text{elektros energija} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$).
- c) Pirolizė – vandenilis išgaunamas iš kieto kuro ar biomasės bedeguoninėje aplinkoje.
- d) Fotoelektrolizė – vandenilį išgauna saulės šviesos energija.
- e) Fotobiologiniai procesai.

Vandenilis yra nauja ir perspektyvi alternatyvaus kuro rūšis. Šiuo metu daromi įvairūs tyrimai ir intensyviai dirbama šioje srityje.

2. VIDAUS DEGIMO VARIKLIO (VDV), VEIKIANČIO ĮVAIRIAIS ALTERNATYVIAIS DEGALAIS IR JŲ MIŠINIAIS, ŠILUMOS CIKLO TYRIMAS

Skaičiavimų tikslas yra nustatyti ir palyginti pagrindinius vidaus degimo variklio šilumos ciklo parametrus, kai naudojami įvairūs alternatyvūs degalai ir jų mišiniai.

Teoriškai bus skaičiuojamas kibirkštinio uždegimo variklio šilumos ciklas. Pagrindiniai automobilio VW Passat 1,6 (1992 m.) variklio parametrai:

- a) variklio darbinis tūris $V_l = 1,595 \text{ dm}^3$;
- b) suslėgimo laipsnis $\varepsilon = 8,2$;
- c) cilindrų skaičius $i=4$;
- d) stūmoklio skersmuo $D = 81 \text{ mm}$;
- e) stūmoklio eiga $S = 77,4 \text{ mm}$;
- f) vardiniai sūkliai $n_p = 5200 \text{ aps/min}$.

Teoriškai skaičiuoti tokie degalai ir jų mišiniai: benzinas, etanolis, 75 % benzino ir 15 % etanolio mišinys (E15), 85 % benzino ir 25 % etanolio mišinys (E25), metanolis, 75 % benzino ir 15 % metanolio mišinys (M15), 85 % benzino ir 25 % metanolio mišinys (M25), suskystintos naftos dujos (LPG), sąvartyno biodujos (60% CH₄ ir CO₂ 40%), nuotekų biodujos (70% CH₄ ir CO₂ 30%).

Variklio šilumos ciklo skaičiavimo pagal metodiką [3, 6, 7, 12, 16] rezultatai, kai variklio alkūninio veleno sūkliai vardiniai, pateikti 12-oje lentelėje.

Pateikiamos tik svarbiausios skaičiavimo formulės ir pastabos.

Benzino ir etanolio (metanolio) mišinių kaitringumas, kiekvieno cheminio elemento kiekis mišinyje bei mišinio molekulinė masė nustatyti analitiniu būdu [12]. Etanolio-benzino bei metanolio-benzino mišinių kaitringumas nustatytas:

$$H_m = E(H_e - H_b) + H_b, \quad (1)$$

čia: E – etanolio(metanolio) tūrio dalis, %;

H_e - etanolio(metanolio) kaitringumas, MJ/kg;

H_b - benzino kaitringumas, MJ/kg.

Visi benzino ir etanolio mišinių fizikiniai ir cheminiai rodikliai pateikti 11-oje lentelėje.

Priimame, kad oro pertekliaus koeficientas $\alpha = 0,95$. Tada teorinis būtinas oro kiekis:

$$L_0 = 4,762(0,25H + 0,0833C - 0,0312O_2), \quad (2)$$

čia: H, C ir O_2 – masinės atitinkamų cheminių elementų dalys mišinyje (11 lentelė).

Naudojant benzino – alkoholio mišinį, sumažėja teorinis būtinas oro kiekis lyginant su grynu benzinu. Taip yra dėl to, jog alkoholių sudėtyje yra deguonies, todėl alkoholio-benzino mišinys geriau sudega ir sudaro mažiau nevysiško degimo produktų.

Skaičiuojant biodujas, būtina atkreipti dėmesį, kad nemažą biodujų dalį sudaro nedegus anglies dioksidas (CO_2), todėl pagrindinis cheminės energijos šaltinis yra metanas (CH_4). Kuo didesnė metano tūrinė dalis biodujose, tuo jos kaitringesnės [11].

Degiojo mišinio kiekis moliais:

$$M_1 = \alpha L_0 + \frac{1}{m_d}, \quad (3)$$

čia: m_d – degalų molekulinė masė (1 lentelė).

Anglies monoksido CO deginiuose kiekis, kmol/kg:

$$M_{CO} = 0,42(1 - \alpha)L_0. \quad (4)$$

Anglies dvideginio CO_2 deginiuose kiekis, kmol/kg:

$$M_{CO_2} = 0,0833(C - 5,04(1 - \alpha))L_0. \quad (5)$$

Vandens garų H_2O deginiuose kiekis, kmol/kg:

$$M_{H_2O} = 0,5H. \quad (6)$$

Azoto N_2 deginiuose kiekis:

$$M_{N_2} = 0,79\alpha L_0. \quad (7)$$

Remiantis gautais skaičiavimų rezultatais, matyti, jog naudojant alkoholių-benzino mišinius, bendras deginių kiekis sumažėja. Didinant alkoholio koncentraciją benzino – alkoholio mišinyje, mažėja susidarančių deginių kiekis. Pabrėžtina, jog mažesni išmetamųjų deginių kiekiai gaunami skaičiuojant benzino – metanolio mišinius.

Biodujų bendras išmetamųjų deginių kiekis pats mažiausias. Ypač mažas anglies dvideginio kiekis. Todėl norint sumažinti šiltnamio efektą, biodujos turėtų būti prioritetas kuras.

Remiantis variklio konstrukcija parenkamas šviežio mišinio pašildymas ΔT . Pabrėžtina, jog alkoholiai pasižymi didele garavimo šiluma, todėl garuojant benzino – alkoholio mišiniui įsiurbimo kolektoriuje, oro-degalų mišinys atvėsta (galima net neigiama temperatūra [5,12]), todėl naudojant alkoholių – benzino mišinius, šviežio mišinio temperatūra parinkta mažesnė (12 lentelė).

Pripildymo koeficientas, įvertinantis siurbimo proceso tobulumą:

$$\eta_v = \left(\frac{1}{\varepsilon - 1} \right) \left(\frac{1}{p_0} \right) \left(1 + \frac{T_0}{\Delta T} \right) (\varphi_p \varepsilon p_a - p_r), \quad (8)$$

čia: p_0, T_0 - aplinkos oro slėgis ir temperatūra.

Normaliomis sąlygomis imama $p_0 = 0,1013 \text{ MPa}$, $T_0 = 293 \text{ K}$ [16];

p_a - įsiurbimo pabaigos slėgis, MPa.

Pastebėtina, jog pripildymo koeficientas didžiausias, kai naudojami benzino – alkoholio mišiniai. Taip yra dėl to, jog benzino – alkoholio mišinys garuodamas atvėsina degalų – oro mišinį įsiurbimo kolektoriuje ir padidina pripildymo koeficientą.

Liekamųjų deginių koeficientas:

$$\gamma = \frac{T_1 p_r}{T_r (\epsilon p_a - p_r)}. \quad (9)$$

Įsiurbimo pabaigos temperatūra:

$$T_a = \frac{T_a + \gamma T_r}{1 + \gamma}. \quad (10)$$

Šilumos nuostoliai dėl neviseiško sudegimo:

$$\Delta H_a = 120000(1 - \alpha)L_0. \quad (11)$$

Kadangi alkoholiai savo sudėtyje turi deguonies molekules, tai oro – degalų mišinys sudega geriau ir susidaro mažesni šilumos nuostoliai dėl neviseiško degimo (žiūr. 12 lentelę).

Degiojo mišinio degimo šiluma:

$$H_{d.m.} = 33,91C + 125,60H - 10,89O - 2,51(9H + W), \quad (12)$$

čia: C, H, O_2, W – anglies, vandenilio, deguonies ir drėgmės masės dalys.

Mažiausia degiojo mišinio degimo šiluma gauta skaičiuojant dujinius degalus, todėl naudojant dujinius degalus, variklio galia sumažėja.

Teorinis indikatorinis slėgis, MPa:

$$p_i' = \frac{p_c}{\epsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\epsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\epsilon^{n_1 - 1}} \right) \right], \quad (13)$$

čia: p_c - suslėgimo slėgis, MPa (žiūr. 12 lentelę);

λ - slėgio padidėjimo laipsnis;

n_1, n_2 - slėgimo ir plėtimosi politropės rodikliai [2].

Didžiausias indikatorinis slėgis gautas skaičiuojant M25 mišinį. Įmaišant alkoholių vidutinis indikatorinis slėgis didėja atitinkamai, didinant alkoholio kiekį mišinyje. Vidutinis indikatorinis slėgis lems ir galios padidėjimą. Naudojant dujas, indikatorinis slėgis mažiausias.

Atitinkamai padidėja ir vidutinis efektyvusis slėgis:

$$p_e = p_i - p_m, \quad (14)$$

čia: p_i - vidutinis indikatorinis slėgis, MPa;

p_m - vidutinis mechaninių nuostolių slėgis, MPa [3, 16].

11 lentelė. Degalų ir jų mišinių fizikiniai ir cheminiai rodikliai

Rodikliai \ Degalai	Benzinas	Etanolis (E)	Mišinys E15	Mišinys E25	Metanolis (M)	Mišinys M15	Mišinys M25	LPG	Sąvartyno biudujos	Nuotekų biudujos
Sudėtis	-	100% E	15% E	25% E	100% M	15% M	25% M	75% propano	60% CH ₄ ir 40% CO ₂	70% CH ₄ ir 30% CO ₂
Molekulinė masė	115,0	46,0	104,7	97,75	32,0	102,6	94,25	47,20	27,2	24,4
Apatinis kaitringumas H_a , MJ/kg	44,0	27,0	41,5	39,75	20,0	40,4	38,0	46,28	18,80	23,49
Elementinė sudėtis, kg/kg										
C	0,850	0,520	0,8005	0,7675	0,3750	0,7787	0,7313	0,8208	0,2647	0,3443
H	0,150	0,130	0,1470	0,1450	0,1250	0,1463	0,1437	0,1792	0,0882	0,1148
O	-	0,350	0,0525	0,0875	0,5000	0,0750	0,1250	-	-	-
Kaitringumas lyginant su benzinu, %	100	61	94	90	45	92	86	77	43	53

12 lentelė. Variklio šilumos ciklo skaičiavimo rezultatai, naudojant įvairius degalus ir degalų mišinius

Parametrai \ Degalai	Benzinas	E15	E25	M15	M25	LPG	Sąvartyno biudujos*	Nuotekų biudujos**
Alkūninio veleno sūkliai n , min ⁻¹	5200	5200	5200	5200	5200	5200	5700	5700
Oro pertekliaus koeficientas α	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Teorinis būtinas oro kiekis L_o , kmol/kg	0,5208	0,4895	0,4686	0,4766	0,4469	0,5442	0,2121	0,2759
Teorinis būtinas oro kiekis l_o , kg/kg	15,07	14,16	13,56	13,79	12,93	15,75	6,14	7,98
Degiojo mišinio kiekis M_I , kmol/kg	0,5035	0,4746	0,4554	0,4625	0,4352	0,5382	0,2382	0,3031
Degiojo mišinio kiekis m_I , kg/kg	15,32	14,46	13,88	14,10	13,29	15,96	6,83	8,59
Anglies monoksido CO deginiuose kiekis M_{CO} , kmol/kg	0,01083	0,01035	0,01002	0,01015	0,00969	0,01132	0,00441	0,00574

12 lentelės tęsinys

Parametrai \ Degalai	Benzinas	E15	E25	M15	M25	LPG	Sąvartyno biudžijos*	Nuotekų biudžijos**
Anglies dvideginio CO_2 deginiuose kiekis M_{CO_2} , kmol/kg	0,06000	0,05636	0,05394	0,05475	0,05126	0,05708	0,03235	0,03525
Vandens garų H_2O deginiuose kiekis M_{H_2O} , kmol/kg	0,07500	0,07350	0,07250	0,07315	0,07185	0,08960	0,04410	0,05740
Azoto N_2 kiekis deginiuose M_{N_2} , kmol/kg	0,3909	0,3674	0,3517	0,3577	0,3354	0,4084	0,1592	0,2071
Bendras deginių kiekis M_2 , kmol/kg	0,5367	0,5076	0,4882	0,4957	0,4682	0,5664	0,2400	0,3055
Cheminis molinio pokyčio koeficientas μ_0	1,066	1,070	1,072	1,072	1,076	1,052	1,008	1,008
Tikrasis molinio pokyčio koeficientas μ	1,062	1,066	1,068	1,068	1,072	1,049	1,007	1,007
Likusių deginių slėgis p_r , MPa	0,1190	0,1190	0,1190	0,1190	0,1190	0,1190	0,1190	0,1190
Likusių deginių temperatūra T_r , K	1057	1046	1041	1039	1034	980	995	992
Šviežio mišinio pašildymas ΔT , K	8	3	2	0	-1	15	15	15
Išsiurbimo slėgio nuostoliai Δp_a , MPa	0,01366	0,01366	0,01366	0,01366	0,01366	0,01366	0,01366	0,01366
Išsiurbimo pabaigos slėgis p_a , MPa	0,08764	0,08764	0,08764	0,08764	0,08764	0,08764	0,08764	0,08764
Pripildymo koeficientas η_v	0,8803	0,8952	0,8982	0,9044	0,9075	0,8603	0,8603	0,8603
Likusių deginių koeficientas γ_r	0,05771	0,05759	0,05740	0,05701	0,05681	0,06237	0,06301	0,06301
Išsiurbimo pabaigos temperatūra T_a , K	341,1	335,4	334,4	332,2	331,1	347,5	347,2	347,2

12 lentelės tęsinys

Degalai	Benzinas	E15	E25	M15	M25	LPG	Sąvartyno biudžijos*	Nuotekų biudžijos**
Parametrai								
Suslėgimo slėgis p_c , MPa	1,430	1,430	1,430	1,430	1,430	1,409	1,409	1,409
Suslėgimo temperatūra T_c , K	678,6	667,4	665,3	661,0	658,9	681,3	680,9	680,9
Šilumos nuostoliai dėl nevisiško degimo ΔH_a , kJ/kg	3124	2936	2811	2858	2680	3264	1272	1655
Degiojo mišinio degimo šiluma $H_{d.m.}$, kJ/kg	76756	76834	76707	76799	76796	75233	69218	67767
Šilumos panaudojimo koeficientas ξ	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,88	0,88	0,88
Degimo pabaigos temperatūra T_z , K	2784	2770	2758	2759	2746	2693	2560	2547
Degimo pabaigos slėgis p_z , MPa	6,233	6,324	6,332	6,374	6,388	5,846	5,335	5,310
Slėgio padidėjimo laipsnis λ	4,359	4,422	4,428	4,457	4,467	4,149	3,786	3,768
Išsiplėtimo slėgis p_b , MPa	0,4492	0,4557	0,4563	0,4593	0,4604	0,3955	0,3686	0,3669
Išsiplėtimo temperatūra T_b , K	1645	1637	1630	1630	1623	1494	1450	1443
Teorinis indikatorinis slėgis p'_i , MPa	1,114	1,135	1,137	1,146	1,150	0,991	0,890	0,884
Vidutinis indikatorinis slėgis p_i , MPa	1,038	1,058	1,060	1,069	1,072	0,930	0,832	0,826
Indikatorinis naudingumo koeficientas η_i	0,3186	0,3182	0,3174	0,3182	0,3171	0,2902	0,2488	0,2574
Lyginamosios indikatorinės degalų sąnaudos b_i , g/(kW·h)	256,8	272,6	285,3	280,0	298,7	268,1	769,6	595,3
Vidutinis mechaninių nuostolių slėgis p_m , MPa	0,2175	0,2175	0,2175	0,2175	0,2175	0,2175	0,2297	0,2297
Vidutinis efektyvusis slėgis p_e , MPa	0,8210	0,8408	0,8425	0,8517	0,8549	0,7128	0,6020	0,5966

12 lentelės tęsinys

Parametrai \ Degalai	Benzinas	E15	E25	M15	M25	LPG	Sąvartyno biudujos*	Nuotekų biudujos**
Mechaninis naudingumo koeficientas η_m	0,7906	0,7945	0,7948	0,7966	0,7972	0,7662	0,7238	0,7220
Efektyvusis naudingumo koeficientas η_e	0,2519	0,2528	0,2523	0,2535	0,2528	0,2223	0,1801	0,1859
Lyginamosios efektyvios degalų sąnaudos b_e , g/(kW·h)	324,8	343,2	358,9	351,5	374,7	349,9	1063,2	824,5
Efektyvioji galia N_e , kW	56,75	58,11	58,23	58,86	59,08	49,27	45,61	45,20
Efektyvusis sukimo momentas M_s , N·m	104,21	106,72	106,93	108,10	108,50	90,47	76,41	75,72
Valandinės degalų sąnaudos G_v , kg/h	18,43	19,94	20,90	20,69	22,14	17,24	48,49	37,27
Lyginamosios energijos sąnaudos e , MJ/(kW·h)	14,29	14,24	14,27	14,20	14,24	16,19	19,99	19,37
Bendras sudegusių degalų šilumos kiekis Q , J/s	225261	229876	230775	232221	233703	221591	253223	243164
Šiluma, ekvivalenti efektyviam darbui Q_e , J/s	56746	58111	58230	58864	59085	49266	45607	45198
Šiluma, atiduota aušinti Q_a , J/s	69033	71071	71073	71070	71086	71087	75761	75534
Šiluma, prarasta su deginiais Q_d , J/s	77653	79878	80618	81180	82178	75662	91876	88911
Šiluma, neišsiskyrusi dėl neviseiško degimo Q_n , J/s	15992	16262	16317	16429	16485	15628	17131	17131
Kiti šilumos nuostoliai Q_k , J/s	5837	4554	4536	4677	4869	9948	22848	16391

* - toliau sąvartyno dujos vadinamos “Biodujos1”

** - toliau nuotekų biudujos vadinamos “Biodujos 2”

13 lentelė. Lyginamosios efektyvios degalų sąnaudos, varikliui veikiant įvairiais degalais, b_e , g/(kW·h)

Degalai	Alkūninio veleno sūkliai n , min ⁻¹										
	600	1284	1968	2652	3336	4020	4704	5388	6072	6756	7440
Benzinas	349,10	318,78	296,10	281,06	273,66	273,90	281,79	297,32	320,49	351,30	389,75
E15	368,84	336,80	312,84	296,95	289,13	289,39	297,72	314,13	338,60	371,16	411,78
E25	385,80	352,29	327,22	310,60	302,43	302,70	311,41	328,57	354,17	388,22	430,72
M15	377,85	345,03	320,48	304,20	296,20	296,46	304,99	321,80	346,88	380,22	421,84
M25	402,77	367,78	341,62	324,27	315,73	316,01	325,11	343,02	369,75	405,30	449,66
LPG	376,07	343,40	318,97	302,77	294,80	295,06	303,56	320,28	345,24	378,43	419,85
Biodujos1	894,41	814,98	755,31	715,40	695,26	694,88	714,26	753,41	812,32	890,99	989,42
Biodujos2	1153,33	1050,91	973,96	922,51	896,53	896,04	921,04	971,51	1047,48	1148,92	1275,85

14 lentelė. Lyginamosios efektyvios variklio energijos sąnaudos e , MJ/(kW·h)

Degalai	Alkūninio veleno sūkliai n , min ⁻¹										
	600	1284	1968	2652	3336	4020	4704	5388	6072	6756	7440
Benzinas	15,36	14,03	13,03	12,37	12,04	12,05	12,40	13,08	14,10	15,46	17,15
E15	15,31	13,98	12,98	12,32	12,00	12,01	12,36	13,04	14,05	15,40	17,09
E25	15,34	14,00	13,01	12,35	12,02	12,03	12,38	13,06	14,08	15,43	17,12
M15	15,27	13,94	12,95	12,29	11,97	11,98	12,32	13,00	14,01	15,36	17,04
M25	15,31	13,98	12,98	12,32	12,00	12,01	12,35	13,03	14,05	15,40	17,09
LPG	17,40	15,89	14,76	14,01	13,64	13,66	14,05	14,82	15,98	17,51	19,43
Biodujos1	21,01	19,14	17,74	16,80	16,33	16,32	16,78	17,70	19,08	20,93	23,24
Biodujos2	21,68	19,76	18,31	17,34	16,85	16,85	17,32	18,26	19,69	21,60	23,99

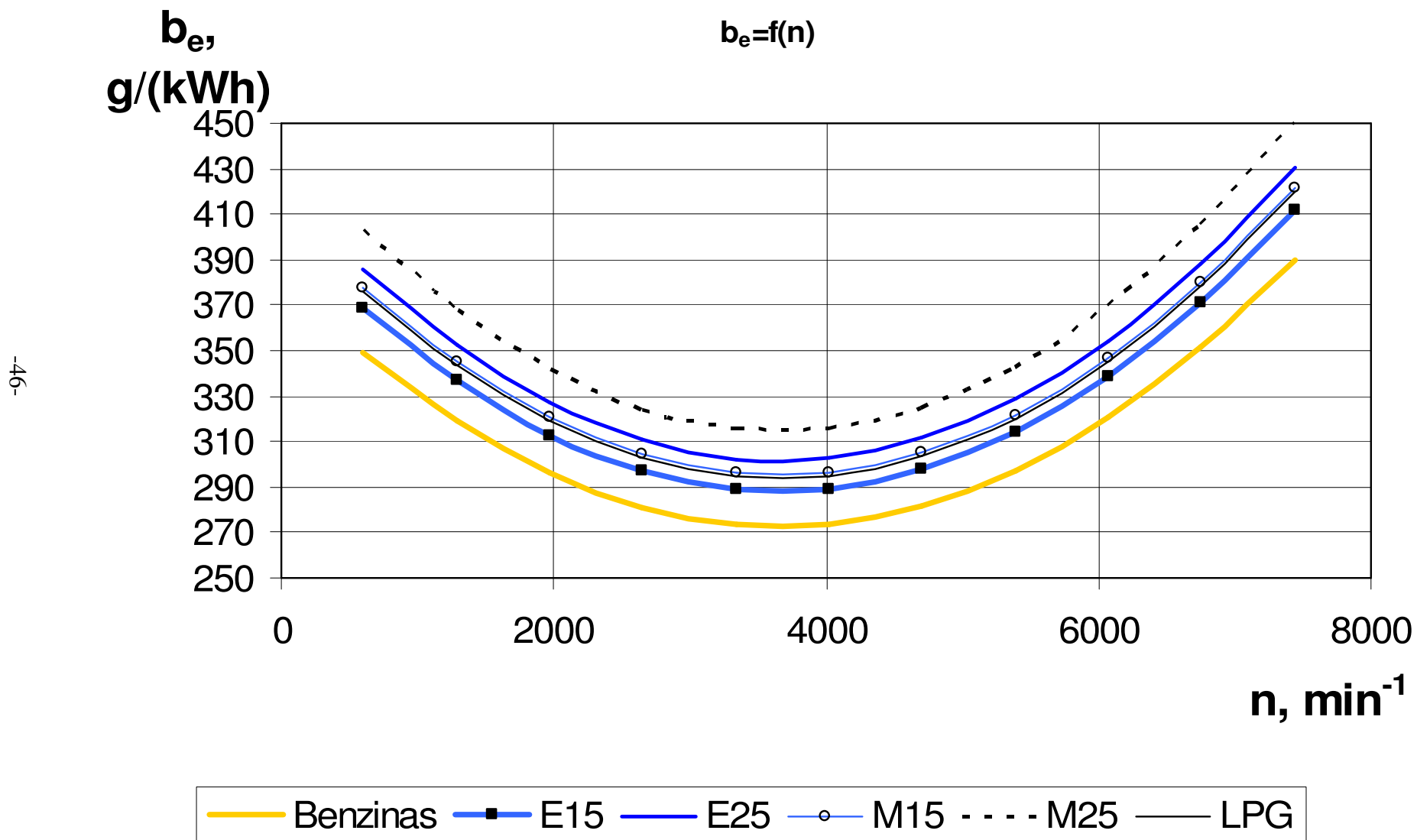
15 lentelė. Variklio išplėtojama efektyvioji galia P_e , kW

Degalai	Alkūninio veleno sūkliai n, min^{-1}										
	600	1284	1968	2652	3336	4020	4704	5388	6072	6756	7440
Benzinas	7,22	14,91	23,04	31,18	38,88	45,72	51,27	55,07	56,71	55,75	51,75
E15	7,39	15,27	23,60	31,93	39,82	46,82	52,50	56,40	58,08	57,09	53,00
E25	7,40	15,30	23,64	31,99	39,90	46,92	52,61	56,51	58,20	57,21	53,11
M15	7,49	15,47	23,90	32,34	40,33	47,43	53,18	57,13	58,83	57,83	53,68
M25	7,51	15,52	23,99	32,46	40,49	47,61	53,38	57,34	59,05	58,05	53,89
LPG	6,26	12,94	20,00	27,07	33,76	39,70	44,51	47,81	49,24	48,40	44,93
Biodujos1	5,21	11,34	17,86	24,42	30,64	36,18	40,69	43,80	45,17	44,42	41,22
Biodujos2	5,25	11,44	18,03	24,64	30,92	36,51	41,06	44,20	45,57	44,83	41,59

-45-

16 lentelė. Variklio sukuriamas sukimo momentas $T_s, \text{N}\cdot\text{m}$

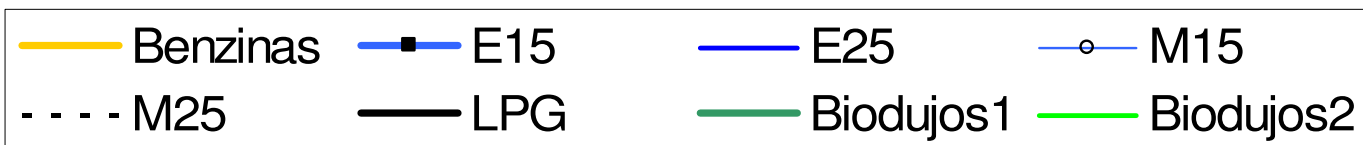
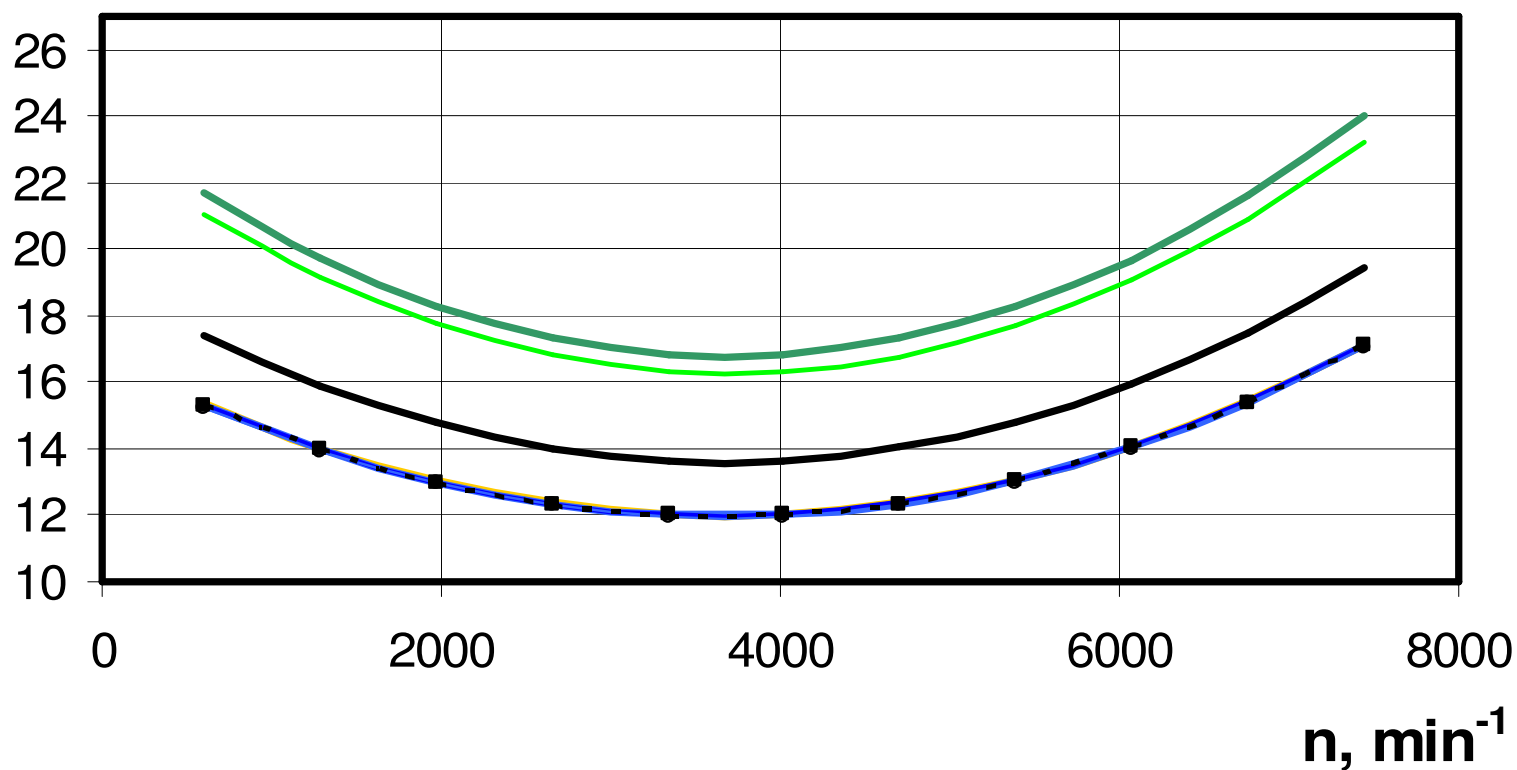
Degalai	Alkūninio veleno sūkliai n, min^{-1}										
	600	1284	1968	2652	3336	4020	4704	5388	6072	6756	7440
Benzinas	119,58	127,35	132,58	135,25	135,37	132,93	127,94	120,40	110,31	97,66	82,46
E15	119,13	126,88	132,08	134,74	134,86	132,44	127,47	119,95	109,90	97,30	82,16
E25	117,61	125,26	130,39	133,02	133,14	130,74	125,84	118,42	108,49	96,05	81,10
M15	117,85	125,51	130,66	133,29	133,41	131,01	126,09	118,66	108,71	96,25	81,27
M25	99,71	106,19	110,55	112,77	112,87	110,84	106,68	100,39	91,98	81,43	68,76
LPG	114,84	122,31	127,33	129,89	130,01	127,67	122,88	115,64	105,94	93,80	79,20
Biodujos1	82,85	88,49	92,31	94,32	94,51	92,89	89,45	84,20	77,13	68,25	57,55
Biodujos2	83,60	89,29	93,15	95,17	95,36	93,73	90,26	84,96	77,83	68,86	58,07



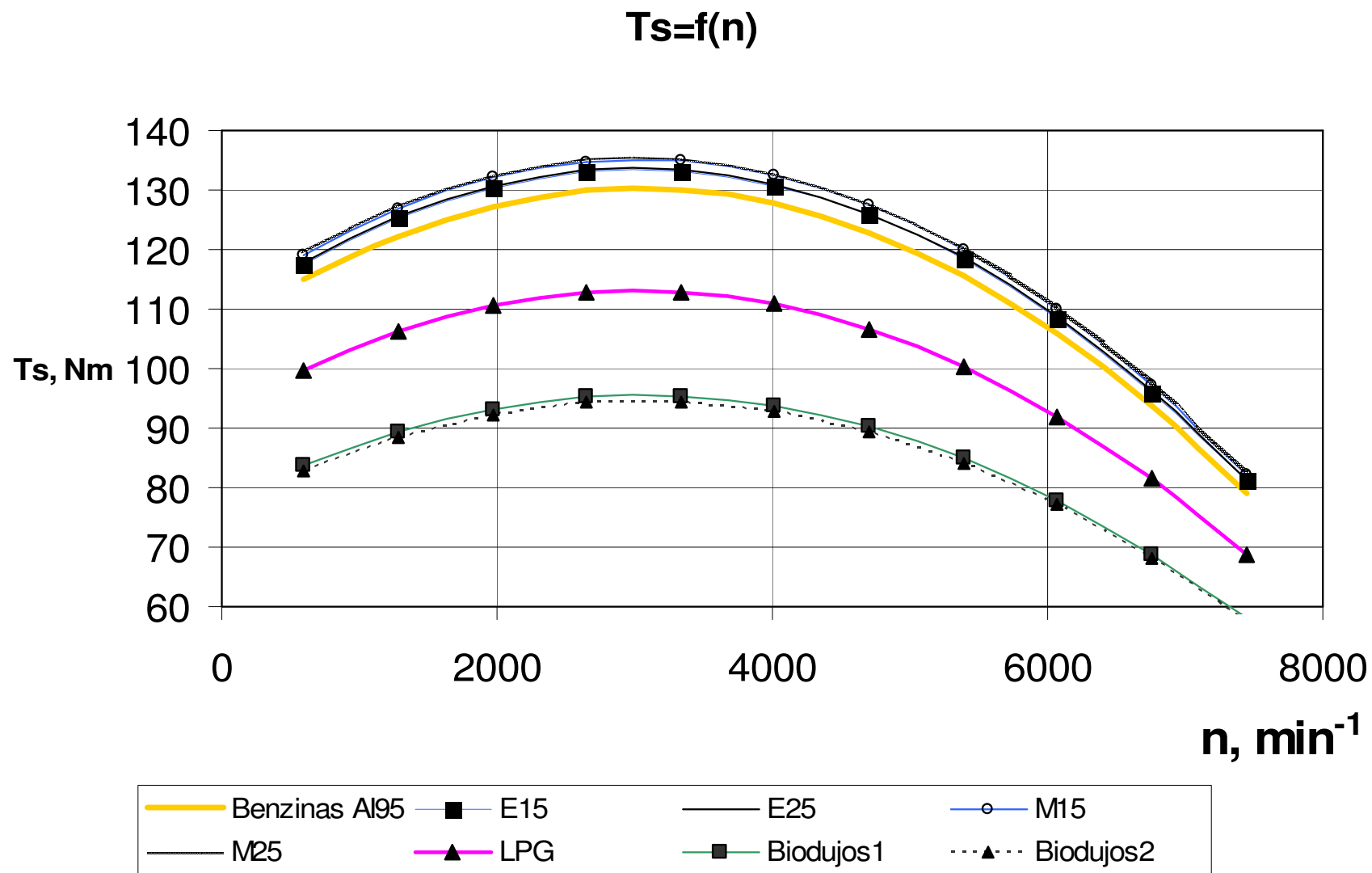
8 pav. Lyginamosios efektyvios degalų sąnaudos

$e,$
 $g/(kWh)$

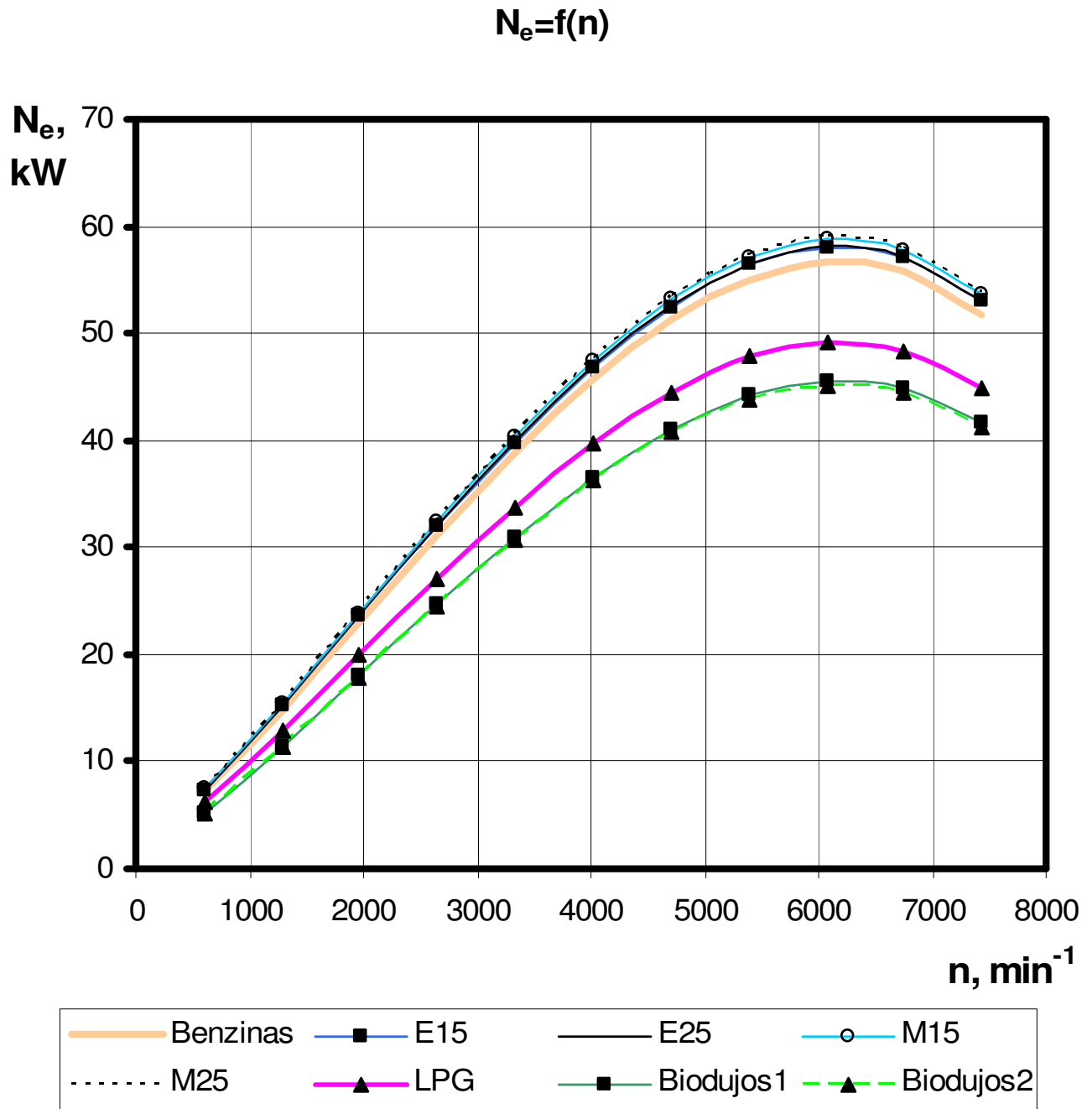
$e=f(n)$



9 pav. Lyginamosios efektyvios variklio energijos sąnaudos e , $MJ/kW \cdot h$



10 pav. VDV, veikiančio įvairiais degalais, teorinė greičio charakteristika



11 pav. VDV, veikiančio įvairiais degalais, galios priklausomybė nuo alkūninio veleno sūkių

Naudojant benzino – alkoholių mišinius padidėja efektyvusis naudingumo koeficientas:

$$\eta_e = \frac{p_e \alpha L_0}{H_a \eta_v \rho_0}, \quad (15)$$

čia: H_a - degalų šilumingumas, MJ/kg;

η_v - pripildymo koeficientas.

Lyginamosios efektyvios degalų sąnaudos:

$$b_e = \frac{3600 \rho_0 \eta_v}{p_e \alpha_0}. \quad (16)$$

Norint palyginti energijos sąnaudas, kai variklis veikia įvairiais degalais, lyginamosios efektyvios degalų sąnaudos perskaičiuojamos į lyginamasias energijos sąnaudas e , MJ/kW·h. Jos pateiktos 14-oje lentelėje.

$$e = b_e H_a. \quad (17)$$

Efektyvioji galia:

$$P_e = \frac{2 p_e V_l n_N}{\tau}, \quad (18)$$

čia: τ - taktų skaičius;

n_N - vardiniai sūkliai, min^{-1} .

Variklio sukuriamas sukimo momentas:

$$T_s = 9,55 \frac{P_e}{n_N}. \quad (19)$$

Teorinės variklio, veikiančio įvairiais degalų mišiniais, greičio charakteristikos pateiktos 8, 9, 10 ir 11 pav.

2.1. Šiluminio ciklo tyrimo rezultatai

1) Naudojant įvairius alternatyviuosius degalus ir jų mišinius su benzinu padidėja lyginamosios degalų sąnaudos b_e :

a) įmaišius į benziną 15 % tūrio etanolio b_e padidėja 5,6 %, o įmaišius 25 % etanolio - b_e padidėja 10,4 %;

b) įmaišius į benziną 15 % tūrio metanolio b_e padidėja 8,1 %, o įmaišius 25 % metanolio - b_e padidėja 15,2 %;

c) naudojant suskystintas naftos dujas b_e padidėja 8,5 %;

d) naudojant sąvartyno biodujas b_e padidėja 3,2 karto lyginant su benzino sąnaudomis, naudojant nuotekų biodujas – 2,5 karto (todėl biodujas būtina suslėgti didelio slėgio balionuose).

2) Variklio, veikiančio benzino etanolio mišiniais, vidutinis indikatorinis slėgis p_i padidėja 2 %, o veikiančio benzino metanolio mišiniais – 3 %. Efektyvusis naudingumo koeficientas η_e veikiant benzino etanolio ir benzino metanolio mišiniais padidėja 1 %, todėl pasiekama variklio efektyvioji galia N_e ir variklio sukimo momentas M_s padidėja 2...4 %.

Variklio, naudojančio suskystintas naftos dujas vidutinis indikatorinis slėgis p_i sumažėja 11 %, o naudojant biodujas – p_i sumažėja net 20 %. Naudojant suskystintas naftos dujas ir biodujas sumažėja ir efektyvusis naudingumo koeficientas η_e atitinkamai 12 % ir 26...28 %, todėl variklio efektyvioji galia N_e 25 %.

3) Veikiant varikliui benzinu ir benzino-etanolio bei benzino-metanolio mišiniais lyginamosios energijos sąnaudos e yra apylygės. Tačiau naudojant suskystintas naftos dujas ir biodujas lyginamosios energijos sąnaudos padidėja atitinkamai 12 % ir 26 %.

4) Benzino ir etanolio bei benzino ir metanolio mišinių deginiuose susidarančio anglies monoksido CO, anglies dvideginio CO₂ ir azoto oksidų NO_x teorinis kiekis yra mažesnis (mišinio E15 – 5 %, mišinio E25 – 8 %, mišinio M15 – 7 %, mišinio M25 – 12 %) mišinio negu degant grynam benzinui.

Naudojant biodujas teoriniai deginiuose susidarančių anglies monoksido CO, anglies dvideginio CO₂ ir azoto oksidų NO_x kiekiai yra 1,7...2,4 karto mažesni negu degant grynam benzinui.

3. Eksperimentinė dalis

Eksperimento tikslas - nustatyti vidaus degimo variklio (žr. 2 sk.), veikiančio nuotekų biodujomis, greičio charakteristikas.

Bandymai atlikti VGTU Automobilių transporto katedros laboratorijoje (J. Basanavičiaus g. 28).

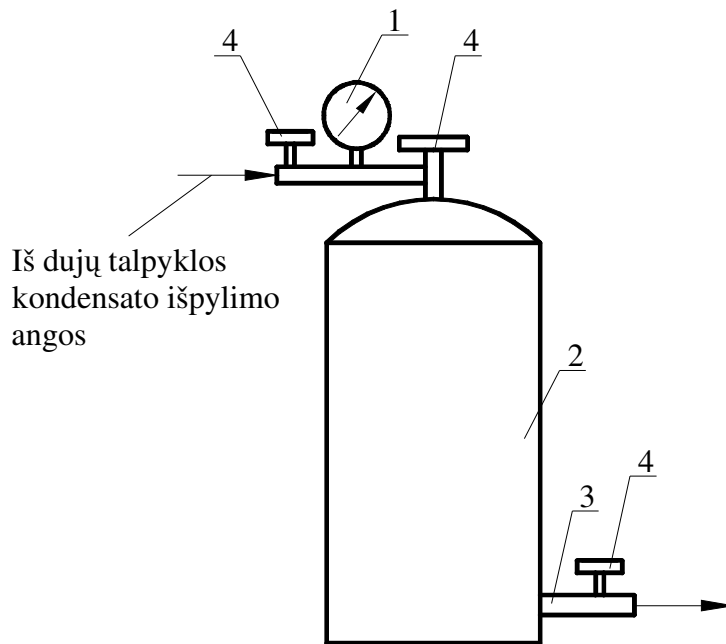
Eksperimento eiga. Atliekant bandymus naudotos Kauno nuotekų biodujos iš AB “Kauno vandenys” nuotekų valyklos. 100 l gamtinių dujų balionas buvo pripildytas biodujų 10 bar slėgiu iš dujų talpyklos (12 pav.) per kondensato išpylimo angą (13 pav.).



12 pav. Dujų talpykla



13 pav. Biodujų kondensato išpylimo anga



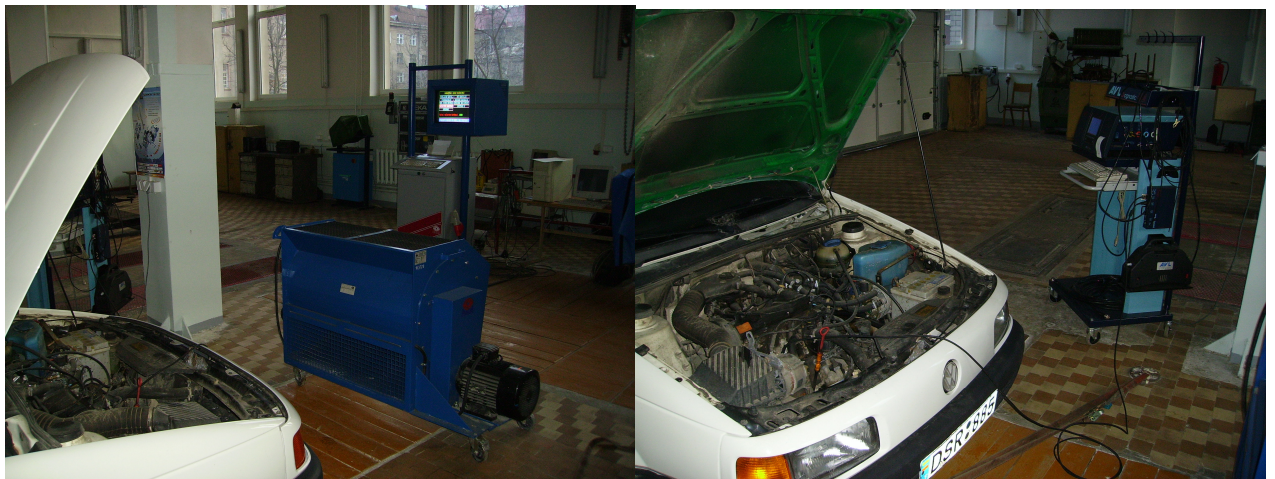
14 pav. Biodujų prileidimo schema

1- manometras; 2 – 100 l dujų balionas; 3 – prapūtimo anga; 4 – ventilis.

Eksperimentai atlikti su automobiliu Vokswagen Passat 1.6 (1992 m.) valst. Nr. DSR 885. Automobilio variklis – benzininis su įmontuota suskystintų naftos dujų įranga.

Pirmasis eksperimento etapas – bandymai naudojant 95 OS markės benzina.

VDV greičio charakteristikoms nustatyti naudojamas traukos stendas MAHA LPS 2000(žr. 15 pav.).



15 pav. Galios diagnostika traukos stendu MAHA LPS 2000

Pirmo etapo tikslas – nustatyti VDV, veikiančio benzinu, greičio charakteristikas.

Antrasis etapas – bandymai naudojant Kauno nuotekų biodujas. Suskystintų dujų balionas atjungiamas nuo automobilio suskystintų dujų įrangos. Prijungiamas 100 l talpos balionas, kuriame suslėgtos biodujos iki 10 bar.

Variklis perjungiamas dirbti biodujomis. Atliekama galios diagnostika būgniniu traukos stendu MAHA LPS 2000.

Gauti eksperimento rezultatai pateikti 17 ir 18 lentelėse.

17 lentelė. **Variklio greičio charakteristika naudojant benzina**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_i, min^{-1}	2310	2660	3010	3360	3710	4060	4410	4760	5110	5460
P_i, kW	26,6	32,3	38	41,3	45,3	47,3	50	52,6	55,3	55
T_i, Nm	125	132	129,2	125	121,6	117,5	114,2	109,2	103,3	96,6

18 lentelė. **Variklio greičio charakteristika naudojant nuotekų biodujas**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_i, min^{-1}	2330	2710	3090	3470	3850	4230	4610	4990	5470	5750
P_i, kW	12	19,3	18	16,7	18	22	29,3	36	40,7	43,3
T_i, Nm	82	65	51,5	50	56	67	74	79	77	74

Grafinis eksperimento rezultatų vaizdas pateiktas 1-ame priede.

Ieškomos galios ir sukimo momento regresijos lygtys:

$$P_i = a_p + b_p n_i + c_p n_i^2, \quad (20)$$

$$T_i = a_T + b_T n_i + c_T n_i^2, \quad (21)$$

čia: P_i - VDV galia, kai sūkliai n_i , kW;

T_i - VDV sukimo momentas, kai sūkliai n_i , kW;

$a_p, a_T, b_p, b_T, c_p, c_T$ - koeficientai.

Naudojant mažiausių kvadratų metodą, regresinių VDV galios ir sukimo momento lygčių koeficientai randami pagal lygtis:

$$a = \frac{inv - ir^2 + jpr - jvl + nrl - n^2 p}{Nnv - Nr^2 + rjn + njr - n^3 - j^2 v}, \quad (22)$$

$$b = \frac{-Npr + Nvl - n^2 l - vji + pjn + nir}{Nnv - Nr^2 + rjn + njr - n^3 - j^2 v}, \quad (23)$$

$$c = \frac{-Nrl - j^2 p + rji + Nnp + njl - n^2 i}{Nnv - Nr^2 + rjn + njr - n^3 - j^2 v}, \quad (24)$$

$$\text{čia: } i_p = \sum_{i=1}^N P_i; \quad i_T = \sum_{i=1}^N T_i; \quad j = \sum_{i=1}^N n_i; \quad l_p = \sum_{i=1}^N P_i n_i; \quad l_T = \sum_{i=1}^N T_i n_i; \quad n = \sum_{i=1}^N n_i^2; \quad r = \sum_{i=1}^N n_i^3;$$

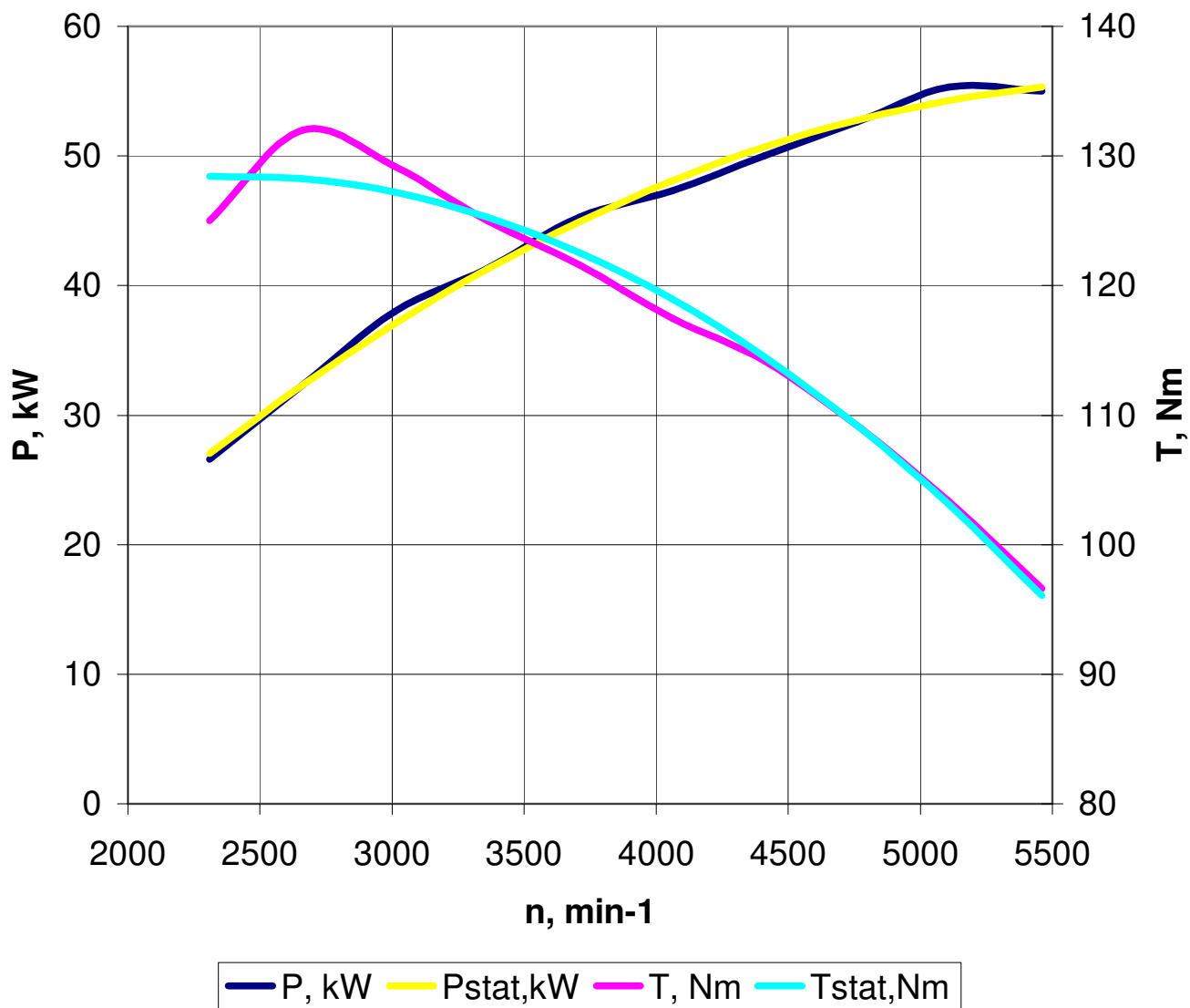
$$p_p = \sum_{i=1}^N n_i^2 P_i; \quad p_T = \sum_{i=1}^N n_i^2 T_i.$$

Tada VW Passat 1.6 variklio, naudojančio Kauno nuotekų biodujas, galios ir sukimo momento regresijos lygtys:

$$P_i = 28,3 - 0,0117n_i + 2,55n_i^2, \quad (20a)$$

$$T_i = 141,1 - 0,0434n_i + 5,81n_i^2. \quad (21b)$$

Greičio charakteristika



16 pav. VW Passat 1.6 variklio, veikiančio 95 OS benzinu, greičio charakteristikos

$P = f(n_i)$ - eksperimentinė galios priklausomybė nuo variklio sūkių;

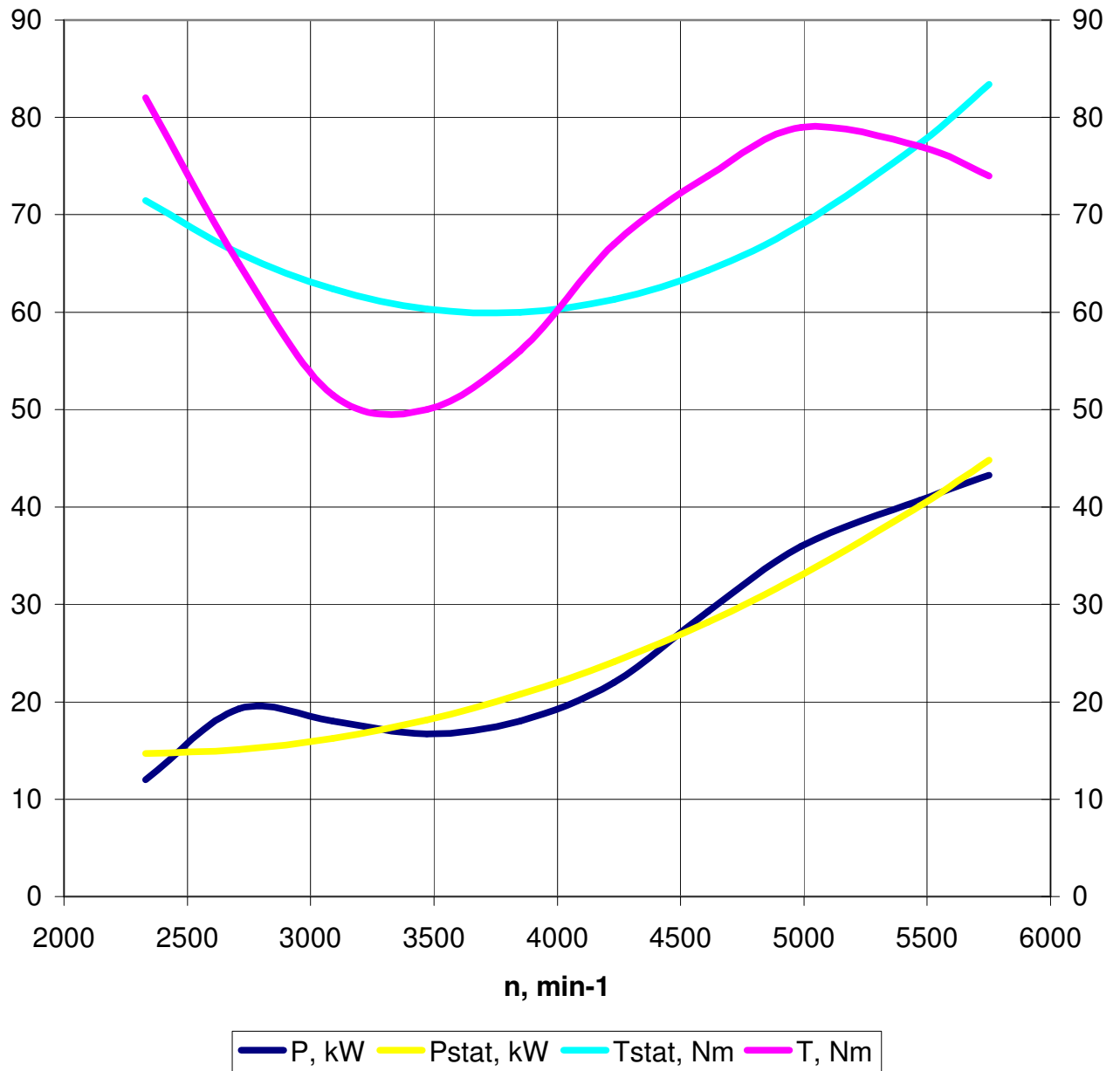
$T = f(n_i)$ - eksperimentinė sukimo momento priklausomybė nuo variklio sūkių;

$P_{stat} = f(n_i)$ - statistškai ištiesinta galios kreivė;

$T_{stat} = f(n_i)$ - statistškai ištiesinta sukimo momento kreivė.

Variklio, veikiančio nuotekų biodujomis, greičio charakteristikos pateiktos 17 pav.

Greičio charakteristika



17 pav. Variklio, veikiančio nuotekų biodujomis, greičio charakteristikos

$P = f(n_i)$ - eksperimentinė galios priklausomybė nuo variklio sūkių;

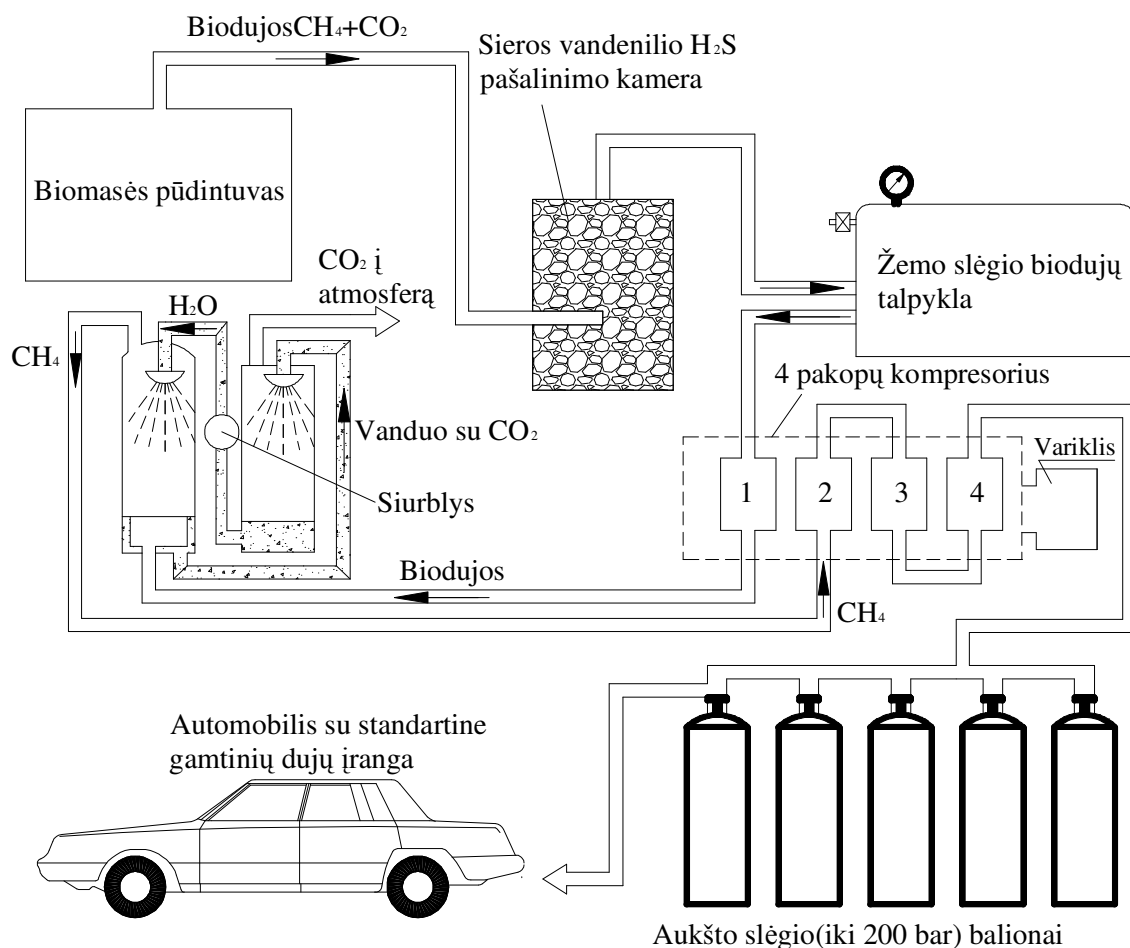
$P_{stat} = f(n_i)$ - statistiškai ištiesinta galios kreivė;

$T_{stat} = f(n_i)$ - statistiškai ištiesinta sukimo momento kreivė.

3.1. Eskizinis biodujų stotelės projektas

Remiantis atliktais VDV šiluminio ciklo skaičiavimais ir eksperimento rezultatais matyti, jog biodujos gali būti puiki alternatyva įprastiniams naftinės kilmės degalams.

Naudojant įprastinę gamtinių dujų įrangą, galima naudoti neperdirbtas nuotekų biodujas. Norint gauti optimalias VDV charakteristikas naudojant biodujas, rekomenduotina įrengti biodujų valymo, perdirbimo ir suslėgimo stotelę (žr.18 pav.).



18 pav. Eskizinis biodujų stotelės projektas

Biodujų šilumingumą lemia metano kiekis, todėl nereikalingas CO₂ kiekis biodujose turėtų būti sumažintas. Vienas iš CO₂ pašalinimo būdų yra naudojant vandens čiurkšlę. Šiuo būdu pašalinama iki 90 % anglies dioksido. Kadangi metano dujos suskystėja prie labai žemos temperatūros, todėl būtinas didelio slėgio kelių pakopų kompresorius. Šis kompresorius suslegia metano dujas iki 200 bar į aukšto slėgio sustiprintus dujų balionus.

Išvados

- 1) Remiantis teorinių tyrimų rezultatais naudojant alternatyviuosius degalus ir jų mišinius su benzinu variklio ekonomiškumui turi įtakos šių degalų šilumingumas.
- 2) Naudojant biodujas teoriniai deginiuose susidarančių anglies monoksido CO, anglies dvideginio CO₂ ir azoto oksidų NO_x kiekiai yra 1,7...2,4 karto mažesni negu degant grynam benzinui. Benzino ir etanolio bei benzino ir metanolio mišinių deginiuose susidarančio anglies monoksido CO, anglies dvideginio CO₂ ir azoto oksidų NO_x teorinis kiekis yra mažesnis (mišinio E15 – 5 %, mišinio E25 – 8 %, mišinio M15 – 7 %, mišinio M25 – 12 %) mišinio negu degant grynam benzinui.
- 3) Veikiant varikliui benzinu ir benzino-etanolio bei benzino-metanolio mišiniais teorinės lyginamosios energijos sąnaudos e yra apylygės. Tačiau naudojant suskystintas naftos dujas ir biodujas teorinės lyginamosios energijos sąnaudos padidėja atitinkamai 12 % ir 26 %.
- 4) Laboratorijoje variklio VW Passat 1.6, veikiančio biodujomis, didžiausia galia sumažėjo nuo 55,5 kW (degalai – benzinas) iki 44,0 kW.
- 5) Kauno nuotekų biodujas galima naudoti kibirkštinuose VDV su dujų įranga be jokių sudėtingų variklio modifikacijų. Reikia įrengti aukšto slėgio balionus ir papildomą dujų reduktorių.
- 6) Naudojant įprastinę gamtinių dujų įrangą, galima naudoti neperdirbtas Kauno nuotekų biodujas. Norint gauti optimalias VDV charakteristikas naudojant biodujas, rekomenduotina įrengti biodujų valymo, perdirbimo ir suslėgimo stotelę.

LITERATŪRA

1. Bureika G. *Etanolio panaudojimo transporto mašinų variklių degalams galimybių tyrimas*: daktaro disertacija. Vilnius: VGTU, 1997. 177 p.
2. Bureika G., Pukalskas S. *Research of noxiousness of the exhaust gases of petrol ethanol blends*//Transport engineering (Transportas), VolXIII, No 2, Vilnius: Technika, 1998, p. 55-61.
3. Butkus A. *Automobilių ir traktorių variklių projektavimas*. Vilnius: Mokslas, 1985. 270p.
4. Butkus A. *Autotraktorinių variklių parametrų tyrimai Lietuvoje optimizuojant energetinius ir ekologinius rodiklius*.//Monografija/Vilnius:Technika.1996.396 p.
5. Butkus A. *Vidaus degimo varikliai*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, bakalauro studijos. 2003.
6. Butkus A., Pukalskas S. *Ekologinių benzino priedų poveikio tyrimas automobilių laboratorijoje*//TRANSPORT.Vilnius:Technika,2004, t. XIX, Nr1, p.24-27.
7. BNS ir "Lietuvos ryto" informacija. Suvalkiečiai užsimojo gaminti biodegalus. Lietuvos rytas. 2004, lapkričio 19 d.
8. Dagys L. J., Jarmokas J. R. *Vietinio kuro panaudojimo galimybės šalyje*. Vilnius, 1998. 43 p.
9. Eidukevičius Petras. Ar realu Lietuvoje biodegalus gaminti iš grūdų?.Lietuvos energetikos institutas. Kaunas. Iš *Ekostrategija* [interaktyvus]. 2000, [žiūrėta 2004-12-04]. Prieiga per internetą: <http://www.ekostrategija.lt/>.
10. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2003/30/EB "Dėl biodegalų ir kitų atsinaujinančių degalų naudojimo transporte skatinimo".2003 m. gegužės 8 d.
11. Giedra K., Labeckas G. ir kt. *Traktoriai ir automobiliai*. Vilnius: Academia. 1995. 542 p.
12. Šimatonis S., Tiškevičius S. *Traktorių, automobilių ir variklių teorija*. Kaunas, 1994. 263 p.
13. Jučas P. *Tepalai ir degalai*. Chimotologija. Vilnius: Mokslas, 1992. 256 p.
14. LST ISO 1706: 2000. Denatūruotas dehidratuotas etilo alkoholis. Bendrieji reikalavimai. Vilnius. 2000.
15. LST ISO 1705: 2000. Rapsų metilesteris ir rapsų etilesteris. Vilnius. 2000.
16. Narbutis B. *Deginių dujų savybės ir degimo principai*. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 204. 109 p.
17. Pikūnas A. *Lietuvos kelių transporto materialinių ir energinių sąnaudų, žalingo poveikio aplinkai bei visuomenei mažinimo problemos*. Monografija. Vilnius: Technika, 2000. 336 p.
18. Pukalskas S., Valiūnas V., Sadauskas V. *Dujinių degalų panaudojimas dyzelyje*//TRANSPORTAS.Vilnius:Technika, 1999, XIV t., Nr. 5, p. 235-238.
19. Pukalskas S. *Etilo spirito įtaka dyzelinio variklio parametrams*: daktaro disertacija. Vilnius: VGTU, 2000. 176 p.
20. Status of Alcohol Fuels Utilization Technology for Highway Transportation/USA Department of energy. Virginia: Technical information, 1982. 82 p.
21. Колчин А. И. и др. *Расчет автомобильных и тракторных двигателей*. Минск: Высшая школа, 1980. 400 с.
22. Jurkauskas A. *Automobilio eksploatacinės savybės*. Kaunas: Technologija, 2000. 205p.
23. Kryževičienė A., Jasinskas A., Žaltauskas A. *Atsinaujinančių energijos šaltinių žemės ūkyje paieška* // *Žemdirbystė*. Mokslo darbai. 2001. - T. 74. p.201-214.
24. Kariotiškių sąvartyno dujų panaudojimo variantai. Lietuvos energetikos institutas. Kaunas. Iš *Ekostrategija* [interaktyvus]. 2000, [žiūrėta 2004-12-04]. Prieiga per internetą: <http://www.ekostartegija.lt/>.
25. Vandens valymas. Kaunas. Iš UAB "Kauno vandenys" [interaktyvus]. 2004, [žiūrėta 2006-01-27]. Prieiga per internetą: <http://www.kauno.vandenys.lt/>.
26. Lietuvos ekonominė ir socialinė raida 5/2001. Vilnius. Statistikos departamentas. 2001, Nr.5. 103 p.

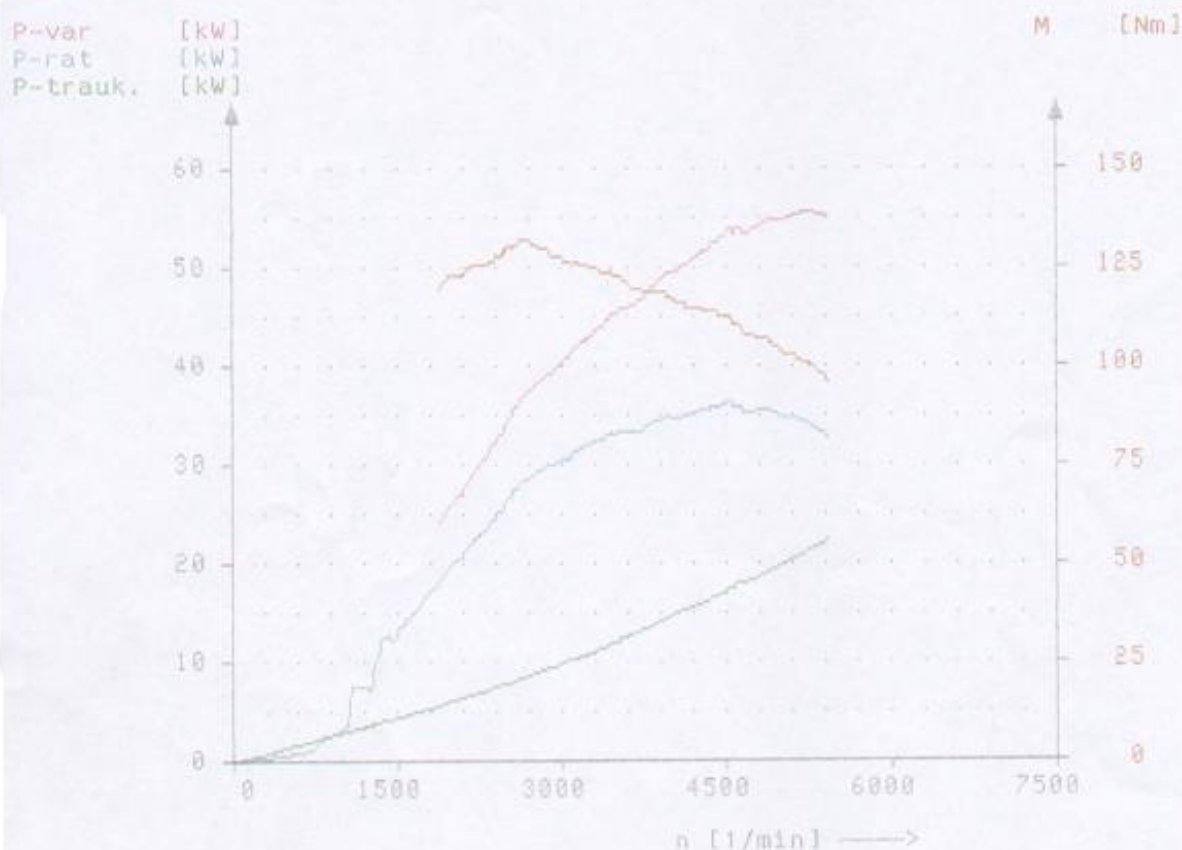
27. Lietuvos Respublikos biokuro įstatymas. 2000 m. liepos 18 d. Nr. VIII-1875. Vilnius.
28. Lietuvos Respublikos biokuro įstatymo pakeitimo įstatymas. 2004 m. vasario 5 d. Nr. IX-1999. Vilnius.
29. Lietuvos žemės ūkis 2000. Statistikos rinkinys. – Vilnius. 2001. 108 p.
30. Lietuvos respublikos žemės fondas 2001 m. sausio 1 d. Žemės ūkio ministerija. Vilnius. 2001. 82p.
31. LST ISO 1706: 2000. Denatūruotas dehidratuotas etilo alkoholis. Bendrieji reikalavimai. Vilnius. 2000.
32. LST ISO 1705: 2000. Rapsų metilesteris ir rapsų etilesteris. Vilnius. 2000.
33. Narbutis B. *Degųjų dujų savybės ir degimo principai*. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 204. 109 p.
34. Pikūnas A. *Lietuvos kelių transporto materialinių ir energinių sąnaudų, žalingo poveikio aplinkai bei visuomenei mažinimo problemos*. Monografija. Vilnius: Technika, 2000. 336 p.
35. Pukalskas S., Valiūnas V., Sadauskas V. *Dujinių degalų panaudojimas dyzelijel/TRANSPORTAS*. Vilnius: Technika, 1999, XIV t., Nr. 5, p. 235-238.
36. Pukalskas S. Etilo spirito įtaka dyzelinio variklio parametrams: daktaro disertacija. Vilnius: VGTU, 2000. 176 p.
37. Vrubliauskas Stanislovas. Biomazė energijai gauti. Lietuvos energetikos institutas. Kaunas. Iš *Ekostrategija* [interaktyvus]. 2000, [žiūrėta 2004-12-04]. Prieiga per internetą: <http://www.ekostrategija.lt/>.
38. Biogas Natural Gas Vehicles 'Best Environmental Cars 2005' in Sweden. Sweden, Stockholm. Iš *NGV Global* [interaktyvus]. 2005, [žiūrėta 2006-01-27]. Prieiga per internetą: <http://www.ngvglobal.com/>.
39. Ward Peter. Evaluation of Compressed Natural Gas (CNG) Fueling Systems. California energy comission. 1999. p. 65.
40. William J. Keese. ABCs of AFVs: A Guide to Alternative Fuel Vehicles. Guidebook. California energy comission. 1999. p.104.
41. Institute of Transport Research of the German Aerospace Centre DLR (Berlin), **the** Institute for Energy and Environment GmbH (Leipzig), **and the** Institute for Road and Transportation Science, Department of Transportation Planning and Traffic Engineering, University of Stuttgart. *Renewable Fuels for Cross Border Transportation*. Germany. 2003.
42. Substitute Fuels for road Transport/International Energy Agency. Paris: OCDE, 1990. 115 p.
43. Status of Alcohol Fuels Utilization Technology for Highway Transportation/USA Department of energy. Virginia: Technical information, 1982. 82 p.
44. Magna Steyr Presents "MILA Concept" – Modular Natural Gas Vehicle. Germany. Frankfurt. Iš *NGV Global* [interaktyvus]. 2005, [žiūrėta 2006-01-27]. Prieiga per internetą: <http://www.ngvglobal.com/>.

VGTU Automobiliu transporto katedra
 J. Basanaviciaus g. 28
 LT-2006 Vilnius

Automob. tipas: VW Passat su benzinu
 Variklio tipas: Variklis Otto
 Valst. Nr. : dsr885
 Tikrino :

Data : 06.04.06

Laiko : 19:20



GALIOS DUOMENYS:

Norm. galia P-norm : --,-- kW (--,-- PS) koreguota pagal N 70020
 Variklio galia P-var : 55,5 kW (75,4 PS)
 Galia ant ratu P-rat : 34,5 kW (46,9 PS)
 Traukos galia P-trauk. : 21,0 kW (28,5 PS)
 Maksimali galia prie 137 km/h pvz. 5230 1/min

Sukimo momentas M : 132 Nm
 Max. sukimo momentas prie 69 km/h pvz. 2640 1/min

Maksimalus greitis : 143 km/h
 Maksimalus sukiai : 5460 1/min

Oro slėgis : --- mbar Oro temperatūra : -- °C
 Slėgis 1 : --- mbar Tepalo temp. : -- °C
 Slėgis 2 : --- mbar Deginių temp. : --- °C

MAHA GALIOS DIAGNOSTIKA

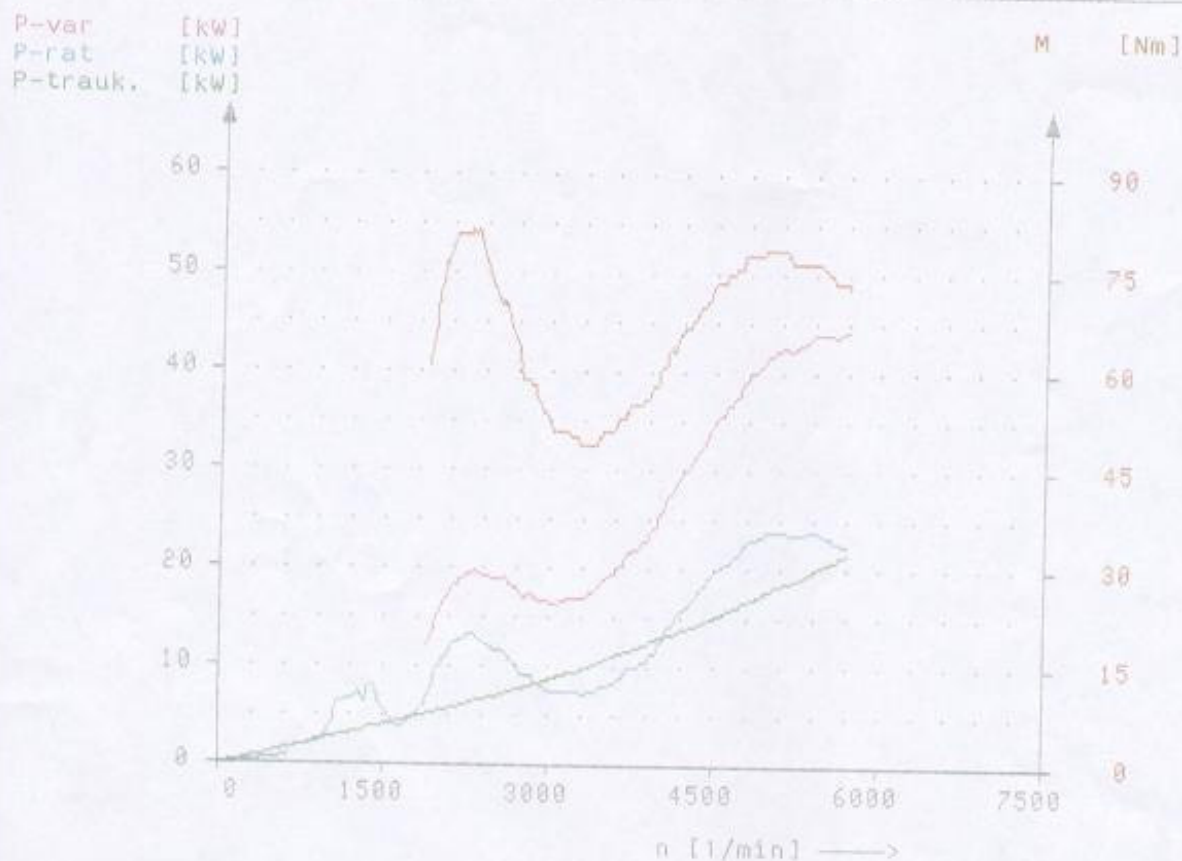
2 priedas

 VGTU Automobiliu transporto katedra
 J. Basanaviciaus g. 28
 LT-2006 Vilnius

 Automob. tipas: VW Passat su biodužo
 Variklio tipas: Variklis Otto
 Valst. Nr. : dsr885
 Tikrino :

Data : 06.04.06

Laiko : 19:25



GALIOS DUOMENYS:

Norm. galia P-norm : -- kW (-- PS) koreguota pagal N 70020

Variklio galia P-var : 44,0 kW (59,8 PS)

Galia ant ratu P-rat : 22,5 kW (30,6 PS)

Traukos galia P-trauk. : 21,5 kW (29,2 PS)

Maksimali galia prie 149 km/h pvz. 5710 1/min

Sukimo momentas M : 82 Nm

Max. sukimo momentas prie 60 km/h pvz. 2300 1/min

Maksimalus greitis : 150 km/h

Maksimalus sukiai : 5750 1/min

Oro slėgis : --- mbar

Slėgis 1 : --- mbar

Slėgis 2 : --- mbar

Oro temperatūra : -- °C

Tepalo temp. : -- °C

Deginių temp. : -- °C

Alternatyvių degalų panaudojimas kibirkštinio uždegimo vidaus degimo variklyje: biodujos

Marius Gutauskas, Algis Butkus

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Naftinės kilmės degalų kiekis nuolatos mažėja, kuro kainos kyla, o aplinkos tarša didėja. Alternatyvių degalų panaudojimas išspręstų dalį problemų.

Pažymėtina, kad pagal 2003 m. gegužės 8 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą 2003/30/EB „dėl biodegalų ir kitų atsinaujinančių degalų naudojimo transporte skatinimo“ Lietuvoje iki 2005 m. gruodžio 31 d. biodegalai turi sudaryti ne mažiau kaip 2 % (sudarytų apie 20 tūkst. tonų biodegalų), skaičiuojamus nuo bendro šalies rinkoje esančio benzino ir dyzelino, skirto transportui, energijos kiekio, o iki 2010 m. gruodžio 31 d. – 5,75 % [2].

Biodujos

Biodujos priskiriamos dirbtinėms dujoms. Biodujos susidaro biologiškai skaidant organines medžiagas aplinkoje, neturinčioje sąlyčio su atmosferos oru, t.y. anaerobinėmis sąlygomis, veikiant mikroorganizmams, kurie gyvena ir dauginasi bedeguonėje aplinkoje [4,7,8,9]. Į biodujų sudėtį įeina du pagrindiniai komponentai: metanas (CH_4) ir anglies dvideginis (CO_2). Be jų, dar būna nedidelis kiekis vandenilio (H_2), sieros vandenilio (H_2S), azoto (N_2) ir kai kurių sunkiųjų angliavandenilių pėdsakų [8].

1 lentelė. Kauno nuotekų biodujų orientacinė sudėtis*

Dujų pavadinimas	Cheminė išraiška	Koncentracija, %
Metanas	CH_4	50-70
Anglies dvideginis	CO_2	30-40
Anglies viendeginis	CO	0,0-0,3
Vandenilis	H_2	0,0-1,0 (iki 3-5)
Deguois	O_2	0,0-0,3 (iki 3-5)
Sieros vandenilis	H_2S	0,0-0,2 (iki 7 -11)
Vandens garai	H_2O	1,0-4,0

* - pagal Lietuvos energetikos instituto duomenis

2000 metais Kariotiškių sąvartyne atlikus ilgalaikį bandomąjį išsiurbimą, nustatyta, kad vien tik iš I sąvartyno sekcijoje esančių kiek daugiau kaip 1,0 mln. m^3 atliekų 2003 metais (arba pirmaisiais dujų panaudojimo sistemos eksploatavimo metais) susidarys apie 4,5 mln. m^3 arba 550 m^3 per valandą dujų, kuriose yra ne mažiau kaip 50 % metano [4].

Nustatyta, kad Kariotiškių sąvartyno dujų sudėties pagrindinių komponentų proporcijos yra tokios: metanas ~57 %, anglies dioksidas ~30 %, azotas ~12 %, kitos ~1 % [6].

Visų analitiškai nustatytų dujų komponentų skaitinės reikšmės yra mažesnės už kritinius dydžius, nurodomus dujų variklių gamintojų specifikacijose, todėl Kariotiškių sąvartyno dujos be jokio specialaus išvalymo yra tinkamos naudoti dujų varikliuose.

Kauno nuotekų valykloje 2004 metais pagaminta 1829 tūkst. nm^3 biodujų, t.t. 1,178 tūkst. nm^3 parduota Noreikiškių katilinei [7].

Vidaus degimo variklio (VDV), veikiančio įvairiais alternatyviais degalais ir jų mišiniais, šilumos ciklo tyrimas

Teoriškai apskaičiuotas kibirkštinio uždegimo variklio šilumos ciklas. Pagrindiniai automobilio VW Passat 1,6 (1992 m.) variklio parametrai: variklio darbinis tūris $V_l = 1,595 \text{ dm}^3$; suslėgimo laipsnis $\varepsilon = 8,2$; cilindro skaičius $i=4$; stūmoklio skersmuo $D = 81 \text{ mm}$; stūmoklio eiga $S = 77,4 \text{ mm}$; vardiniai sūkliai $n_e = 5200 \text{ min}^{-1}$.

Teoriškai skaičiuoti tokie degalai ir jų mišiniai: benzinai, etanolis, 75 % benzino ir 15 % etanolio mišinys (E15), 85 % benzino ir 25 % etanolio mišinys (E25), metanolis, 75 % benzino ir 15 % metanolio mišinys (M15), 85 % benzino ir 25 % metanolio mišinys (M25), suskystintos naftos dujos (LPG), sąvartyno biodujos (60% CH_4 ir CO_2 40%) – „biodujos 1“, nuotekų biodujos (70% CH_4 ir CO_2 30%) – „biodujos 2“.

Teorinės variklio, veikiančio įvairiais degalų mišiniais, greičio charakteristikos pateiktos 1, 2 pav.

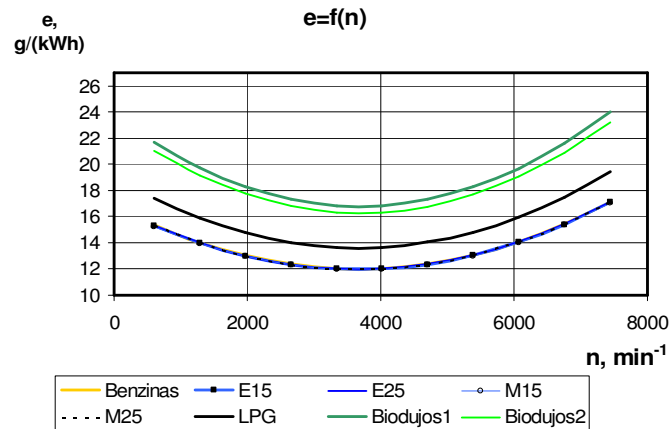
Šiluminio ciklo tyrimo rezultatai

2) Naudojant sąvartyno biodujas b_e padidėja 3,2 karto lyginant su benzino sąnaudomis, naudojant nuotekų biodujas – 2,5 karto (todėl biodujas būtina suslėgti didelio slėgio balionuose).

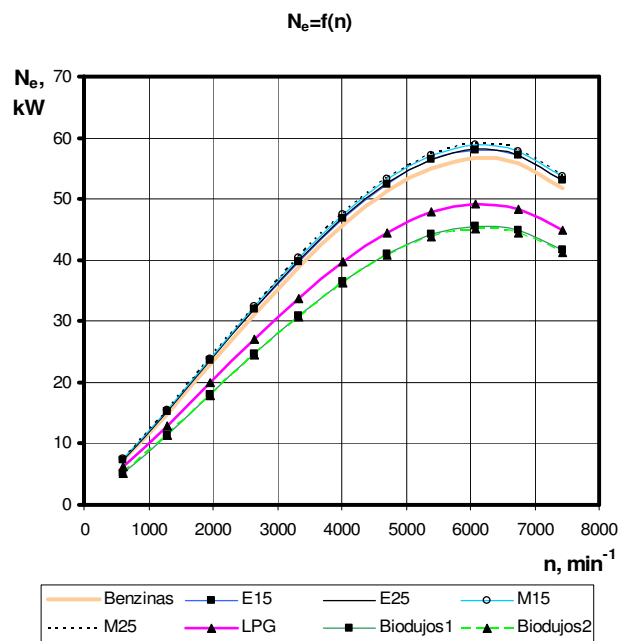
2) Variklio, naudojančio biodujas, indikatorinis slėgis p_i sumažėja net 20 %. Naudojant biodujas sumažėja ir efektyvusis naudingumo koeficientas η_e atitinkamai 26...28 %, todėl variklio efektyvioji galia P_e sumažėja 25 %.

3) Naudojant biodujas lyginamosios energijos sąnaudos padidėja 26 %, o naudojant medienos sausos distiliacijos dujas, variklio galia sumažėja 30-40 %.

4) Naudojant biudujas teoriniai deginiuose susidarančių anglies monoksido CO, anglies dvideginio CO₂ ir azoto N₂ kiekiai yra 1,7...2,4 karto mažesni negu degant grynam benzinui.



1 pav. Lyginamosios efektyvios variklio energijos sąnaudos e , MJ/kW·h



2 pav. VDV, veikiančio įvairiais degalais, galios priklausomybė nuo alkūninio veleno sūkių

Eksperimentinė dalis

Eksperimento tikslas - nustatyti vidaus degimo variklio, veikiančio nuotekų biodujomis, greičio charakteristikas.

Bandymai atlikti VGTU Automobilių transporto katedros laboratorijoje būgniniu traukos stendu MAHA LPS 2000.

Eksperimento eiga. Atliekant bandymus naudotos Kauno nuotekų biodujos iš AB “Kauno vandenys” nuotekų valyklos.

Eksperimentai atlikti automobiliu Volkswagen Passat 1.6 (1992 m.). Automobilio variklis – benzininis su įmontuota suskystintų naftos dujų įranga.

Pirmasis eksperimento etapas – bandymai naudojant 95 OS markės benzina.

Antrasis etapas – bandymai naudojant Kauno nuotekų biodujas.

Gauti eksperimento rezultatai pateikti 2 ir 3 lentelėse.

2 lentelė. Variklio greičio charakteristika naudojant benzina

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_i, min^{-1}	2310	2660	3010	3360	3710	4060	4410	4760	5110	5460
P_{ei}, kW	26,6	32,3	38	41,3	45,3	47,3	50	52,6	55,3	55
$T_{ei}, \text{N}\cdot\text{m}$	125	132	129,2	125	121,6	117,5	114,2	109,2	103,3	96,6

3 lentelė. Variklio greičio charakteristika naudojant nuotekų biodujas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_i, min^{-1}	2330	2710	3090	3470	3850	4230	4610	4990	5470	5750
P_{ei}, kW	12	19,3	18	16,7	18	22	29,3	36	40,7	43,3
$T_{ei}, \text{N}\cdot\text{m}$	82	65	51,5	50	56	67	74	79	77	74

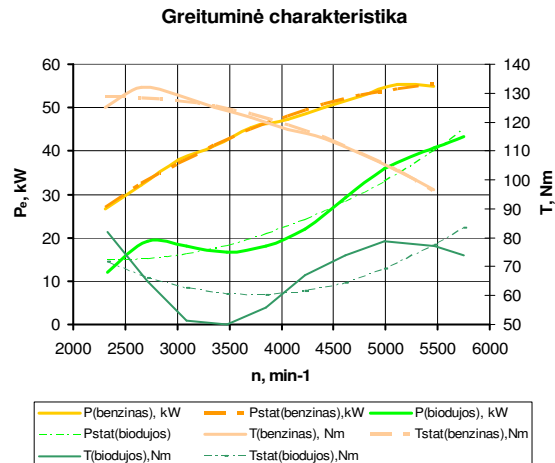
Naudojant mažiausių kvadratų metodą, VW Passat 1.6 variklio, naudojančio Kauno nuotekų biodujas, efektyvios galios ir sukimo momento regresijos lygtys:

$$P_{ei} = 28,3 - 0,0117n_i + 2,55n_i^2; \quad (1)$$

$$T_{ei} = 141,1 - 0,0434n_i + 5,81n_i^2. \quad (2)$$

čia P_{ei} - efektyvioji VDV galia, kai sūkliai n_i , kW,

T_{ei} - VDV sukimo momentas, kai sūkliai n_i , kW.



3 pav. VW Passat 1.6 variklio greičio charakteristikos

Išvados

Iš įvairiais degalais ir jų mišiniais veikiančio variklio šiluminio skaičiavimo ir eksperimento rezultatų galima daryti tokias išvadas:

- 1) Naudojant alternatyviusius degalus ir jų mišinius su benzinu variklio ekonomiskumui turi įtakos šių degalų šilumingumas.
- 2) Laboratorijoje variklio VW Passat 1.6, veikiančio biodujomis, didžiausia galia sumažėjo nuo 55,5 kW (degalai – benzinai) iki 44,0 kW.
- 3) Naudojant Kauno nuotekų biodujas lyginamosios energijos sąnaudos padidėja 26 %.
- 4) Naudojant biodujas teoriniai deginiuose susidarančių anglies monoksido CO, anglies dvideginio CO₂ ir azoto oksidų NO_x kiekiai yra 1,7...2,4 karto mažesni negu degant grynam benzinui.
- 5) Kauno nuotekų biodujas galima naudoti kibirkštinuose VDV su dujų įranga be jokių sudėtingų variklio modifikacijų. Reikia įrengti aukšto slėgio balionus ir papildomą dujų reduktorių.

Literatūra

45. Butkus A. *Automobilių ir traktorių variklių projektavimas*. Vilnius: Mokslas, 1985. 270p.
46. Eidukevičius Petras. Ar realu Lietuvoje biodegalus gaminti iš grūdų? Lietuvos energetikos institutas. Kaunas. Iš *Ekostrategija* [interaktyvus]. 2000, [žiūrėta 2004-12-04]. Prieiga per internetą: <http://www.ekostrategija.lt/>.

47. Europos Parlamento ir Tarybos direktyva 2003/30/EB "Dėl biodegalų ir kitų atsinaujinančių degalų naudojimo transporte skatinimo". 2003 m. gegužės 8 d.
48. N a r b u t i s B. *Degiujų dujų savybės ir degimo principai*. Mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2004. 109 p.
49. P i k ū n a s A. *Lietuvos kelių transporto materialinių ir energinių sąnaudų, žalingo poveikio aplinkai bei visuomenei mažinimo problemos*. Monografija. Vilnius: Technika, 2000. 336 p.
50. Kariotiškių sąvartyno dujų panaudojimo variantai. Lietuvos energetikos institutas. Kaunas. Iš *Ekostrategija* [interaktyvus]. 2000, [žiūrėta 2004-12-04]. Prieiga per internetą: <http://www.ekostartegija.lt/>.
51. Vandens valymas. Kaunas. Iš UAB "Kauno vandenys" [interaktyvus]. 2004, [žiūrėta 2006-01-27]. Prieiga per internetą: <http://www.kauno.vandenys.lt/>.
52. Biogas Natural Gas Vehicles 'Best Environmental Cars 2005' in Sweden. Stockholm. Iš NGV *Global* [interaktyvus]. 2005, [žiūrėta 2006-01-27]. Prieiga per internetą: <http://www.ngvglobal.com/>.
53. W a r d Peter. Evaluation of Compressed Natural Gas (CNG) Fueling Systems. California energy comission. 1999. p. 65.
54. W i l l i a m J. Keese. ABCs of AFVs: A Guide to Alternative Fuel Vehicles. Guidebook. California energy comission. 1999. p. 104.
55. Institute of Transport Research of the German Aerospace Centre DLR. Berlin, University of Stuttgart. *Renewable Fuels for Cross Border Transportation*. Germany. 2003.
56. Magna Steyr Presents "MILA Concept" – Modular Natural Gas Vehicle. Germany. Frankfurt. Iš NGV *Global* [interaktyvus]. 2005, [žiūrėta 2006-01-27]. Prieiga per internetą: <http://www.ngvglobal.com/>.

Alternative fuel for spark ignition internal combustion engine: biogas. Marius Gutauskas, Algis Butkus. Vilnius Gediminas Technical University.

Biogas is one of alternatives instead of usually used oil fuels. Lithuania has several biogas resources. Thermal cycle calculation of Internal Combustion Engine (ICE) using biogas shows lower emissions, 25 % power reduction and raised fuel consumption. VW Passat 1.6 engine test with biogas is made to find out ICE Power and rotation moment diagrams and functions.

