



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

TRANSPORTO TECHNOLOGINIŲ ĮRENGINIŲ KATEDRA

Marius Tomonis

**VIDAUS DEGIMO VARIKLIO EFEKTYVUMO DIDINIMAS  
PANAUDOJANT ELEKTROS IŠLYDĮ  
INCREASING EFFICIENCY OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE  
USING ELECTRIC DISCHARGE**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62403T104

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

Transporto inžinerijos mokslo kryptis

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

TRANSPORTO TECHNOLOGINIŲ ĮRENGINIŲ KATEDRA

TVIRTINU

prof. Marijonas Bogdevičius

\_\_\_\_\_

—

(Parašas)

prof. Marijonas Bogdevičius

(Vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_

(Data)

Marius Tomonis

**VIDAUS DEGIMO VARIKLIO EFEKTYVUMO DIDINIMAS**

**PANAUDOJANT ELEKTROS IŠLYDĮ**

**INCREASING EFFICIENCY OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE**

**USING ELECTRIC DISCHARGE**

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62403T104

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

Transporto inžinerijos mokslo kryptis

**Vadovas**

\_\_\_\_\_

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_

(Parašas)

\_\_\_\_\_

(Data)

**Konsultantas**

\_\_\_\_\_

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_

(Parašas)

\_\_\_\_\_

(Data)

**Konsultantas**

\_\_\_\_\_

(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_

(Parašas)

\_\_\_\_\_

(Data)

Vilnius, 2011

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Vilniaus Gedimino technikos universitetas<br>Transporto inžinerijos fakultetas<br>Transporto technologinių įrenginių katedra                                                                                                                                                                                                                                                              | ISBN<br>Egz. sk. ....<br>Data .....~.....~.....                                |
| Antrosios pakopos studijų <b>Transporto inžinerijos</b> programos baigiamasis darbas                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                |
| Pavadinimas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>Vidaus degimo variklio efektyvumo didinimas panaudojant elektros išlydį</b> |
| Autorius                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>Marius Tomonis</b>                                                          |
| Vadovas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>prof. habil. dr. Marijonas Bogdevičius</b>                                  |
| Kalba: lietuvių                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                |
| <b>Anotacija</b><br>Baigiamajame magistro darbe nagrinėjami vidaus degimo variklių efektyvumo gerinimo būdai. Atlikta išsami literatūros, mokslinių straipsnių analizė. Išnagrinėti VDV efektyvumo didinimo būdai ir paruošta eksperimentinio tyrimo metodika. Atlikti eksperimentiniai vidaus degimo variklio galios matavimai. Pagal gautus rezultatus pateiktos išvados ir pasiūlymai. |                                                                                |
| <b>Prasminiai žodžiai</b><br>azoto oksidai, galios didinimas, vidaus degimo variklis.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                         |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Vilnius Gediminas Technical University</b><br>Faculty of Transport Engineering<br>Department of Transport Technological Equipment                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>ISBN</b><br>Copies No. ....<br>Date .....-.....-.....                                | <b>ISSN</b> |
| <b>Master Degree Studies Transport Engineering study programme Graduation Work</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                         |             |
| <b>Title</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>Increasing efficiency of the internal combustion engine using electric discharge</b> |             |
| <b>Author</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>Marius Tomonis</b>                                                                   |             |
| <b>Academic supervisor</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>Prof Dr Habil Marijonas Bogdevičius</b>                                              |             |
| <b>Thesis language: Lithuanian</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                         |             |
| <b>Annotation</b><br><br>In master thesis dealt with the internal combustion engine efficiency improvement techniques. A comprehensive literature analysis of research articles, there made. Examined ways to increase ICE efficiency and experimental methods to measure the result. The experiment there performed of internal combustion engine for power measurements. According to the results, the conclusions and recommendations are given. |                                                                                         |             |
| <b>Keywords</b><br><br>Internal combustion engine, efficiency improvement, nitrogen oxides, efficiency.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                         |             |

## TURINYS

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| LENTELIŲ SĄRAŠAS .....                                                  | 8  |
| PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS .....                                                 | 8  |
| SANTRUMPOS .....                                                        | 9  |
| IVADAS .....                                                            | 10 |
| 1. MOKSLINIŲ DARBŲ ANALIZĖ .....                                        | 11 |
| 2. TYRIMAS .....                                                        | 21 |
| 2.1 Automobilio variklio galios nustatymas .....                        | 24 |
| 2.1.1 Bendroji apžvalga .....                                           | 24 |
| 2.1.2 Darbo vietos įranga .....                                         | 26 |
| 3. VARIKLIO PARAMETRŲ SKAIČIAVIMAS .....                                | 27 |
| 3.1 Darbo agento parametrų skaičiavimas .....                           | 27 |
| 3.2 Išmetimo ir siurbimo procesų parametrų nustatymas .....             | 28 |
| 3.3 Slėgimo proceso parametrų nustatymas .....                          | 29 |
| 3.4 Degimo proceso parametrų nustatymas .....                           | 30 |
| 3.5 Plėtimosi parametrų nustatymas .....                                | 31 |
| 3.6 Indikatoriniai darbo ciklo rodikliai .....                          | 32 |
| 3.7 Efektyvūs variklio parametrai .....                                 | 32 |
| 3.8 Pagrindiniai variklio cilindro dydžiai .....                        | 33 |
| 3.9 Analitinis politropių taškų koordinačių skaičiavimas .....          | 34 |
| 3.10 Išorinė greičio charakteristika .....                              | 35 |
| 4. AZOTO OKSIDŲ GAMYBA .....                                            | 37 |
| 5. BANDYMO REAKTORIUS .....                                             | 40 |
| 6. VARIKLIO PARAMETRŲ SKAIČIAVIMAS NAUDOJANT<br>BANDYMO REAKTORIŲ ..... | 43 |
| 6.1 Darbo agento parametrų skaičiavimas .....                           | 43 |
| 6.2 Išmetimo ir siurbimo procesų parametrų nustatymas .....             | 44 |
| 6.3 Slėgimo proceso parametrų nustatymas .....                          | 45 |
| 6.4 Degimo proceso parametrų nustatymas .....                           | 45 |
| 6.5 Plėtimosi parametrų nustatymas .....                                | 47 |
| 6.6 Indikatoriniai darbo ciklo rodikliai .....                          | 47 |
| 6.7 Efektyvūs variklio parametrai .....                                 | 48 |
| 6.8 Pagrindiniai variklio cilindro dydžiai .....                        | 48 |
| 6.9 Analitinis politropių taškų koordinačių skaičiavimas .....          | 49 |

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 6.10 Išorinė greičio charakteristika..... | 50 |
| 7. Rezultatai .....                       | 52 |
| Išvados ir pasiūlymai .....               | 53 |
| Literatūros sąrašas.....                  | 54 |

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1 lentelė. Duomenys sukimosi dažnio charakteristikai skaičiuoti..... | 19 |
| 2 lentelė. Duomenys sukimosi dažnio charakteristikai skaičiuoti..... | 47 |

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

|                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 pav. Eksperimento schema.....                                                                                                                                                | 13 |
| 2 pav. Srovės kitimas laiko atžvilgiu.....                                                                                                                                     | 13 |
| 3 pav. NO gaminimas kaip funkcija nuo kibirkštyje išsisklaidžiusios energijos, 1m ilgio kibirkštyje.....                                                                       | 14 |
| 4 pav. NO gamyba normalizavusiame 1m ilgio kibirkšties tarpe, kaip funkcija maksimalios srovės kibirkštyje, esant 1 atmosferos slėgiui, $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ..... | 15 |
| 5 pav. NO gamybos duomenų sklaida keičiant kameros slėgį (tarpas 3,2 cm, pikinė srovė 19 kA). .....                                                                            | 16 |
| 6 pav. Eksperimentinės įrangos schema, skirta išmatuoti NO <sub>x</sub> pagamintų molekulių kiekius kibirkšties tipo elektros iškrovoje.....                                   | 17 |
| 7 pav. Eksperimentinės įrangos schema, skirta išmatuoti NO <sub>x</sub> pagamintų molekulių kiekius karūnos tipo elektros iškrovoje.....                                       | 18 |
| 8 pav. CO-TPSR (2000 ppm CO iš He) po NO <sub>2</sub> sugėrimo prie 350 °C per Ba/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> katalizatorių.....                                            | 19 |
| 9 pav. Azoto nitratų dekompozicijų reakcijų seka naudojant CO ant Pt-Ba/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> katalizatoriaus.....                                                    | 20 |
| 10 pav. CO-TPSR (2000 ppm CO iš He) po NO/O <sub>2</sub> sugėrimo prie 350 °C per Ba/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> katalizatorių.....                                         | 21 |
| 11 pav. Kontroliuojama variklio aplinka.....                                                                                                                                   | 20 |
| 12 pav. Vidaus degimo variklio greičio charakteristika.....                                                                                                                    | 23 |
| 13 pav. Automobilių traukos stendas .....                                                                                                                                      | 24 |
| 14 pav. Ritininio traukos stendo veikimo principas.....                                                                                                                        | 24 |
| 15 pav. Išorinės charakteristikos grafikas.....                                                                                                                                | 34 |
| 16 pav. Dujų svirtinės svarstyklės.....                                                                                                                                        | 36 |
| 17 pav. Aukštos įtampos didelio galingumo energijos šaltinio schema.....                                                                                                       | 38 |
| 18 pav. Išorinės charakteristikos grafikas.....                                                                                                                                | 49 |

## Santrumpos

ART – apatinis rimties taškas;

VRT – viršutinis rimties taškas;

TP – transporto priemonė;

ETP – elektrinė transporto priemonė;

VDV – vidaus degimo variklis;

ES – Europos Sąjunga;

$m_i$  – slankiojančios grandies masė, kg;

$v_{si}$  – slankiojančios grandies masės centro linijinis greitis, m/s;

$I_j$  – grandies inercijos momentas,  $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ;

$P_i$  – slankiojančias grandis veikiančios jėgos, N;

$v_i$  – slankiojančių grandžių linijiniai greičiai, m/s;

$M_j$  – sukamosios grandies perduodamas momentas, Nm;

$M_k$  – kritinis momentas, Nm;

$M_v$  – variklio išvystomas momentas, Nm.

# IVADAS

## Temos aktualumas

Šiuo metu naudojamų vidaus degimo variklių efektyvumas tesiekia 25 %. Visa kita energija yra pašalinama 30 % per aušinimo, 40 % per išmetimo sistemas šilumos pavidalu ir 5 % trinčiais. Tačiau viso pasaulio automobilių gamintojai ir nepriklausomi mokslininkai stengiasi didinti variklių efektyvumą. Pirmasis žingsnis tobulinant variklius buvo perėjimas nuo karbiuratorinių variklių, kurie neefektyviai ruošia darbinį mišinį, prie kompiuteriu valdomų įpurškimo sistemų.

Benzininių variklių įpurškimo sistemos, kurios pradėjo rasti jau 1980 m. Žymiai pagerino variklių efektyvumą ir sumažino sunaudojamų degalų kiekį. Sekantis žingsnis tobulinant variklių efektyvumą „Comonrail“ sistemų taikymas dyzeliniuose varikliuose. Didelis efektas pasiektas padidinus įpurškiamo degalų slėgį nuo 600 iki 1000-1500 atmosferų. Taip degalai suskildavo į mažesnius lašelius ir geriau sudegdavo.

Efektyviausias iki šiol būdas yra pjezoelektrinių purkštukų panaudojimas. Jie sugeba degalų porciją įpurkšti net iki 5 kartų per darbo ciklą. Tai leidžia palaikyti aukštą degimo temperatūrą, kartu padidėja ir besiplečiančių dujų atliekamas darbas.

Mano siūlomas variklio efektyvumo didinimo metodas yra unikalus, kuris padidina ne tik efektyvumą, bet ir galingumą.

## Tyrimo objektas ir tikslai

*Tyrimo objektas* yra vidaus degimo variklio galingumas. Atliekant tyrimą bandoma išsiaiškinti ar faktiškai padidėja variklio galingumas pritaikant VDV efektyvumo ir galingumo didinimo būdą.

*Tyrimo tikslas* yra sudaryti teorinį degimo proceso modelį ir palyginti jį su atliktais bandymais. Apskaičiuoti tinkamiausius reaktoriaus parametrus variklio galingumui didinti.

## Tyrimo naujumas

- Sukurtas naujas variklio efektyvumo, bei galios didinimo metodas.
- Elektrocheminiu būdu padidintas deguonies atomų skaičius degimo kameroje.

## Praktinė vertė

- Padidinus VDV efektyvumą ir galingumą sumažėja sunaudojamų degalų kiekis.
- Sumažėjęs VDV svoris su tuo pačiu galingumu leidžia juos montuoti į įvairesnes transporto, bei kitų sričių priemones.

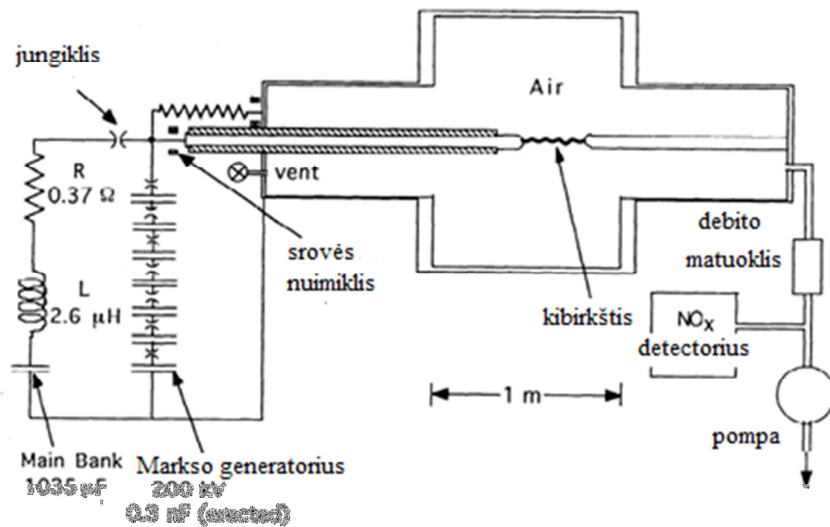
## 1. MOKSLO DARBŲ ANALIZĖ

Prieš pradėdant nagrinėti pasirinktą VDV efektyvumo didinimo metodą apžvelgiami moksliniai darbai, kuriuose nagrinėjamos panašios ar analogiškos problemos ir siūlomi jų sprendimo variantai. Projektuojant ir eksploatuojant azoto oksidų gamybos įrenginį siekiama kiek galima labiau patobulinti jo konstrukciją, padidinti susidariusių azoto oksidų molekulių kiekį ir užtikrinti įrenginio veikimo patikimumą.

Jungtinių Amerikos Valstijų Merilendo miesto koledžo Fizikos departamento ir Plazmos tyrimo instituto mokslininkų Y. Wang, A. W. DeSilva ir G. C. Goldenbraun, taipogi Meteorologijos departamento mokslininko R. R. Dickenson straipsnyje „Nitric oxide production by simulated lightning: Dependence on current, energy and pressure“ („Azoto oksidų gamyba imituojant žaibą: srovės, energijos ir slėgio priklausomybės“ aprašomi mokslininkų atliktų bandymų rezultatai, kurių tikslas buvo iširti azoto oksidų kiekio priklausomybę nuo žaibo išlydžio t.y kiek molekulių pagamina vienas žaibo išlydis.

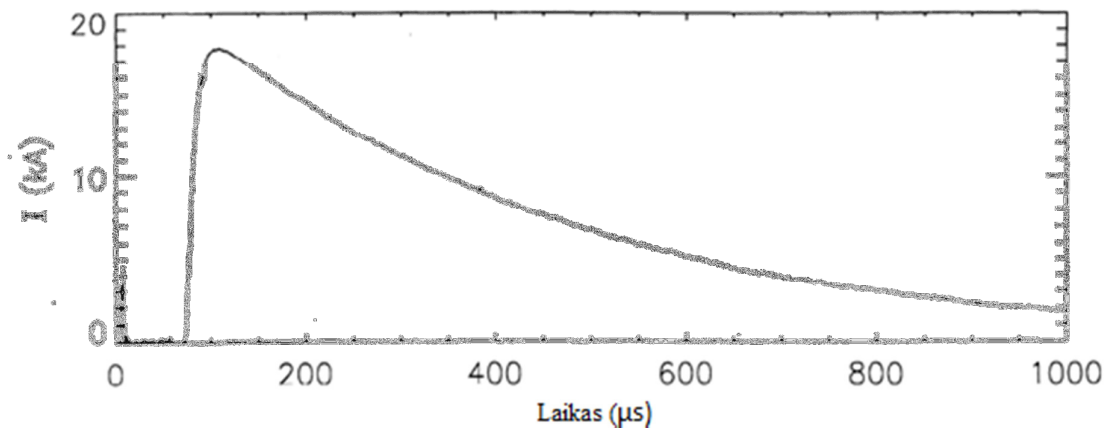
Bandymui buvo naudojamas prietaisas, kuris imituoja žaibą dirbtine kibirkštimi tarp nerūdijančio plieno elektrodų hermetiškoje kameroje 1m ilgio ir 1m skersmens. Elektrodų galai užapvalinti ir padengti elektonitu, kuris pasižymi puikiomis kibirkšties erozinėmis savybėmis.

Natūraliam žaibui kelią pradeda mažos srovės „vedlys“, kuris jonizuoja mažo skersmens kanalą ir kai du kanalai - vienas iš dangaus kitas iš žemės - susijungia šiuo kanalu prateka pagrindinė srovė. Panašumas eksperimente - tai trumpas (submikrosekundinis) įtampos impulsas iš 250 kV Markso aukštos įtampos generatoriaus imituojantis „vedlį“. Toks impulsas gali suformuoti 20 cm kibirkštį 1 atmosferos slėgio ore. Pagrindinės iškrovos srovė siekia 30 kA, kurią tiekia kondensatorių blokas, kurių talpa siekia  $C = 1035 \mu\text{F}$ , pakrautų iki 5-10kV. Šis kondensatorių blokas yra izoliuotas nuo Markso generatoriaus kibirkšties jungikliu. Būtina izoliuoti žemo voltažo kondensatorių blokus nuo aukšto voltažo Markso generatoriaus, norint išvengti kondensatorių sugadinimo (pramušimo).



1 pav. Eksperimento schema

Kibirkštis prašoka tarp aukštos įtampos elektrodo ir mažo įžeminto elektrodo, esančių kameros viduryje. Azoto oksidų detektorius tiria mažas oro frakcijas, išsiurbtas iš kameros, tuometu naujas oras įeina per ventiliacijos angą. Kondensatorių bloko vardinė įtampa yra 18 kV, tačiau eksperimente naudota tik 10 kV.



2 pav. Srovės kitimas laiko atžvilgiu

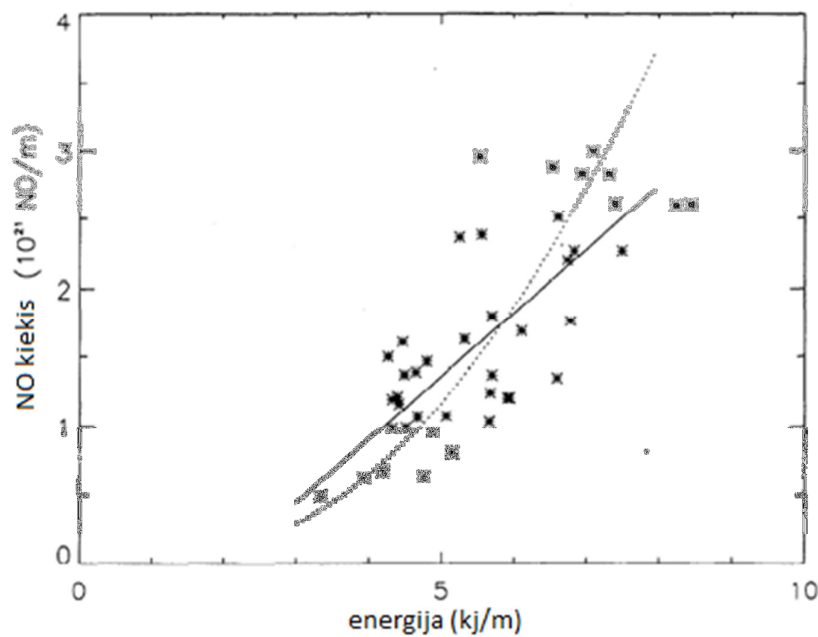
Sukurtas matematinis modelis apima hidrodinaminių ir cheminių reakcijų lygtis (Goldenbergo ir Dikensono [1993]) Šis šaltinis aprašo staigų energijos šuolį cilindrinėje kibirkšties šerdyje. Į naudojamą modelį yra įtraukta, energijos išraiška kuri paverčiama į šilumą, pratekant didelei srovei,

kurios pikinė vertė pasiekia 30 kA per 30  $\mu$ s, energija išsisklaido per pastovų laiko tarpą 400  $\mu$ s. Modelis naudotas specifiniam laidumui apskaičiuoti, apima elastinių elektronų, neutronų bei kolektyvinių darinių susidūrimų įtaką (Barginskii, 1965).

Šiam tikslui kanalas buvo padalytas į cilindrinis darinius, kurių savitąjį laidumą apibrėžia pagal lokalią temperatūrą ir tankį. Specifinės energijos dydis formulėje atspindi šaltinio  $\sigma E^2/\rho$ , čia  $\rho$  yra masės tankumas,  $\sigma$  - specifinis laidumas ir  $E$  - elektrinis laukas. Elektrinis laukas nustatomas apskaičiuojant viso stulpelio simuliaciją atsižvelgiant į Omo dėsnį.

$$E(t) = \frac{I(t)}{\sum_i \sigma_i \pi (r_i^2 - r_{i-1}^2)} \quad (1.1)$$

Išmatuoti abu NO ir NO<sub>x</sub> ore po apdirbimo kibirkštimi su cheminės liuminisensijos detektoriumi (eg., Dikenson et al., 1995). Visais atvejais NO<sub>x</sub> frakcijos yra tik 5-10% didesnės negu NO frakcijos.

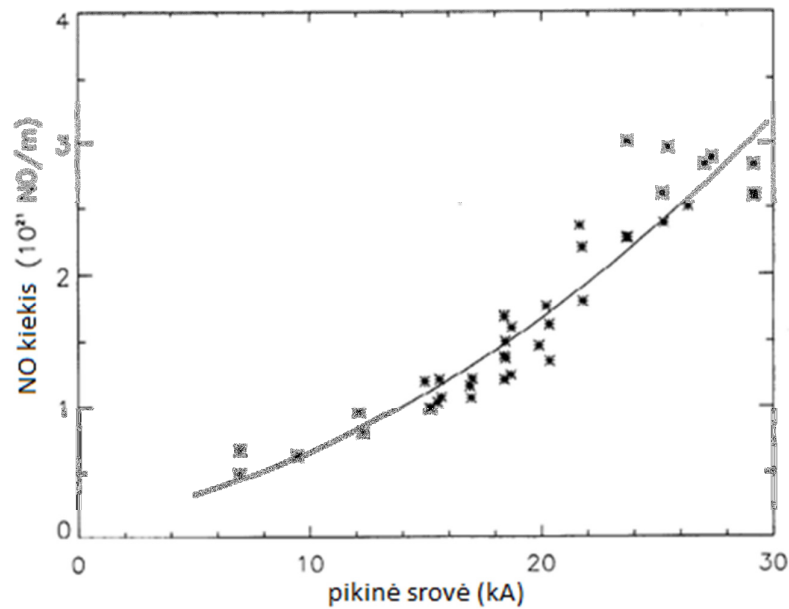


3 pav. NO gaminimas kaip funkcija nuo kibirkštyje išsisklaidžiusios energijos, 1m ilgio kibirkštyje

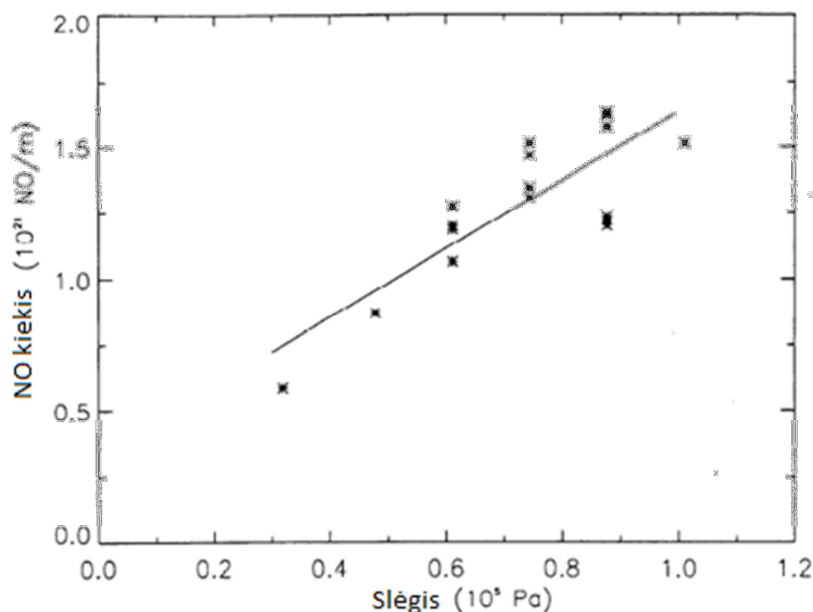
Išsklaidomos energijos matavimų rezultatai, bei metro ilgio kibirkšties NOx kiekis (3 pav.)  
 Linijiniai duomenys apskaičiuojami pagal formulę:

$$n_{NO}(W) = a + bW \quad (1.2)$$

Čia  $a = -0.94 \pm 0.35$ ,  $b = 0.46 \pm 0.06$ , su  $W$  ir  $\frac{kJ}{m}$  ir  $n_{NO}$ , kurio vietai  $10^{21} NO/m$ .  
 Koreliacijos koeficientas  $r^2 = 0,59$ . Tai atspindi mažą koreliaciją su apskaičiuota kreive.  
 Standartizacijos deviacija individualių duomenų regresija yra  $\pm 0,48 \times 10^{21} NO/m$ .



4 pav. NO gamyba normalizavusiame 1m ilgio kibirkšties tarpe, kaip funkcija maksimalios srovės kibirkštyje, esant 1 atmosferos slėgio,  $T = 20^{\circ}C$



5 pav. NO gamybos duomenų sklaida keičiant kameros slėgį (tarpas 3,2 cm, pikinė srovė 19 kA).

Tačiau duomenų išsimėtymas nereiškia, kad koreliacijos rasti negalima. Naudojant tuos pačius duomenis nustatytas geras koreliacijos koeficientas, tarp NO<sub>x</sub> gamybos kiekio nuo pikinės srovės.

4 paveiksle parodytas šis ryšys kartu su apskaičiuota kvadratine priklausomybe.

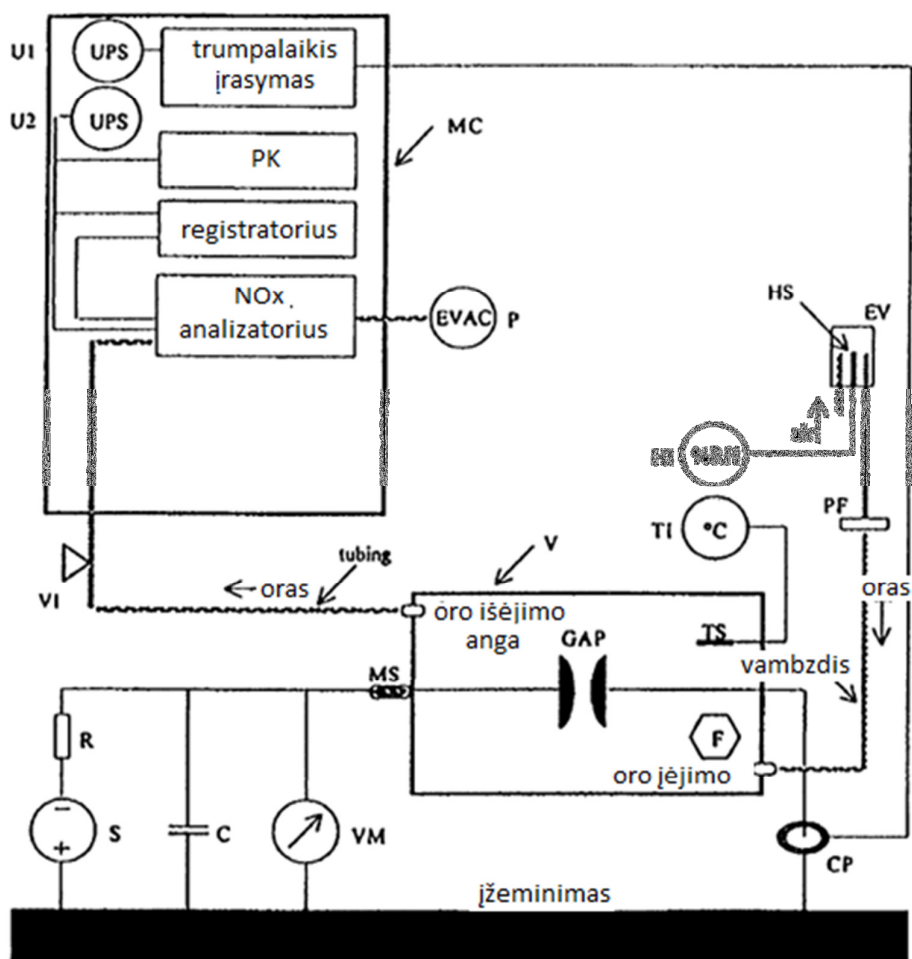
$$n_{NO}(I) = a + bI + cI^2 \quad (1.3)$$

Čia  $I$  - pykinės srovės amplitudės reikšmės,  $a = 0,14 \pm 0,33$ ,  $b = 0,026 \pm 0,036$  ir  $c = 0,0025 \pm 0,0009$ . Daugialypis koreliacijos koeficientas  $r^2 = 0,89$ , ir standartinis deviacija iš regresijos yra  $0,25 \times 10^{21} \text{ NO/m}$ .

Simuliacijos rezultatai buvo palyginti su bandymo rezultatais. Simuliacijos skaičiavimai atlikti naudojant pastovų kibirkšties skersmenį, o realiai jos skersmuo labai nepastovus. Šis skirtumas iškraipė duomenis. Tyrimo metu buvo nustatyta NO ir NO<sub>x</sub> molekulių kiekio gamybos priklausomybė nuo pikinės pratekėjusios srovės.

Toliau nagrinėjamas Švedijos „Uppsalos“ universiteto, elektros skirstymo ir žaibų tyrimų „Angstrom“ laboratorijos mokslininkų Nils Rehbein, Vernon Cooray parašytas straipsnis „No production in spark and corona discharges“, (No gamyba kibirkšties ir karūnos tipo iškrovose). Publikuotas „Journal of electrostatics“ surastas per „Science direct“ paieškos sistemą.

Šiame straipsnyje aprašyta eksperimentinė azoto oksidų gamybos NO ir NO<sub>x</sub> studija kaip funkcija nuo elektros kibirkšties energijos laboratorijoje ir karūnos tipo elektros iškrovose.

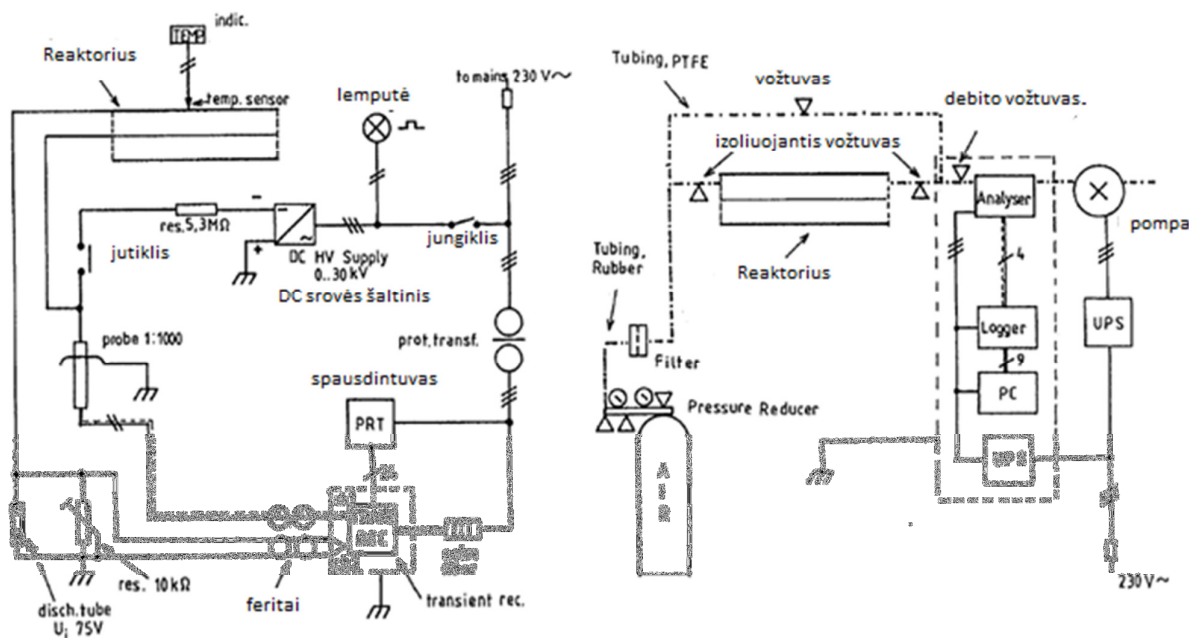


6 pav. Eksperimentinės įrangos schema, skirta išmatuoti NO<sub>x</sub> pagamintų molekulių kiekius kibirkšties tipo elektros iškrovoje

Rezultatai rodo, jog abu NO ir NO<sub>x</sub> kiekiai didėja beveik tiesine priklausomybe pagal energijos kiekį, bei kibirkšties ilgį. Iš eksperimentinių duomenų matyti, jog kibirkšties tipo elektros iškrova, kurios metu išsiskyrė 0,5 – 2,5 J energijos, pagamino  $(2,76 \pm 0,2) \times 10^{16}$  NO molekulių/J ir  $(2,97 \pm 0,2) \times 10^{16}$  NO<sub>x</sub> molekulių/J. Norint patikrinti drėgnumo įtaką NO<sub>x</sub> gamybai, eksperimentai buvo atlikti esant 37 % ir 87 % santykiniam drėgnumui. Tačiau jokios reikšmingos įtakos NO ir NO<sub>x</sub> gamybai nepastebėta. Eksperimentai taipogi buvo atlikti NO<sub>x</sub> pagaminamam kiekiui įvertinti su karūnos formos elektros iškrova. Eksperimente buvo naudojama nuolatinės srovės, aukštos įtampos iškrova, leidžiant ją per daugiasluoksni metalinį cilindą, prijungiant prie centrinio sluoksnio. Prijungta srovė ir įtampa buvo matuojama kaip funkcija nuo laiko, taigi energijos išsisklaidymas yra apskaičiuotas. Rezultatai parodė, jog karūnos tipo elektros iškrovos naudingumas (su vidutine srovės reikšme apie 30 μA) gaminant NO<sub>x</sub> yra  $5,7 \times 10^{14}$  ir  $3,6 \times 10^{14}$  molekulių/J, atitinkamai su teigiamu ir neigiamu poliariškumu. NO<sub>x</sub> kiekiai šiek tiek didesni ties teigiamu elektrodu, kai apskritai NO<sub>x</sub> kiekiai karūnos tipo elektros iškrovoje dukart mažesni nei kibirkšties tipo išlaidyje.

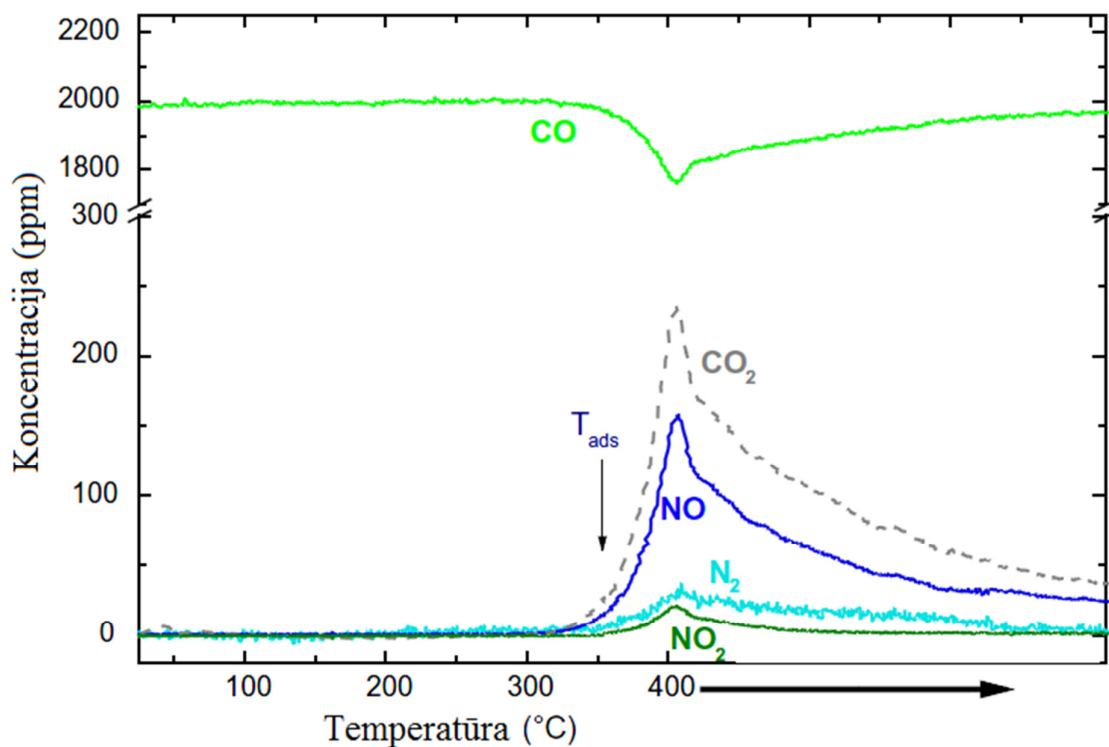
## Karūnos tipo iškrova

Iškrovos kamera tai 50 cm ilgio nerūdijančio plieno vamzdis, kurio vidinis skersmuo 40 mm ir 500 mm ilgio, centre įrengtas 0,5 mm storio laidas ir galas uždarytas teflono dangteliu. Į kamerą tiekiamas susintetintas oras jo slėgį reguliuojant su automatinio vožtuvu. Suspaustas oras iš talpos per filtrus tiekiamas į tyrimo kamerą. Išeinantis oras iš kameros eina per dujų analizatorių, kur jį priverčia eiti vakuuminė pompa. Centrinis kameros laidas buvo prijungtas prie 0 – 30 KV nuolatinės srovės energijos šaltinio. Pradedant eksperimentą buvo pradėtas leisti oras į kamerą ir sistema pasidarė stabili tik po valandos darbo. Kai tik NO<sub>x</sub> kiekis pasidarė stabilus, molekulių kiekis buvo išmatuotas (tipiškai 10 ppb). Papildomai kameros temperatūra ir slėgio pakyčiai buvo išmatuoti. Nuolatinės srovės energijos šaltinio poliariškumas ir pikinė įtampa buvo nustatyti. Nuolatinės srovės energijos šaltinis prie tyrimo kameros buvo prijungtas per jungiklį, kuris buvo valdomas rankiniu būdu. Tiekiamos elektros energijos įtampa ir srovė buvo fiksuojama nepertraukiamai. Iš duomenų matyti, kiek energijos išsisklaidė tyrimo kameroje. Karūnos tipo elektros iškrovos tyrimo kameroje įtampa buvo tiekiama impulsais (maždaug 10 – 30 s), tačiau NO<sub>x</sub> kiekiai buvo matuojami nepertraukiamai. Išjungus srovę NO<sub>x</sub> kiekiai buvo matuojami toliau, kol molekulių kiekis nenukris iki nustatyto žemiausio matuojamo lygio. Iš matavimų duomenų matyti, jog išsisklaidžiusios energijos matavimų tikslumas 0,4 mJ.



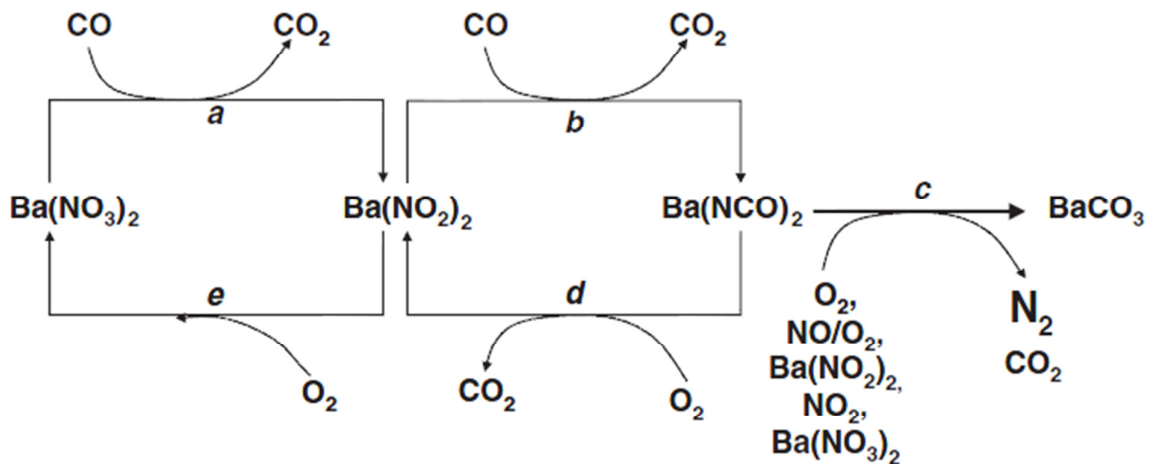
7 pav. Eksperimentinės įrangos schema, skirta išmatuoti NOx pagamintų molekulių kiekius karūnos tipo elektros iškrovoje

Italijos Milano miesto, energetikos ministerijos, katalizės ir katalitinių reakcijų laboratorijos mokslininkai Pio Forzatti, Luca Lietti, Isabella Nova, Sara Morandi, Federica Prinetto, Giovanna Ghiotti straipsnyje „Reaction pathway of the reduction by CO under dry conditions of NO<sub>x</sub> species stored onto PtABa/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Lean NO<sub>x</sub> Trap catalysts” („Reakcijų seka azoto oksidų mažinimui naudojant anglies dvideginį sauso oro aplinkoje naudojant PtABa/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizuojančią medžiagą”.



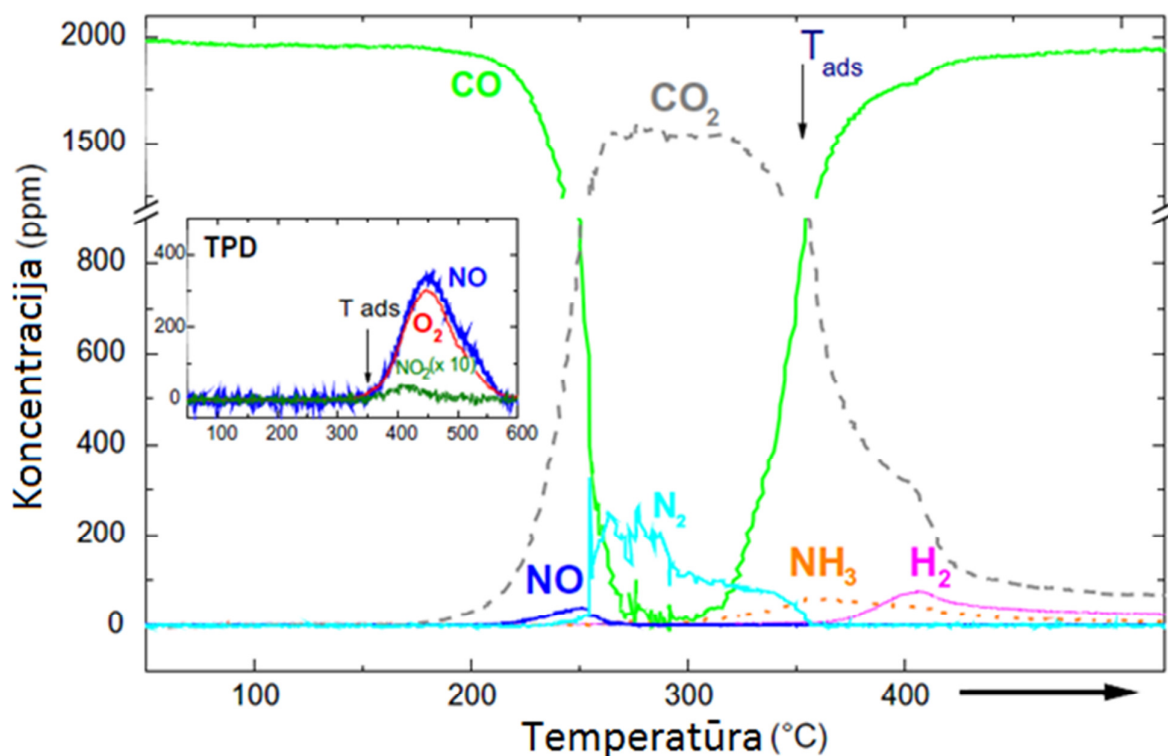
8 pav. CO-TPSR (2000 ppm CO iš He) po NO<sub>2</sub> sugėrimo prie 350 °C per Ba/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizatorių.

Azoto oksidų NO<sub>x</sub> mažinimo būdas naudojant CO sausoje aplinkoje esant 350 °C ir Pt-Ba/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. NO<sub>x</sub> katalizatorius yra tiriamas naudojant trumpalaikio signalo analizavimo metodą (CO-TPSR ir CO-ISC tyrimai) taip pat papildoma FTIR spektroskopija. Tyrimai rodo, kad naudojant CO beveik izoterminėmis sąlygomis azoto oksidų mažinimas ant Pt-Ba/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> paviršiaus įvyksta per Pt katalizatorių, ši reakcija daugiausiai vyksta dėl azoto molekulių, bet ne dėl terminio skylio.



9 pav. Azoto nitratų dekompozicijų reakcijų seka naudojant CO ant Pt-Ba/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizatoriaus.

CO-TPSR ir CO-ISC tyrimų ir kombinuotos FTIR studijos rezultatai rodo, kad azoto oksidų skaidymas naudojant CO (anglies viendeginį) pasireiškia per iš eilės vienas po kitų vykstančias reakcijas kurių pradžioje formuojasi nitratai ir poto paviršiuje izocianato / cianato rūštys kurios ir disocijuoja nitratus į azotą ir kitas dujas. Reakcijos NCO eilės su nitratais azotui gauti yra lėtesnės nei nitritų virtimas į nitratus ir tada į NCO.



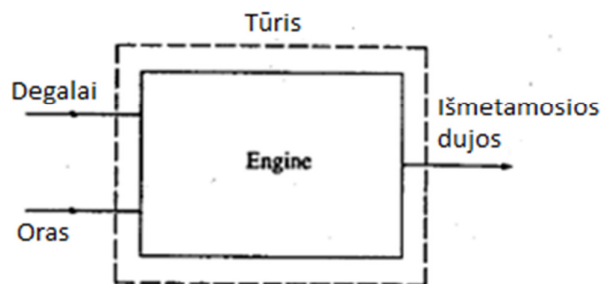
10 pav. CO-TPSR (2000 ppm CO iš He) po NO/O<sub>2</sub> sugėrimo prie 350 °C per Ba/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizatorių.

Dėl sąlyčio su deguonimi, keliant temperatūrą, NCO eilės reakcijos gali būti re-oksiduotos, o tada paviršiuje susidarytų nitritai. Azoto formavimasis stebimas skylančiam azoto oksidams prisijungiant deguonį iš anglies viendeginio, reakcijos greitis vykstant NCO oksidacijai priklauso nuo perteklinio deguonies kiekio. Visi Azoto formavimosi atvejai gali būti paaiškinti reakcijomis vykstančiomis tarp NCO ir nitritų. Aptartas Azoto oksidų mažinimo būdo beveik isoterminėmis sąlygomis reaguojant su anglies viendaginiu mechanizmas yra aptariamas staripsnyje.

Šie ir kiti straipsniai parodo, kaip aktualios pasaulyje yra azoto oksidų gamybos problemos. Taip pat kaip yra ieškoma būdų padidinti raketinių ir vidaus degimo variklių efektyvumą. Būtina ir toliau tęsti mokslinius tyrimus šia kryptimi: kurti naujus N<sub>x</sub>O<sub>x</sub> gamybos būdus, sudaryti tikslesnius molekulių susidarymo matematinius modelius. Šiame baigiamajame magistrantūros darbe bandoma patikrinti NO įtaką didinant VDV efektyvumą.

## 2. TYRIMAS

Praktikoje išmetamosios VDV dujos susideda iš nevysiško degimo produktų (CO, H<sub>2</sub>, nesudegę angliavandeniliai, suodžiai) kaip ir visiško degimo produktų (CO<sub>2</sub> ir H<sub>2</sub>O). Varikliui veikiant lieso mišinio sąlygomis, nevysiško degimo produktų yra nedaug. Veikiant riebaus mišinio sąlygomis nevysiško degimo produktų kiekis ryškiai padidėja dėl nepakankamo deguonies molekulių skaičiaus. Kadangi ne visa cheminė energija, kurią turi degalai, riebaus mišinio sąlygomis išsiskiria vykstant degimui variklyje, taigi apie jo naudingumą nėra prasmės. Variklis gali būti nagrinėjamas kaip atvira sistema, kuri keičiasi šiluma ir darbu su aplinka (atmosfera). Reagentai (degalai ir oras) teka į sistemą; produktai (išmetamosios dujos) išteka iš jos. Pritaikant antrą termodinamikos dėsni kontroliuojamai aplinkai, t. y. varikliui, kaip iliustruota 8 pav. galima gauti maksimalaus naudingo darbo išraišką, kurią gali pagaminti variklis.



11 pav. Kontroliuojama variklio aplinka

Atsižvelgiant į masę  $m$  skysčio, kuris teka pro aplinką kontroliuojamu kiekiu, pro variklį.

$$\Delta Q - \Delta W_U = \Delta H \quad (2.1)$$

Čia  $\Delta W_U$  naudingas darbas, perduotas į aplinką ir  $\Delta H = H_p - H_R$ . Kadangi šilumos perdavimas  $\Delta Q$  yra tik tarp atmosferos temperatūroje  $T_A$ , iš antro dėsniu

$$\frac{\Delta Q}{T_A} \leq \Delta S \quad (2.2)$$

Šių formulių bendra išraiška

$$\Delta W_U \leq -(\Delta H - T_A \Delta S) = -\Delta B \quad (2.3)$$

Čia  $B$  yra stabilaus tekėjimo funkcija, H-TS.<sup>13</sup> Dažniausiai  $p_R = p_A$  ir  $T_R = T_A$ . Maksimalus darbas bus stebimas kai  $p_P = p_A$  ir  $T_P = T_A$ .

Antžeminiame transporte daugiausia yra naudojami vidaus degimo varikliai. Šie varikliai yra kompaktiški, ekonomiški, ilgaamžiai ir lemia transporto, pramonės ir ekonomikos plėtrą.

Šiuo metu skiriamas ypatingas dėmesys triukšmo ir transporto išmetamų į aplinką toksiškai pavojingų medžiagų mažinimui.

Atsižvelgiant į tai, kad aplinkos tarša ir transporto priemonių eksploatacijos išlaidos daugiausia priklauso nuo vidaus degimo variklių tobulumo, todėl šiuo metu transporto priemonių gamintojai nuolat modernizuoja senus variklius, didina jų litrinę galią, ekonomiškumą, mažina masę, kainą ir eksploatacijos išlaidas.

Azotas ( $N_2$ ) yra aplinkoje paplitusios inertinės dujos, sudarančios beveik 80 procentų atmosferos oro. Šioje formoje azotas yra nekenksmingas žmogui ir gyvybiškai reikalingas augalų medžiagų apykaitai. Dėl savo paplitimo atmosferoje, azotas dalyvauja daugelyje degimo procesų. Esant aukštomis degimo temperatūroms (degant angliai, naftos produktams, dujoms), molekulinis azotas ( $N_2$ ) jungiasi su atmosferos deguoniu ( $O_2$ ) ir sudaro įvairius oksidus ( $NO_x$ ). Iš jų svarbiausi teršalai yra azoto monoksidas ( $NO$ ) ir azoto dioksidas ( $NO_2$ ). Dažniausiai, naudojant terminą "azoto oksidai ( $NO_x$ )", turima mintyje šių dviejų oksidų koncentracijų suma. Azoto oksidai yra vieni iš svarbiausių rūgščių kritulių sudarymo komponentai. Reaguodami su vandeniu jie sudaro azoto rūgštį. Esant saulės šviesai  $NO_x$  reaguoja su kitais aktyviais atmosferos komponentais, dažniausiai angliavandeniliais, ir dėl sudėtingų reakcijų sudaro fotocheminius oksidus (taip pat ir ozoną). Šie itin nestabilūs junginiai žaloja augalus ir erzina žmogaus kvėpavimo ir regėjimo organus. Atskirai  $NO$  yra bespalvės ir bekvapės dujos. Jis yra pirminis degimo produktas. Žmogaus sveikatai nėra labai pavojingas (toksinis  $NO$  poveikis prilygsta 20 proc.  $NO_2$  poveikio). Tačiau esant didesnėms koncentracijoms, patekęs į kraują per plaučius, sudaro metaglobiną, kuris, panašiai kaip anglies monoksidas, trukdo deguonies transportavimą kraujyje. Azoto dioksidas  $NO_2$  yra rudos spalvos, slogaus kvapo dujos. Patekęs į žmogaus organizmą, jis dirgina kvėpavimo takus ir gali sukelti sveikatos pablogėjimą esant koncentracijai ore nuo  $140 \text{ g/m}^3$ .  $NO_2$  apsunkina kvėpavimą, padidina jo dažnumą, sumažina plaučių atsparumą infekcijoms.  $NO_2$  gali pažeisti giliuosius plaučių audinius ir sukelti plaučių edemą. Kai šis azoto dioksidas įkvėpiamas su kitais teršalais, efektas būna suminis.

Pasirinkęs šią baigiamojo magistrinio darbo temą, norėjau įsitikinti, ar teorija gali būti pritaikyta praktikoje. Tam tikslui atlikau bandymą. Jo metu buvo panaudotas mano paties pagamintas aukštos įtampos energijos šaltinis. Juo pagaminti azoto oksidai buvo tiekiami į variklį, tuo metu buvo matuojama jo galia. Norėdamas apskaičiuoti atlikto bandymo rezultatus atlikau variklio šiluminę skaičiuotę. Šiluminė skaičiuotė atlikta panaudojant variklio duomenis, kurie buvo paimti iš internetinio puslapio (9) ([http://en.wikipedia.org/wiki/Mazda\\_B\\_engine](http://en.wikipedia.org/wiki/Mazda_B_engine)). Bandyme buvo naudotas „Mazda 626“ 1994 metų gamybos su 1,8 litrų tūrio varikliu.

Variklis 1,8 litrų ( $1,839 \text{ cm}^3$ ) B8. Stūmoklio skersmuo 83 mm ir stūmoklio eiga 85 mm, 16 vožtuvų DOHC, 8,9:1 suspaudimo laipsnis, 6000 aps./min maksimalūs sūkliai, daugiataškis degalų įpurškimas. Galios duomenys:

- 106 arklio galių (78 kW) esant 5,300 rpm, 151 N·m esant 4,000 aps./min.

Bandymo atlikimo seka:

1. automobilis Mazda 626 su 1,8 litrų darbinio tūrio varikliu pastatomas ant traukos stendo
2. automobilis įtvirtinamas saugos diržais
3. prie įsiurbimo kolektoriaus prijungiamas azoto oksidų gamybos reaktorius
4. užvedamas variklis, matuojama jo galia neįjungus azoto oksidų gamybos reaktoriaus
5. užfiksuojami gauti rezultatai
6. matuojama variklio galia įjungus azoto oksidų gamybos reaktorių
7. užfiksuojami gauti rezultatai

Rezultatų duomenys pateikti prieduose.

## 2.1. Automobilio variklio galios nustatymas

### 2.1.1 Bendroji apžvalga

Pagrindiniai automobilio efektyvumo parametrai yra galia ir degalų sąnaudos. Jie priklauso nuo variklio ir jo sistemų, jėgos perdavimo mechanizmų bei važiuoklės techninės būklės.

Variklio galią lemia degimo kameros (virš stūmoklinės ertmės) sandarumas, žvakių kibirkštinės iškvos galia, uždegimo paskubos kampo dydis ir degiojo mišinio paruošimo kokybė.

Mechaniniai nuostoliai transmisijoje priklauso nuo tikslaus krumplių sukibimo, guolių užveržimo dydžio, priekinių ratų geometrijos, oro slėgio dydžio padangose, stabdžių ir sankabos mechanizmų sureguliuavimo kokybės bei jų techninės būklės ir kt.

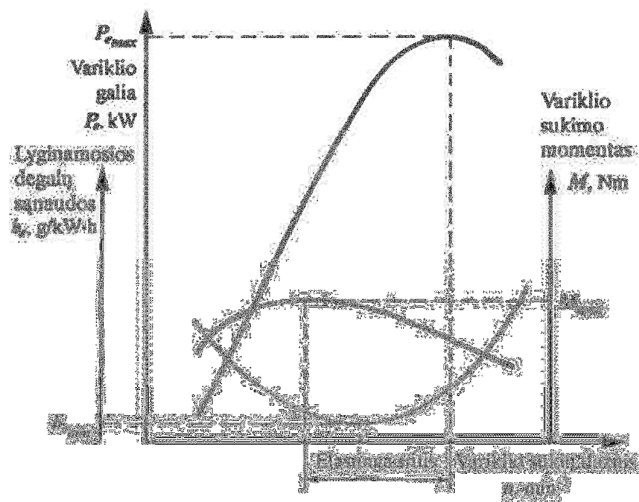
Laboratorinėmis sąlygomis automobilių bendrajam diagnozavimui naudojami ritininiai stendai, kurie neatsižvelgiant į įtaisytą juose stabdymo įrenginį skirstomi į tris grupes: inercinius, traukos ir kombinuotuosius. Labiausiai paplitę traukos stendai. Šiais stendais automobiliui sudaromos (imituojamos) eismo sąlygos, panašios į natūralias eismo sąlygas kelyje. Tokio stendo veikimo principas toks: automobilis nejuda, judėjimą įgyja „kelias“, tai yra stendo ritiniai.

Pagrindiniai diagnostiniai parametrai, apibūdinantys automobilio darbingumą yra:

- varančiųjų ratų traukos jėga  $P$ , esant tam tikram pasirinktam greičiui  $v$ ;
- automobilio įsibėgėjimo laikas  $t_i$  arba nueitas kelias  $S_i$  nuo pasirinktų pradinio  $v_p$  iki galinio  $v_g$  riedėjimo greičių;
- automobilio laisvojo riedėjimo laikas  $t_r$  arba nueitas kelias  $S_r$  nuo pasirinktų didžiausiojo  $v_g$  iki mažiausiojo  $V_B$  riedėjimo greičių;
- kontrolinė degalų sąnauda  $Q$  (l/100 km) įvairiais variklio darbo režimais, bei  $Q_h$  (l/h) laisvosios eigos režimu.

Prieš bendrąjį automobilio diagnozavimą nustatomas optimalus uždegimo paskubos kampas, padangos pripučiamos iki normatyvinio oro slėgio.

Jeigu atlikus bandymą gauti automobilio galios ir ekonominiai rodikliai žemesni už normatyvinius techniškai tvarkingo automobilio rodiklius, tai tokiam automobiliui reikia atlikti nuodugną diagnozavimą *Variklio charakteristikos*. Vidaus degimo variklių charakteristikos rodo sukimo momento  $M_s$ , efektyviosios galios  $P_e$ , valandinių  $B_e$ , bei lyginamųjų  $b_e$  degalų sąnaudų kitimą priklausomai nuo sūkių dažnio  $n$ .



12 pav. Greitinė vidaus degimo variklio charakteristika

Yra greitinės ir dalinės charakteristikos. Norint gauti greitines charakteristikas (9 pav.), vidaus degimo variklis turi dirbti esant visiškai atidarytai droselinei sklendei (benzininis variklis) arba esant pilnam degalų tiekimui (dyzelinis variklis). Dalinės charakteristikos gaunamos dalinai atidarius droselinę sklendę arba esant daliniam degalų tiekimui.

Srityje nuo 0 iki  $\sim 900 \text{ min}^{-1}$  charakteristikose nepavaizduoti nei sukimo momentas, nei efektyvioji galia, nes:

- variklio trinties jėgos yra labai didelės;
- judėdamas stūmoklis sukuria nedidelį srauto greitį, kurio nepakanka, kad tinkamai susidarytų degusis mišinys;
- laiko tarpas tarp darbo taktų yra toks didelis, kad nebegalimas pakankamai tolygus judesys;
- dėl didelio laiko tarpo tarp darbo taktų gaunami dideli šilumos nuostoliai.

Didėjant sūkių dažniui efektyvioji galia didėja. Degalų ir oro mišinio masė nuolat didėja. Pasiekusi didžiausią vertę esant labai dideliems sūkiams ji vėl mažėja.

Variklio sukimo momento dydis iš esmės priklauso nuo cilindrų pripildymo. Kuo geresnis pripildymas, tuo didesnis slėgis susidaro degimo metu.

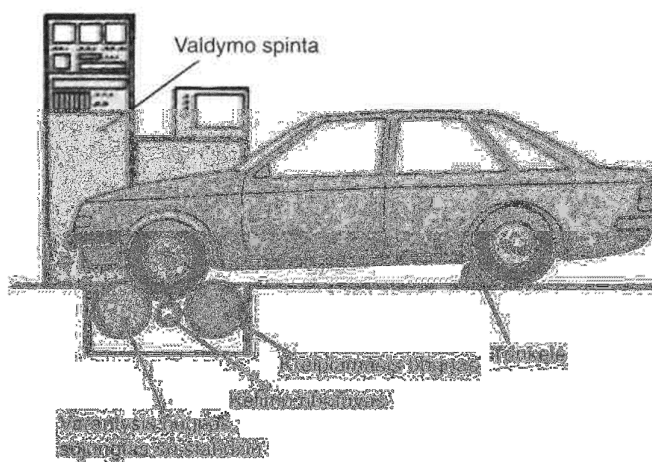
Cilindrų pripildymas šviežiu mišiniu priklauso nuo vožtuvų persidengimo ir vožtuvų praleidžiamąjo skerspločio dydžių.

Elastingoje variklio srityje tarp didžiausio sukimo momento ir didžiausios efektyviosios galios yra mažiausia lyginamųjų degalų sąnaudų sritis.

## 2.1.2 Darbo vietos įranga

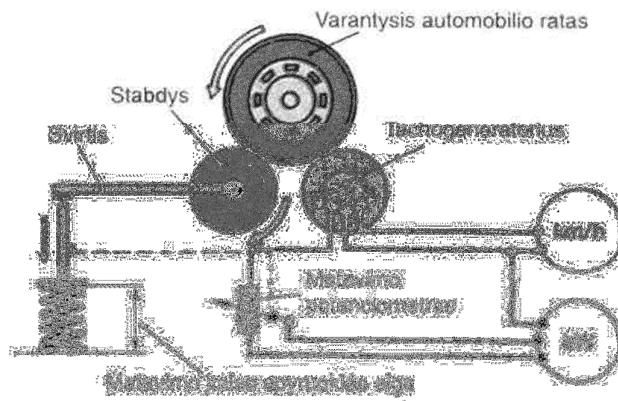
Bendrajam automobilio diagnozavimui naudojamas elektromagnetinis sūkurinių srovių traukos stendas.

*Traukos stendo sandara ir veikimo principas.* Traukos (arba galios tikrinimo) stendu (2 pav.) galima išmatuoti automobilio variklio galią, normatyvines degalų sąnaudas arba deginių toksiškumą.



13 pav. Automobilų traukos stendas

10 pav. pavaizduota ritinio traukos stendo sandara. Remonto įmonėse toks stendas naudojamas diagnostikai ir priežiūros darbų kontrolei. Variklio (pvz., uždegimo ar degalų tiekimo sistemos) arba transmisijos (pvz., sankabos ar pavarų dėžės) gedimas randamas imituojant važiavimą keliu. Hidraulinio ar elektrinio traukos stendo stabdžiu stabdant varančiuosius automobilio ratus galima imituoti skirtingas važiavimo sąlygas. Ritinio traukos stendo veikimo principas yra toks: ratai sukasi ant ritinių, sujungtų su stabdžio rotoriumi (11 pav.). Magnetinio lauko jėgos (hidrauliname stabdyje vandens dalelių trinties jėgos) veikia prieš sukamų ritinių apskritimines jėgas. Statorius svirtimi jas perduoda matavimo jutikliui. Jutiklio parametrai siunčiami į valdymo bloką ir čia apdorojami.



14 pav. Ritininio traukos stendo veikimo principas

### 3. VARIKLIO PARAMETRŲ SKAIČIAVIMAS

#### 3.1 Darbo agento parametrų skaičiavimas.

Atsižvelgiant į tai, kad suspaudimo laipsnis  $\varepsilon = 8,9$  galima naudoti AI-95 markės benzina.

$$C = 0,855;$$

$$H = 0,145;$$

$$O_2 = 0$$

Kibirkštinių variklių oro pertekliaus koeficientas  $\alpha = 0,85 - 1,15$ .

Pasirenkame  $\alpha = 0,97$ . Toliau skaičiuojame teoriškai reikalingas oro kiekis 1 kg degalų sudeginti:

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \times \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,208} \times \left( \frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{4} - \frac{0}{32} \right) = 0,517 \text{ kmol/kg.}$$

Degiojo mišinio, būtino benzininiam varikliui, kiekis, esant pasirinktam oro pertekliaus koeficientui  $\alpha$ .

$$M_1 = \alpha \times L_0 + \frac{1}{m_d} = 0,97 \times 0,517 + \frac{1}{110} = 0,51 \text{ kmol/kg,}$$

čia  $m_d$  – benzino molekulinė masė  $m_d = 110 - 120$ , pasirenku 110.

Iš tikrųjų oro tiekama daugiau arba mažiau, negu reikia cheminei reakcijai. Tai ir apibūdina oro pertekliaus koeficientas  $\alpha$ :

$$\alpha = L_{of} / L_0.$$

Iš formulės apskaičiuoju tikrą oro kiekį cilindre  $L_{of}$ :

$$L_{of} = \alpha \times L_0 = 0,97 \times 0,517 = 0,501 \text{ kmol/kg.}$$

Nevisiško degimo atveju, kai  $\alpha < 1$ , deginių įvairių komponentų kiekis:

- degalų anglies kiekis, sudegusi į CO:

$$\varphi = 2 \times (1 - \alpha) \left( 1 + \frac{3H}{C} \right) = 2 \times (1 - 0,97) \left( 1 + \frac{3 \cdot 0,145}{0,855} \right) = 0,091 \quad ;$$

- anglies monoksido:

$$M_{CO} = \frac{C}{12} \varphi = \frac{0,855}{12} \times 0,302 = 0,006 \text{ kmol/kg};$$

- anglies dvideginio:

$$M_{CO_2} = (1 - \varphi) \times \frac{C}{12} = (1 - 0,302) \times \frac{0,855}{12} = 0,065 \text{ kmol/kg};$$

- vandens garų:

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} = \frac{0,145}{2} = 0,073 \text{ kmol/kg};$$

- azoto:

$$M_{N_2} = 0,79 \times \alpha \times L_0 = 0,79 \times 0,9 \times 0,517 = 0,396 \text{ kmol/kg};$$

- deguonies:

$$M_{O_2} = 0 \text{ kmol/kg}.$$

Bendras deginių kiekis:

$$M_2 = M_{CO} + M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_N = 0,006 + 0,065 + 0,073 + 0,396 = 0,54 \text{ kmol/kg}$$

### 3.2 Išmetimo ir siurbimo procesų parametų nustatymas

Supančios aplinkos oro slėgis ir temperatūra, varikliui veikiant nepripūtus oro,  $P_0 = 0,1 \text{ MPa}$ ,  $T_0 = 293 \text{ K}$ .

Likusių cilindre dujų slėgis  $P_r = 1,19 \times P_0 = 1,19 \times 0,1 = 0,119 \text{ MPa}$ .

Šviežio mišinio pašildymo temperatūra  $\Delta T$  benzininiams varikliams  $= 5 - 20^\circ$ .

Pasirenku  $\Delta T = 15^\circ \text{ K}$ .

Slėgis baigiantis siurbimui:

$$P_a = P_0 - \Delta P_a = 0,1 - 0,004 = 0,096 \text{ MPa}.$$

Slėgio nuostolis  $\Delta P_a$  apskaičiuojamas pagal Bernulio formulę:

$$\Delta P_a = \left( \beta^2 + \xi \right) \times \frac{\omega^2}{2} \times \rho \times 10^{-6} = 3 \times \frac{50^2}{2} \times 1,189 \times 10^{-6} = 0,004 \text{ MPa}.$$

čia  $\beta$  – degiojo mišinio tekėjimo greičio mažėjimo koeficientas;

$\xi$  – siurbimo sistemos varžos koeficientas;

$\omega$  – degiojo mišinio, tekančio pro siurbimo vožtuvą, greitis m/s;

$\rho$  – degiojo mišinio tankis.

Automobilio variklį nusako šios reikšmės:

$$\beta^2 + \xi = 2,5 - 4,0 \quad \text{pasirenku } 3;$$

$$\omega = 50 - 130 \text{ m/s}, \quad \text{pasirenku } 80 \text{ m/s}.$$

Degiojo mišinio tankis:

$$\rho = \frac{P_0 \times 10^6}{R \times T_0} = \frac{0,1 \times 10^6}{287 \times 293} = 1,189 \text{ kg/m}^3,$$

čia  $R = 287 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$  – lyginamoji oro dujų konstanta.

Pripildymo koeficientas:

$$\eta_v = \frac{(\varepsilon \times P_a - P_r) \times T_0}{P_0 \times (\varepsilon - 1)(T_0 + \Delta T)} = \frac{(8,9 \times 0,096 - 0,119) \times 293}{0,1 \times (8,9 - 1)(293 + 15)} = 0,881.$$

Likusių cilindre dujų koeficientas:

$$\gamma_r = \frac{P_r \times (T_0 + \Delta T)}{T_r \times (\varepsilon \times P_a - P_r)} = \frac{0,119 \times (293 + 15)}{1050 \times (8,9 \times 0,096 - 0,119)} = 0,048$$

čia  $T_r$  liekamųjų dujų temperatūra:

$$T_r = 1380 + 4,21n_N - 40\varepsilon - (240 + 1,32n_N)\alpha = 1380 + 4,21 \times 88,33 - 40 \times 8,9 - (240 + 1,32 \times 88,33) \times 0,97 = 1050 \text{ K}$$

Siurbimo pabaigos temperatūra:

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{293 + 15 + 0,048 \times 1050}{1 + 0,048} = 342 \text{ K}.$$

### 3.3 Slėgimo proceso parametrų nustatymas

Rodiklio  $n_1$  reikšmės benzininiams varikliams: 1,32 – 1,38

$$\text{pagal formulę } n_1 = 1,41 - \frac{2}{n_N} = 1,41 - \frac{2}{88,33} = 1,387$$

Slėgimo proceso pabaigoje slėgis:

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_1} = 0,099 \times 8,9^{1,387} = 1,983 \text{ MPa}.$$

Benzininiuose varikliuose  $P_c = 0,9 - 2,0 \text{ MPa}$ . Atitinka.

Slėgimo proceso pabaigoje temperatūra:

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n_1 - 1} = 342 \times 8,9^{1,387 - 1} = 797 \text{ K}.$$

Benzininiuose varikliuose  $T_c = 600 - 800 \text{ K}$ . Atitinka.

Degiojo mišinio vidutinis molekulinis šilumos talpis slėgimo pabaigoje:

$$mC_v^{t_c}_{t_0} = 20,038 + 0,002554 \times T_c = 20,038 + 0,002554 \times 797 = 22,074 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

### 3.4 Degimo proceso parametrų nustatymas.

Degiojo mišinio molekulinio pokyčio koeficientas:

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0,54}{0,51} = 1,058$$

Darbo mišinio molekulinio pokyčio koeficientas:

$$\mu = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,058 + 0,048}{1 + 0,048} = 1,055$$

Šilumos nuostoliai dėl nevysiško degimo, kai oro pertekliaus koeficientas  $\alpha < 1$ :

$$\Delta H_a = 119950 \times (1 - \alpha) \times L_0 = 119950 \times (1 - 0,97) \times 0,517 = 1860 \text{ kJ / kg}$$

Apatinis skystų degalų šilumingumas:

$$H_a = 85,4 L_0 = 85,4 \times 0,517 = 43,94 \text{ MJ / kg}$$

Darbo mišinio degimo šiluma:

$$H_{d.m.} = \frac{(H_a - \Delta H_a)}{[M_1(1 + \gamma_r)]} = \frac{43940 - 1860}{[0,51(1 + 0,048)]} = 78,69 \text{ kJ / kg}$$

Parenkame šilumos panaudojimo koeficientą  $\xi$ . Benzininių variklių  $\xi = 0,85 - 0,95$ .

Pasirenku  $\xi = 0,897$ .

Šviežio mišinio molinė specifinė šiluma  $(mCv)t_c$

$$\begin{aligned} (mCv)t_c &= 20,60 + 2,638 \cdot 10^{-3} \times (T_c - 273) = 20,60 + 2,638 \times 10^{-3} \times \\ &\times (797 - 273) = 21,983 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \end{aligned}$$

Vidutinė darbinio mišinio molinė specifinė šiluma:

$$\begin{aligned} (mC'v)t_c &= \left[ \frac{1}{1 + \gamma_r} \right] \times \left[ (mCv)t_c + \gamma_r (mc''v)t_c \right] = \left[ \frac{1}{1 + 0,048} \right] \times [21,983 + 0,048 \times 23,5] = \\ &= 22,052 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \end{aligned}$$

$(mc''v)t_c$  - liekamųjų dujų specifinė šiluma, karbiuratoriniuose varikliuose – 23,3 – 23,7.

Pasirenku 23,5 kJ / kmol·K.

Degimo proceso pabaigoje temperatūra  $t_z$  benzininiuose varikliuose randame pagal lygtį:

$$\xi \cdot H_{d.m.} + (mC'v)t_c \times T_c = \mu (mC''v)t_c \times T_z$$

Kairioji lygties pusė entalpija:

$$\begin{aligned} \xi \times H_{d.m.} + (mC'v)t_c \times T_c &= 0,897 \times 78360 + 22,052 \times 797 = \\ &= 88170 \text{ kJ / kg} \end{aligned}$$

Lygtį sprendžiu priartėjimo būdu, reikiamas reikšmes imsiu iš (2) literatūros (II.1 lentelė 39 psl.). Abi lygties pusės turi skirtis ne daugiau kaip 0.5 %.

Dešinioji lygties pusė entalpija:

Imu  $T_z = 2800 \text{ K}$ .

$$(mC''v)_{T_z} = \frac{1}{M_2} \left( M_{CO_2} (mC''v_{CO_2})_{T_z} + M_{H_2O} (mC''v_{H_2O})_{T_z} + M_{CO} (mC''v_{CO})_{T_z} + M_{N_2} (mC''v_{N_2})_{T_z} \right) =$$

$$\frac{1}{0.54} \times (0.065 \times 47,495 + 0.073 \times 37,334 + 0.006 \times 25,929 + 0.396 \times 25,481) = 29,721$$

$$T_{z1} = \frac{\zeta \times H_{d,m} - mC''v_{t_c} \times T_c}{\mu \times mC''v_{t_z}} = 2812 \text{ K}$$

Skaičiuojame paklaidą:

$$\frac{T_{z1} - T_z}{T_{z1}} \cdot 100 = \frac{2812 - 2800}{2812} = 0,424\% < 0,5\% .$$

Atitinka nustatytas normas.

Didžiausias slėgis degimo procese:

$$P_z = \frac{P_c \times \mu \times T_z}{T_c} = \frac{1,983 \times 1,055 \times 2800}{797} = 7,348 \text{ Mpa}$$

### 3.5 Plėtimosi proceso parametrų nustatymas.

Plėtimosi pabaigoje slėgis:

$$P_b = \frac{P_z}{\varepsilon^{n_2}} = \frac{7,348}{8,9^{1,25}} = 0,478 \text{ MPa}$$

čia  $n_2 = 1.22 + \frac{2.66}{n_N} = 1,25$ , plėtimosi politropės rodiklis.

Darbo takto pabaigos temperatūra:

$$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2}} = \frac{2800}{8,9^{1,25-1}} = 1621 \text{ K}$$

Tikrinu aukščiau imta likusių cilindre dujų temperatūrą:

$$T_r = \frac{T_z}{\sqrt[3]{\frac{P_b}{P_r}}} = \frac{2800}{\sqrt[3]{\frac{0,478}{0,119}}} = 1020 \text{ K}$$

Skaičiuoju paklaidą:

$$\frac{1050 - 1020}{1050} \cdot 100 = 2,875\%$$

Tinka. Neviršija 5 %.

### 3.6 Indikatoriniai darbo ciklo rodikliai.

Teorinis vidutinis indikatorinis slėgis:

$$P_i' = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[ \frac{\lambda}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] =$$

$$= \frac{1,983}{8,9 - 1} \left[ \frac{3,706}{1,25 - 1} \left( 1 - \frac{1}{8,9^{1,25 - 1}} \right) - \frac{1}{1,387 - 1} \left( 1 - \frac{1}{8,9^{1,387 - 1}} \right) \right] = 1,196 \text{ MPa}$$

čia  $\lambda = P_z/P_c = 7,348/1,983 = 3,706$ , slėgio padidėjimo laipsnis.

Indikatorinio slėgio nuostoliai dėl dujų mainų įleidimo ir išleidimo procesuose:

$$\Delta P_i = P_r - P_a = 0,119 - 0,096 = 0,023 \text{ MPa}$$

Vidutinis indikatorinis slėgis:

$$P_i = \varphi \times P_i' - \Delta P_i = 0,97 \times 1,196 - 0,023 = 1,137 \text{ MPa}$$

čia  $\varphi$  - indikatorinės diagramos pilnumo koeficientas, kuris benzininių variklių  $\varphi = 0,97$ .

Indikatorinis naudingumo koeficientas:

$$\eta_i = \frac{P_i \times \alpha \times l_o}{H_a \times \eta_v \times \rho_0} = \frac{1,137 \times 0,97 \times 14,962}{43,943 \times 0,881 \times 1,189} = 0,359$$

čia  $l_o$  – teorinis oro kiekis kg vienam kg degalų sudeginti.

$$l_o \approx 28,95 \times L_o = 28,95 \times 0,517 = 14,962 \text{ kg.}$$

$$\rho_0 - \text{orotankis, } \rho_0 = 1,22 \text{ kg/m}^3.$$

### 3.7 Efektyvūs variklio parametrai

Vidutinis mechaninių nuostolių slėgis:

$$P_m = 0,034 + 0,0113 \times V_s = 0,034 + 0,0113 \times 14,662 = 0,192 \text{ MPa}$$

$$\text{Čia } V_s - \text{stūmoklio greitis; } V_s = 2 \cdot S \cdot n_N = 2 \times 0,083 \times 88,33 = 14,662 \text{ m/s}$$

Vidutinis efektyvus slėgis:

$$P_e = P_i - P_m = 1,137 - 0,192 = 0,945 \text{ MPa.}$$

Mechaninis naudingumo koeficientas:

$$\eta_m = P_e / P_i = 0,945 / 1,137 = 0,831$$

Efektyvaus naudingumo koeficientas:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,359 \cdot 0,831 = 0,298$$

Atitinka benzininiams varikliams  $\eta_e = 0,24-0,32$ .

Lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos:

$$b_e = \frac{3600}{H_a \cdot \eta_e} = \frac{3600}{43,943 \cdot 0,298} = 274,934 \frac{\text{g}}{\text{kW} \cdot \text{h}}$$

### 3.8 Pagrindiniai variklio cilindro dydžiai

Cilindro skersmuo:

$$D = 100 \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot \frac{S}{D}}} = 100 \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0,46}{3,14 \cdot 0,976}} = 84,332 \approx 85 \text{ mm}$$

čia  $V_h$  – cilindro tūris,  $V_h = V_1 / 4 = 0,46$  l;

$S/D$  – benziniams varikliams 0,7 – 1,2. Pasirenku – 0,976.

Stūmoklio eiga:

$$S = S / D \cdot D = 0,976 \cdot 85 = 82,96 \approx 83 \text{ mm}$$

Tiksliname litražą:

$$V_l = 0,785 \cdot D^2 \cdot S \cdot i \cdot 10^{-3} = 0,785 \cdot 85^2 \cdot 83 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 1,882 \text{ l.}$$

Vieno cilindro darbinis tūris:

$$V_h = V_1 / 4 = 0,46 \text{ l.}$$

Indikatorinė galia:

$$N_i = \frac{2 \cdot P_i \cdot V_l \cdot \eta_N}{\tau} = \frac{2 \cdot 1,137 \cdot 1,882 \cdot 88,33}{4} = 94,511 \text{ kW}$$

Mechaninių nuostolių galia:

$$N_m = \frac{2 \cdot P_m \cdot V_l \cdot \eta_N}{\tau} = \frac{2 \cdot 0,192 \cdot 1,882 \cdot 88,33}{4} = 15,976 \text{ kW}$$

Efektvioji galia:

$$N_e = N_i - N_m = 94,511 - 15,976 = 78,535 \text{ kW.}$$

Litrinė galia:

$$N_l = N_e / V_1 = 78,535 / 1,882 = 41,705 \text{ kW.}$$

Valandinės degalų sąnaudos:

$$G_d = N_e \cdot b_e \cdot 10^{-3} = 78,535 \cdot 274,934 \cdot 10^{-3} = 21,592 \text{ kg/h.}$$

Vidutinis stūmoklio greitis:

$$V_{st} = 2 \cdot S \cdot n_N \cdot 10^{-3} = 14,656 \text{ m/s.}$$

Paklaida nuo pasirinkto  $V_{st} = 0 \%$ .

### 3.9 Analitinis politropių taškų koordinatų skaičiavimas

Keletas slėgimo taškų, išdėstytų tarp Tūrių  $V_c$  ir  $V_a$  bei  $V_z$  ir  $V_b$ , apskaičiuojama pagal politropės lygtį  $PV^n = \text{const}$ .

Slėgimo politropės taškų koordinatės randamos taikant formulę:

$$P_x V_x^{n_1} = P_a V_a^{n_1},$$

tada

$$P_x = P_a \left( \frac{V_a}{V_x} \right)^{n_1};$$

čia  $P_z$  ir  $V_x$  – slėgimo proceso ieškomo taško slėgis ir tūris.

Tūrių santykių  $V_a / V_x$  reikšmės imamos nuo 1 iki  $\varepsilon$  kas 0,5 – 1.

Plėtimosi politropės taškų koordinatės:

$$P_x = P_b \left( \frac{V_b}{V_x} \right)^{n_2}.$$

Kadangi  $V_b = V_a$ , tai  $V_b / V_x = V_a / V_x$ . Politropės braižyme per apskaičiuotus taškus.

Diagramos linijas suapvaliname taip, kaip ir gautas grafiniu būdu.

### 3.10 Išorinė greičio charakteristika

Išorinė greičio charakteristika sudaroma pagal šiluminę skaičiuotę. Naujai projektuojamo variklio šią charakteristiką gana tiksliai galima sudaryti pagal vieną maksimalios galios režimą.

Greičio charakteristikos kreivės sudaromos tokių sūkių intervalu: nuo

$$n_{\min} = 600 - 1000 \text{ min}^{-1} \text{ iki } n_{\max} = (1,05 - 1,20) n_N.$$

Galingumo kreivės skaičiuojamieji taškai randami pagal šia empirinę formulę:

$$N_{ex} = \left( N_e \frac{n_x}{n_N} \right) \left[ 1 + 1,0 \left( \frac{n_x}{n_N} \right) - \left( \frac{n_x}{n_N} \right)^2 \right];$$

čia  $N_e$  ir  $n_N$  – nominalioji efektyvioji galia (kW) ir nominalieji sūčiai ( $\text{min}^{-1}$ );

$N_{ex}$  ir  $n_x$  – efektyvioji galia (kW) ir sūčiai, atitinkantys šią galią skaičiuojamame charakteristikos taške ( $\text{min}^{-1}$ ). Efektyviojo sukimo momento ( $\text{N} \cdot \text{m}$ ) kreivės taškai apskaičiuojami pagal formulę:

$$M_{ex} = \frac{3 \cdot 10^4 N_{ex}}{\pi \cdot n_N} = \frac{159,2 N_{ex}}{n_N}.$$

Lyginamųjų efektyviųjų degalų sąnaudų ( $\text{g} / (\text{kW} \cdot \text{h})$ ) kreivės taškai apskaičiuojami pagal šią formulę:

$$b_{ex} = b_{eN} \left[ 1,2 - \frac{1,2 n_x}{n_N} + \left( \frac{n_x}{n_N} \right)^2 \right];$$

čia  $b_{ex}$  – lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos, esant nominaliajai galiai,  $\text{g} / (\text{kW} \cdot \text{h})$ ;

$n_N$  – sūkių skaičius, esant nominaliajai galiai,  $\text{min}^{-1}$ .

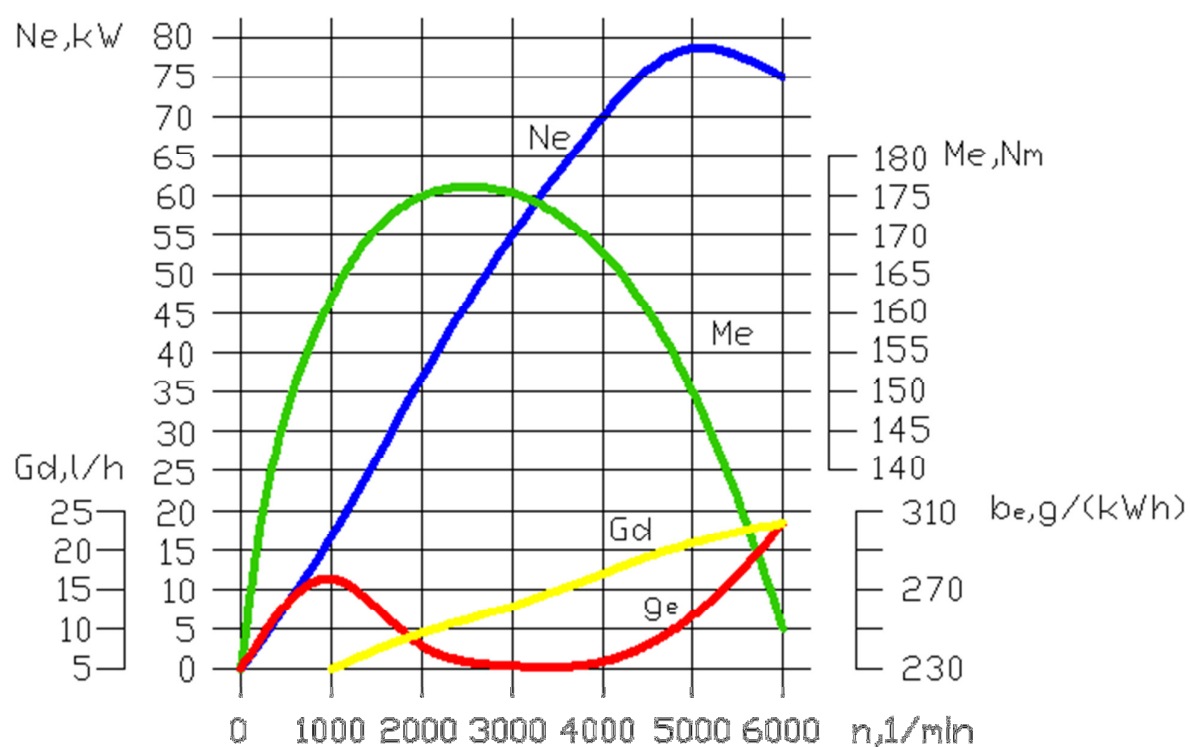
Valandinės degalų sąnaudos ( $\text{kg} / \text{h}$ ):

$$G_{dx} = b_{ex} \cdot N_{ex} \cdot 10^{-3}.$$

Visi gauti rezultatai surašomi į lentelę. Greičio charakteristika braižoma ant milimetrinio popieriaus.

3.1 lentelė Duomenys sukimosi dažnio charakteristikai skaičiuoti.

| Veleno sukimosi dažnis<br>( $s^{-1}$ ) | $N_e$ (kW) | $M_e$ (Nm) | $P_e$ (MPa) | $b_e$ (g/(kW·h)) | $G_d$ (kg/h) |
|----------------------------------------|------------|------------|-------------|------------------|--------------|
| 10                                     | 17,087     | 163,169    | 1,089       | 277,458          | 4,741        |
| 20                                     | 36,601     | 174,756    | 1,167       | 244,571          | 8,951        |
| 30                                     | 55,376     | 176,266    | 1,177       | 231,261          | 12,806       |
| 40                                     | 70,246     | 167,7      | 1,12        | 237,528          | 16,685       |
| 50                                     | 78,613     | 149,059    | 0,995       | 263,372          | 20,555       |
| 60                                     | 75,613     | 120,341    | 0,804       | 308,792          | 23,349       |



15 pav. Išorinės charakteristikos grafikas

## 4. AZOTO OKSIDŲ GAMYBA

Remiantis moksliniuose straipsniuose pateiktais azoto oksidų gamybos kiekiais prie aprašytų energijos sąnaudų. Aš apskaičiuoju kiek azoto oksidų gavau bandymo metu ir kokį galingumą aš turėjau gauti pagal šiuos teorinius skaičiavimus.

Toliau pateikiu teoriją kaip paskaičiuojamas dujų tūris pagal dalelių (molekulių kiekį). Kartu su skaičiavimo pavyzdžiu.

Daugumos dujų atomo (molekulės) masė yra  $10^{-27}$  g eilės. Tokį mažą dydį patogų išreikšti *atominiais masės vienetais*. Vienas atominės masės vienetas yra lygus  $1,660540 \cdot 10^{-27}$  kg. Juo vadiname anglies izotopo  $12^6\text{C}$  atomo 1/12 masės dalį. Šių vienetų kiekiu išreikšta atomo (molekulės) masė vadinama *santykine atomine (molekuline) mase* arba dar *atominiu (molekuliniu) svoriu*. Tai yra bevardis dydis, lygus molekulės vidutinės masės ir  $^{12}\text{C}$  atomo masės 1/12 dalies santykiui.

*Molis* - SI pagrindinis *medžiagos kiekio vienetas*. Jį sudaro  $6,022 \cdot 10^{23}$  vienodų dalelių (molekulių, jonų, atomų) skaičius ( $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  - Avogadro skaičius).

*Molio masė* yra cheminio elemento ar junginio 1 molio masė, išreikšta gramais. Skaitmeniškai ji lygi santykinei molekulinei masei. Pavyzdžiui, deguonies ( $\text{O}_2$ ) santykinė molekulinė masė yra – 32, todėl jo molinė masė  $M = 32$  g/mol.

Žemutiniame oro sluoksnyje yra apie 78% azoto  $\text{N}_2$  ( $M = 28$  g/mol), 21% deguonies  $\text{O}_2$  ( $M = 32$  g/mol). Be to, ore yra anglies dioksido, vandens garų, inertinių dujų. Kitų komponentų yra labai nedaug (mažiau kaip 5.10<sup>-4</sup>%). Taigi mes nustatinėsime dujų mišinio efektingą (ekvivalentinę) molio masę, kuria apibūdintume įsivaizduojamas vienarūšes dujas, kad mūsų eksperimento rezultatai būtų tokie kaip ir su oro dujomis.

Kai kūno tūryje  $dV$  esančios medžiagos masė yra  $dm$ , tuomet jo masės tankiu vadiname dydį

$$\rho = \frac{dm}{dV} \quad (4.1)$$

Vienalyčio kūno masės tankio formulė (1) baigtiniams dydžiams  $m$  ir  $V$  užrašoma taip:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4.2)$$

Žinant vienalyčių dujų pusiausvyrinę būseną aprašančius termodinaminius parametrus, nesunku apskaičiuoti dujų tankį. Tam Klapeirono lygtį

$$\rho V = \frac{m}{M} RT \quad (4.3)$$

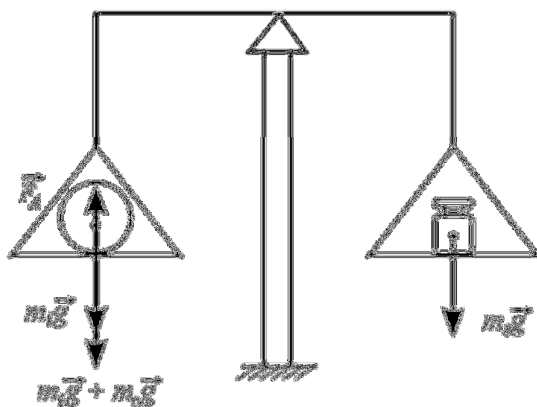
perrašome taip:

$$\frac{m}{V} = \rho = \frac{pM}{RT} \quad (4.4)$$

čia  $m$  – dujų masė,  $M$  – jų molio masė,  $R$  – universalioji dujų konstanta ( $R=8,314 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ),  $V$  – užimamas tūris,  $p$  – slėgis,  $T$  – absoliutinė temperatūra.

Taigi, žinodami dujų slėgį, temperatūrą ir molio masę, galime apskaičiuoti ir jų tankį.

Oro molio masei nustatyti nagrinėsime indo su dujomis svėrimą svirtinėmis svarstyklėmis, kurių pečiai yra vienodi (13 pav.). Nors eksperimentuosime su kiek kitokiomis svarstyklėmis, joms čia atlikta analizė pakankamai gerai tiks.



16 pav. Dujų svirtinės svarstyklės

Svirtis (13 pav.) bus pusiausvyroje, kai kiekvieną jos petį žemyn veiks vienodo dydžio jėgų atstojamoji. Kairinį petį žemyn veiks masės  $m_i$  indo sunkis  $m_i \vec{g}$  ir masės  $m_0$  inde esančio oro sunkis  $m_0 \vec{g}$ . Šias jėgas mažins indą aukštyn veikianti Archimedo jėga  $F_A$ . Ji savo modulių lygi indo išstumto oro sunkiui. Dešinį petį žemyn veiks masės  $m_s$  svarelių sunkis  $m_s \vec{g}$ . Dėl svarelių didelio tankio lyginant su oro tankiu juos veikianti Archimedo jėga yra maža, todėl į ją nekreipsime dėmesio. Taigi svirties pusiausvyros atveju galioja lygybė

$$m_i g + m_0 g - F_A = m_s g . \quad (4.5)$$

Indo sunkio ir Archimedo jėgos eliminavimui bandymą atliksime esant dviem skirtingoms oro slėgio  $p_1$  ir  $p_2$  vertėms tai pačiai oro temperatūrai  $T$ . Svirties pusiausvyrai gauname lygčių sistemą

$$m_i g + m_{01} g - F_A = m_{s1} g$$

$$m_i g + m_{02} g - F_A = m_{s2} g ; \quad (4.6)$$

čia  $m_{01}$  ir  $m_{02}$  - oro masė inde esant slėgiui atitinkamai  $p_1$  ir  $p_2$ ;  $m_{s1}$  ir  $m_{s2}$  - pusiausvyrą palaikančių svarelių masės.

Lygtis atimdami vieną iš kitos gauname

$$m_{01} - m_{02} = m_{s1} - m_{s2} . \quad (4.7)$$

Slėgiams  $p_1$  ir  $p_2$  sudarius Klapeirono (4.6) lygčių sistemą, ją išsprendę dujų masės atžvilgiu ir atsižvelgę į (4.7), gauname:

$$(p_1 - p_2) \frac{VM}{RT} = m_{s1} - m_{s2} \quad (4.8)$$

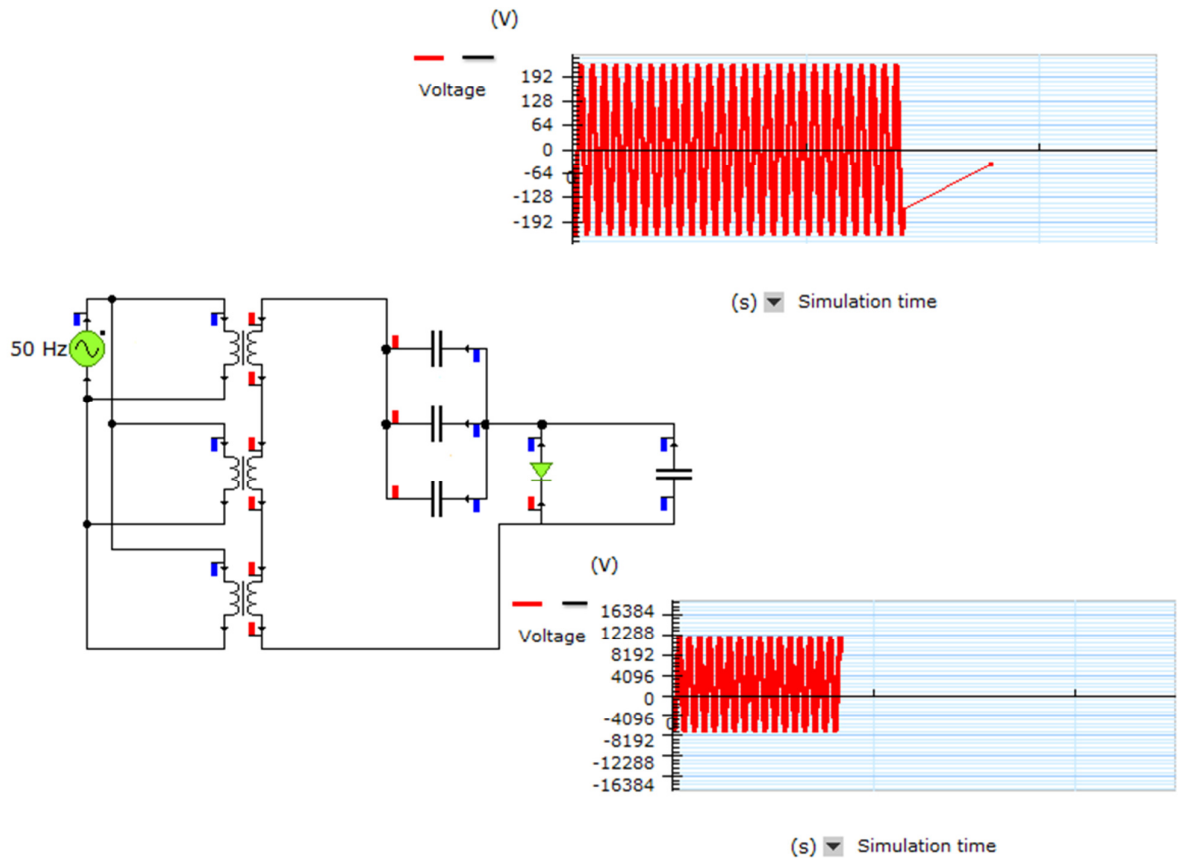
Tuomet oro molio masė

$$M = \frac{(m_{s1} - m_{s2})RT}{(p_1 - p_2)} \quad (4.9)$$

Nustatę oro molio masę  $M$  ir atmosferos slėgį  $p_1$ , pagal (4) apskaičiuojame oro tankį  $\rho_1$ .

## 5. BANDYMO REAKTORIUS

Aukštos įtampos šaltinis, kurį pasigaminau pats. Jam panaudojau tris 220:2000 santykio sinusoidinius tinklo transformatorius. Juos sujungiau nuosekliai tikėdamasis gauti kuo didesnę įtampą. Taigi sujungęs tris transformatorius kurie generavo po 2000 V įtampą gavau 6000 V. Tačiau tokia įtampa buvo per maža, todėl į bendrą grandinę įjungiau tris kondensatorius, kurių vardinė įtampa 2000 V. Panaudojęs įtampos dauginimo



17 pav. Aukštos įtampos didelio galingumo energijos šaltinio schema

schema gavau dvigubai didesnę įtampą t. y. 12 000 V. To pakako uždegti elektronų debesėlį aplink laidininką, vadinamąją statinę iškrovą. Norėdamas nustatyti energijos sąnaudas su multimetru pamatavau prietaiso naudojamą srovę ir padauginau iš įtampos ir fazių skirtumo.

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (5.1)$$

Pamatavęs, gavau, jog prietaisas naudoja 120 vatų elektros energiją. Pagal literatūros apžvalgoje aprašytų straipsnių informaciją apskaičiavau, kiek molekulių azoto oksidų buvo pagaminta.

$$120 \text{ W} \cdot h = 43200 \text{ J}$$

$$\frac{43200}{60} \cdot 5,7 \cdot 10^{14} = 4104 \cdot 10^{14} \text{ molekulių} \quad (5.2)$$

Padaliję iš  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  (Avogadro skaičius) gauname molekulių kiekį ir padauginę iš litrinio tūrio 24 litrų gauname pagamintą azoto oksidų tūrį. Kadangi moksliniame straipsnyje [7] naudoto prietaiso galingumas buvo mažas, rezultatą padauginu iš galingumo skirtumo.

$$\frac{4104 \times 10^{14}}{6,022 \times 10^{23}} \cdot 24 \cdot 10000 = 0,164 \frac{\text{l}}{\text{min}} \quad (5.3)$$

Su apskaičiuotu azoto oksidų kiekiu perskaičiuoju variklio pripildymo koeficientą ir teoriškai gaunamą galios padidėjimą.

Įprastai veikiantis vidaus degimo variklis naudoja atmosferoje esantį deguonį degalams deginti.

Atmosferos oras yra dujų mišinys, kurį sudaro:

1. azotas 78,09 %;
2. deguonis 20,95 %;
3. argonas 0,93 %;
4. anglies dioksidas 0,03 %;
5. helis, kriptonas, neonas, ksenonas ir kt. apie 0,01 %.

Tačiau atmosferos ore deguonies yra tik 20,95 % kaip matyti iš pateiktos atmosferos oro sudėties. Tai riboja vidaus degimo variklių efektyvumą. Norint padidinti VDV galingumą nedidinant jo darbinio tūrio, būtina gerinti cilindrų pripildymą deguonies, jog būtų įmanoma sudeginti daugiau degalų ir tuo pačiu gauti didesnę galingumą.

Cilindrų pripildymui pagerinti yra įvairių būdų, pavyzdžiui, naudojant didesnę įsiurbimo ir išmetimo voštuvų skaičių, inercinės oro tiekimo sistemos (veikiančios nuo VDV sukuriamų oro pulsacijų), naudojant mechaninius kompresorius (energiją nuima nuo alkūninio veleno), jungiant turbokompresorių (panaudoja išmetamųjų dujų energiją) ir pan.

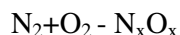
Aš cilindrų pripildymą pagerinu sudegindamas ore esantį azotą ir deguonį, gaudamas azoto oksidus.

Azoto oksidai ( $\text{NO}_x$ ):



Azoto oksidai yra vieni iš pagrindinių atmosferos oro teršalų.  $\text{NO}_x$  susidaro degimo proceso metu, oksiduojantis degaluose esančiam azotui. Pagrindiniai užteršimo azoto oksidais šaltiniai yra: vidaus degimo varikliai, termofikacinės elektrinės bei pramonė. Procentinę pasiskirstymą matote 1 lentelėje. Azoto oksidai dalyvauja fotocheminėse reakcijose, didžiausios šių medžiagų koncentracijos atmosferos ore yra randamos dienos metu, ypač šviečiant saulei.

Cilindro pripildymas deguonies atomais pagerėja. Kadangi vietoje vieno molio oro (kur deguonies koncentracija 20 %) į cilindrą tiekiamas molis, oro ir azoto, oksidų mišinio, kuriame deguonies molekulių kiekis padidėja, nes azoto oksidai prisijungia didelį kiekį deguonies molekulių.



Taigi reaktoriuje gautame azoto oksidų tūryje  $0,164 \frac{l}{min}$ , deguonies molekulių koncentracija maždaug (tiksliai apskaičiuoti neįmanoma, nes oksidacijos reakcijos sunkiai prognozuojamos, priklauso nuo įvairių faktorių), kadangi azoto oksidai susidaro nuo NO iki  $\text{NO}_5$ , skaičiuoju, jog visą tūrį užima  $\text{NO}_3$ , tokio atveju deguonies molekulių tūryje 75 %.

1,8 litro variklis per minutę sunaudoja:

$$\frac{1,8}{2} \cdot 5300 = 4770 \frac{l}{min}$$

Azoto oksidai šiame tūryje sudaro labai mažą procentą ir galingumas padidėti dėl šios priežasties negalėjo. Bet kadangi mano pagamintame reaktoriuje oras nebuvo statiškas, o visas variklio

sunaudojamas tūris tekėjo pro reaktorių. Manau, jog azoto oksidų pasigamino gerokai daugiau. Todėl paskaičiuoju koks tūris turėjo būti pagamintas, tokiame galingumui gauti.

## 6. VARIKLIO PARAMETRŲ SKAIČIAVIMAS NAUDOJANT BANDYMO REAKTORIŲ

### 6.1 Darbo agento parametrų skaičiavimas.

Atsižvelgiant į tai, kad suspaudimo laipsnis  $\varepsilon = 8,9$  galima naudoti AI-95 markės benzina.

$$C = 0,855;$$

$$H = 0,145;$$

$$O_2 = 0$$

Kibirkštinių variklių oro pertekliaus koeficientas  $\alpha = 0,85 - 1,15$ .

Pasirenkame  $\alpha = 0,97$ . Atlikus bandymą su reaktoriumi variklio galia padidėja 1 kW, tokiai galiai gauti reikalinga deguonies molekulių koncentracija ore yra 21,5 %. Toliau skaičiuojame teoriškai reikalingas oro kiekis 1 kg degalų sudeginti panaudojus bandymo reaktorių:

$$L_0 = \frac{1}{0,215} \times \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,215} \times \left( \frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{4} - \frac{0}{32} \right) = 0,5 \text{ kol/kg.}$$

Degiojo mišinio, būtino benzininiam varikliui, kiekis, esant pasirinktam oro pertekliaus koeficientui  $\alpha$ .

$$M_1 = \alpha \times L_0 + \frac{1}{m_d} = 0,97 \times 0,5 + \frac{1}{110} = 0,494 \text{ kmol/kg,}$$

čia  $m_d$  – benzino molekulinė masė  $m_d = 110 - 120$ , pasirenku 110.

Iš tikrųjų oro tiekama daugiau arba mažiau, negu reikia cheminei reakcijai. Tai ir apibūdina oro pertekliaus koeficientas  $\alpha$ :

$$\alpha = L_{of} / L_0.$$

Iš formulės apskaičiuoju tikrą oro kiekį cilindre  $L_{of}$ :

$$L_{of} = \alpha \times L_0 = 0,97 \times 0,5 = 0,485 \text{ kmol/kg.}$$

Nevisiško degimo atveju, kai  $\alpha < 1$ , deginių įvairių komponentų kiekis:

- degalų anglies kiekis, sudegusi į CO:

$$\varphi = 2 \times (1 - \alpha) \left( 1 + \frac{3H}{C} \right) = 2 \times (1 - 0,97) \left( 1 + \frac{3 \cdot 0,145}{0,855} \right) = 0,091 \quad ;$$

- anglies monoksido:

$$M_{CO} = \frac{C}{12} \varphi = \frac{0,855}{12} \times 0,302 = 0,006 \text{ kmol/kg;}$$

- anglies dvideginio:

$$M_{CO_2} = (1 - \varphi) \times \frac{C}{12} = (1 - 0,302) \times \frac{0,855}{12} = 0,065 \text{ kmol/kg};$$

- vandens garų:

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} = \frac{0,145}{2} = 0,073 \text{ kmol/kg};$$

- azoto:

$$M_{N_2} = 0,79 \times \alpha \times L_0 = 0,79 \times 0,9 \times 0,517 = 0,383 \text{ kmol/kg};$$

- deguonies:

$$M_{O_2} = 0 \text{ kmol/kg}.$$

Bendras deginių kiekis:

$$M_2 = M_{CO} + M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_N = 0,006 + 0,065 + 0,073 + 0,383 = 0,527 \text{ kmol/kg}$$

## 6.2 Išmetimo ir siurbimo procesų parametrų nustatymas

Supančios aplinkos oro slėgis ir temperatūra, varikliui veikiant nepripūtus oro,

$$P_0 = 0,1 \text{ MPa}, T_0 = 293 \text{ K}.$$

Likusių cilindre dujų slėgis  $P_r = 1,19 \times P_0 = 1,19 \times 0,1 = 0,119 \text{ MPa}$ .

Šviežio mišinio pašildymo temperatūra  $\Delta T$  benzininiams varikliams  $= 5 - 20^\circ$ .

Pasirenku  $\Delta T = 15^\circ \text{ K}$ .

Slėgis baigiantis siurbimui:

$$P_a = P_0 - \Delta P_a = 0,1 - 0,004 = 0,096 \text{ MPa}.$$

Slėgio nuostolis  $\Delta P_a$  apskaičiuojamas pagal Bernulio formulę:

$$\Delta P_a = \left( \beta^2 + \xi \right) \times \frac{\omega^2}{2} \times \rho \times 10^{-6} = 3 \times \frac{50^2}{2} \times 1,189 \times 10^{-6} = 0,004 \text{ MPa}.$$

čia  $\beta$  – degiojo mišinio tekėjimo greičio mažėjimo koeficientas;

$\xi$  – siurbimo sistemos varžos koeficientas;

$\omega$  – degiojo mišinio, tekančio pro siurbimo vožtuvą, greitis m/s;

$\rho$  – degiojo mišinio tankis.

Automobilio variklį nusako šios reikšmės:

$$\beta^2 + \xi = 2,5 - 4,0 \quad \text{pasirenku } 3;$$

$$\omega = 50 - 130 \text{ m/s}, \text{ pasirenku } 80 \text{ m/s}.$$

Degiojo mišinio tankis:

$$\rho = \frac{P_0 \times 10^6}{R \times T_0} = \frac{0,1 \times 10^6}{287 \times 293} = 1,189 \text{ kg/m}^3,$$

čia  $R = 287 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$  – lyginamoji oro dujų konstanta.

Pripildymo koeficientas:

$$\eta_v = \frac{(\varepsilon \times P_a - P_r) \times T_0}{P_0 \times (\varepsilon - 1)(T_0 + \Delta T)} = \frac{(8,9 \times 0,096 - 0,119) \times 293}{0,1 \times (8,9 - 1)(293 + 15)} = 0,881.$$

Likusių cilindre dujų koeficientas:

$$\gamma_r = \frac{P_r \times (T_0 + \Delta T)}{T_r \times (\varepsilon \times P_a - P_r)} = \frac{0,119 \times (293 + 15)}{1050 \times (8,9 \times 0,096 - 0,119)} = 0,048$$

čia  $T_r$  liekamųjų dujų temperatūra:

$$T_r = 1380 + 4,21n_N - 40\varepsilon - (240 + 1,32n_N)\alpha = 1380 + 4,21 \times 88,33 - 40 \times 8,9 - (240 + 1,32 \times 88,33) \times 0,97 = 1050 \text{ K}$$

Siurbimo pabaigos temperatūra:

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{293 + 15 + 0,048 \times 1050}{1 + 0,048} = 342 \text{ K}.$$

### 6.3 Slėgimo proceso parametrų nustatymas

Rodiklio  $n_1$  reikšmės benzininiams varikliams: 1,32 – 1,38

$$\text{pagal formulę } n_1 = 1,41 - \frac{2}{n_N} = 1,41 - \frac{2}{88,33} = 1,387$$

Slėgimo proceso pabaigoje slėgis:

$$P_c = P_a \times \varepsilon^{n_1} = 0,096 \times 8,9^{1,387} = 1,983 \text{ MPa}.$$

Benzininiuose varikliuose  $P_c = 0,9 - 2,0 \text{ MPa}$ . Atitinka.

Slėgimo proceso pabaigoje temperatūra:

$$T_c = T_a \times \varepsilon^{n_1 - 1} = 342 \times 8,9^{1,387 - 1} = 797 \text{ K}.$$

Benzininiuose varikliuose  $T_c = 600 - 800 \text{ K}$ . Atitinka.

Degiojo mišinio vidutinis molekulinis šilumos talpis slėgimo pabaigoje:

$$mC_v^{t_c}_{t_0} = 20,038 + 0,002554 \times T_c = 20,038 + 0,002554 \times 797 = 22,074 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

### 6.4 Degimo proceso parametrų nustatymas

Degiojo mišinio molekulinio pokyčio koeficientas:

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0,527}{0,494} = 1,066$$

Darbo mišinio molekulinio pokyčio koeficientas:

$$\mu = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} = \frac{1,066 + 0,048}{1 + 0,048} = 1,063$$

Šilumos nuostoliai dėl nevisiško degimo, kai oro pertekliaus koeficientas  $\alpha < 1$ :

$$\Delta H_a = 119950 \times (1 - \alpha) \times L_0 = 119950 \times (1 - 0,97) \times 0,5 = 1799 \text{ kJ / kg}$$

Apatinis skystų degalų šilumingumas:

$$H_a = 85,4 L_0 = 85,4 \times 0,517 = 43,94 \text{ MJ / kg}$$

Darbo mišinio degimo šiluma:

$$H_{d.m.} = \frac{(H_a - \Delta H_a)}{[M_1(1 + \gamma_r)]} = \frac{43943 - 1799}{[0,494(1 + 0,048)]} = 81,41 \text{ kJ / kg}$$

Parenkame šilumos panaudojimo koeficientą  $\xi$ . Benzininių variklių  $\xi = 0,85 - 0,95$ .

Pasirenku  $\xi = 0,88$ .

Šviežio mišinio molinė specifinė šiluma  $(mCv)t_c$

$$\begin{aligned} (mCv)t_c &= 20,60 + 2,638 \cdot 10^{-3} \times (T_c - 273) = 20,60 + 2,638 \times 10^{-3} \times \\ &\times (797 - 273) = 21,983 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \end{aligned}$$

Vidutinė darbinio mišinio molinė specifinė šiluma:

$$\begin{aligned} (mC'v)t_c &= \left[ \frac{1}{1 + \gamma_r} \right] \times \left[ (mCv)t_c + \gamma_r (mc''v)t_c \right] = \left[ \frac{1}{1 + 0,048} \right] \times [21,983 + 0,048 \times 23,5] = \\ &= 22,052 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}} \end{aligned}$$

$(mc''v)t_c$  - liekamųjų dujų specifinė šiluma, karbiuratoriniuose varikliuose – 23,3 – 23,7.

Pasirenku 23,5 kJ / kmol·K.

Degimo proceso pabaigoje temperatūra  $t_z$  benzininiuose varikliuose randame pagal lygtį:

$$\xi \cdot H_{d.m.} + (mC'v)t_c \times T_c = \mu (mc''v)t_z \times T_z$$

Kairioji lygties pusė entalpija:

$$\begin{aligned} \xi \times H_{d.m.} + (mC'v)t_c \times T_c &= 0,88 \times 81410 + 22,052 \times 797 = \\ &= 89220 \text{ kJ / kg} \end{aligned}$$

Lygtį sprendžiu priartėjimo būdu, reikiamas reikšmės imsiu iš (2) literatūros (II.1 lentelė 39 psl.). Abi lygties pusės turi skirtis ne daugiau kaip 0.5 %.

Dešinioji lygties pusė entalpija:

Imu  $T_z = 2800 \text{ K}$ .

$$(mC''v)_{T_z} = \frac{1}{M_2} \left( M_{CO_2} (mC''v_{CO_2})_{T_z} + M_{H_2O} (mC''v_{H_2O})_{T_z} + M_{CO} (mC''v_{CO})_{T_z} + M_{N_2} (mC'v_{N_2})_{T_z} \right) =$$

$$\frac{1}{0.527} \times (0.065 \times 47,495 + 0.073 \times 37,334 + 0.006 \times 25,929 + 0.383 \times 25,481) = 29,825$$

$$T_{z1} = \frac{\zeta \times H_{d,m} - mC'v t_c \times T_c}{\mu \times mC''v t_z} = 2813 K$$

Skaičiuojame paklaidą:

$$\frac{T_{z1} - T_z}{T_{z1}} \cdot 100 = \frac{2813 - 2800}{2813} = 0,466\% < 0,5\% .$$

Atitinka nustatytas normas.

Didžiausias slėgis degimo procese:

$$P_z = \frac{P_c \times \mu \times T_z}{T_c} = \frac{1,983 \times 1,063 \times 2800}{797} = 7,407 \text{ Mpa}$$

### 6.5 Plėtimosi proceso parametrų nustatymas

Plėtimosi pabaigoje slėgis:

$$P_b = \frac{P_z}{\varepsilon^{n_2}} = \frac{7,407}{8,9^{1,25}} = 0,482 MPa$$

čia  $n_2 = 1.22 + \frac{2.66}{n_N} = 1,25$ , plėtimosi politropės rodiklis.

Darbo takto pabaigos temperatūra:

$$T_b = \frac{T_z}{\varepsilon^{n_2}} = \frac{2800}{8,9^{1,25-1}} = 1621 K$$

Tikrinu aukščiau imta likusių cilindre dujų temperatūrą:

$$T_r = \frac{T_z}{\sqrt[3]{\frac{P_b}{P_r}}} = \frac{2800}{\sqrt[3]{\frac{0,482}{0,119}}} = 1017 K$$

Skaičiuoju paklaidą:

$$\frac{1050 - 1017}{1050} \cdot 100 = 3,132\%$$

Tinka. Neviršija 5 %.

### 6.6 Indikatoriniai darbo ciklo rodikliai

Teorinis vidutinis indikatorinis slėgis:

$$P_i' = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[ \frac{\lambda}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] =$$

$$= \frac{1,983}{8,9 - 1} \left[ \frac{3,735}{1,25 - 1} \left( 1 - \frac{1}{8,9^{1,25-1}} \right) - \frac{1}{1,387 - 1} \left( 1 - \frac{1}{8,9^{1,387-1}} \right) \right] = 1,209 MPa$$

čia  $\lambda = P_z / P_c = 7,407 / 1,983 = 3,735$ , slėgio padidėjimo laipsnis.

Indikatorinio slėgio nuostoliai dėl dujų mainų įleidimo ir išleidimo procesuose:

$$\Delta P_i = P_r - P_a = 0,119 - 0,096 = 0,023 \text{ MPa}$$

Vidutinis indikatorinis slėgis:

$$P_i = \varphi \times P'_i - \Delta P_i = 0,97 \times 1,149 - 0,023 = 1,149 \text{ MPa}$$

čia  $\varphi$  - indikatorinės diagramos pilnumo koeficientas, kuris benzininių variklių  $\varphi = 0,97$ .

Indikatorinis naudingumo koeficientas:

$$\eta_i = \frac{P_i \times \alpha \times l_o}{H_a \times \eta_v \times \rho_0} = \frac{1,149 \times 0,97 \times 14,475}{43,943 \times 0,881 \times 1,189} = 0,351$$

čia  $l_o$  – teorinis oro kiekis kg vienam kg degalų sudeginti.

$$l_o \approx 28,95 \times L_o = 28,95 \times 0,5 = 14,475 \text{ kg.}$$

$\rho_0$  - oro tankis,  $\rho_0 = 1,189 \text{ kg/m}^3$ .

## 6.7 Efektyvūs variklio parametrai

Vidutinis mechaninių nuostolių slėgis:

$$P_m = 0,034 + 0,0113 \times V_s = 0,034 + 0,0113 \times 14,662 = 0,192 \text{ MPa}$$

Čia  $V_s$  – stūmoklio greitis;  $V_s = 2 \cdot S \cdot n_N = 2 \times 0,083 \times 88,33 = 14,662 \text{ m/s}$

Vidutinis efektyvus slėgis:

$$P_e = P_i - P_m = 1,149 - 0,192 = 0,957 \text{ MPa.}$$

Mechaninis naudingumo koeficientas:

$$\eta_m = P_e / P_i = 0,957 / 1,149 = 0,833$$

Efektyvaus naudingumo koeficientas:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,351 \cdot 0,833 = 0,292$$

Atitinka, benzininiams varikliams  $\eta_e = 0,24-0,32$ .

Lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos:

$$b_e = \frac{3600}{H_a \cdot \eta_e} = \frac{3600}{43,943 \cdot 0,292} = 280 \frac{\text{g}}{\text{kW} \cdot \text{h}}$$

## 6.8 Pagrindiniai variklio cilindro dydžiai

Cilindro skersmuo:

$$D = 100 \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot \frac{S}{D}}} = 100 \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0,46}{3,14 \cdot 0,976}} = 84,332 \approx 85 \text{ mm}$$

čia  $V_h$  – cilindro tūris,  $V_h = V_l / 4 = 0,46 \text{ l}$ ;

S/D – benzininiems varikliams 0,7 – 1,2. Pasirenku – 0,976.

Stūmoklio eiga:

$$S = S/D \cdot D = 0,976 \cdot 85 = 82,96 \approx 83 \text{ mm}$$

Tiksliname litražą:

$$V_l = 0,785 \cdot D^2 \cdot S \cdot i \cdot 10^{-3} = 0,785 \cdot 85^2 \cdot 83 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 1,882 \text{ l.}$$

Vieno cilindro darbinis tūris:

$$V_h = V_l / 4 = 0,46 \text{ l.}$$

Indikatorinė galia:

$$N_i = \frac{2 \cdot P_i \cdot V_l \cdot \eta_N}{\tau} = \frac{2 \cdot 1,149 \cdot 1,882 \cdot 88,33}{4} = 95,521 \text{ kW}$$

Mechaninių nuostolių galia:

$$N_m = \frac{2 \cdot P_m \cdot V_l \cdot \eta_N}{\tau} = \frac{2 \cdot 0,192 \cdot 1,882 \cdot 88,33}{4} = 15,976 \text{ kW}$$

Efektyvioji galia:

$$N_e = N_i - N_m = 95,521 - 15,976 = 79,545 \text{ kW.}$$

Litrinė galia:

$$N_l = N_e / V_l = 79,545 / 1,882 = 43,255 \text{ kW.}$$

Valandinės degalų sąnaudos:

$$G_d = N_e \cdot b_e \cdot 10^{-3} = 79,545 \cdot 280,578 \cdot 10^{-3} = 22,319 \text{ kg/h.}$$

Vidutinis stūmoklio greitis:

$$V_{st} = 2 \cdot S \cdot n_N \cdot 10^{-3} = 14,656 \text{ m/s.}$$

Paklaida nuo pasirinkto  $V_{st} = 0 \text{ \%}$ .

## 6.9 Analitinis politropių taškų koordinačių skaičiavimas

Keletas slėgimo taškų, išdėstytų tarp Tūrių  $V_c$  ir  $V_a$  bei  $V_z$  ir  $V_b$ , apskaičiuojama pagal politropės lygtį  $PV^n = \text{const}$ .

Slėgimo politropės taškų koordinatės randamos taikant formulę:

$$P_x V_x^{n_1} = P_a V_a^{n_1},$$

tada

$$P_x = P_a \left( \frac{V_a}{V_x} \right)^{n_1};$$

čia  $P_x$  ir  $V_x$  – slėgimo proceso ieškomo taško slėgis ir tūris.

Tūrių santykių  $V_a / V_x$  reikšmės imamos nuo 1 iki  $\varepsilon$  kas 0,5 – 1.

Plėtimosi politropės taškų koordinatės:

$$P_x = P_b \left( \frac{V_b}{V_x} \right)^{n_2}.$$

Kadangi  $V_b = V_a$ , tai  $V_b / V_x = V_a / V_x$ . Politropės braižome per apskaičiuotus taškus. Diagramos linijas suapvaliname taip, kaip ir gautas grafiniu būdu.

## 6.10 Išorinė greičio charakteristika

Išorinė greičio charakteristika sudaroma pagal šiluminę skaičiuotę. naujai projektuojamo variklio šią charakteristiką gana tiksliai galima sudaryti pagal vieną maksimalios galios režimą.

Greičio charakteristikos kreivės sudaromos tokių sūkių intervalu: nuo  $n_{\min} = 600-1000 \text{ min}^{-1}$  iki  $n_{\max} = (1,05 - 1,20) n_N$ .

Galingumo kreivės skaičiuojamieji taškai randami pagal šia empirinę formulę:

$$N_{ex} = \left( N_e \frac{n_x}{n_N} \right) \left[ 1 + 1,0 \left( \frac{n_x}{n_N} \right) - \left( \frac{n_x}{n_N} \right)^2 \right];$$

čia  $N_e$  ir  $n_N$  – nominalioji efektyvioji galia (kW) ir nominalieji sūčiai ( $\text{min}^{-1}$ );

$N_{ex}$  ir  $n_x$  – efektyvioji galia (kW) ir sūčiai, atitinkantys šią galią skaičiuojamame charakteristikos taške ( $\text{min}^{-1}$ ). Efektyviojo sukimo momento ( $N \cdot m$ ) kreivės taškai apskaičiuojami pagal formulę:

$$M_{ex} = \frac{3 \cdot 10^4 N_{ex}}{\pi \cdot n_N} = \frac{159,2 N_{ex}}{n_N}.$$

Lyginamųjų efektyviųjų degalų sąnaudų ( $g / (kW \cdot h)$ ) kreivės taškai apskaičiuojami pagal šią formulę:

$$b_{ex} = b_{eN} \left[ 1,2 - \frac{1,2 n_x}{n_N} + \left( \frac{n_x}{n_N} \right)^2 \right];$$

čia  $b_{ex}$  – lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos, esant nominaliajai galiai,  $g / (kW \cdot h)$ ;

$n_N$  – sūkių skaičius, esant nominaliajai galiai.  $\text{min}^{-1}$ .

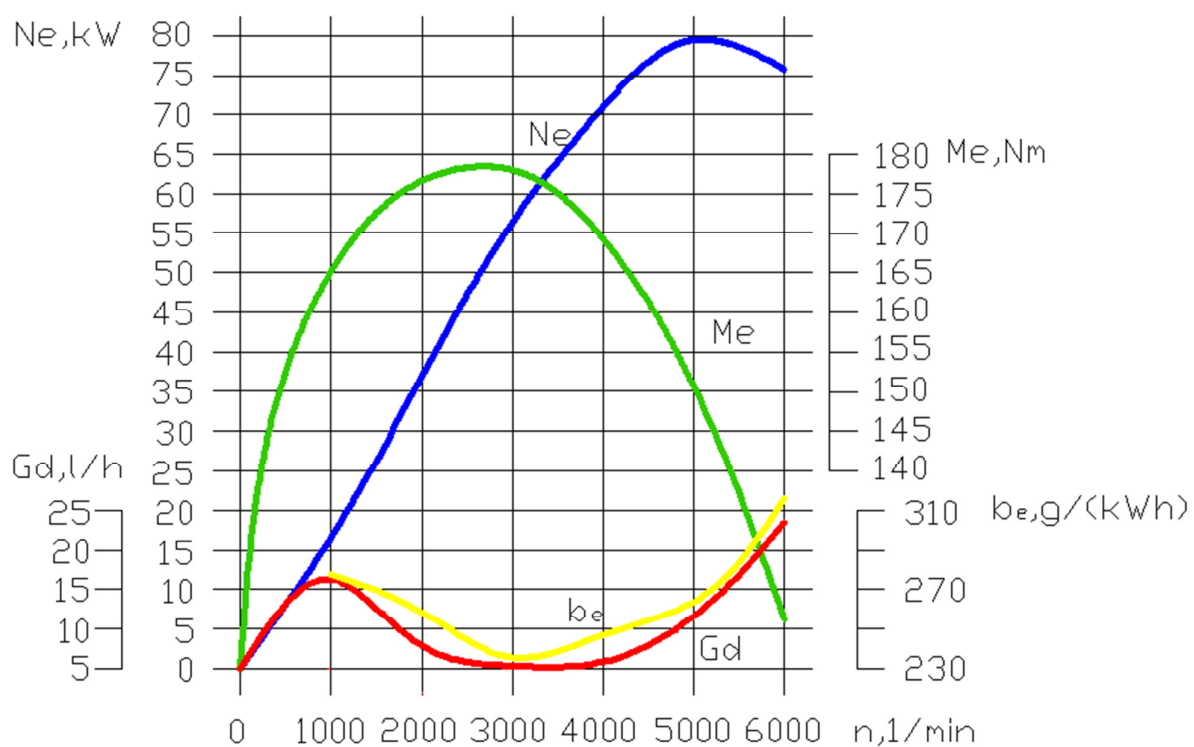
Valandinės degalų sąnaudos ( $kg / h$ ):

$$G_{dx} = b_{ex} \cdot N_{ex} \cdot 10^{-3}.$$

Visi gauti rezultatai surašomi į lentelę. Greičio charakteristika braižoma ant milimetrinio popieriaus.

6.1 lentelė Duomenys sukimosi dažnio charakteristikai skaičiuoti.

| Veleno sukimosi dažnis<br>( $s^{-1}$ ) | $N_e$ (kW) | $M_e$ (Nm) | $P_e$ (MPa) | $b_e$ (g/(kW·h)) | $G_d$ (kg/h) |
|----------------------------------------|------------|------------|-------------|------------------|--------------|
| 10                                     | 17,307     | 165,268    | 1,103       | 283,154          | 4,9          |
| 20                                     | 37,071     | 177,003    | 1,182       | 249,592          | 9,253        |
| 30                                     | 56,088     | 178,533    | 1,192       | 236,009          | 13,237       |
| 40                                     | 71,15      | 169,857    | 1,134       | 242,404          | 17,237       |
| 50                                     | 79,051     | 150,976    | 1,008       | 268,779          | 21,247       |
| 60                                     | 76,585     | 121,889    | 0,814       | 315,131          | 24,134       |



18 pav. Išorinės charakteristikos grafikas

## 7. TYRIMO REZULTATAI

Nenaudojant bandymo reaktoriaus gauti variklio parametrų skaičiavimų rezultatai:

- Deguonies koncentracija tiekiamame į variklį ore 20,8 % pagal tūrį
- Teoriškai reikalingas oro kiekis vienam kilogramui degalų sudeginti yra 0,517 kmol/kg
- Bendras deginių kiekis išmetamosiose dujose 0,54 kmol/kg
- Degiojo mišinio molekulinio pokyčio koeficientas 1,058
- Darbo mišinio molekulinio pokyčio koeficientas 1,055
- Darbo mišinio degimo šiluma 78,69 kJ/kg
- Valandinės degalų sąnaudos 21,592 kg/h
- Variklio galingumas nenaudojant reaktoriaus yra 78 kW

Naudojant bandymo reaktorių gauti variklio parametrų skaičiavimų rezultatai:

- Deguonies koncentracija tiekiamame į variklį ore 21,5 % pagal tūrį
- Teoriškai reikalingas oro kiekis vienam kilogramui degalų sudeginti yra 0,5 kmol/kg
- Bendras deginių kiekis išmetamosiose dujose 0,527 kmol/kg
- Degiojo mišinio molekulinio pokyčio koeficientas 1,066
- Darbo mišinio molekulinio pokyčio koeficientas 1,063
- Darbo mišinio degimo šiluma 81,41 kJ/kg
- Valandinės degalų sąnaudos 22,319 kg/h
- Variklio galingumas naudojant reaktorių yra 79 kW

## IŠVADOS

Baigiamajame magistro darbe atlikus teorinį vidaus degimo variklio parametrų skaičiavimą ir palyginus su eksperimentiniu tyrimu galima daryti tokias išvadas:

- Deguonies koncentracija tiekiamame į variklį ore nenaudojant reaktoriaus yra 20,8 % pagal tūrį, o naudojant reaktorių – 21,5 % pagal tūrį.
- Teoriškai reikalingas oro kiekis vienam kilogramui degalų sudeginti nenaudojant reaktoriaus yra 0,517 kmol/kg, o naudojant reaktorių – 0,5 kmol/kg.
- Bendras deginių kiekis išmetamosiose dujose nenaudojant reaktoriaus yra 0,54 kmol/kg, o naudojant reaktorių – 0,527 kmol/kg.
- Degiojo mišinio molekulinio pokyčio koeficientas nenaudojant reaktoriaus yra 1,058, o naudojant reaktorių – 1,066.
- Darbo mišinio molekulinio pokyčio koeficientas nenaudojant reaktoriaus yra 1,055, o naudojant reaktorių – 1,063.
- Darbo mišinio degimo šiluma nenaudojant reaktoriaus yra 78,69 kJ/kg, o naudojant reaktorių – 81,41 kJ/kg.
- Valandinės degalų sąnaudos nenaudojant reaktoriaus yra 21,592 kg/h, o naudojant reaktorių – 22,319 kg/h.
- Variklio galingumas nenaudojant reaktoriaus yra 78 kW, o naudojant reaktorių – 79 kW.

Taigi palyginus variklio parametrų teorinius skaičiavimus su gautais bandymo rezultatais, matome jog variklio galia padidėja. Taip pat padidėja ir variklio reikšminiai parametrai nekeičiant variklio konstrukcijos. Taigi esant tai pačiai variklio masei gaunamas didesnis galingumas, tai liudija padidėjusį jo efektyvumą.

## Pasiūlymai

Didinant VDV galingumą ir efektyvumą, tiekiant azoto oksidus į įsiurbimo kolektorių, būtina atlikti reaktoriaus elektrodų sąlyčio su oru ploto priklausomybės tyrimą. Taip pat azoto oksidų pagaminimo kiekių priklausomybę, nuo įtampos bei srovės. Žinant šiuos kintamuosius galima tiksliau prognozuoti efektyvumo didinimą.

## Literatūra

1. Butkus A. Automobilių ir traktorių variklių projektavimas. Vilnius: Mokslas, 1985. 267 p. (V3231(258))
2. Gastila L. Automobilių ir traktorių varikliai. Vilnius: Mintis, 1974. 264 p.
3. Butkus A. Vidaus degimo varikliai. Vilnius: Technika, 2007. 179 p.
4. Pikūnas A. Vidaus degimo varikliai. Vilnius: Technika, 2008. 109 p.
5. Y. Wang, A. W. DeSilva, and G. C. Goldenbaum Nitric oxide production by simulated lightning: Dependence on current, energy, and pressure Department of Meteorology, University of Maryland, College Park, 1998. 11 p.
6. Masahiro Nagao a, Takeshi Yoshia, Yousuke Namekata, Shinya Teranishi, Mitsuru Sano, Atsuko Tomitab, Takashi Hibino De-NO<sub>x</sub> reactor and NO<sub>x</sub> sensor using In<sub>3</sub> + - doped SnP<sub>2</sub>O<sub>7</sub> with PtRhBa/C electrode. Japan: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Nagoya 463-8560, 2008. 7 p.
7. M.A. Gomez-Garcia, Y. Zimmermann, V. Pitchon, A. Kiennemann Multifunctional catalyst for de-NO<sub>x</sub> processes: The selective reduction of NO<sub>x</sub> by methane. France: Siencedirect, 2006 5 p.
8. Pio Forzatti, Luca Lietti, Isabella Nova, Sara Morandi, Federica Prinetto, Giovanna Ghiotti Reaction pathway of the reduction by CO under dry conditions of NO<sub>x</sub> species stored onto Pt-Ba/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Lean NO<sub>x</sub> Trap catalysts Italy, Milan : Journal of Catalysis, 2010 13 p.
9. Nils Rehbein, Vernon Cooray NO<sub>x</sub> production in spark and corona discharges. Sweden: Journal of Electrostatic, 2001. 7 p.
10. Prieiga per internetą: [http://en.wikipedia.org/wiki/Mazda\\_B\\_engine](http://en.wikipedia.org/wiki/Mazda_B_engine) (žiūrėta 2011-03-27)
11. Prieiga per internetą: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) (žiūrėta 2011-03-27)
12. Алексеев В. П., Воронин В. Ф., Грехов Л. В. и др. Двигатели внутреннего сгорания. Москва «Машиностроение», 1990. 280 с.
13. Копчин А. И., Демидов В. П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. Москва «Высшая школа», 1980. 398 с.
14. Mazda 626 устройство эксплуатация ремонт. 1985. 209 с.
15. Генкин К. И. Газовые двигатели. Москва «Машиностроение», 1977. 192 с. (B183171)

# **PRIEDAI**