

ISSN 2029-9303



**KAUNO TECHNIKOS KOLEGIJA**  
**KAUNAS UNIVERSITY OF APPLIED ENGINEERING SCIENCES**

# **INŽINERINĖS IR EDUKACINĖS TECHNOLOGIJOS**

Mokslinių straipsnių žurnalas

# **ENGINEERING AND EDUCATIONAL TECHNOLOGIES**

Scientific journal

Kaunas, 2019

Vyriausioji redaktorė

**Doc. Dr. Marija Jotautienė**

*Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)*

Socialiniai mokslai/  
Social Sciences

Vykdančioji redaktorė

**Doc. Dr. Giedrė Adomavičienė**

*Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)*

Socialiniai mokslai/  
Social Sciences

Mokslinė sekretorė

**Doc. Dr. Esmeralda Štyps**

*Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)*

Technologijos mokslai/  
Technological Sciences

#### **Redaktorių kolegija/Editorial Board:**

**Prof. Habil. Dr. Algirdas Vaclovas Valiulis**

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas/Vilnius Gediminas Technical University (LT)*

Technologijos mokslai/  
Technological Sciences

**Prof. Dr. Elmar Heinemann**

*Šmalkaldeno taikomųjų mokslų universitetas/University Of Applied Sciences Schmalkalden (DE)*

Technologijos mokslai/  
Technological Sciences

**Prof. Habil. Dr. Gál József**

*Šegedo universitetas/ University of Szeged, Hungary (HUN)*

Technologijos mokslai/  
Technological Sciences

**Mgr. Dominika Trębacz**

*Automobilių pramonės institutas, mokslinio žurnalo „The Archives of Automotive Engineering“ vykdančioji redaktorė/Automobile Industry Institute, Executive editor of scientific journal „The Archives of Automotive Engineering (POL)*

Technologijos mokslai/  
Technological Sciences

**Doc. Dr. Ernestas Ivanauskas**

*Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University Of Technology (LT)*

Technologijos mokslai/  
Technological Sciences

**Doc. Dr. Gediminas Pupinis**

*Aleksandro Stulginskio universitetas/ Aleksandras Stulginskis University (LT)*

Technologijos mokslai/  
Technological Sciences

**Doc. Dr. Marius Saunoris**

*Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University Of Technology (LT)*

Technologijos mokslai/  
Technological Sciences

**Doc. Dr. Šarūnas Kilius**

*Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)*

Technologijos mokslai/  
Technological Sciences

**Doc. Dr. Vytenis Naginevičius**

*Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)*

Technologijos mokslai/  
Technological Sciences

**Dr. Kastytis Laurinaitis**

*Stulginskio universitetas/ Aleksandras Stulginskis University (LT)*

Technologijos mokslai/  
Technological Sciences

**Dr. Rolandas Samajauskas**

*IĮ „Pastatų sertifikavimo biuras“/ IE „Building Certification Office“ (LT)*

Technologijos mokslai/  
Technological Sciences

|                                                                                                                             |                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>Dr. Rosita Norvaišienė</b><br><i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)</i>    | Technologijos mokslai/<br>Technological Sciences |
| <b>Doc. Dr. Aldona Gaižauskienė</b><br><i>Vilniaus kolegija/Vilnius University Of Applied Sciences (LT)</i>                 | biomedicinos mokslai                             |
| <b>Prof. Dr. Genutė Gedvilienė</b><br><i>Vytauto Didžiojo universitetas/ Vytautas Magnus University (LT)</i>                | Socialiniai mokslai/<br>Social Sciences          |
| <b>Prof. Habil. Dr. Vilija Targamadzė</b><br><i>Vilniaus universitetas/Vilnius University (LT)</i>                          | Socialiniai mokslai/<br>Social Sciences          |
| <b>Doc. Dr. Vita Krivickienė</b><br><i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)</i> | Socialiniai mokslai/<br>Social Sciences          |
| <b>Doc. Dr. Daiva Lepaitė</b><br><i>Vilniaus universitetas/Vilnius University (LT)</i>                                      | Socialiniai mokslai/<br>Social Sciences          |
| <b>Dr. Lina Girdauskienė</b><br><i>Kauno technologijos universitetas/Kaunas University Of Technology (LT)</i>               | Socialiniai mokslai/<br>Social Sciences          |

Leidiny s įrašytas į **LMT patvirtintų leidinių sąrašą**  
<http://www.mab.lt/lt/istekliai-internete/mokslo-zurnalai/269>

Ir įtrauktas į **Index Copernicus Journals Master List**  
<http://journals.indexcopernicus.com/inznerina+ir+educacinos+technologijos,p12156,3.html>

Redakcijos adresas:  
**VšĮ Kauno technikos kolegija**  
 Tvirtovės al. 35, LT- 50155 Kaunas  
 Tel./faks. (8 37 308620)/( 8 37 333120)  
 El. p. ktk@ktk.lt  
<http://www.ktk.lt>

Address:  
**Kaunas University of Applied Engineering Sciences**  
 Tvirtovės av. 35, LT- 50155 Kaunas  
 Phone./fax. (+370 37 308620)/( +370 37 333120)  
 E-mail. ktk@ktk.lt  
<http://www.ktk.lt>

**Visos leidinio leidybos teisės saugomos. Šis leidinys arba kuri nors jo dalis negali būti dauginami, taisomi ar kitaip platinami be leidėjo sutikimo.**

**All rights of the publication are reserved. No reproduction, copy or transmission of this publication may be made without publisher's permission.**

© Kauno technikos kolegija, 2019  
**ISSN 2029-9303**



## REDAKTORIAUS ŽODIS

Gerbiami skaitytojai ir kolegos,

Mokslinių straipsnių žurnalo “Inžinerinės ir edukacinės technologijos” redkolegija pristatydamą Jums tryliktąjį žurnalo numerį, džiaugiasi, jog šį kartą į Jūsų rankas patenka gana plataus spektro mokslinių publikacijų leidinys.

Trisdešimt viename straipsnyje atsispindi tiek technologijos mokslų srities aktualijos, tiek ir realią taikomąją vertę turintys tiriamieji darbai. Šiame leidinio numeryje galime rasti ir pradedančių tyrėjų publikacijų.

Džiugu, kad mokslinius tyrimų rezultatus publikuoja tiek universitetų, tiek kolegijų tyrėjai arba tyrėjų grupės, o šių tyrimų rezultatų pasiekiamumas tampa prieinamas platesniam skaitytojų ratui, kadangi šiame numeryje publikuojami straipsniai lietuvių, anglų kalbomis.

Šis mokslinis žurnalas – tai puiki galimybė dėstytojams, studentams, tyrėjams viešinti savo atliktų mokslinių taikomųjų tyrimų rezultatus, rasti bendradarbiavimo taškų su kitomis tyrėjų grupėmis.

Tikimės, kad visi paminėti aspektai paskatins skaitytojų susidomėjimą publikacijomis, dėkojame straipsnių autoriams ir tikimės sėkmingo tolesnio bendradarbiavimo.

Su pagarba,

vyriausioji redaktorė



soc. m. dr. Marija Jotautienė

## TURINYS

|                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ŠLAITŲ STABILUMO MODELIAVIMO ANALIZĖ ALEKSOTO KALNO ATVEJU .....                                                                                                            | 9  |
| Raimondas Šadzevičius <sup>1</sup> , Žydrūnas Vyčius <sup>1</sup> , Jolanta Valčiukienė <sup>1</sup> , Regina Motienė <sup>2</sup>                                          |    |
| <sup>1</sup> Vytauto Didžiojo universitetas, <sup>2</sup> Kauno technikos kolegija                                                                                          |    |
| KAUNO TECHNIKOS KOLEGIJOS MOKOMOJO KORPUSO PASTATO KONSTRUKCIJŲ<br>BŪKLĖS TYRIMAI.....                                                                                      | 16 |
| Raimondas Šadzevičius, Lolita Dalbokaitė, Edmundas Šimoliūnas                                                                                                               |    |
| Kauno technikos kolegija                                                                                                                                                    |    |
| PRAMONINIŲ BETONINIŲ GRINDŲ DANGŲ PROJEKTINIŲ SPRENDINIŲ KOMPLEKSINĖ<br>ANALIZĖ IR EFEKTYVAUS SPRENDIMO PRIĖMIMO KONCEPCIJA .....                                           | 23 |
| Violeta Medelienė                                                                                                                                                           |    |
| Kauno technikos kolegija                                                                                                                                                    |    |
| KARINIŲ JŪRŲ PAJĖGŲ LAIVUOSE, DALYVAUJANČIUOSE PAIEŠKOS IR GELBĖJIMO<br>OPERACIJOSE, RYŠIO SISTEMOS MODERNIZAVIMO GALIMYBIŲ VERTINIMAS.....                                 | 33 |
| Stasys Donėla <sup>1</sup> , Elena Valionienė <sup>2</sup>                                                                                                                  |    |
| <sup>1,2</sup> Lietuvos aukštoji jūreivystės mokykla; <sup>2</sup> Mykolo Romerio universitetas                                                                             |    |
| TARPTAUTINIO JŪRŲ KARINIO JUNGINIO LOGISTINIO APRŪPINIMO<br>TECHNOLOGIJOS POVEIKIO OPERACINĖS PARENGTIES LYGIUI VERTINIMAS.....                                             | 40 |
| Elena Valionienė, Rima Mickienė                                                                                                                                             |    |
| Lietuvos aukštoji jūreivystės mokykla, Mykolo Romerio universitetas                                                                                                         |    |
| SANDĖLIAVIMO PROCESO BALTIJOS LOGISTIKOS CENTRO ŠALDYTUVE<br>TECHNOLOGINIS VERTINIMAS.....                                                                                  | 48 |
| Saulius Lileikis, Vilius Rubinas                                                                                                                                            |    |
| Lietuvos aukštoji jūreivystės mokykla                                                                                                                                       |    |
| KRETINGOS RAJONO ATLIEKŲ IŠVEŽIMO GRAFIKŲ MOBILIOJI PROGRAMA .....                                                                                                          | 56 |
| Jurij Tekutov <sup>1, 2, 3</sup> , Vitalija Radiukienė <sup>1</sup> , Gintaras Kučinskas <sup>1</sup> , Julija Smirnova <sup>1</sup>                                        |    |
| <sup>1</sup> Klaipėdos valstybinė kolegija, <sup>2</sup> Klaipėdos universitetas, <sup>3</sup> Lietuvos verslo kolegija                                                     |    |
| COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY AND ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF DIESEL<br>OIL, RAPESEED OIL AND RAPESEED METHYL ESTER MIXTURES FUELLED COMPRESSION<br>IGNITION ENGINE..... | 66 |
| Badari Vishal Davu, Alfredas Rimkus, Jonas Matijošius                                                                                                                       |    |
| Vilnius Gediminas technical university                                                                                                                                      |    |
| ALFA TIPO STIRLINGO VARIKLIO ŠILUMINIŲ IR GALIOS PARAMETRŲ MODELIAVIMAS .....                                                                                               | 72 |
| Tadas Macius, Vadim Mokšin                                                                                                                                                  |    |
| Vilniaus Gedimino technikos universitetas                                                                                                                                   |    |
| LENGVŲJŲ AUTOMOBILIŲ PADANGŲ SLĖGIO KONTROLĖS SISTEMŲ TYRIMAS .....                                                                                                         | 77 |
| Vaidotas Gvozdas, Saulius Nagurnas, Vidas Žuraulis, Vytenis Surblys                                                                                                         |    |
| Vilniaus Gedimino technikos universitetas                                                                                                                                   |    |
| GAMTINIŲ DUJŲ IR BIODEGALŲ NAUDOJIMO SLĖGINIO UŽDEGIMO VARIKLIUOSE<br>EFEKTYVUMO TYRIMAS .....                                                                              | 82 |
| Vitalij Kabelis, Alfredas Rimkus                                                                                                                                            |    |
| Vilniaus Gedimino technikos universitetas                                                                                                                                   |    |

|                                                                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| KIBIRKŠTINIO UŽDEGIMO VARIKLIO EFEKTYVIŲJŲ IR EKOLOGINIŲ RODIKLIŲ TYRIMAS<br>NAUDOJANT DUJINIUS DEGALUS IR REGULIUOJANT ĮSIURBIMO VOŽTUVŲ FAZES .....                                                                     | 91  |
| Tadas Ragauskas, Alfredas Rimkus, Donatas Kriaučiūnas<br>Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas                                                                                                                        |     |
| BRAUNO DUJŲ ĮTAKA KIBIRKŠTINIO UŽDEGIMO VARIKLIO DEGIMO PROCESUI .....                                                                                                                                                    | 99  |
| Alfredas Rimkus <sup>1,2</sup> , Edvinas Bučinskas <sup>2</sup><br><sup>1</sup> Vilniaus Gedimino technikos universitetas, <sup>2</sup> Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija                                         |     |
| REVIEW ON THE ENERGY AND ECOLOGICAL INDICATORS OF A COMPRESSION<br>IGNITION DIESEL ENGINE FUELLED BY BIODIESEL (RME BASED) AND ISOPROPANOL<br>FUEL BLENDS.....                                                            | 105 |
| Sai Manoj Rayapureddy, Jonas Matijošius, Alfredas Rimkus<br>Vilnius Gediminas Technical University                                                                                                                        |     |
| ROTORINIŲ SISTEMŲ VIBRODIAGNOSTIKOS IR MONITORINGO METODOLOGIJA.....                                                                                                                                                      | 111 |
| Audrius Čereška<br>Vilniaus Gedimino technikos universitetas                                                                                                                                                              |     |
| KINEMATIKOS UŽDAVINIŲ SPRENDIMAS TAIKANT VAIZDO ANALIZĘ.....                                                                                                                                                              | 118 |
| Skirmantė Vardauskaitė<br>Kauno technikos kolegija                                                                                                                                                                        |     |
| USAGE OF MICROCONTROLLERS IN TESTING ELECTRONICS COMPONENTS.....                                                                                                                                                          | 123 |
| Audronis Kontautas<br>Šiauliai State College                                                                                                                                                                              |     |
| DARBO POZOS POVEIKIO JUOSMENS RAUMENŲ ELEKTRINIAM AKTYVUMUI<br>ANALIZĖ IR VERTINIMAS .....                                                                                                                                | 128 |
| Loreta Valatkienė <sup>1</sup> , Donata Putnaitė <sup>1</sup> , Andrius Kozlovas <sup>2</sup> , Giedrė Adomavičienė <sup>2</sup><br><sup>1</sup> Kauno technologijos universitetas, <sup>2</sup> Kauno technikos kolegija |     |
| AUKŠTŲJŲ MOKYKLŲ IR PILIETINĖS VISUOMENĖS ORGANIZACIJŲ<br>BENDRADARBIAVIMO GALIMYBĖS .....                                                                                                                                | 136 |
| Grażina Strazdienė, Ana Aleknavičienė<br>Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija                                                                                             |     |
| LIETUVIŲ KALBOS KAIP SVETIMOSIOS MOKYMO/SI METODIKOS DIEGIMAS KAUNO<br>TECHNIKOS KOLEGIJOJE .....                                                                                                                         | 143 |
| Sonata Paulauskienė, Judita Štreimikienė<br>Kauno technikos kolegija                                                                                                                                                      |     |
| STATISTICAL ANALYSIS OF STRUCTURAL TYPES OF TERMS OF CONSTRUCTION.....                                                                                                                                                    | 146 |
| Daiva Zavistanavičienė<br>Kaunas University of Applied Engineering Sciences                                                                                                                                               |     |
| AKADEMINIS SĄŽININGUMAS AUKŠTOJOJE MOKYKLOJE: KAUNO TECHNIKOS<br>KOLEGIJOS ATVEJO ANALIZĖ .....                                                                                                                           | 151 |
| Kęstutis Vitkauskas, Jolita Bučelienė<br>Kauno technikos kolegija                                                                                                                                                         |     |
| EKSPERIMENTINIAI STIKLO PAKETŲ GARSO SLOPINIMO TYRIMAI.....                                                                                                                                                               | 163 |
| Audrius Čereška, Darius Jakovickis<br>Vilniaus Gedimino technikos universitetas                                                                                                                                           |     |

|                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| BIODEGALŲ IŠ MIKRODUMBLIŲ AUGINIMO, PERDIRBIMO IR PANAUDOJIMO<br>TECHNOLOGIJŲ APŽVALGA TRANSPORTO SEKTORIJE .....                                                                                                                                  | 169 |
| Mantas Felneris, Alfredas Rimkus, Saugirdas Pukalskas<br>Vilniaus Gedimino technikos universitetas                                                                                                                                                 |     |
| LENGVŲJŲ PRESTIŽINIŲ AUTOMOBILIŲ KONSTRUKCINIŲ ELEMENTŲ PATIKIMUMO<br>TYRIMAS .....                                                                                                                                                                | 177 |
| Justas Jonauskas, Saulius Nagurnas, Robertas Pečeliūnas<br>Vilniaus Gedimino technikos universitetas                                                                                                                                               |     |
| DYZELINIO VARIKLIO PARAMETRŲ ANALIZĖ NAUDOJANT ĮVAIRIUS KURO MIŠINIUS .....                                                                                                                                                                        | 183 |
| Artūras Kilikevičius, Jonas Matijošius, Karolis Gudonis, Paulius Svilainis,<br>Povilas Uvarovas, Darius Mikonis<br>Vilniaus Gedimino technikos universitetas                                                                                       |     |
| OPTINIŲ STALŲ PNEUMATINIŲ SLOPINIMO SISTEMŲ TYRIMAI .....                                                                                                                                                                                          | 188 |
| Edgaras Urbonas, Povilas Uvarovas, Paulius Svilainis, Artūras Kilikevičius,<br>Darius Mikonis, Jonas Matijošius<br>Vilniaus Gedimino technikos universitetas                                                                                       |     |
| GEODEZINĖS MATAVIMO ĮRANGOS PRITAIKYMAS IR GAUTŲ REZULTATŲ VERTINIMAS<br>GELEŽINKELIO INFRASTRUKTŪROS TYRIMUOSE .....                                                                                                                              | 192 |
| V. Kriaučiūnaitė-Neklejonovienė <sup>1,3</sup> , Donatas Rekus <sup>1,2</sup> , Oleg Kolbovskij<br><sup>1</sup> Kauno Technologijos Universitetas; <sup>2</sup> Kauno Kolegija;<br><sup>3</sup> Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija |     |
| DVEJOPO KURO VARIKLIO EKSERGIJOS BALANSO PALYGINAMIEJI TYRIMAI .....                                                                                                                                                                               | 202 |
| Vygintas Daukšys, Sergėjus Lebedevas<br>Klaipėdos universitetas                                                                                                                                                                                    |     |
| AUTOMOBILIO PAKABOS CHARAKTERISTIKŲ ĮTAKA VAŽIAVIMO KOMFORUI .....                                                                                                                                                                                 | 209 |
| Audrius Tuinyla, Robertas Pečeliūnas, Saulius Nagurnas<br>Vilniaus Gedimino technikos universitetas                                                                                                                                                |     |
| LITAVIMO PASTOS SENĖJIMO ĮTAKA LITAVIMO KOKYBEI .....                                                                                                                                                                                              | 216 |
| Edgaras Sarapinas, Julius Šaltanis<br>Kauno technikos kolegija                                                                                                                                                                                     |     |

# ŠLAITŲ STABILUMO MODELIAVIMO ANALIZĖ ALEKSOTO KALNO ATVEJU

Raimondas Šadzevičius<sup>1</sup>, Žydrūnas Vyčius<sup>1</sup>, Jolanta Valčiukienė<sup>1</sup>, Regina Motienė<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vytauto Didžiojo universitetas, <sup>2</sup>Kauno technikos kolegija

## Anotacija

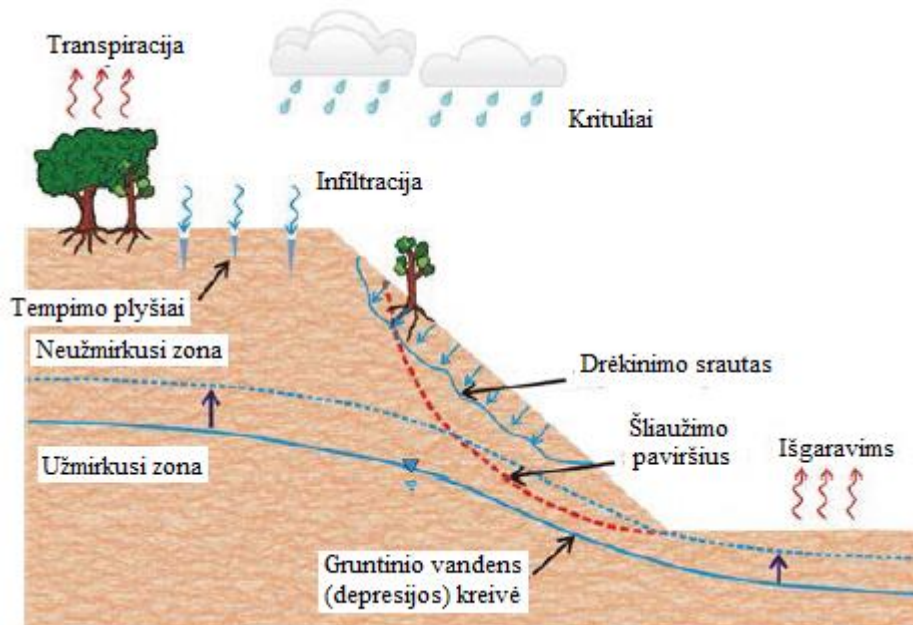
Šlaite žemiau A. Čepinskio g. įrengtos Aleksoto apžvalgos aikštelės pati nepastoviausia šlaito dalis yra tarp 45 ir 49 altitudės, kur šlaitas yra status, galimos nuošliaužos. Atliekant šlaito stabilumo analizę, nagrinėti 3 variantai. Atsižvelgiant į gautus šlaitų stabilumo modeliavimo rezultatus (esant technogeninių gruntų Nr. 1a ir 1b sankybai  $c=5$  kPa), pjūvio I-I šlaitas praktiškai nestabilus. Esant technogeninių gruntų Nr. 1a ir 1b sankybai  $c=10$  kPa, pjūvio I-I šlaito stabilumas neužtikrintas (esant užmirkusiems viršutiniams technogeniniams Nr. 1a, 1b, 2 ir eliuvio-deliuvio Nr. 3 gruntams), todėl rekomenduotina šlaite įrengti drenažą.

**REIKŠMINIAI ŽODŽIAI:** šlaitai, stabilumas, modeliavimas.

## Išvadas

*Nuošliaužų susidarymo priežastys.* Šlaitus sudarantys gruntai ir uolienos gali būti nepastovūs. Veikiami masės jėgos (gravitacijos) ir dėl kitų priežasčių, gruntai ir uolienos gali slinkti šlaitais žemyn (Yulindasari, Nurly, 2015: 331). Labai svarbi šlaitų charakteristika – šlaito forma. Ji priklauso ir siejasi su šlaituose vykstančių procesų intensyvumu ir jų eiga (Landslide research, 2017: 207). Iš visų šlaituose vykstančių inžinerinių geologinių procesų Lietuvos teritorijoje labiausiai paplitusios nuošliaužos. Tai vienas pavojingiausių statybai iš visų šlaituose vykstančių inžinerinių geologinių procesų (Šimkus, 1984: 96).

Nuošliaužos skirstytinos pagal atsiradimo priežastis, ekonominę svarbą ir pavojingumą, pagal sandarą, irimo pobūdį, šliaužiančios grunto masės judėjimo tipą, būdą ar greitį ir pan. (Fomenko, 2014: 36; Soeters et al., 1996: 129; Dai et al, 2002: 65 ir kt.) Pagrindinis gamtinis veiksnys, galintis ardyti šlaitus – erozija. Kai iš šlaito išplaunamos smulkios grunto dalelės, atsiranda sufozinės nuošliaužos. Struktūrinių nuošliaužų priežastis yra sluoksniavimosi plokštumos arba plyšiai (1 pav.).

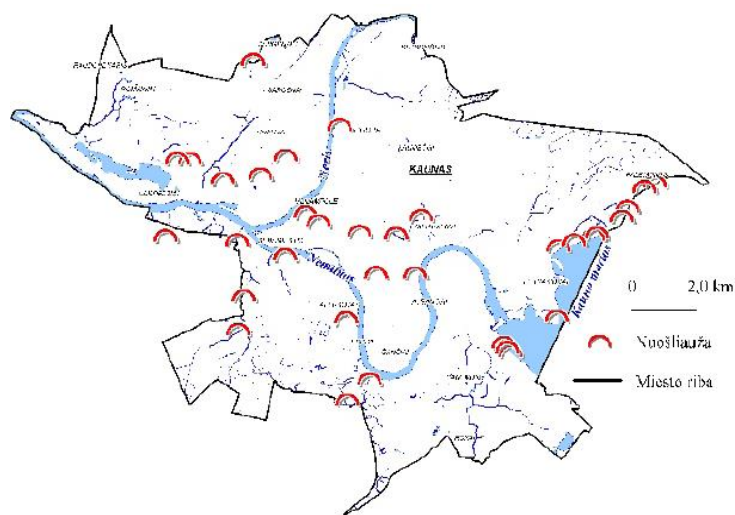


1 pav. Liūtės sukeltas šlaito irimo mechanizmas

Šaltinis: (Rahardjo et al, 2007: 1532)

Potencialių nuošliaužų susidarymo, paplitimo įvertinimo, stebėsenos ir prognozavimo sistemos aptartos mūsų ankstesniame darbe (Šadzevičius ir kt., 2018:115).

Lietuvoje sukurta Lietuvos karsto ir nuošliaužų informacinės duomenų bazė, informacija apie geologinius reiškinius pateikiama geologijos informacinėje sistemoje GEOLIS. Pagal nuošliaužų inventorizacijos Kauno mieste duomenis, nuošliaužos dažniausiai atsiranda ten, kur natūrali aplinka, palanki nuošliaužoms susidaryti, yra pažeista žmogaus ūkinės veiklos (2 pav.).



**2 pav.** Kauno miesto nuošliaužų žemėlapis. Pastaba - Aleksoto kalno nuošliauža pažymėta Nemuno slėnyje ties santaka su Nerim

Šaltinis: Lietuvos geologijos tarnybos duomenų bazė GEOLIS Prieiga per internetą:  
<<https://www.lgt.lt/epaslaugos/pages/trees/geolis.xhtml>>

*Tyrimų objektas.* Tyrinėtas plotas yra eroduotoje Garliavos limnoglacialinėje lygumoje ir Nemuno upės slėnyje ties Vytauto Didžiojo tiltu, Aleksoto seniūnijoje, Kauno mieste. Viršutinėje ir vidurinėje dalyje, aukščiau 47-49 m altitudės šlaitas palyginus lėkštas, polinkio kampas apie 20°, tik atskiruose fragmentuose siek tiek viršija 20°. Tuo tarpu žemiau, iki pat 35 m altitudės, šlaitas labai status. Polinkio kampas apie 35°, o vietomis siekia net 37–38°. Šlaitas žemiau A. Čepinskio g. įrengtos Aleksoto apžvalgos aikštelės yra beveik 40 m aukščio. Absoliutiniai aukščiai nuo 70,5 iki 32,5 m.

UAB „Kelprojektas“ tyrinėjimų skyrius, pagal sutartį su Kauno miesto savivaldybės įmone „Kauno planas“ 2017 metų sausio–vasario mėnesiais atliko projektinius inžinerinius geologinius tyrimus Kauno mieste Aleksoto apžvalgos aikštelės rekonstravimui. Tyrimais nustatyta, kad žemiau apžvalgos aikštelės esantis šlaitas aikštelės statiniams grėsmės nekelia. Pats šlaitas tarp griovų dabartiniu metu yra salyginai stabilus. Viršutinėje ir vidurinėje dalyje (aukščiau 49 m altitudės), kur šlaito kampas tesiekia 20°, jokių geologinių reiškinių nepastebėta. Pagrindinis veiksnys pakeitęs šlaito paviršių – žemyn pratiestos požeminės komunikacijos, ypač magistralinio vandentiekio trasos. Žemiau 49 m altitudės, kur šlaito kampas siekia 35° ir net daugiau laipsnių, kairėje šlaito pusėje pastebėta iki 1,5 m gilio išgrauža, matyt susiformavusi tiesiant telefono ryšio tinklus. Panašiam lygyje, viduryje tyrinėto šlaito dalyje, pastebėti atitrūkusio dirvožemio plyšiai ir besiformuojančios nedidelės nuošliaužos pirmieji požymiai, žemiau matosi susiformavę nedidelės solifliukcinės terasos. Ši nuošliauža formuojasi magistralinių vandentiekų tranšėjos vietoje, beveik tame pačiame lygyje, kur prieš keletą metų (2015 balandžio - gegužės mėnesį) jau buvo susidariusi nedidelė nuošliauža, vėliau sutvarkyta (3 pav.).



**3 pav.** Kauno miesto Aleksoto kalno ties Vytauto Didžiojo tiltu nuošliauža (kairėje) ir jos sutvarkymas 2015 metais

Šaltinis: sudaryta autorių

*Tyrimų aktualums.* Pati nepastoviausia šlaito dalis yra tarp 45 ir 49 altitudės, kur šlaitas yra status, jį sudaro performuoti eliuvio deliuvio gruntai (4 pav.), kuriuose dėl staus šlaito ekstremalių situacijų metu (ilgalaikiai stiprūs lietūs, liūty, nepalanki šalta žiema su gausiais krituliais) galimi solifliukciniai reiškiniai – atitirpusios šlaito dalies tekėjimas šlaitu. O didžiausią grėsmę šlaito stabilumui kelia šiame lygyje esantys užpiltų magistralinių vandentiekių tinklų vietose tranšėjų vietoje supilti moliai. Praeityje vykę nuošliaužų procesai ir dabartiniai atitrūkimo plyšiai bei susiformavusios solifliukcinės terasos rodo, kad šioje vietoje šlaitas gali būti nestabilus ir susidarius nepalankioms sąlygoms (lietingais metų periodais ir pavasarį vykstant polaidžiui, kai supilti gruntai perdrėksta) gali atsirasti šlaito paviršiaus deformacijos – vyks solifliukciniai reiškiniai, formosis nedidelės nuošliaužos – atitirpusios šlaito dalies tekėjimas šlaitu.



**4 pav.** Kauno miesto Aleksoto kalno šlaito dalyje tarp 45 m ir 49 m altitudės ekstremalių situacijų metu galimos nuošliaužos  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

**Tyrimo tikslas** – kompiuteriniais skaičiavimais atlikti Aleksoto kalno ties Vytauto Didžiojo tiltu šlaitų stabilumo analizę įvertinant inžinerinių priemonių įtaką šlaito stabilumui.

**Tyrimo uždaviniai:**

1. Atlikti nuošliaužų susidarymo priežasčių literatūros analizę.
2. Atlikti šlaitų stabilumo skaičiavimus įvertinant geologines sąlygas, gruntinio vandens poveikį.
3. Atlikti šlaitų stabilumo skaičiavimus įvertinant drenažo įtaką.

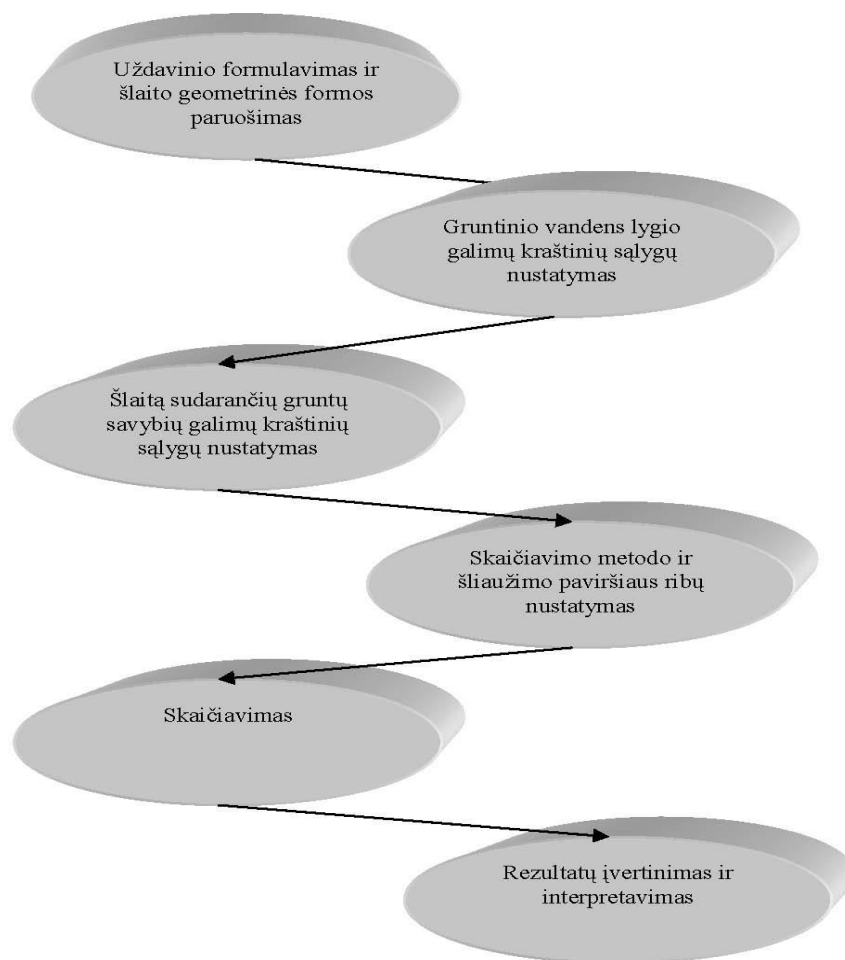
**Tyrimų metodika**

*Šlaitų stabilumo modeliavimas kompiuterinių programų kompleksu Geostudio Slope/W (Slope/W).* Šlaito stabilumo skaičiavimai atlikti modeliuojant šlaito stabilumą kompiuterine programa Geostudio Slope/W (Stability modelling with GeoStudio, 2018). Šlaito stabilumo analizė pagal Geostudio Slope/W kompiuterinių programų kompleksą vyksta 5 paveiksle pavaizduotais etapais.

Atliekant Aleksoto kalno šlaito stabilumo analizę, nagrinėti tokie variantai:

- 1) Šlaitas visai sausas;
- 2) Esant UAB “Kelprojektas” ataskaitoje (UAB “Kelprojektas“, 2007:7) nustatytom sąlygom (esama situacija – gruntinis vanduo yra natūraliuose vidutinio rupumo smėlio sluoksniuose Nr. 6a ir 6b, kurie apriboti neužmirkstančiais mažai laidžiais vandensparniais smėlingais dulkingais molio sluoksniais Nr. 4, 5, 7. Viršutiniuose technogeniniuose Nr. 1a, 1b, 2 ir eliuvio-deliuvio Nr. 3 gruntų sluoksniuose pagal UAB “Kelprojektas” ataskaitą pastovaus nusistovėjusio gruntinio vandens nėra);

3) Esant užmirkusiems viršutiniams technogeniniams ir eliuvio-deliuvio gruntams. Šlaito stabilumo modeliavimas atliktas UAB “Kelprojektas” ataskaitos I-I ir III-III pjūviuose (UAB “Kelprojektas“, 2007:60-61).



**5 pav.** Šlaito stabilumo modeliavimo eiga  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Sudarius šlaito stabilumo modelius, užsiduotame galimų nuošliaužų centrų stačiakampyje apskaičiuojamos ir išbraižomos šlaito stabilumo koeficiento  $K$  izolinijos. Raudonu tašku pažymėtas apskaičiuotas minimalus šlaito stabilumo koeficientas  $K$ , o žaliai pažymėtas apskaičiuotas galimas nušliaužimo paviršius. Jei šlaito minimalus stabilumo koeficientas  $K < 1$ , tai šlaitas bus nestabilus bei gali nušliaužti. Jei  $K > 1$ , tai šlaitas bus stabilus. Laikoma, kad šlaito stabilumas yra užtikrintas, jei minimalus šlaito stabilumo koeficientas yra  $K \geq 1,2$  (EM 1110–2–1902: 26. Slope stability).

### **Tyrimų rezultatai**

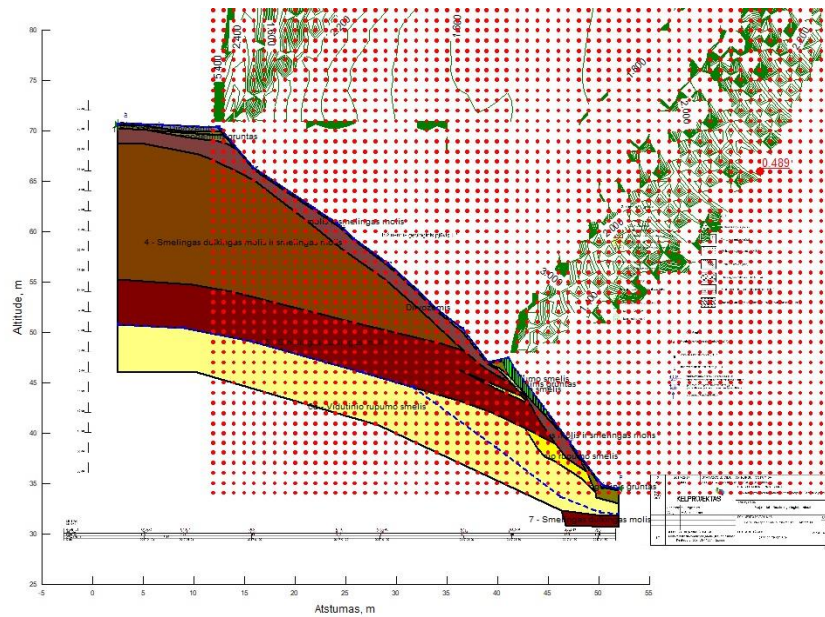
#### *Aleksoto kalno šlaitų stabilumo modeliavimo rezultatai.*

Aleksoto kalno šlaitų modeliavimas atliktas nagrinėjant tris variantus - šlaitą sudarantis gruntai: visai sausi, dalinai užmirkę, pilnai užmirkę.

Atlikus šlaitų stabilumo modeliavimą nustatyta, kad:

1) Šlaito stabilumo rezultatai ir potencialios nuošliaužų vietos priklauso šlaito viršuje esančio dirvožemio ir technogeninių gruntų sluoksnių charakteristikų, kurios atsižvelgiant į stebimą situaciją šlaite, analogus ir žolinės dangos sutvirtinantį poveikį, priimtos  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ ,  $\varphi = 10^\circ$ ,  $c = 10 \text{ kPa}$ ;

2) Pagal modeliavimo rezultatus, esant silnesnėms dirvožemio ir technogeninių gruntų Nr. 1a ir 1b charakteristikoms, pjūvio I-I šlaito stabilumas nėra pakankamas. Esant technogeninių gruntų Nr. 1a ir 1b sankybai  $c = 5 \text{ kPa}$ , pjūvio I-I šlaito stabilumas nėra užtikrintas ( $K = 1,129 \leq 1,2$ ) net esant visai sausam šlaitui, o esant užmirkusiems viršutiniams technogeniniams ir eliuvio-deliuvio gruntams šlaito yra nestabilus  $K = 0,489 < 1$ . Lokali nuošliauža pirmiausia formuotusi prie senos griovos (6 pav. ).

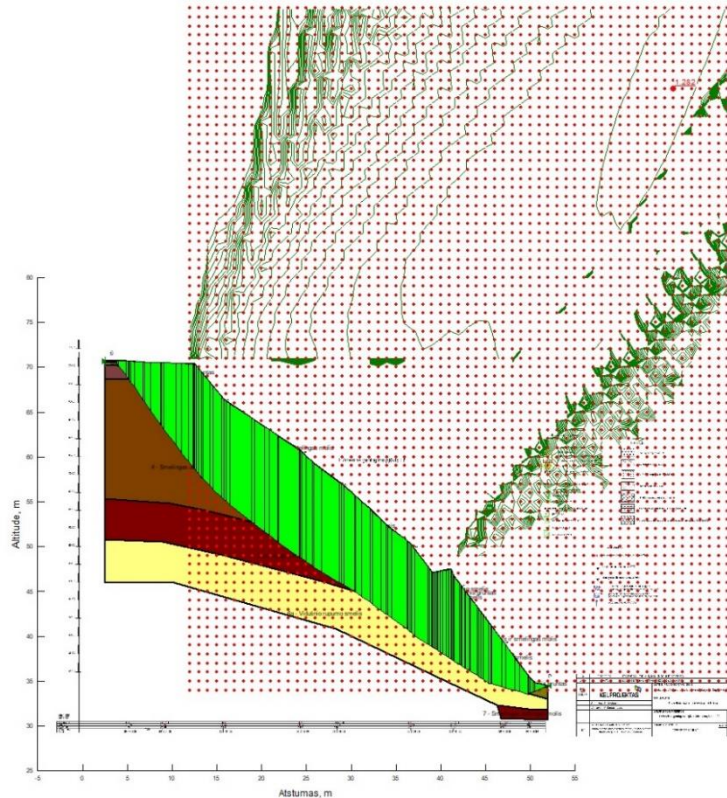


**6 pav.** Pjūvio I-I šlaito stabilumo modeliavimo iliustracija, esant technogeninių gruntų Nr. 1a ir 1b tariamajai sankybai  $c=5$  kPa bei užmirkusiems viršutiniams technogeniniams ir eliuvio-deliuvio gruntams

*Šaltinis: sudaryta autorių*

3) Esant technogeninių gruntų Nr. 1a ir 1b sankybai  $c=10$  kPa, pjūvio I-I stabilumas esant visai sausam šlaitui yra  $K=1,282 \geq 1,2$ , pjūvio III-III stabilumas esant visai sausam šlaitui yra  $K=1,416 \geq 1,2$ . Šlaito stabilumas esant visai sausiems šlaitams užtikrintas abiejuose nagrinėjamuose pjūviuose ( $K \geq 1,2$ );

4) Esant technogeninių gruntų Nr. 1a ir 1b sankybai  $c=10$  kPa, pjūvio I-I stabilumas esant UAB “Kelprojektas” ataskaitoje nustatytom sąlygom yra  $K=1,244 \geq 1,2$  (7 pav.), pjūvio III-III stabilumas esant UAB “Kelprojektas” ataskaitoje nustatytom sąlygom yra  $K=1,381 \geq 1,2$ . Šlaito stabilumas esant UAB “Kelprojektas” ataskaitoje nustatytom sąlygom užtikrintas abiejuose nagrinėjamuose pjūviuose ( $K \geq 1,2$ );



**7 pav.** Pjūvio I-I šlaito stabilumo modeliavimo iliustracija, esant technogeninių gruntų Nr. 1a ir 1b tariamajai sankybai  $c=10$  kPa bei neužmirkusiems viršutiniams technogeniniams ir eliuvio-deliuvio gruntams

*Šaltinis: sudaryta autorių*

5) Esant technogeninių gruntų Nr. 1a ir 1b sankybai  $c=10$  kPa, pjūvio I-I stabilumas esant užmirkusiems viršutiniams technogeniniams Nr. 1a, 1b, 2 ir eliuvio-deliuvio Nr. 3 gruntams yra  $K=1,107 \leq 1,2$ , pjūvio III-III stabilumas esant užmirkusiems viršutiniams technogeniniams Nr. 1a, 1b, 2 ir eliuvio-deliuvio Nr. 3 gruntams yra  $K=1,377 \geq 1,2$ . Šlaito stabilumas esant užmirkusiems viršutiniams technogeniniams Nr. 1a, 1b, 2 ir eliuvio-deliuvio Nr. 3 gruntams užtikrintas tik pjūvyje III-III ( $K=1,377 \geq 1,2$ ), o pjūvis I-I yra stabilus, bet neužtikrintas ( $K=1,107 \leq 1,2$ ) (užmirkę viršutiniai gruntai – viršutiniai technogeniniai Nr. 1a, 1b, 2 ir eliuvio-deliuvio Nr. 3 gruntai yra užmirkę, taip pat gruntinis vanduo yra natūraliuose vidutinio rūpumo smėlio sluoksniuose Nr. 6a ir 6b, kurie apriboti neužmirkstančiais mažai laidžiais vandenspariniais smėlingais dulkingais molio sluoksniais Nr. 5 ir 7).

Įvertinant tai, kad yra nežinomos dirvožemio ir technogeninių gruntų sluoksnių charakteristikos (nuo kurių priklauso šlaito stabilumas), turi būti vertinamas potencialiai blogiausias atvejis, kad šlaitas gali nušliaužti.

Žinoma visa eilė inžinerinių priešnuošliaužinių priemonių (Šadzevičius ir kt., 2012: 63; Cheng, Lau, 2008: 200-204; Highland, Bobrowsky, 2008:75-147): stabilumo bermos; šlaito paviršiaus sutvarkymas: 1 – šlaito lėkštinimas; 2 – šlaito aukščio sužeminimas nekeičiant jo profilio; 3 – nukasamas gruntas nuo keteros ir sutvirtinama papėdė; drenažas – gruntinio vandens pažeminimas – paviršinis ir giluminis būdai ir kiti metodai, tačiau šiame Aleksoto kalno šlaite, atsižvelgiant į šlaito stabilumo modeliavimo rezultatus turi būti parinkta šlaito stabilumą mažiau pažeidžianti drenažo sistema. Įrengus drenažo sistemą, šlaito stabilumo atstatymui ir užtikrinimui tikslinga įrengti geotinklus. Esamą griovą (susiformavusią nuošliaužą kairėje kalno pusėje) būtina skubai nukasti, privalu išlyginti.

### Išvados

1. Pagal modeliavimo rezultatus potencialiai pavojingesnis (gaunamos mažesnės šlaito stabilumo reikšmės) yra I-I pjūvis. Atsižvelgiant į gautus šlaitų stabilumo modeliavimo rezultatus (esant technogeninių gruntų Nr. 1a ir 1b tariamajai sankybai  $c=5$  kPa, pjūvio I-I šlaitas praktiškai nestabilus (esant sausam gruntui  $K=1,129$ , o esant užmirkusiems viršutiniams technogeniniams ir eliuvio-deliuvio gruntams šlaito yra nestabilus  $K=0,489$ ). Lokali nuošliauža pirmiausia formuotusi prie senos griovos, todėl esamą griovą (susiformavusią nuošliaužą kairėje kalno pusėje) būtina skubai nukasti, privalu išlyginti.

2. Esant technogeninių gruntų Nr. 1a ir 1b tariamajai sankybai  $c=10$  kPa, šlaito stabilumas esant visai sausiems šlaitams užtikrintas abiejuose nagrinėjamuose pjūviuose ( $K \geq 1,2$ ), tačiau pjūvio I-I šlaito stabilumas neužtikrintas esant užmirkusiems viršutiniams technogeniniams Nr. 1a, 1b, 2 ir eliuvio-deliuvio Nr. 3 gruntams (yra  $K=1,107 \leq 1,2$ ), rekomenduotina įrengti drenažą, siekiant išvengti nuošliaužų.

### Literatūra

- Cheng Y.M., Lau C.K., 2008. Slope Stability Analysis and Stabilization. New methods and insight. Taylor & Francis e-Library, 260.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Ngai, Y.Y., 2002. Landslide risk assessment and management: an overview, *Engineering Geology*, 64, 1, 65–87.
- EM 1110–2–1902. Slope stability, US Army Corps of engineers., 2003. [interaktyvus]. [žiūrėta 2019–01–20]. Prieiga per Internetą: < [http://publications.usace.army.mil/publications/eng-manuals/EM\\_1110-2-1902\\_sec/toc.htm](http://publications.usace.army.mil/publications/eng-manuals/EM_1110-2-1902_sec/toc.htm) >.
- Fomenko I. K., 2014. Nuošliaužų pavojingumo ir prognozavimo metodika. Disertacija. Moskva. 318. (rusų kalba).
- Geologijos informacinė sistema GEOLIS. Prieiga per Internetą: < <https://www.lgt.lt/epaslaugos/pages/trees/geolis.xhtml> > [žiūrėta 2019–01–20].
- Yulindasari, Nurly., 2015. Effect of Area Development on the Stability of Cut Slopes *The 5th Int. Conf. Euro Asia Civil Engineering Forum* (Elsevier/ Procedia Engineering 125), 331 – 337.
- Landslide research and risk reduction for advancing culture of living with natural hazards 2017 *4th World Landslide Forum* (Ljubljana: Fakulteta zgradbeništvo in geodezijo), 207.
- Mizal-Azzmi N, Mohd-Noor N and Jamaludin N., 2011. Geotechnical Approaches for Slope Stabilization in Residential Area *The 2nd Int. Conf. International Building Control* (Elsevier/ Procedia Engineering 20), 474 – 482.
- Rahardjo H, Ong TH, Rezaur RB, Leong EC., 2007. [Factors controlling instability of homogeneous soil slopes under rainfall](#). Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 133 (12), 1532–1543.
- SLOPE/W [interaktyvus]. [žiūrėta 2019–01–21]. Prieiga per Internetą: < [www.geoslope.com](http://www.geoslope.com) >.
- Soeters, R., van Westen, C.J., 1996. Slope instability, recognition, analysis, and zonation. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council. National Academy Press, Washington, DC, 129–177.
- Stability modelling with GeoStudio*., 2018. (Calgary: GEO-SLOPE International Ltd), 252.
- Šadzevičius R., Pazniokaitė S., Vyčius Ž., 2012. Žemės sankasų šlaitų stabilumo analizė naudojant kompiuterinį programinį kompleksą SLOPE/W. Inžinerinės ir edukacinės technologijos, Nr.2, 62–69.

14. Šadzevičius, R., Vyčius, Ž., Damulevičius, V. 2018. Gedimino kalno Šiaurės Vakarų šlaitų stabilumo modeliavimas. *Inžinerinės ir edukacinės technologijos: mokslinių straipsnių žurnalas*. Kaunas, Kauno technikos kolegija, Nr. 1, 114–122.
15. Šimkus J., 1984. Gruntų mechanika, pagrindai ir pamatai. Vilnius, Mokslas, 270.
16. Highland, L.M., Bobrowsky, P., 2008. The landslide handbook—A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129.
17. UAB“Kelprojektas“Aleksoto apžvalgos aikštelės rekonstrukcija, V.Čepinskio g. Kaune. III geotechninės kategorijos projektinių inžinerinių geologinių ir geotechninių tyrimų ataskaita, 7850-00-TP-GT.AR , 2007. 68.

## Modelling of Slope Stability Analysis: Case Study of Aleksotas Hill

### Summary

The most volatile part of the slope is between 45 and 49 altitudes below A. Čepinskio str. installed Aleksotas observation site, where the slope is steep, possible landslides. Three variants were analyzed for slope stability analysis. Taking into account the results of the slope stability modeling results, the slope of section I-I is practically unstable (in the presence of technogenic soils No. 1a and 1b  $c = 5$  kPa). In the presence of technogenic soils No. 1a and 1b,  $c = 10$  kPa, slope stability of section I-I is not assured, especially if technogenic soils No. 1a, 1b, 2 and eluvial-deliuvial soils No. 3 are in saturated conditions, therefore it is recommended to install drainage on the slope.

**Key words:** slopes, stability, modeling

### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Raimondas Šadzevičius

**Mokslų laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas

**Darbo vieta ir pozicija:** Vytauto Didžiojo universiteto, VUŽF, Hidrotechninės statybos inžinerijos instituto docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** geotechninės problemos, hidrotechnikos statinių defektai ir pažeidimai.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 863111669, [raimondas.sadzevicius@vdu.lt](mailto:raimondas.sadzevicius@vdu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Žydrūnas Vyčius

**Mokslų laipsnis ir vardas:** magistras, inžinierius

**Darbo vieta ir pozicija:** Vytauto Didžiojo universiteto, Techninės tarnybos vyr. inžinierius.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** šlaitų, geofiltracijos, grunto įtempimų tyrimai ir modeliavimas.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 869817769, [zydrunas.vyčius@vdu.lt](mailto:zydrunas.vyčius@vdu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Jolanta Valčiukienė

**Mokslų laipsnis ir vardas:** daktarė, docentė

**Darbo vieta ir pozicija:** Vytauto Didžiojo universiteto, VUŽF, Žemėtvarkos ir geomatikos instituto docentė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** žemėtvarka.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 863111669, [jolanta.valciukiene@vdu.lt](mailto:jolanta.valciukiene@vdu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Regina Motienė

**Mokslų laipsnis ir vardas:** magistras, lektorė

**Darbo vieta ir pozicija:** Kauno technikos kolegijos, kelių inžinerijos programos lektorė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** kelių inžinerija

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 869944575, [regina.motiene@edu.ktk.lt](mailto:regina.motiene@edu.ktk.lt)

### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Raimondas Šadzevičius

**Science degree and name:** Doctor, Associated Professor

**Workplace and position:** Vytautas Magnus University, Faculty of Water and Land Management, Associated Professor at Institute of Hydraulic Engineering

**Author's research interests:** geotechnical problems, defects and deteriorations of hydraulic structures.

**Telephone and e-mail address:** +370 63111669, [raimondas.sadzevicius@vdu.lt](mailto:raimondas.sadzevicius@vdu.lt)

**Author name, surname:** Žydrūnas Vyčius

**Science degree and name:** Master

**Workplace and position:** Vytautas Magnus University, manager engineer at technical service dept.

**Author's research interests:** modelling of slope stability, seepage, stresses in the soil.

**Telephone and e-mail address:** +370 69817769, [zydrunas.vyčius@vdu.lt](mailto:zydrunas.vyčius@vdu.lt)

**Author name, surname:** Jolanta Valčiukienė

**Science degree and name:** Doctor, Associated Professor

**Workplace and position:** Vytautas Magnus University, Faculty of Water and Land Management, Associated Professor at Institute of Land Management and Geomatic

**Author's research interests:** land management.

**Telephone and e-mail address:** +370 63111669, [jolanta.valciukiene@vdu.lt](mailto:jolanta.valciukiene@vdu.lt)

**Author name, surname:** Regina Motienė

**Science degree and name:** Master, Lecturer

**Workplace and position:** Kaunas Technical College, Lecturer at Road engineering program.

**Author's research interests:** road engineering

**Telephone and e-mail address:** +37069944575, [regina.motiene@edu.ktk.lt](mailto:regina.motiene@edu.ktk.lt)

# KAUNO TECHNIKOS KOLEGIJOS MOKOMOJO KORPUSO PASTATO KONSTRUKCIJŲ BŪKLĖS TYRIMAI

Raimondas Šadzevičius, Lolita Dalbokaitė, Edmundas Šimoliūnas  
*Kauno technikos kolegija*

## **Anotacija**

Tikslas – įvertinti Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato būklę. Uždaviniai: atlikti Kauno technikos kolegijos pastatų būklės tyrimų analizę ir mokomojo korpuso pastato vizualinę apžiūrą; įvertinti Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato būklę; instrumentiniais tyrimais nustatyti Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato laiptinės betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų gniuždomąjį stiprį. Darbe atlikta literatūros (apie pastatų būklės vertinimą) analizė. Remiantis Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastatų natūrinių tyrimų rezultatais įvertinta techninė būklė bei laiptinės konstrukcijų gniuždomasis stipris, užfiksuoti defektai ir pažaidos.

**Reikšminiai žodžiai:** defektai ir pažaidos, techninės būklės vertinimas.

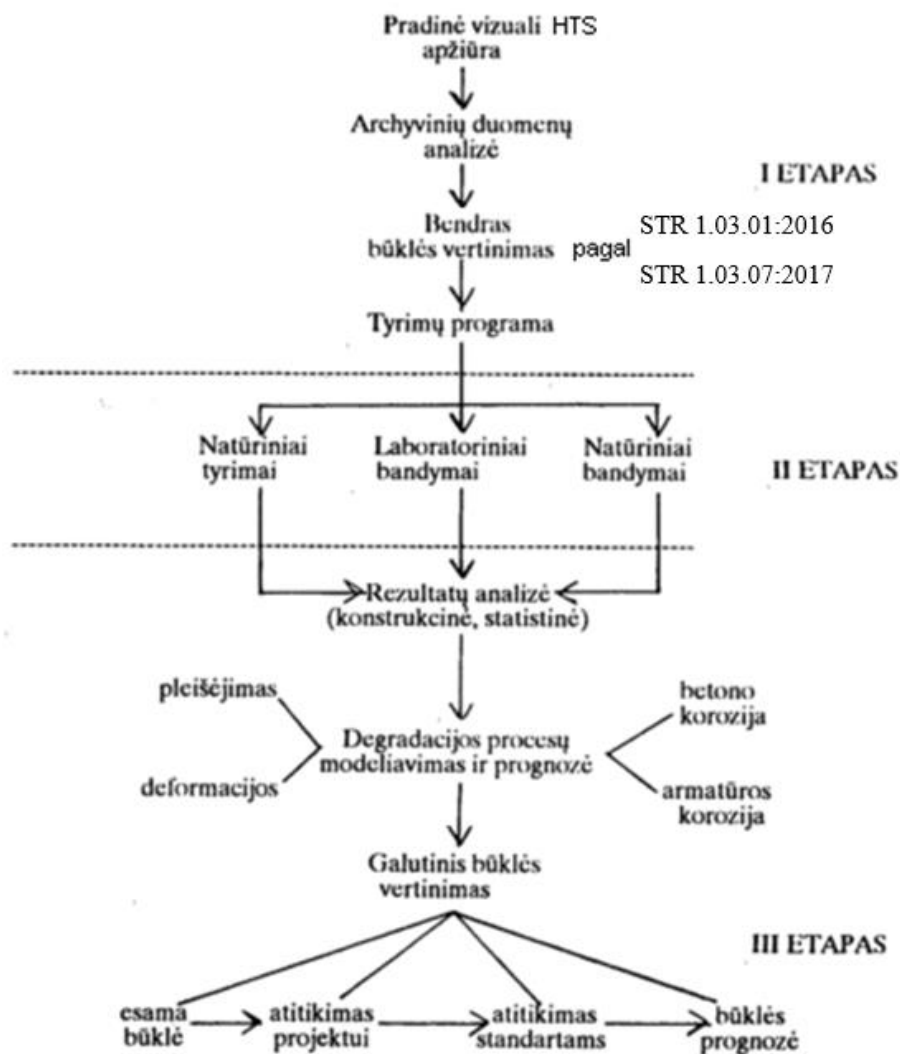
## **Įvadas**

*Mokslinė problema ir jos ištirtumo lygis.* Veikiami neigiamų aplinkos veiksnių bei natūralaus medžiagų senėjimo statiniai ir jų konstrukcijos nudėvimos ir kelia pavojų žmonių saugai. Įvairios paskirties statinių senėjimo procesai ir jų techninės būklės kitimas naudojant šiuos statinius įvertintas Lietuvos (Šadzevičius, Damulevičius, Skominas, 2013, Šadzevičius, Sankauskienė, 2013; Gurskis ir kt., 2004; Jokūbaitis, Šiaučiūvenas, 2012) bei užsienio (Kaplan, Skoloud, 2016; Stankovic ir kt., 2015) mokslininkų darbuose. Kauno technikos kolegijos pagrindinis pastatas pastatytas 1938 m. ir yra priskiriamas Kultūros paveldui. Kultūros paveldo tvarkyba ir pritaikymas yra planuojama kultūros paveldo tyrimų duomenų pagrindu. Patys taikomieji tyrimai ir tvarkybos darbų planavimas bei projektavimas priskiriami prie tvarkybos darbų. Architektūros konstrukcijų tyrimais tiriama statinių konstrukcijų būklė. Jie gali būti ardomieji, kai reikia nustatyti paslėptų konstrukcijų struktūrą ir vietoje ar laboratoriskai nustatyti konstrukcijų liekamąjį stiprį. Brėžiniuose parodomos konstrukcijų pažaidos, gali būti atliekami konstrukcijų fizinių savybių skaičiavimai. Pagal konstrukcijų tipus gali būti nustatoma statinio arba jo raidos etapų data ar laikotarpis. Remiantis šių tyrimų duomenimis, priimami sprendimai dėl konstrukcijų stiprinimo, išsaugojimo, dalinio ar visiško keitimo (Krikštaponienė, Zilinskas, Janušonienė, 2016). Dažniausiai statinių tyrimai atliekami pagal 1 pav. pateiktą tyrimų eiliškumą.

**Tikslas**– įvertinti Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato būklę.

## **Uždaviniai:**

1. Atlikti Kauno technikos kolegijos pastatų būklės tyrimų analizę ir mokomojo korpuso pastato vizualinę apžiūrą.
2. Įvertinti Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato būklę.
3. Instrumentiniais tyrimais nustatyti Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato laiptinės betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų gniuždomąjį stiprį.



**1 pav.** Techninės būklės tyrimo ir vertinimo tipinė schema  
Šaltinis: Venskevičius, Janickas (1996)

### Tyrimų metodika

*Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato vizualinės apžiūros metodika.* Kauno technikos kolegijos (toliau - KTK) mokomojo korpuso pastato vizualinė apžiūra vykdyta pagal statybos techniniame reglamentuose STR 1.03.01:2016. Statybiniai tyrimai. Statinio avarija ir STR 1.03.07:2017. Statinių techninės ir naudojimo priežiūros tvarka. Naujų nekilnojamojo turto kadastro objektų formavimo tvarka nurodytas metodikas.

KTK pastatų ir inžinerinių statinių konstrukcijos apžiūrėtos vizualiai su reikiama įrankiais bei instrumentais. Vizualios apžiūros metu aptiktos užfiksuotos konstrukcijų deformacijos (įlinkiai, vertikalūs ir įstrižai plyšiai), laikančiųjų konstrukcijų betono kokybė. Pagal pasirinktus pagrindinių defektų vertinimo kriterijus, pateiktos preliminaros išvados bei rekomendacijos.

Saugos ribinio būvio atžvilgiu aktualiausias yra defektų ir pažeidimų vertinimas pavojingumo požiūriu. Jie gali būti santykinai suskirstyti į keturias kategorijas (Jokūbaitis, 2007):

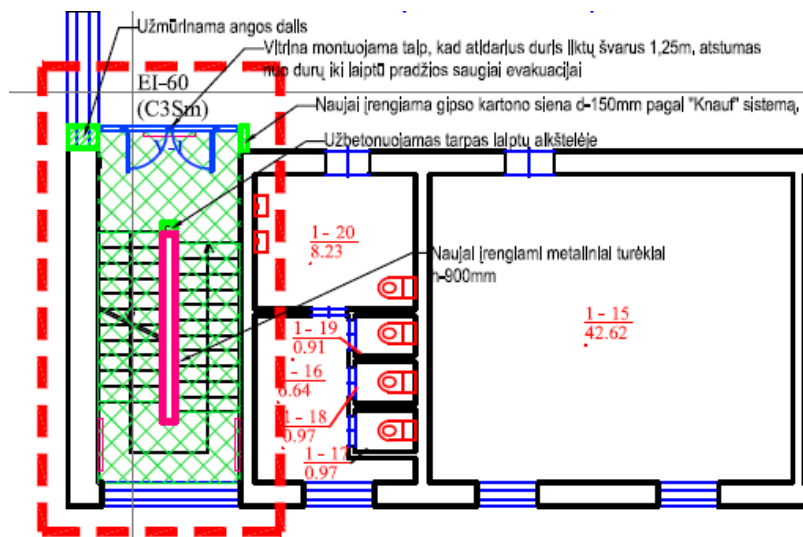
- *pirmosios* kategorijos – nepavojingi, neturintys tendencijos plisti, bet nepageidautini estetikos ir higienos sumetimais (gera konstrukcijų būklė);
- *antrosios* kategorijos – turintys neigiamą poveikį konstrukcijų laikomajai galiai, pleišėjamajam atsparumui, standumui ir naudojimo trukmei; laikui bėgant pažeidos gali plisti ir konstrukcijų ar jų elementų deformacijų ir plyšių rodikliai gali viršyti projektavimo normų leistinas reikšmes (patenkinama konstrukcijų būklė);
- *trečiosios* kategorijos defektai ir pažeidos yra pavojingi – reikšmingai sumažėjusi konstrukcijų laikomoji galia (vėliau gali būti pasiektas saugos ribinis būvis), atsivėrę neleistino didumo plyšiai ir pasireiškusios neleistinos deformacijos (nepatenkinama būklė, tačiau tyrimų metu konstrukcijos dar galimos naudoti);

- konstrukcijos ar jų elementai su *ketvirtosios* kategorijos defektais ir pažaidomis turi avarinės būklės požymių.

Statinio konstrukcijų avarinės situacijos (STR 1.03.01:2016) priežastis būna ketvirtosios kategorijos defektai ir pažaidos, kurie gali būti statinio projektavimo, statybos ar naudojimo klaidų pasekmė.

Taip pat naudota gelžbetoninių konstrukcijų pažaidų ir būklės vertinimo klasifikacija pagal Jokūbaitį (2012).

*Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato laiptinės betoninių konstrukcijų gniuždomojo stiprio tyrimų metodika.* KTK mokomojo korpuso pastato laiptinės betoninių konstrukcijų betono tyrimai atlikti nustatant betono gniuždomąjį stiprį. Betono stipris gniuždant nustatytas 2 pav. pavaizduotose vietose.



**2 pav.** Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato laiptinė (kairėje - mokomojo korpuso pastato laiptinės 1a. planas)

*Šaltinis: sudaryta UAB „Simper“ (2018) ir autorių*

Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato laiptinės betoninių konstrukcijų betono tyrimai atlikti nustatant betono gniuždomąjį stiprį neardančiuoju struktūros metodu.

Neardantieji stiprio gniuždant bandymai atlikti pagal standartą LST EN 12504-2:2012 „Betono bandymas konstrukcijose. 2 dalis. Neardomieji bandymai. Atšokimo rodiklio nustatymas“ naudojant tampraus atšokimo principu veikiančią kalibruotą prietaisą – kompiuterinį Šmito plaktuką (Silver Schmidt Hammer gamyklinis Nr. SH01-006-1642), kuris prieš ir po bandymų patikrintas ant etaloninio priekalo.

### Tyrimų rezultatai

*Kauno technikos kolegijos pastatų būklės kitimo tyrimai.* KTK centrinio pastato būklės kitimo tyrimai nėra atlikti, tik 1982m. dėl III a. denginio sijų deformacijų ir plyšių atlikta ekspertizė bibliotekoje- skaitykloje ir nustatyta, kad pažaidos atsirado dėl per didelės apkrovos, kadangi minima patalpa buvo projektuota kaip braižykla su  $260 \text{ kg/m}^2$  normatyvine apkrova, o bibliotekų perdenginiai projektuojami su  $600 \text{ kg/m}^2$  normatyvine apkrova, todėl esami perdenginiai perkrauti, rekomenduota iškelti biblioteką kitur.

**2006-04-06 d.** viešoji įstaiga „KAUNO REGIONO STATYBOS KONSULTAVIMO IR AUDITO CENTRAS“ vykdamas Kauno technikos kolegijos direktoriaus 2006 m. kovo 27 d. užsakymą, atliko kolegijos mokomojo korpuso konstrukcijų techninę ekspertizę, kad nustatyti jų techninę būklę. Pagal surašytą statinio ekspertizės aktą nustatyta, kad:

- ✓ statinio gelžbetonio kolonų techninė būklė patenkinama;
- ✓ stogo ir perdenginių plokščių techninė būklė patenkinama, nors atskirose plokštėse, vizualiai apžiūrint, matosi ir pažeidų-pastebimi jungtyse plyšiai;
- ✓ išorės sienose, saramų atraminiuose ploteliuose pastebimi atsivėrę vertikalieji plyšiai;
- ✓ pastato 12-12 ir C<sup>1</sup> - C<sup>1</sup> ašių sankirtoje mūro parapetas atplyšęs nuo sienos ir pasviręs apie 30 laipsnių kampu į išorę ir atsirado grėsmė jam nuvirsti, todėl esama parapeto konstrukcijų techninė būklė netenkina statybos reglamento STR 2.01.01(1):2005 „Esminiai statinio reikalavimai. Mechaninis patvarumas ir pastovumas“ techninių reikalavimų nuostatų bei būtina įrengti laikinąsias atramas parapetui atremti, iki kol bus paruoštas konstrukcijos stiprinimo ar nuvertimo projektas.

**2006-10-17 d. KTK techninės priežiūros komisijos** atlikta detali natūrinė statinių apžvalga, kurios metu vizualiai tikrintos 1982 m. pastatyto Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato pagrindinės konstrukcijos, fiksuoti defektai, numatytos priemonės jiems pašalinti.

**Mokomojo korpuso 2C3p** eksterjere nustatytos tokios pagrindinės pažaidos:

1. Stogo danga sudulėjusi, vietomis praleidžia lietaus vandenį, surūdiję latakai, lietvamzdžiai, karnizų apskardavimo elementai;
2. Vietomis sutrūkusios fasado plytos nuo lietaus ir šalčio, virš langų sėramose matosi armatūra, suskilinėjusios sėramos ir plytos virš jų;
3. Aptrupėjusios ir nubyrėjusios laiptų pakopos;
4. Stogelio, virš įėjimo durų, pažeista hidroizoliacija, atskilę kraštai; reikia įrengti laiptų pakopas ties minėtomis durimis;
5. Mokomojo sportų ir aktų salių korpuso 3C1p eksterjere nustatytos tokios pagrindinės pažaidos;
6. Balkonas esantis prie aktų salės suiręs nuo drėgmės ir šalčio, įlinkęs, neįrengta hidroizoliacija;
7. Įėjimo į sporto salę stogelio pažeista hidroizoliacija, stogelis permirkęs, pūvantis, nestabilus;
8. Sporto priesalės parapetas atplyšęs nuo sienos ir pasviręs 30° kampu į išorę ir atsirado grėsmė jam nuvirsti;
9. Reikia įrengti naujas nuogrindas aplink fasadą, nes lietaus vanduo teka tiesiai po pamatais, ko pasekoje sėda pamatas.

**2011-01-03 d.** buvo surašytas tarnybinis pranešimas, kad KTK, mokomojo sporto ir aktų salių korpuso pažymėjimas plane 3C1p, pastato stogelio techninė būklė yra grėsminga. Jau 2006 m. spalio 17d. statinio apžiūros akte atlikus statinio natūrinę apžvalgą, pažymėta, kad įėjimo į sporto salę stogelio hidroizoliacija pažeista, stogelis permirkęs, nestabilus. Pastato konstrukcinės dalies esminiai reikalavimai netenkinami (STR 2.01.01(1):2005).

**2015-10-05 d.** šio straipsnio autoriams atlikus KTK pastatų pamatų techninės būklės tyrimus, rezultatai apibendrinti straipsnyje (Šadzevičius ir kt. 2017): tyrimais nustatyta, kad pagrindinės pažaidos yra: nukritęs tinkas, betono ir mūro erozija, plyšiai. Nors užfiksuotos pažaidos pagal pavojingumą priklauso 2 ir 3 kategorijai, tačiau pamatuose neužfiksuota galimų statinio galimos avarinės būklės požymių nurodytų STR 1.03.01:2016, todėl Kauno technikos kolegijos pastatų pamatų būklė nėra avarinė. Nustatyta, kad pamatų betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų betonas atitinka C25/30 klasę, t. y. netenkina dabar galiojančių norminių dokumentų reikalavimų (C30/37), išskyrus pamatų konstrukcijas ties centriniu įėjimu. Darbe pateiktos galimos Kauno technikos kolegijos pastatų juostinių pamatų stiprinimo schemos, rekomenduotinas efektyvus ir patikimas pamatų stiprinimo būdas, įrengiant sprautinius polius.

Remiantis apžvelgtais 2006-2015 metų KTK pastatų būklės tyrimų rezultatais galima teigti, kad pavojingos pažaidos laike vystėsi ir mokomojo korpuso pastatų konstrukcijoms buvo reikalingas remontas. 2018 metais UAB“ Simper“ parengė paprastojo remonto aprašą. Pagal šį aprašą 2018 gegužės mėnesį pradėti KTK mokomojo korpuso remonto darbai.

Toliau šiame straipsnyje apsiribojama naujausiais Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato laiptinės būklės tyrimais.

**2018 08 24 d.** šio straipsnio autoriams atlikus KTK mokomojo korpuso pastato laiptinės vizualinę apžiūrą, nustatyta, kad nėra statinio galimos avarinės būklės požymių nurodytų STR 1.03.01:2016. Pastebėta pagrindinė pažaida iliustruota 3 paveiksle.



**3 pav.** Ties įėjimu iš lauko - erozijos pažeisti paviršiai, pastebimi armatūros korozijos požymiai

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Tyrimų metu pastebėta, kad laiptų pakopos nepažeistos, laiptinėje plyšių nepastebėta, pažaidos priklauso pirmai kategorijai (gera būklė).

*Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato laiptinės betoninių konstrukcijų gniuždomojo stiprio tyrimų rezultatai.* KTK mokomojo korpuso pastato laiptinės (2 pav.) betoninių konstrukcijų gniuždomojo stiprio tyrimų neardančiu metodu, naudojant originalųjį Šmito plaktuką (Original Schmidt Hammer) rezultatai pateikti 1 lentelėje.

**1 lentelė**

**KTK mokomojo korpuso laiptinės betono gniuždomojo stiprio bandymo rezultatai, nustatyti neardančiu metodu, naudojant kompiuterinį Šmito plaktuką (Silver Schmidt Hammer)**

| Tyrimo nr. | Vietos identifikacija                                                | Vidutinis stipris $f_{cm.cub}$ įvertinus<br>betono karbonizaciją, MPa | Vidutinis kvadratinis<br>nuokrypis |
|------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 2356       |                                                                      | 43                                                                    | 5.8                                |
| 2346       |                                                                      | 30                                                                    | 6                                  |
| 2336       | laiptų aikštelė nuardytas<br>apsauginis betono sluoksnis             | 8                                                                     | 3.3                                |
| 2326       |                                                                      | 44                                                                    | 7.5                                |
| 2316       |                                                                      | 45.5                                                                  | 5.8                                |
| 2302       | laiptų aikštelė nuardytas<br>apsauginis betono sluoksnis             | 10                                                                    | 3.3                                |
| 2292       |                                                                      | 47.5                                                                  | 9.3                                |
| 2282       |                                                                      | 54,5                                                                  | 9                                  |
| 2272       |                                                                      | 17,5                                                                  | 8,3                                |
| 2262       | laiptų aikštelė atšokęs<br>apsauginis betono sluoksnis               | 10                                                                    | 4,5                                |
| 2252       |                                                                      | 47                                                                    | 8,3                                |
| 2242       |                                                                      | 52,5                                                                  | 8,5                                |
| 2228       | laiptų aikštelė nuardytas<br>apsauginis betono sluoksnis             | 28                                                                    | 9,3                                |
| 2218       |                                                                      | 47,5                                                                  | 6,5                                |
| 2208       |                                                                      | 46,5                                                                  | 6,3                                |
| 2198       |                                                                      | 19                                                                    | 6                                  |
| 2188       | laiptų aikštelė atšokęs<br>apsauginis betono sluoksnis               | 8                                                                     | 2                                  |
| 2178       |                                                                      | 52                                                                    | 6,3                                |
| 2166       |                                                                      | 37,5                                                                  | 4,8                                |
| 2152       | laiptų aikštelė nuardytas<br>apsauginis betono sluoksnis             | 13                                                                    | 6,8                                |
| 2138       | 3 aukšto laiptų aikštelė<br>nuardytas apsauginis betono<br>sluoksnis | 7,5                                                                   | 5                                  |

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Pagal šiuo metu galiojančio statybos techninį reglamento STR 2.05.05:2005 VI skyriaus 1 lentelę, konstrukcijoms, kurias naudojimo metu veikia vidutiniškai drėgna bei cikliška šlapia ir sausa aplinka rekomenduojama minimali betono stiprio gniuždant klasė yra C25/30.

Pagal tyrimo duomenis nustatyta, kad Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato laiptinės laiptų betoninių konstrukcijų betono stipris yra didesnis už rekomenduojamąjį, tačiau laiptų aikštelių su pašalintu apsauginiu betono sluoksniu stipris yra mažesnis už rekomenduojamąjį (lentelėse tos vietos pažymėtos raudonai). Šiose vietose konstrukcijų stiprio gniuždant klasė neatitinka reikalavimų, pagal kuriuos rekomenduojama minimali betono stiprio gniuždant klasė yra C25/30.

### **Išvados**

Atlikus Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastatų ankstesnių būklės tyrimo rezultatų analizę ir vizualinę apžiūrą, nustatyta, kad pagrindinės pažaidos yra: nukritęs tinkas, progresuojanti betono ir mūro erozija, plyšiai (pažaidos priskiriamos trečiajai kategorijai); įėjimo į sporto salę stogelis permirkęs,

nestabilus; sporto priesalės parapetas atplyšęs nuo sienos ir pasviręs 30° kampu į išorę ir atsirado grėsmė jam nuvirsti (pažaidos priskiriamos ketvirtajai kategorijai).

Remiantis ketvirtos kategorijos apibrėžimu Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastato konstrukcinės dalies esminiai reikalavimai netenkinami ir būtinas stiprinimas (rekonstravimas). Pažaidos, kurios priskiriamos trečiajai kategorijai šalinamos kapitalinio remonto metu.

1. Atlikus Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastatų laiptinės vizualinę apžiūrą, nustatyta, kad pagrindinės pažaidos yra: 3,2,1 aukštų laiptų aikštelėse yra pažeistų vietų, pašalinto apsauginio betoninio sluoksnio vietose – silpnesnis betonas, tiriant nenuardytas vietas – juntamas atšokęs paviršinis sluoksnis. Ties įėjimu iš lauko pastebėti erozijos pažeisti betoniniai laiptų paviršiai, taip pat armatūros korozijos požymiai. Šios pažaidos yra *antrosios* kategorijos – turi neigiamą poveikį konstrukcijų laikomajai galiai, pleišėjamajam atsparumui, standumui ir naudojimo trukmei; laikui bėgant pažaidos gali plisti ir konstrukcijų ar jų elementų deformacijų ir plyšių rodikliai gali viršyti projektavimo normų leistinąsias reikšmes (patenkinama konstrukcijų būklė).

2. Atlikus Kauno technikos kolegijos mokomojo korpuso pastatų laiptinės betoninių konstrukcijų stiprio gniuždant tyrimus neardančiu metodu nustatyta, kad pamatų betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų betonas atitinka C30/37 klasę, t.y. tenkina dabar galiojančių norminių dokumentų reikalavimų (C25/30), išskyrus laiptų aikštelių vietas su pašalintu apsauginiu betono sluoksniu. Šiose vietose konstrukcijų stiprio gniuždant klasė neatitinka reikalavimų, pagal kuriuos rekomenduojama minimali betono stiprio gniuždant klasė yra C25/30.

### Literatūra

1. Gurskis V., Juodis J., Patašius A., Skominas R. (2004). Kauno rajono melioracijos sistemų gelžbetoninių statinių techninės būklės tyrimas ir vertinimas. Vandens ūkio inžinerija, 26 (46), p. 44-51.
2. Jokūbaitis, V. (2007). Statinių gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų techninės būklės tyrimai ir vertinimas: mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 80 p.
3. Jokūbaitis, V., Šiaučiūnėnas, G. (2012). Statinių konstrukcijų techninės būklės vertinimas: mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 201 p.
4. Kaplan V., Skoloud M. (2016). Evaluation of the Technical State of Construction Structures. Procedia Engineering 134, p. 394-401.
5. Krikštaponienė K., Zilinskas R., Janušonienė M. (2016). Kultūros paveldo tyrimai. Metodinis leidinys. Vilnius: Artseria. 60 p.
6. LST EN 12504–2:2012 Betono bandymas konstrukcijose. 2 dalis. Neardomieji bandymai. Atšokimo rodiklio nustatymas.
7. Mokslo paskirties pastato (2C3p), Tvirtovės al. 35, Kaune paprastojo remonto aprašas (2018). UAB „Simper“.
8. Stankovic D., Tanic M., Kostic A., Nikolic M., Tamburic J., Milosevic V., Jevremovic L., Sokolovskii N. (2015) Reconditioning and Reconstruction: a Second Wind for Serbian Kindergartens. Procedia Engineering 117, p. 751 – 765.
9. Statybos techninis reglamentas STR 2.01.01(1):2005. Esminiai statinio reikalavimai. Mechaninis patvarumas ir pastovumas.
10. Statybos techninis reglamentas STR 1.03.01:2016. Statybiniai tyrimai. Statinio avarija.
11. Statybos techninis reglamentas STR 1.03.07:2017. Statinių techninės ir naudojimo priežiūros tvarka. Naujų nekilnojamojo turto kadastro objektų formavimo tvarka.
12. Statybos techninis reglamentas STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas.
13. Šadzevičius R., Damulevičius V., Skominas R. (2013). The technical state of earth dams in Lithuania. Journal of environmental engineering and landscape management. Vilnius: Technika. Vol. 21, No. 3, p. 180-188.
14. Šadzevičius R., Sankauskienė T. (2013). Kėdainių rajono ir Marijampolės savivaldybių slenkstinių betoninių gravitacinių užtvankų techninės būklės kaita. Vandens ūkio inžinerija. Nr. 42 (62), p. 49-54.
15. Šadzevičius R., Šimoliūnas E., Blankienė O. (2017) Kauno technikos kolegijos pastatų pamatų techninės būklės tyrimai. Inžinerinės ir edukacinės technologijos. 72-80 p.
16. Venskevičius, V., Janickas, A. (1996). Statinių tyrimas ir bandymas. Kaunas: Technologija. 250 p.

### The investigations of technical state of educational building in Kaunas Technical College

#### Summary

The aim is to evaluate the technical state of educational building in Kaunas Technical College. Tasks: to perform the analysis of technical state evaluation reports in Kaunas Technical College and visual inspection of the educational building; to evaluate the technical state of educational building in Kaunas Technical College; to determine the compressive strength of concrete and reinforced concrete constructions of the staircase of educational building in Kaunas Technical College using instrumental research. The paper analyzes the literature (about the technical state evaluation of

buildings). According to the results of the research of the educational buildings in Kaunas Technical College, the technical state evaluation and compressive strength of the staircase deteriorations, defects and damage were assessed.

**Key words:** defects and deteriorations, evaluation of technical state.

#### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Raimondas Šadzevičius

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, statybos inžinerijos krypties studijų programų komiteto docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** hidrotechnikos statinių defektai ir pažeidimai, geotechnika, būklės tyrimai.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 860097176, raimondas.sadzevicius@edu.ktk.lt

**Autoriaus vardas, pavardė:** Edmundas Šimoliūnas

**Mokslo laipsnis ir vardas:** –

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, statybos inžinerijos krypties studijų programų komiteto lektorius.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** statinių defektai ir pažeidimai, statinių priežiūra.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 861112081, edmundas.simoliunas@edu.ktk.lt

**Autoriaus vardas, pavardė:** Lolita Dalbokaite

**Mokslo laipsnis ir vardas:** –

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, statybos inžinerijos krypties studijų programų komiteto lektorė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** paveldosauga, architektūra.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 861067598, lolita.dalbokaite@edu.ktk.lt

#### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Raimondas Šadzevičius

**Science degree and name:** Doctor, Associated Professor

**Workplace and position:** Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Associated Professor of Civil Engineering Study Field Study Program Committee

**Author's research interests:** defects and deteriorations of hydraulic structures, geotechnics, technical state evaluation.

**Telephone and e-mail address:** +37060097176, raimondas.sadzevicius@edu.ktk.lt

**Author name, surname:** Edmundas Šimoliūnas

**Science degree and name:** –

**Workplace and position:** Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Lector of Civil Engineering Study Field Study Program Committee

**Author's research interests:** defects and deteriorations of building structures, maintenance of buildings.

**Telephone and e-mail address:** +37061112081, edmundas.simoliunas@edu.ktk.lt

**Author name, surname:** Lolita Dalbokaite

**Science degree and name:** –

**Workplace and position:** Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Lector of Civil Engineering Study Field Study Program Committee

**Author's research interests:** architecture, heritage buildings.

**Telephone and e-mail address:** +37061067598, lolita.dalbokaite@edu.ktk.lt

# PRAMONINIŲ BETONINIŲ GRINDŲ DANGŲ PROJEKTINIŲ SPRENDINIŲ KOMPLEKSNĖ ANALIZĖ IR EFEKTYVAUS SPRENDIMO PRIĖMIMO KONCEPCIJA

Violeta Medelienė  
Kauno technikos kolegija

## Anotacija

Šiuo metu sparčiai vystoma pramoninių betoninių grindų dangų gamybos pramonė: kuriamos naujos ir tobulinamos ankstesnės medžiagos, sudaromos įvairios dangų kompozicijos, modernizuojamos jų įrengimo technologijos. Esant gausiai įvairių dangų medžiagų pasiūlai, mažėjant skirtumams tarp atskirų rūšių dangų, tobulėjant technologiniams sprendiniams, griežtinant ekologinius, ergonominius reikalavimus, priimti efektyvų projektinį dangos sprendimą, remiantis vien inžinerine patirtimi, darosi vis sunkiau. Šiame straipsnyje kompleksškai analizuojamos dangoms naudojamos medžiagos, jų įrengimo technologijos, šiuolaikinius norminius ir teisinius reikalavimus atitinkantys jų vertinimo aspektai. Pateikiami kompleksiniai dangoms naudojamų medžiagų, įrengimo technologijų modeliai, šiuolaikinius reikalavimus atitinkančių vertinimo aspektų sistema. Pagrindžiamas priimamų sprendinių kompleksinės analizės tikslingumas ir pateikiamas pramoninių betoninių grindų dangų efektyvaus sprendinio priėmimo koncepcinis modelis.

**Reikšminiai žodžiai:** pramoninių betoninių grindų dangos, dangų sprendinių kompleksinė analizė, šiuolaikinių dangų sprendinių vertinimo aspektai, dangų pagal naudojamas medžiagas kompleksinis modelis, dangų įrengimo technologijų kompleksinis modelis, , efektyvaus dangos sprendinio priėmimo koncepcinis modelis.

## Įvadas

Pastaruoju metu pasaulyje iš esmės pasikeitė požiūris į betonines grindis. Šiuolaikinis įvairiai modifikuotas universalus betonas, kaip grindų konstrukcinė medžiaga, naudojamas įvairios paskirties pastatuose. Betoninių grindų taikymo sritis ypač praplėtė įvairių medžiagų dangos, kurios paviršiui suteikia įvairias pageidaujamas savybes, gražų estetinį vaizdą, apsaugo betoną nuo korozijos. Šiuo metu Europoje daugiau kaip 50% visų įrengiamų grindų plotų sudaro monolitinės betoninės grindys. Iš jų daugiau kaip 80% tokių grindų įrengiama pramonės objektuose. Pastaraisiais metais sparčiai vystoma betoninių grindų dangų gamybos pramonė: kuriamos naujos ir tobulinamos ankstesnės medžiagos, sudaromos įvairios dangų kompozicijos, modernizuojamos jų įrengimo technologijos.

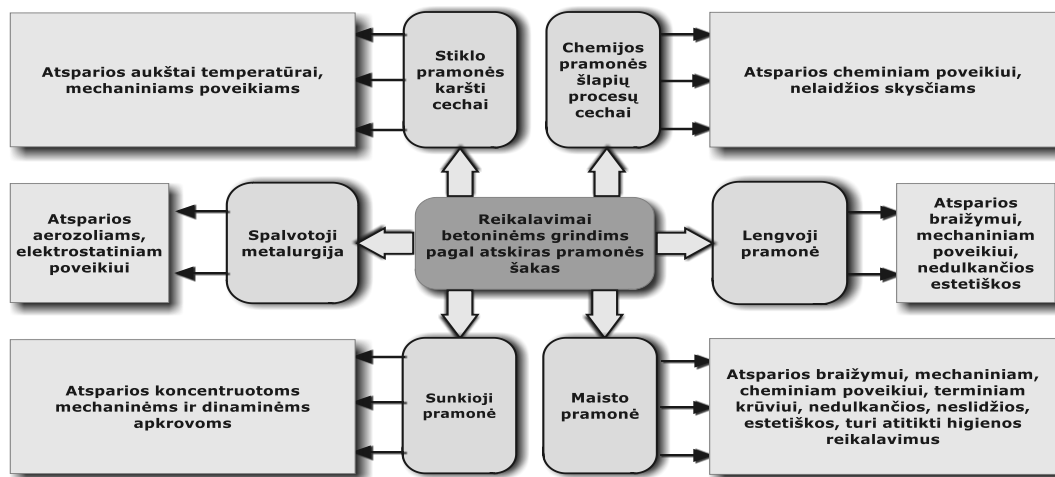
Pramoninių objektų grindims, o tuo pačiu ir dangoms, norminiai, teisiniai dokumentai kelia vis griežtesnius reikalavimus. Jie nurodo šiuolaikinių pramoninių betoninių grindų ir jų dangų sprendimus vertinti ne vien techniniais, eksploataciniais, technologiniais, bet ir ekologiniais, aplinkosaugos, ergonominiais aspektais. Todėl efektyvaus dangos sprendimo priėmimas yra pakankamai sudėtingas kompleksinis uždavinys, kuris negali būti sprendžiamas remiantis tik inžinerinėmis žiniomis ir praktine patirtimi.

Moksliniai tyrimai betoninių grindų dangų srityje atliekami keturiomis kryptimis: 1- konkrečios dangų problemos sprendimas konkrečioje stadijoje, 2- konkrečios problemos sprendimas visose dangų gyvavimo stadijose, 3-kompleksinio dangų efektyvumo didinimas ir 4- informacinių technologijų panaudojimas problemų sprendimui. Ypač daug tyrimų atliekama pirmoje kryptyje. Čia detalai analizuojamos problemos atskirose dangų gyvavimo stadijose: priešprojektinėje- kuriant naujas medžiagas ir nustatant jų technines savybes (Wang Yong-Tao, 2007, Wang Juanly, 2007, White B. et al., 2006, Aguiar J., 2007, Rufo M., 2007), projektavimo- sprendžiant dangų storio, jų patikimumo ir kt. problemas (Moreira P. et al., 2006, Czarnecki et al., 2003), technologinėje- galimas įrengimo technologijas, atsirandančius defektus ir kt. (Czarnecki L., 2003), eksploatacinėje- tiriant dangų ergonomines, eksploatacines ir kt. savybes (Czarnecki et al., 2003). Nemažai tyrimų atliekama ir antroje kryptyje. Visų dangų gyvavimo proceso stadijų kontekste sprendžiamos plyšių atsiradimo problemos, kuriamos prognozavimo metodikos, analizuojami ekologiniai aspektai (Czarnecki, L., 2003, Czarnecki L. et al., 2003 Gaponova L.V., 2005). Abiejose grupėse sprendžiamas problemas palengvina ketvirtos grupės tyrimai: sukurtos plyšių dangose atsiradimo, diagnostikos, prognozavimo ir kt. kompiuterinės programos, kuriamos internetinės sprendimų paramos sistemos (Schuhmann H., 2005, Wiegrink, K. et al., 2007). Trečios kompleksinio efektyvumo didinimo krypties tyrimų nėra daug. Iš jų paminėtina metodika, kuria vadovaujantis galima kompleksškai įvertinti ir nustatyti geriausią polimerinių grindų dangų derinį pagal hidrofobines savybes (Aguiar J. B. et al., 2008). Tačiau pramoninių grindų dangų sistema, priimant efektyvų dangos sprendimą, kompleksškai dar neanalizuota.

Šiame straipsnyje keliamas tikslas- kompleksškai išanalizuoti pramoninių objektų grindų dangoms naudojamas medžiagas, įrengimo technologijas, dangų sprendimų vertinimo aspektus ir pateikti dangos efektyvaus sprendimo nustatymo koncepcinį modelį.

### Pagrindiniai reikalavimai, keliami pramoninių betoninių grindims ir jų dangoms

Pastaruoju metu betoninės grindys naudojamos beveik visų pramonės šakų objektuose: sunkiojoje, maisto, miško, farmacijos, lengvojoje, chemijos ir kt. pramonėje, tiek gamybinuose cechuose, tiek sandėliuose. Todėl grindis veikia labai įvairūs ir skirtingi savo prigimtimi poveikiai, dažniausiai priklausantys nuo technologinių procesų (Garber G., 2006, Lohmeyer G., 2006, Lohmeyer G. et al., 2008, Vainiūnas P., 2006, Wiegink, K. H., 2007). Priklausomai nuo poveikių, kurie veikia pramonines betonines grindis, joms keliami ir skirtingi reikalavimai (1 pav.).



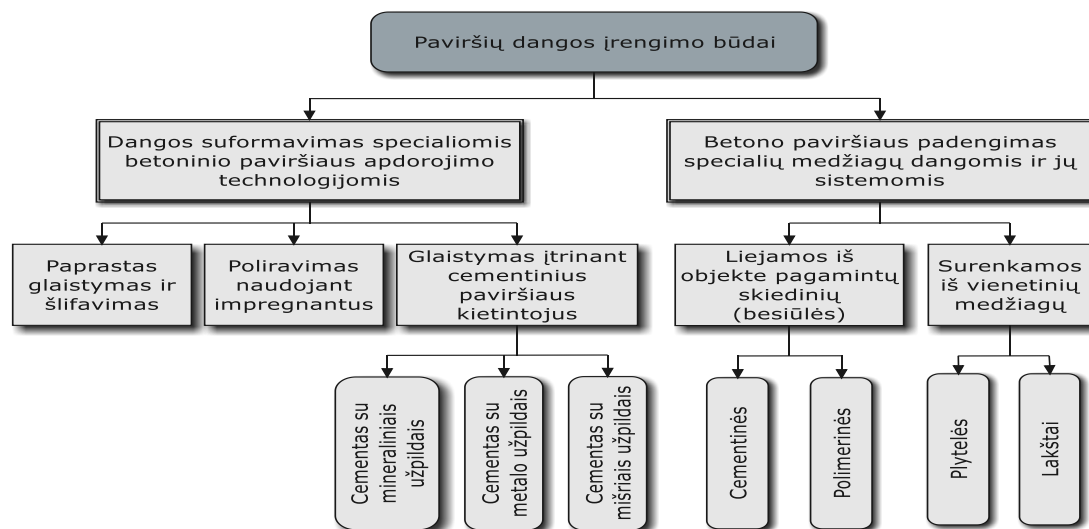
1 pav. Pagrindiniai reikalavimai, keliami betoninėms grindims

Atsižvelgiant į keliamus reikalavimus, projektuojant, įrengiant ir naudojant pramonines grindis, reikia išspręsti daug ir sudėtingų problemų. Visų pirma atlikti įvairiaaspektę reikalingų betono savybių analizę, parinkti tinkamas grindų betono sudėtis, visapusiškai užtikrinančias atitikimą keliamiems reikalavimams, iki minimumo sumažinti plyšių atsiradimo tikimybę eksploatacijos metu, kad būtų tenkinami aplinkosaugos reikalavimai ir užtikrinamas grindų ilgamažiškumas, pasiekti minimalų grindų paviršiaus dulketumą, kad būtų tenkinami higienos reikalavimai, užtikrinti jų estetinį vaizdą ir pan. Kad ir kaip gerai išsprendžiamos šios problemos, eksploatacijos metu negalima užtikrinti visų savybių išlaikymo dėl paties betono kaip medžiagos prigimties: betoninio paviršiaus dulketumo didėjimo dėl nepakankamai surišto cemento, plyšių atsiradimo dėl deformacijų, mechaninio poveikio ir apkrovų, betoninio paviršiaus poringumo didėjimo, estetinio vaizdo blogėjimo ir kt. Tačiau beveik visos svarbiausios betono savybės reikalingos tik viršutiniam grindų sluoksniui ir problemos lengviau išsprendžiamos, tam naudojant dangas (Krell J., 2007, Lohmeyer, G., 2006, Lohmeyer, G et al., 2008, Wagner J. P. et al., 2007).

Pramoninių pastatų grindų ir jų dangų projektavimo, įrengimo ir eksploatacinius reikalavimus reglamentuoja vieningi Europos standartai (Eurokodai), kurie dar nėra galutinai priimti bei atskirų valstybių standartai: Vokietijos (DIN), Šveicarijos (SIA), Austrijos (Önorm), Norvegijos (N), Suomijos (SEF), Čekijos (CSN), Amerikos (ANSI) ir kt. Tačiau daugumoje valstybių daliniai reikalavimai betoninių grindų įrengimui pateikiami bendruose norminiuose dokumentuose, kuriuos reikia detaliai išanalizuoti priimant teisingus projektinius, įrengimo technologinius, eksploatacinius sprendimus. Tai labai apsunkina teisingą jų priėmimą. Šią problemą dar sunkina didelė naujų medžiagų, naudojamų betoninėms grindims ir jų dangoms, įvairovė, kurių taikymas dar nepilnai reglamentuojamas dokumentuose.

### Pramoninių betoninių grindų paviršių įrengimo būdai, dangoms naudojamos medžiagos ir technologijos

Pramoninių betoninių grindų paviršius turi atitikti visus norminius reikalavimus, keliamus betoninėms grindims (1 pav.). Kadangi reikalavimai pagal atskiras pramonės šakas yra skirtingi, gali būti naudojami ir skirtingi paviršių įrengimo būdai. Informacijos šaltiniai (Buss, 1991, Krell, 2007, Lohmeyer, 2006, Lohmeyer et al., 2008, Moreira et al., 2006, Schuhmann, 2005, Wagner et al., 2007) išskiria tokius pagrindinius paviršiaus dangos suformavimo būdus: 1) danga suformuojama specialiomis betoninio paviršiaus apdorojimo technologijomis; 2) betoninių grindų paviršius padengiamas specialiu medžiagų dangomis (2 pav.).



**2 pav.** Pramoninių betoninių grindų paviršiaus dangos įrengimo būdai

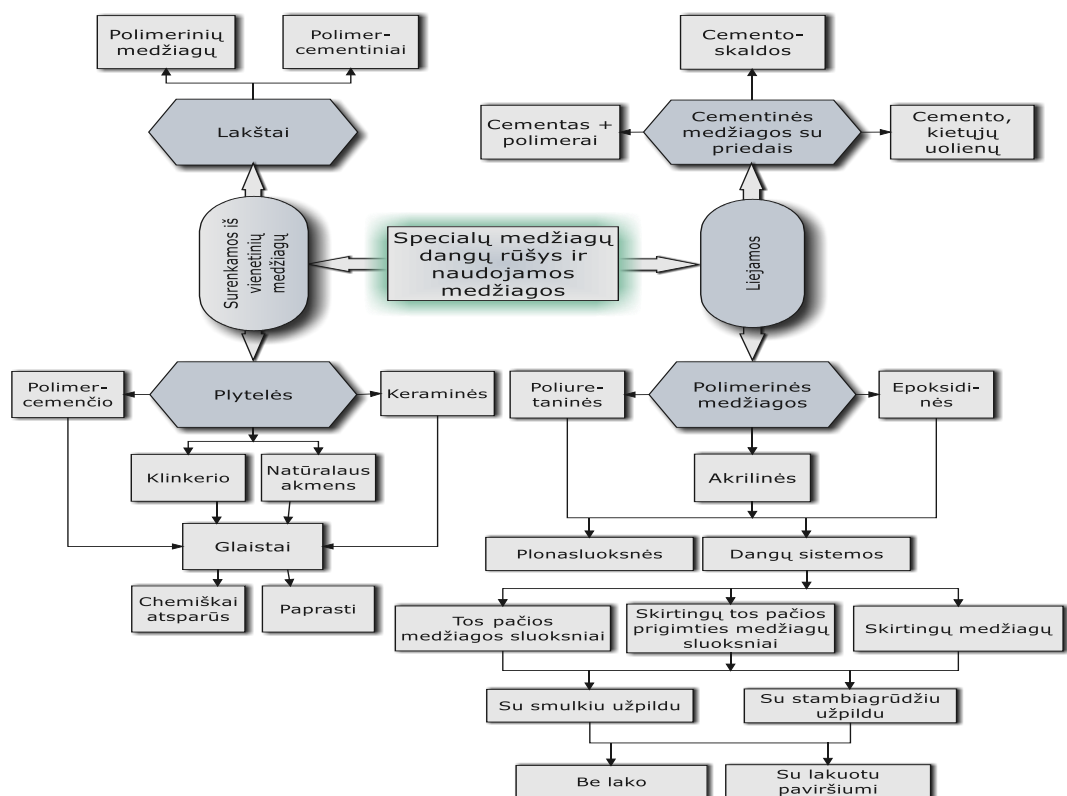
Formuojant betono paviršiaus dangą specialiomis paviršiaus įrengimo technologijomis galima išskirti tris pagrindines kryptis: 1) formuojant viršutinį pramoninių betoninių grindų paviršių tik naudojant specialias technologijas (įprastas betono glaistymas ir šlifavimas); 2) naudojant specialias technologijas (poliravimas, įterpiant impregnantus) ir 3) įtrinant specialias medžiagas, papildomai pagerinančias betoninio paviršiaus savybes (įprastas glaistymas bei šlifavimas, įtrinant specialius cementinius paviršiaus kietiklius).

Mokslinių požiūriu įvairiais būdais formuojamo pramoninių betoninių grindų paviršiaus dangos suformavimo problematika analizuojama daugelio pasaulio mokslininkų. V. Buss (1995) nagrinėjo problemas ir atliko reikšmingus tyrimus, susijusius su betoninių paviršių cheminio atsparumo mažėjimu betono senėjimo procese, V. A. Žiogas et al. (2006) nagrinėjo betoninių grindų paviršiaus kietiklių užbarstymo ir įtrynimo laiko įtaką sukibimui su betoniniu pagrindu, J. Krell (2007) savo darbuose nagrinėjo vandens praradimo laikotarpiuose tarp betono suklojimo, tankinimo ir paviršiaus šlifavimo įtaką betoninio grindų paviršiaus stiprumui, J. Wagner et al. (2007) tyrė įvairiais būdais ir mechaninėmis priemonėmis apdoroto grindų betono paviršiaus poringumo rodiklius, G. Lohmeyer et al. (2008) pristatė apibendrintus tyrimus ir pramoninių betoninių grindų paviršių įrengimo vertinimą kokybiniais ir ekonominiais aspektais.

Specialių medžiagų pramoninių betoninių grindų dangos apsaugo eksploatuojamo grindų betono paviršių nuo sąlyčio su agresyvia aplinka, uždengia nedidelius įtrūkimus, poras, atsirandančias betono paviršiuje dėl kietėjimo kinetikos procesų, technologinių pažeidimų, mechaninių poveikių eksploatacijos metu, žymiai sumažina arba visai panaikina grindų paviršiaus dulketumą, palengvina grindų paviršiaus priežiūrą, sumažina dilumą, tuo pačiu prailgindamos konstrukcijų eksploatavimo trukmę. Betoninių grindų dangos taip pat pagerina paviršiaus neslidumo rodiklius, suteikia paviršiams beveik neribotų galimybių estetinį vaizdą (Buss, 1991, Krell, 2007, Schuhmann, 2005, Wagner et al., 2007).

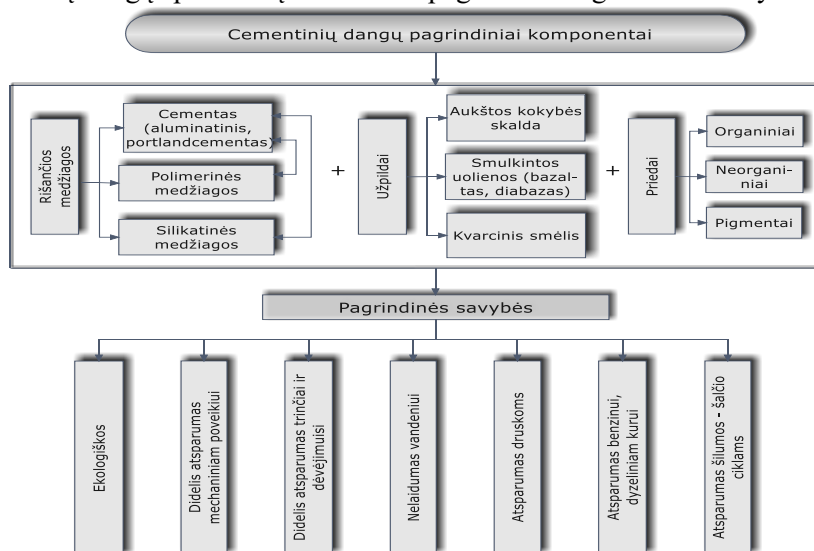
Visas pramoninių betoninių grindų specialių medžiagų dangas pagal įrengimo technologiją galima suskirstyti į dvi dideles grupes: 1- liejamas iš objekte sumaišomų skiedinių (besiūlės dangos iš cementinių, polimerinių medžiagų); 2- surenkamas iš vienetinių medžiagų (plytelės iš cementinių, polimerinių, keraminių, klinkerio, natūralaus akmens medžiagų, lakštai iš cementinių polimerinių medžiagų). Kiekvienai dangų grupei naudojamos skirtingos savo prigimtimi medžiagos, kurios padeda užtikrinti pramoninėms betoninėms grindims, tuo pačiu ir dangoms, keliamus techninius, eksploatacinius, technologinius, specialiuosius ir kt. reikalavimus. Literatūros šaltiniuose pateikiamos detalios atskirų medžiagų dangų ir sistemų klasifikacijos bei jų sprendimų analizė (Lohmeyer, 2006, Lohmeyer et al., 2008, Schuhmann, 2005).

Apibendrinus pateiktas klasifikacijas ir papildžius jas medžiagų gamintojų informacija apie naujausias dangų medžiagas ir sistemas, kurios per pastaruosius metus ypač sparčiai kuriamos, sudarytas pramoninių betoninių grindų specialių dangų ir joms naudojamų medžiagų galimų sprendimų kompleksinis modelis (3 pav.).



**3 pav.** Pramoninių betoninių grindų dangų rūšių ir joms naudojamų medžiagų galimų sprendimų kompleksinis modelis

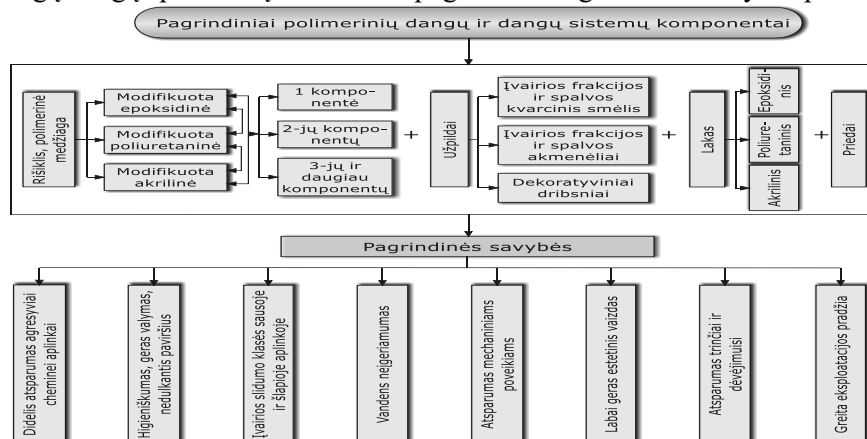
*Cementinių dangų medžiagų* gamybai kaip rišančiosios medžiagos naudojami įvairaus cemento, polimeriniai, silikatiniai rišikliai ir atitinkamus reikalavimus (mechaninio, cheminio atsparumo, higieninius, dilinimo ir kt.) užtikrinantys užpildai: didelio atsparumo nusidėvėjimui skaldos, kietųjų uolienų, kvarcinio smėlio ir kt. Išgaunant įvairias medžiagų savybes sistemose naudojamos viena arba kelios rišančiosios medžiagos, įvairūs organiniai ir neorganiniai priedai (Handbook of Sealant Technology, 2009, Schuhmann, 2005). Galimi cementinių dangų sprendimų variantai ir pagrindinės išgaunamos savybės pateikti 4 pav.



**4 pav.** Cementinių dangų komponentai, naudojamos medžiagos ir pagrindinės savybės

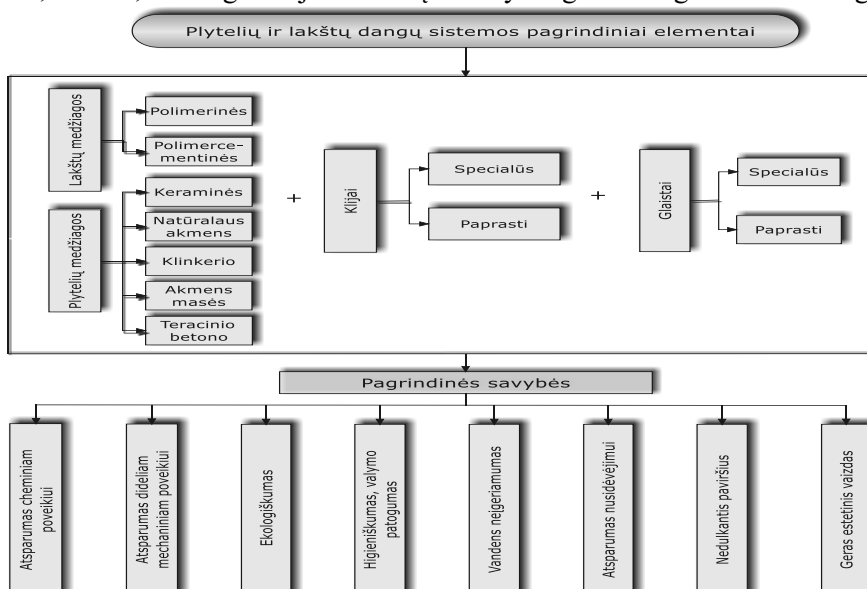
*Polimerinių medžiagų dangų* gamybai kaip rišantys komponentai naudojamos epoksidinės, poliuretaninės ir akrilinės (metilmetakrilato) medžiagos, užpildams- įvairios frakcijos kvarcinis smėlis, akmenukai, „dribsniai“, savybių pagerinimui- specialūs priedai (pvz., antistatiniai) (Fink, 2005, Schuhmann, 2005). Kiekvienas stambus dangų gamintojas, įvairiai derindamas šiuos komponentus ir naudodamas

skirtingus pigmentus, specialius priedus, gali pasiūlyti kelis tūkstančius įvairių dangų kompozicijų. Galimi polimerinių medžiagų dangų sprendimų variantai ir pagrindinės išgaunamos savybės pateikti 5 pav.



5 pav. Polimerinių dangų komponentai, naudojamos medžiagos ir pagrindinės savybės

Pramonės įmonių patalpose, jei tai leidžia eksploatacinės sąlygos, naudojamos ir *vienetinių medžiagų dangos (plytelės, lakštai)*. Šias dangų sistemas sudaro tokie pagrindiniai elementai: atitinkamos medžiagos plytelės (lakštai), klijai ir siūlių užtaisymo glaistai (6 pav.). Šiose sistemose naudojant skirtingas dangos medžiagas - plyteles, lakštus, skirtingus klijus ir siūlių užtaisymo glaistus - gaunami skirtingi sistemų variantai.

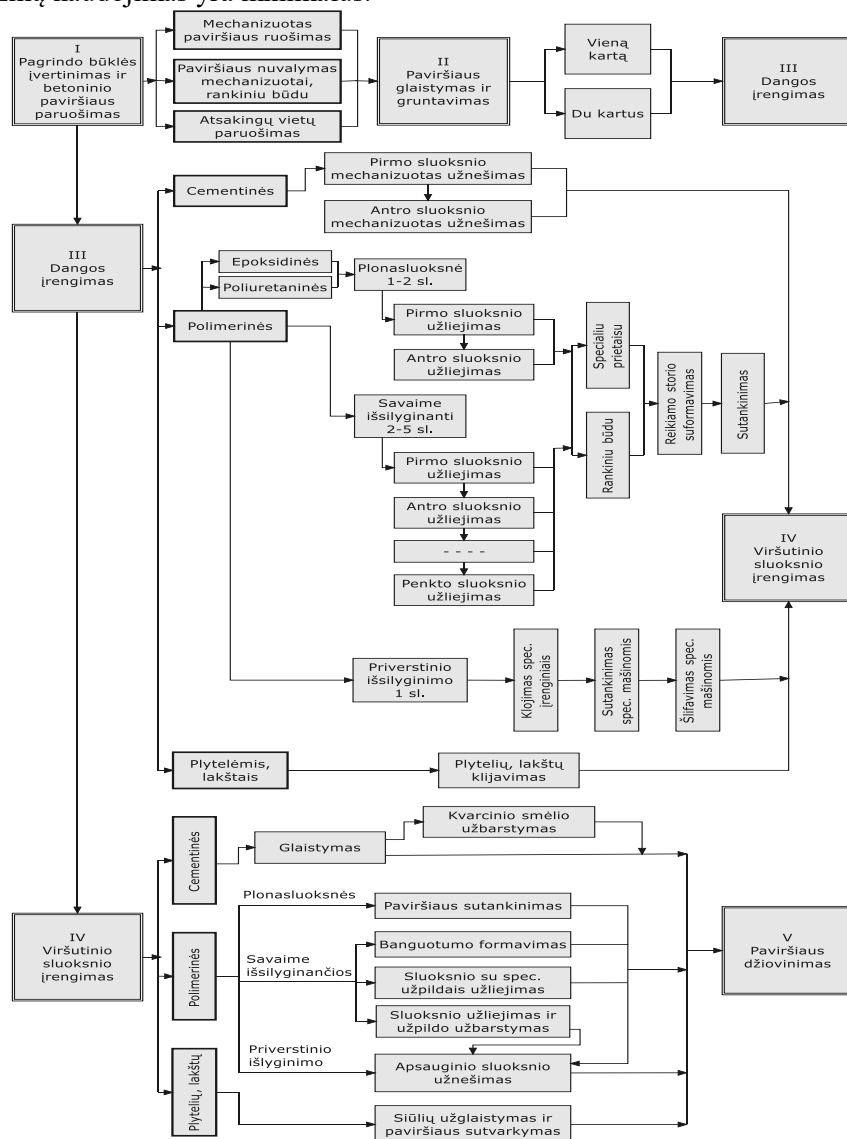


6 pav. Plytelių (lakštų) dangų sistemų pagrindiniai elementai

Visų grupių dangų medžiagų gamintojai siekia kuo didesnio dangų universalumo, kad jas galima būtų taikyti įvairiose pramoninėse aplinkose. Polimerinių dangų grupėje (5 pav.) dangų sistemos gali būti komponuojamos iš skirtingų polimerinių medžiagų sluoksnių, išgaunant skirtingas dangų savybes ir taip plečiant jų taikymo sritis. Cementinių dangų grupėje (4 pav.) nauji dangų sprendimai, tinkantys vis įvairesnėms eksploatacinėms aplinkoms, gaunami keičiant ir tobulinant atskirus dangų komponentus (rišančias medžiagas, užpildus, priedus). Surenkamų medžiagų - plytelių ir lakštų grupėje (6 pav.) tobulinamos klijų, siūlės naudojamų glaistų sudėtys, o tai leidžia dangas naudoti vis įvairesnėse aplinkose. Toks skirtingų medžiagų dangų universalumo didinimas sudaro galimybę skirtingų medžiagų dangas taikyti labai įvairiose pramonės įmonių eksploatacinėse aplinkose: cementinės ir plytelių, lakštų dangos gali būti sėkmingai taikomos agresyvaus cheminio poveikio aplinkose (4, 6 pav.), polimerinės dangos - didelio mechaninio poveikio aplinkose (5 pav.) ir pan. Dauguma iki šiol egzistavusių esminių skirtumų tarp atskirų medžiagų dangų jau nebėra tokie ryškūs.

Moksliniuose ir kituose šaltiniuose plačiai analizuojamos atskirų medžiagų dangų įrengimo technologijos (Hill, 2007, Lohmeyer et al., 2008, Schuhmann, 2005, [Merkblatt Mechanisch hoch belastbare keramische Bodenbeläge](#), 2002). Remiantis šia informacija, nepriklausomai nuo dangos rūšies ir medžiagų

galima išskirti 5 pagrindinius dangų įrengimo technologinius etapus: 1 - pagrindo plokštės būklės įvertinimas (stipris, temperatūra, lygumas, poringumas, pleišėtumas, drėgnumas) ir paviršiaus paruošimas (mechanizuotas šlifavimas, mechanizuotas ar rankinis nuvalymas, šurkštinimas); 2 - paviršiaus gruntavimas (vieną ar du kartus, priklausomai nuo betoninio pagrindo būklės); 3 - dangos įrengimas (skirtingas pagal dangų rūšis ir naudojamas medžiagas); 4 - viršutinio dangos sluoksnio dengimas (lakavimas, apsauginio sluoksnio užnešimas, banguotumo suformavimas voleliu, paviršiaus užbarstymas įvairios frakcijos akmenėliais, kvarciniu smėliu, siūlių užglaistymas); 5- paviršiaus džiovinimas (7 pav.). Vykdydami atskirus etapus, galima išskirti tokius pagrindinius procesus, darančius svarbią įtaką dangos įrengimui, kokybei ir ilgalaikiškumui: 1) betoninės pagrindo plokštės paruošimas (džiovinimas, kokybiškas nuvalymas, gruntavimas) - nuo jo paruošimo kokybės priklauso dangos sukibimas su pagrindu, išsprendžiamos adhezijos problemos; 2) atskirų dangos sluoksnių sutankinimas - nuo to priklauso, ar danga bus vienalypė ir kokybiška; 3) gerai technologškai įvykdytas viršutinis dangos sluoksnis, kuris daro pagrindinę įtaką dangų ilgalaikiškumui ir jų atitikimui eksploatacines sąlygas. Dangų įrengimui naudojamų operacijų skaičius priklauso nuo dangos kompozicijos: kuo daugiau ir skirtingų sluoksnių naudojama dangų sistemoje, tuo technologinių operacijų skaičius didėja, o tuo pačiu ilgėja dangos įrengimo trukmė. Dangų medžiagos turi skirtingas džiūvimo trukmes, todėl kiekvienos dangos eksploatacijos pradžia yra skirtinga. Džiūvimo laikas turi įtakos kito sluoksnio įrengimui: kuo ilgesnė sluoksnio džiūvimo trukmė, tuo ilgėja ir pats dangos įrengimo procesas. Dangos įrengimo laikui didelę įtaką turi ir mechanizmų panaudojimo atskiruose procesuose galimybė. Mechanizmai pagreitina dangos įrengimo laiką ir pagerina jos kokybę. Tačiau tik cementinių dangų grupėje galimas didesnis mechanizmų naudojimas (dangos skiedinio užnešimas siurbliais, mechaninis paviršiaus šlifavimas, apdorojimas ir pan.). Kitų medžiagų dangose mechanizmų naudojimas yra minimalus.



7 pav. Kompleksinis galimų dangų įrengimo technologinių sprendimų modelis

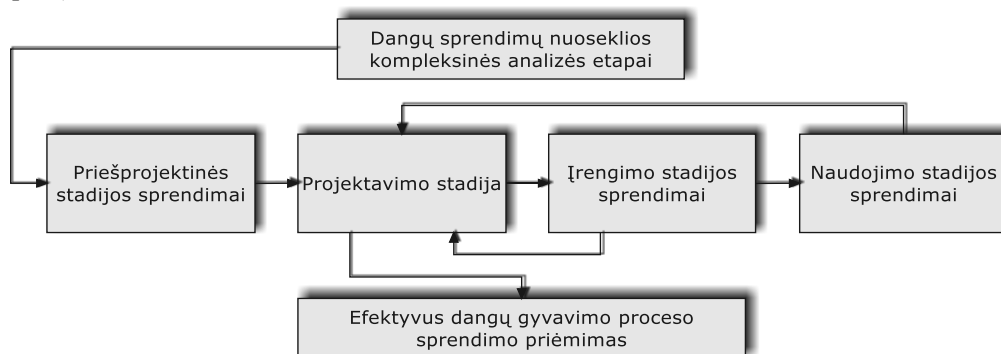
Pramoninių betoninių grindų dangų įrengimo technologijų analizė parodė, kad priimant pramoninių betoninių grindų dangų sprendimą, reikia atsižvelgti ne vien į tai, ar danga atitinka techninius, specialiuosius ar kitus reikalavimus, bet ir įvertinti sprendimą technologiniais aspektais, kurie tiesiogiai veikia dangos įrengimo trukmę, kokybę, o kartu ir įrengimo bei eksploatacijos kainą.

### **Pramoninių betoninių grindų dangų sprendimų vertinimo aspektai ir efektyvaus sprendimo nustatymo koncepcinis modelis**

Norminių dokumentų, dangoms naudojamų medžiagų ir įrengimo technologijų analizė parodė, kad priimant pramoninių betoninių grindų dangos sprendimą, reikia išspręsti daug ir sudėtingų problemų, susijusių su: 1- išsamia norminių dokumentų studija; 2)-reikalavimų nustatymu atskirų pramonės šakų grindims ir dangoms; 3- tinkamų dangų medžiagų pasirinkimu; 4- betoninės grindų plokštės būklės įvertinimu; 5- atitinkamų technologinių sprendimų priėmimu; 6- pramoninių betoninių grindų dangų sprendimų įvertinimu techniniais, eksploataciniais, technologiniais ir specialių reikalavimų aspektais; 7- sprendimų priėmimu atsižvelgiant į ergonominius, ekologinius, ekonominius, aplinkosaugos, estetinius ir kt. aspektus; 8- priimtų dangų sprendimų eksploatacine analize. Tai rodo, kad pramoninių betoninių grindų dangų sprendimų priėmimo sistema yra: 1- sudėtinga skirtinguose dokumentuose analizuojamų reikalavimų sistema; 2- kintančios eksploatacinės aplinkos sistema, kur, keičiantis eksploatacijos sąlygoms, keičiasi ir reikalavimai (1 pav.); 3- sudėtinga daugiavariantė sprendimų sistema, kurioje naudojami įvairūs paviršiaus įrengimo būdai, skirtingos savo prigimtimi medžiagos, iš jų sudarytos dangų sistemos (3 pav.) ir jas atitinkantys technologiniai sprendimai (7 pav.); 4- priklausoma nuo priimtų betoninio pagrindo sprendimų išbaigtumo ir jo paruošimo kokybės; 5) daugiaspektė sistema, kurioje sprendimai turi būti įvertinti daugeliu aspektų: techninių, specialiųjų technologinių, eksploatacinių, ekologinių, ergonominių, aplinkosaugos, ekonominių, estetinių ir kt.. Tai rodo, kad efektyvių pramoninių betoninių grindų dangų sprendimų priėmimas yra sudėtingas ir labai atsakingas kompleksinis procesas, kuriam reikalinga detali kompleksinė daugiavariantinių sprendimų analizė.

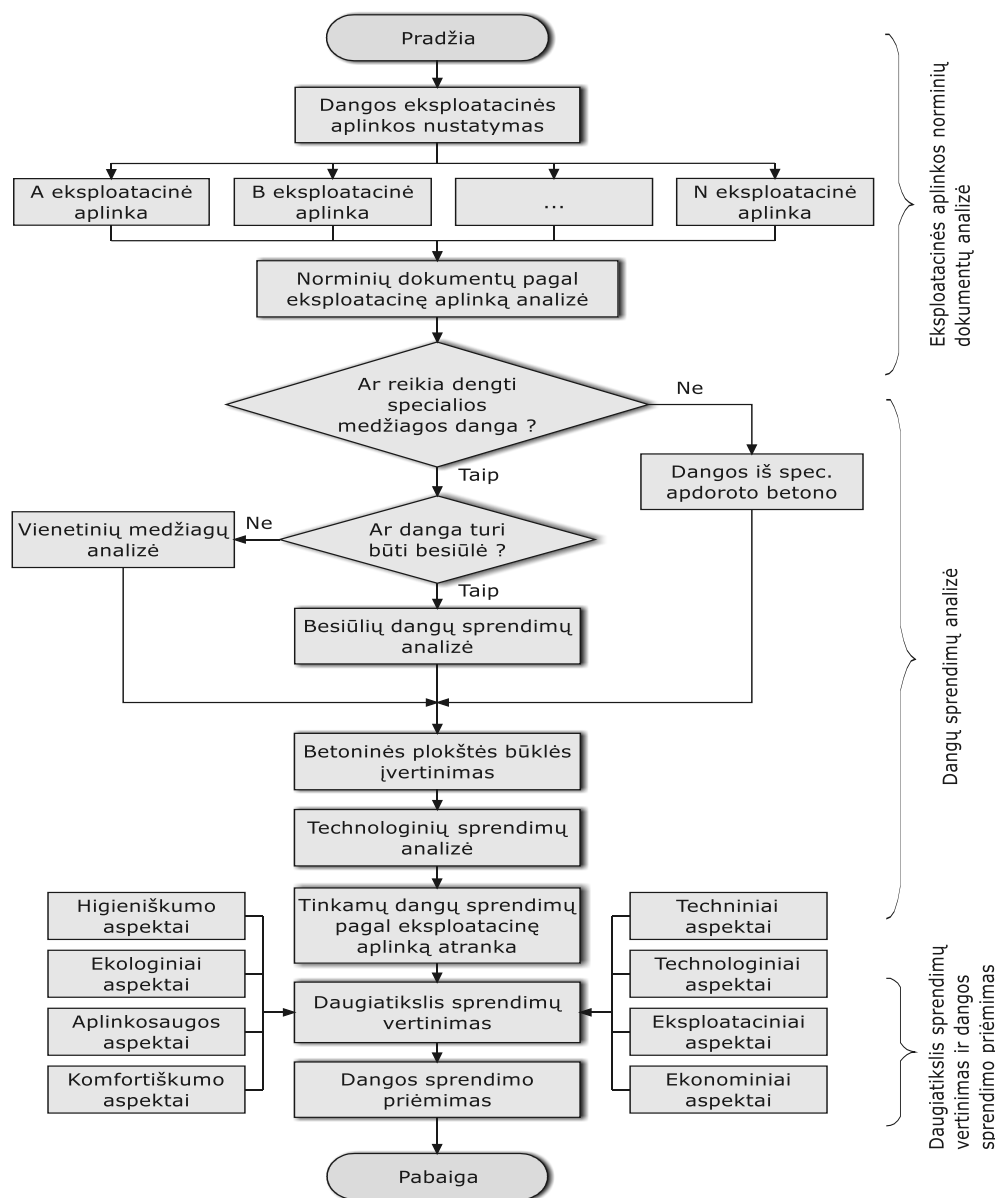
Moksliniai šaltiniai teigia, kad, norint kompleksškai įvertinti ir priimti efektyvų statybos inžinerinį sprendimą, būtina jo racionalumu rūpintis nuo sumanymo pradžios iki naudojimo pabaigos. Pastato gyvavimo procesas turi būti projektuojamas ir vykdomas, atsižvelgiant į jame dalyvaujančių suinteresuotų grupių tikslus, galimybes, išorinę mikro- ir makrolygmens aplinką, veikiančią projekto efektyvumą. Siekiant suderinti suinteresuotų grupių interesus bei maksimaliai tenkinti jų reikalavimus, projektavimo etape priimant pastato inžinerinį sprendimą tikslinga atlikti kompleksinę sprendimų analizę ir daugiatikslį jų vertinimą (Zavadskas et al. 1991, 2001, 2008, Kaklauskas et al. 2006, Banaitienė et al., 2004, 2006).

Pramoninių betoninių grindų danga yra tik bendro pastato gyvavimo proceso dalis. Tačiau priimti dangų inžineriniai sprendimai turi įtakos ir viso pastato gyvavimo proceso efektyvumui. Pramoninių betoninių grindų dangų sprendimų kompleksinė analizė turi būti atliekama nuosekliai, kiekviename dangų gyvavimo proceso etape sprendimus analizuojant visais galimais aspektais. Galutinis kompleksškai išanalizuotas ir įvairiais aspektais įvertintas pramoninių betoninių grindų dangos inžinerinis sprendimas priimamas projektinėje stadijoje (8 pav.).



**8. pav.** Nuoseklios kompleksinės pramoninių betoninių grindų dangų inžinerinių sprendimų analizės ir priėmimo atskirose dangų gyvavimo proceso stadijose etapai

Remiantis nuoseklios kompleksinės pramoninių betoninių grindų dangų inžinerinių sprendimų analizės ir priėmimo etapų seka (8 pav.) bei pramoninių betoninių grindų dangų sprendimų analizės pagrindiniais aspektais, galima sudaryti kompleksinio pramoninių betoninių grindų dangų sprendimų vertinimo koncepcinį modelį (9 pav.).



**9 pav.** Pramoninių betoninių grindų dangų sprendimų kompleksinio daugiakriterio vertinimo koncepcinis modelis

Šiame modelyje išskiriami trys pagrindiniai etapai, kuriuos reikalinga atlikti projektavimo stadijoje: 1- eksploatacinės aplinkos norminių dokumentų analizė; 2- pramoninių betoninių grindų dangų sprendimų analizė; 3- kompleksinis daugiakriteris sprendimų vertinimas ir efektyvaus dangos sprendimo priėmimas (9 pav.). Kiekviename iš šių etapų turi būti numatyti detalūs smulkesni etapai, kuriuos būtina įvykdyti, nustatant efektyvų pramoninių betoninių grindų dangų sprendimą.

### Išvados

Augant dangų poreikiui, plečiantis dangoms naudojamų medžiagų ir dangų sistemų įvairovei, projektuojant dangas įvairių eksploatacinių reikalavimų aplinkose bei sprendžiant sudėtingas efektyvių sprendimų priėmimo problemas būtinas šios srities kompleksinis nagrinėjimas ne tik inžineriniu, bet ir moksliniu aspektu, sudarant dangų rūšių pagal naudojamas medžiagas bei dangų įrengimo technologinių sprendimų modelius.

Normatyvinių dokumentų pramoninių betoninių grindų ir jų dangų projektavimui, įrengimui, eksploatacijai analizė parodė, kad šiuolaikines pramonines betonines grindis ir jų dangas nepakanka vertinti vien tik techniniais, technologiniais, eksploataciniais, ekonominiais aspektais. Griežtinant tarptautinius reikalavimus, jas būtina vertinti aplinkosaugos, ekologijos, ergonominiais, estetiniais ir kitais aspektais.

Šiuo metu gaminamų dangų medžiagų universalumo didinimas sudaro galimybę skirtingų medžiagų dangas taikyti labai įvairiose pramonės įmonių eksploatacinėse aplinkose: cementinės ir plytelių, lakštų dangos gali būti sėkmingai taikomos agresyvaus cheminio poveikio aplinkose, polimerinės dangos - didelio mechaninio poveikio aplinkose ir pan. Dauguma iki šiol egzistavusių esminių skirtumų tarp atskirų medžiagų dangų jau nebėra tokie ryškūs, todėl nustatant efektyvų dangos sprendimą būtina kompleksiskai analizuoti visų medžiagų dangų sprendimus.

Priimant efektyvų pramoninių betoninių grindų dangos sprendimą, reikia atsižvelgti ne vien į dangos atitikimą techniniams, specialiesiems ar kitiems reikalavimams, bet ir į įvertinti technologiniais aspektais, kurie tiesiogiai veikia dangos įrengimo trukmę, kokybę, o kartu ir įrengimo bei eksploatacijos kainą.

Remiantis sudarytu pramoninių betoninių grindų dangų sprendimų kompleksinio daugiatikslio vertinimo koncepciniu modeliu, kompleksiskai analizuojant alternatyvius dangų variantus ir projektavimo stadijoje priimant efektyvų jų sprendimą, reikalinga įvykdyti tris pagrindinius etapus: detaliai išanalizuoti norminius eksploatacinės aplinkos dokumentus; atlikti kompleksinę alternatyvių dangų sprendimų analizę; atsižvelgiant į visus aspektus, atlikti daugiatikslį sprendimų vertinimą ir nustatyti efektyvų sprendimą.

### Literatūra

1. Aguiar J., Moreira P., Lukowsky P., Czarnecki L., Camoes A., Van Gemert D. Ranking procedure for polymeric coatings and hydrophobic agents for concrete protection. International Journal for Restoration of Buildings and Monuments, ISSN: 0947-4498, vol. 13 Issue 4, 2007, p. 251-264
2. Moreira P. M., Aguiar J., B., Camões A. Systems for superficial protection of concretes. International Symposium Polymers in Concrete, 2006, p. 225-249.
3. Rufo M.; Raymond W., Monaghan S. 2K Waterborne Epoxy Coatings. Journal Air Products and Chemicals, Inc., 2007, p. 1-11. Internetinė prieiga [http://www.airproducts.com/NR/rdonlyres/5E27B3A0-81D4-49EB-A1CB-98B4F274AF1B/0/technical\\_paper\\_2Kwaterborne\\_epoxy.pdf](http://www.airproducts.com/NR/rdonlyres/5E27B3A0-81D4-49EB-A1CB-98B4F274AF1B/0/technical_paper_2Kwaterborne_epoxy.pdf)
4. Wang Yong-Tao, Ren Tian-Bin, Gu Shu-Ying, Ren Jie; Preparation and Properties of Waterborne Epoxy Resin Nano-composite Coating. Journal of Building Materials, ISSN: 1007-9629, 2007, p.36-42
5. Wang Juanli, Li Yuhu, Zhang Xiaona. Research Progress of Chemical Modification of Waterborne Epoxy Resin and Its Applications. Journal Paint & Coatings Industry, No11, 2007, p. 26-31.
6. White B.; Jordan J., L.; Richards D., W. Spowart J., E., Thadhani N., N. Microstructural Design & Optimization of Highly Filled Epoxy Based Composites, Final Report For Period 5 May 2006 –30 September 2009. School of Material Science & Engineering Georgia Institute of Technology, Atlanta, 2009, p. 45.
7. Czarnecki, L. Mechanisms of Industrial Floor Deterioration - Causes, Results and Preventive Means. Tagungsband Industrieböden 2003, aus: 5. Internationales Kolloquium Industrieböden, Technische Akademie Esslingen, TAE, 2003, p. 65-72
8. Czarnecki, L.; Garbacz, A.; Kostana, K. The effect of concrete surface roughness on adhesion in industrial floor systems: Tagungsband Industrieböden 2003: 3. Internationales Kolloquium Industrieböden, Technische Akademie Esslingen -TAE, 2003 p. 169-174.
9. Czarnecki, L.; Chmielewska, B.; Krupa, P. Influence of selected factors on the results of pull-off tests for industrial floors. Tagungsband Industrieböden 2003 aus: 5. Internationales Kolloquium Industrieböden, Technische Akademie Esslingen -TAE, 2003, p. 163-167.
10. Schuhmann H. Kunstharzbeläge. Mängelfreie Ausführung und bauphysikalische Grundlagen. Fraunhofer IRB Verlag, ISBN 978-3-8167-6582-0. 2005, p. 147.
11. Wiegrink, K. H. Planung und Ausschreibung von Betonboden. In Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung, Universität Karlsruhe (TH), 2007, p.11.
12. Гапонова Л. В. Покрyтия полов на основе акриловых полимеров. (Диссертация канд. техн. наук). Харьковская национальная академия городского хозяйства. 2005, p. 166.
13. Vainiūnas, P. Gelžbetoninių plokščių praspaudžiamojo stiprio skaičiavimo pagal projektavimo normas analizė. Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas. ISSN 1392-8619. Vilnius, Technika, 2006, t.12, Nr. 2, p. 84-90.
14. Garber, G. Design and construction of concrete floors. Second edition, 2006, p. 384.
15. Lohmeyer, G. Industrieböden für sensible Produktionsbereiche.- MM, Würzburg, 2006, no. 38, p. 17.
16. Lohmeyer, G.; Ebeling K. Betonböden für Produktions und Lagerhallen. Planung, Bemessung, Ausführung. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Köln, 2008, p. 393.
17. Wiegrink, K. H. Planung und Ausschreibung von Betonboden. In Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung, Universität Karlsruhe (TH), 2007, p.11.
18. Krell J. Oberfläche und Nachbehandlung von Betonboden. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung, Universität Karlsruhe (TH), 2007, p. 63.
19. Wagner J. P., Reichertz A. Ausführung Einbauplanung und Technik sowie neue Erkenntnisse für Oberflächenbearbeitung bei LP Betonen. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung, Universität Karlsruhe (TH), 2007, p. 11-57.

20. Buss V. [Säure und Chemikalienschutz sowie rißüberbrückende Beläge als Schutzvorkehrung im Sinne des Wasserhaushaltsgesetzes](#) Quelle: Industriefußböden 91. Hrsg.: Technische Akademie Esslingen TAE, Ostfildern, 1991, p. 683-688.
21. Žiogas V., Juočiušas S., Medelienė V. Peculiarities of concrete floor coatings instalation and repair. 7th International Conference (Proceedings Croatia Association for Organization in Construction, Zagreb), ISBN 9539624576 , Zadar, Croatia, 2006, p. 472-481
22. Handbook of Sealant Technology. (Ed. by Mittal K. L., Pizzi A.). CRC Press, Taylor and Francis Grup (USA), 2009, p. 540.
23. [Fink J.K.](#) Reactive Polymers Fundamentals and Applications. *Technology & Engineering*. 2005, p. 770.
24. Hill D. [Gestalten mit keramischen Fliesen und Platten](#). Informationsdienst Naturwerkstein und Keramik, Trier; 2007, p. 84
25. [Merkblatt Mechanisch hoch belastbare keramische Bodenbeläge](#). [Merkblätter für das Fliesengewerbe](#). Industrieverband Keramische Fliesen und Platten, Berlin, 2002, p. 13.
26. Banaitienė N., Banaitis A. Statybos projektų valdymo pagrindai. Vilnius: Technika, 2006, 202 p.
27. Banaitienė N., Turskis Z. Decision support for the evaluotion of building life cycle effectiveness. - Technological and Economic Development of Economy (Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas), Vol X, No 2. Vilnius: Technika, 2004, p. 57-66.
28. Kaklauskas, A; Zavadskas, E. K.; Raslanas, S, Ginevičius, R; Komka, A; and Malinauskas, P. Selection of low-e windows in retrofit of public buildings by applying multiple criteria method COPRAS: A Lithuanian case. *Energy and Buildings*, Vol 38, No 5, 2006, p. 454–462.
29. Zavadskas E.,K., Kaklauskas A., Banaitienė N. Pastato gyvavimo proceso daugiakriterinė analizė.- Vilnius, Technika, 2001, 379 p.
30. Zavadskas E.,K., Kaklauskas A., Turskis Z., Tamošaitienė J. Selection of the effective dwelling house walls by applying attributes values determined at intervals.- *Journal of Civil Engineering and Management* 14(2), 2008, p.85-93.
31. Zavadskas E.,K., Simanuskas L., Kaklauskas A. Sprendimų paramos sistemos statyboje (Monografija). Vilnius, Technika, 1999, p. 235.
32. Medelienė V., Žiogas V. A. Making solutions for choosing industrial concrete floors and expedience of reliability evaluation.- *Journal of Civil Engineering and Management* 16(3), 2010, p.320-331.

## **COMPLEX ANALYSIS OF DESIGN SOLUTIONS FOR INDUSTRIAL CONCRETE FLOOR COVERINGS AND EFFICIENT DECISION MAKING CONCEPTION**

### **Summary**

Currently, the industrial concrete floor covering manufacture is under rapid development: new materials are created, older ones are improved, various coating arrangements are developed, their installation technologies are modernised. It has become increasingly difficult to make an efficient design solution of coating based on engineering experience alone with regard to a wide range of coatings available, decreased differences among types of coatings, improved technological solutions, and ecological, ergonomic requirements becoming stricter. This article employes complex analysis of the materials used for coatings, their installation technologies, the aspects of their evaluation complying with modern normative and legal requirements. Complex models of materials used for coatings, their installation technologies, and the system of evaluation aspects corresponding to modern requirements are presented. The expedience of complex analysis of the accepted solutions is substantiated and the conceptual model for the efficient solution of industrial concrete floor coverings is provided.

**Key words:** industrial concrete floor coverings, complex analysis of covering solutions, evaluation aspects of modern covering solutions, complex model of coverings referring to used materials, complex model of covering installation technologies, conceptual model for the efficient solution of industrial concrete floor coverings.

### **AUTORIŲ LYDRAŠTIS**

**Autoriaus vardas, pavardė:** Violeta Medelienė

**Mokslų laipsnis ir vardas:** technologijos mokslų daktaras

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Kauno technikos kolegijos, Statybos inžinerijos krypties statybos studijų programos docentė

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** inovacijos statybos inžinerijoje

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 61529197, [violeta.medeliene@edu.ktk.lt](mailto:violeta.medeliene@edu.ktk.lt)

### **A COVER LETTER OF AUTHOR**

**Author name, surname:** Violeta Medelienė

**Science degree and name:** Doctor of Philosophy

**Workplace and position:** Kaunas Technical College, Assoc. Professor of Civil engineering program of Civil Engineering Study Field

**Author 's research interests:** Innovations in civil engineering

**Telephone and e-mail address:** +370 61529197, [violeta.medeliene@edu.ktk.lt](mailto:violeta.medeliene@edu.ktk.lt)

# KARINIŲ JŪRŲ PAJĖGŲ LAIVUOSE, DALYVAUJANČIUOSE PAIEŠKOS IR GELBĖJIMO OPERACIJOSE, RYŠIO SISTEMOS MODERNIZAVIMO GALIMYBIŲ VERTINIMAS

Stasys Donėla<sup>1</sup>, Elena Valionienė<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Lietuvos aukštoji jūrėivystės mokykla; <sup>2</sup> Mykolo Romerio universitetas

## Anotacija

Pagrindinė tyrimo idėja - nustatyti karo laivuose, dalyvaujančiuose paieškos ir gelbėjimo operacijose, naudojamų ryšių sistemos reikšmę identifikuojant modernizavimo poreikį, sąlygojamą ryšių technologijų evoliucijos. Siekiant atskleisti šią idėją tyrime yra apibūdinamas technologinis ryšių sistemos procesas ir pagrindžiama ryšių sistemos priežiūros problema, bei išskiriamas technologinio pasirengimo aprūpinimo operacijoms atlikti rodiklis. Empirinio tyrimo rezultatai leidžia teigti, kad įdiegus papildomas ryšių technologijas ir papildomą pranešimų perdavimo standartą, sistemos parengtumo lygio užtikrinimui skiriamas laikas ženkliai sumažėja.

**Reikšminiai žodžiai:** paieškos/gelbėjimo operacijos, duomenų perdavimo technologija.

## Ivadas

Lietuvai tapus NATO aljanso nare bei siekiant pilnavertiškai integruotis į aljansą ir išlaikyti pakankamą parengtį dalyvavimui tarptautinėse operacijose yra svarbu nuolat vertinti pakankamai plataus spektro karinio laivyno ir su juo susijusių išteklių valdymo parametrus. Lietuvos karinės jūrų pajėgos (toliau – LKJP), kaip Lietuvos krašto apsaugos sistemos dalis, tiesiogiai dalyvauja ne tik bendrose tarptautinėse karinėse operacijose, užduotyse bei pratybose, tačiau taip pat turi papildomas priskirtas funkcijas, tokias kaip jūros teritorijų kontrolė, paieškos ir gelbėjimo operacijų (toliau- PGO) vykdymas Lietuvos respublikos (toliau LR) paieškos ir gelbėjimo rajonuose. Nuo 2009 sausio 1 d., jūroje žmonių paieškos ir gelbėjimo darbus, paieškos ir gelbėjimo rajone organizuoja, koordinuoja ir jiems vadovauja Lietuvos kariuomenė (toliau – LK). PGO tikslams įgyvendinti yra naudojami visi LKJP flotilės laivai, o šių tikslų įgyvendinimo kontrolę organizuoja LK, įgaliodama LKJP jūrų gelbėjimo koordinavimo centrą (toliau – JGKC) koordinuoti bei vadovauti žmonių paieškos ir gelbėjimo tikslų įgyvendinimo veiksmuose.

PGO jūroje nėra išsamiai analizuotos mokslinėje literatūroje, tačiau LKJP dokumentuose galima matyti, kad minėtos operacijos pasižymi sudėtingumu, nes laivynas turi būti nuolatinėje parengtyje, o patiems darbams atlikti taikomi technologiniai ir organizaciniai sprendimai pasižymi aukštu operatyvumo lygmeniu. Tokie reikalavimai yra susiję su tuo, kad PGO metu yra būtina per minimalią trukmę identifikuoti nelaimės vietą bei efektyviai padėti avariją ar kitą incidentą patyrusiam laivui arba asmeniui, tuo pat metu paraleliai planuojant operacijose dalyvaujančių laivų logistinio aprūpinimo operacijas. Pastarieji uždaviniai suformuoja poreikį efektyviai koordinuoti PGO dalyvaujančių LKJP laivų įgulų veiksmus, įgyvendinant efektyvios komunikacijos tarp JGKC ir operacijoje dalyvaujančių laivų principus. Tokia komunikacija realiose operacijose yra įgyvendinama radijo ryšio sistemų (toliau- IRRS) pagalba, remiantis tiek nacionaliniais, tiek ir NATO komunikacijos ir ryšių reguliavimo standartais, todėl yra aktualu palyginti naudojamų IRRS technologinius parametrus ir įvertinti LKJP PGO naudojamos IRRS sistemos modernizavimo galimybes.

**Darbo objektas** – LKJP laivuose integruota PGO metu naudojama IRRS. **Darbo tikslas:** įvertinti LKJP laivuose PGO metu naudojamos IRRS modernizavimo galimybes. **Darbo uždaviniai:** 1) apibūdinti IRRS reikšmę vykdant PGO koordinavimą bei teikiant logistinį aprūpinimą; 2) analizuoti PGO metu naudojamos IRRS techninius parametrus; 3) siūlyti LKJP IRRS modernizavimo projektą, pateikiant ekonominį pagrindimą.

Tyrimė taikomi mokslinės literatūros apžvalgos bei operacijų tyrimo metodai, technologinis modeliavimas.

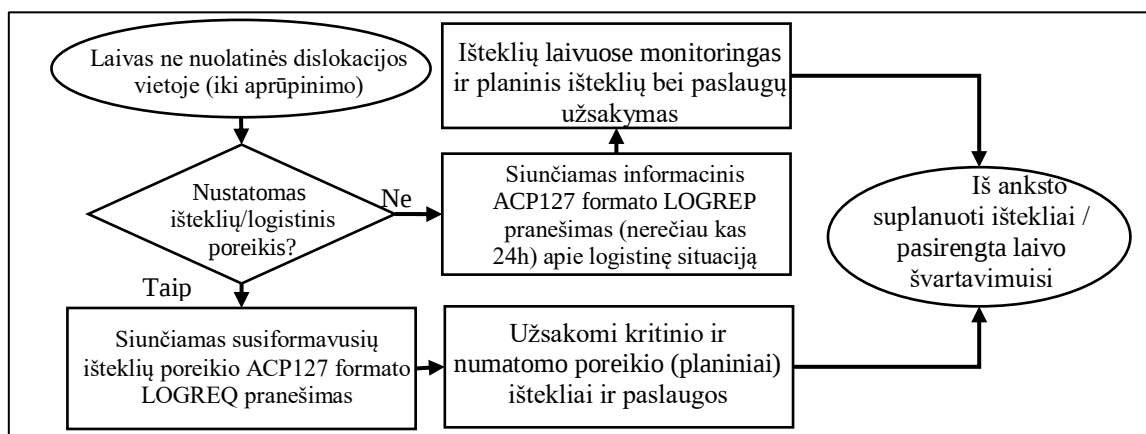
## 1. Ryšio sistemų svarbos operacijų įgyvendinimui pagrindimas

LKJP laivai PGO turi sugebėti vykdyti kaip atskiri vienetai taip ir kaip junginio elementai, todėl LKJP laivyno veikla yra reguliuojama remiantis NATO standartais, kurie LR krašto apsaugos sistemos organizavimo ir karo tarnybos įstatyme (1998) yra apibrėžiami kaip NATO institucijų nustatytų bendrų principų, norminių dokumentų ir standartų, reglamentuojančių NATO narių karinių ir kitokių gynybos struktūrų, taip pat su jomis susijusių kitų institucijų veiklą, visuma. PGO procedūrinis reglamentavimas privalo atitikti bendruosius transatlantinės kolektyvinės gynybos sistemos principus, norminius dokumentus ir standartus. Kaip yra apibrėžiama Lietuvos kariuomenės vado įsakyme dėl žmonių paieškos ir gelbėjimo darbų plano patvirtinimo (LKV įsak. Nr. V-945, 2009), PGO dalyvauja šios valstybės institucijos: JGKC, LKJP, valstybės sienos apsaugos tarnybos prie Vidaus reikalų ministerijos, Karinės oro pajėgos, VĮ „Oro navigacija“ aeronautikos

gelbėjimo koordinacinis centras, Lietuvos kariuomenės dr. J. Basanavičiaus karo medicinos tarnybos, Klaipėdos valstybinio jūrų uosto jūros aplinkos apsaugos agentūros, avarinės ir gelbėjimo tarnybos, greitosios medicinos pagalbos paslaugas teikiančių įstaigų, Klaipėdos apskrities priešgaisrinės gelbėjimo valdybos, policijos, kiti Lietuvos kariuomenės vienetai bei privačios kompanijos. Tai akivaizdžiai rodo, jog PGO vykdymas pagrįstas savalaikiu skirtingų institucijų išitraukimu ir efektyviu jų veiklos koordinavimu. Nors kariniam jūrų laivynui ir tokiems jo padaliniais, kaip JGKC tenka didžiausia atsakomybė užtikrinant PGO įgyvendinimą, tačiau esant būtinybei aktyviai išitraukia ir kitos institucijos.

Pažymėtina, kad LKJP laivynas yra sudarytas iš skirtingo tipo bei skirtingas funkcijas atliekančių laivų. Siekiant efektyviai įgyvendinti net tik teritorinių vandenų gynybos, bet ir PGO užduotis, yra būtina, jog LKJP vienetai ir padaliniai veiktų vieningai koordinuodami savo veiksmus. Dėl to galima išskirti šias efektyvios ryšių sistemos sukūrimo jūrų laivynuose svarbos prielaidas, kad efektyvus informacijos keitimasis, pirmiausia, sudaro sąlygas optimaliam veiksmų koordinavimui tarp laivų, taip pat užtikrina didesnę laivų saugumą vykdant užduotis, sudaro sąlygas efektyviems informacijos mainams tarp flotilės laivų, nes įvykus kritiniam incidentui ar gedimui yra itin aktualu gauti pagalbą iš artimiausių laivų bei leidžia operatyviau įgyvendinti užduotis, kas yra itin svarbu vykdant PGO, kuriose laiko uždelimas gali lemti operacijos nesėkmę (Edwards, 2015). Taigi, efektyvus komunikavimas yra reikalingas siekiant atlikti bet kokio tipo užduotis ir funkcijas. Jis ne tik užtikrina efektyvesnę paskirtų užduočių įgyvendinimą, bet ir yra svarbus siekiant užtikrinti pačių LKJP saugų darbą vykdant rizikingas užduotis.

Siekiant pagrįsti IRRS svarbą PGO efektyviam valdymui aktualu detalizuoti patį PGO procesą. Laivui prieš išplaukiant į PGO, visi logistiniai klausimai, bei ryšių nurodymai yra derinami su LKJP logistikos tarnyba, yra apžvelgiamas operacijos planas, jei paiešką kartu vykdys kitos institucijos ar pajėgos, nurodomos ryšių linijos, šaukiniai, numatomi būsimi poreikiai tiek papildant laivą atsargomis, tiek atliekant privalomą techninį aptarnavimą, tiek paimant papildomų atsargų ar reikalingų priemonių operacijos rajone jau paiešką vykdantiems laivams pagal iš anksto gautą informaciją, jei tam buvo pareikalavimas. Arba laivui išplaukus, laivas pats susisieikia ir informuoja kokie bus jam reikalingi poreikiai siunčiant formatuotus pranešimus į LKJP vadavietę, dėl pagalbos aprūpinant laivą pagal tuo metu esančią situaciją (1 pav.).



**1 pav.** Laivo laiko trukmę minimizuojanti laivo išteklių ir paslaugų užtikrinimo technologija

Šaltinis: Karkkainen, A. (2015). *Developing cyber security architecture for military networks using cognitive networking*. Doctoral dissertation 170/2015. Unigrafia Oy: Helsinki.

Laivui nesant nuolatinės dislokacijos vietoje, esant užsienio uostuose, vykdant užduotis atviroje jūroje, radijo ryšiu, ne rečiau kaip kartą per parą LKJP vadavietei yra siunčiamas LOGREP (Logistic Report) pranešimas, kuriuo pranešama esama logistinė situacija (kuras, vanduo, tepalai, provizija, gedimai ir kt.). Remiantis šiame pranešime esančia informacija yra planuojamas laivo aprūpinimas, galimybė skirti papildomas užduotis. Atsiradus bet kokiam logistiniam poreikiui yra siunčiamas logistinio poreikio pranešimas. Logistikos personalas, gavęs šį pranešimą, užsakinėja reikalingas dalis, užsako pareikalautas paslaugas, kad laivui prisišvartavus, jis užtruktų kuo trumpiau uoste ir galėtų toliau vykdyti paskirtas užduotis.

Apibendrinant, galima teigti, kad siekiant tinkamai įgyvendinti PGO, kuriose dalyvauja skirtingos valstybės institucijos tinkamos komunikacijos perdavimo reikšmė yra ypatingos svarbos. Komunikacija ir efektyvus informacijos perdavimas yra svarbus nuo to momento, kuomet yra perduodama žinia apie atsitikusią nelaimę ir PGO būtinybę, iki vykdant komunikaciją tarp skirtingų laivų, dalyvaujančių gelbėjimo misijoje.

## **2. Gelbėjimo ir paieškos operacijų metu naudojamos IRRS techninių parametrų vertinimas**

Remiantis Tarptautinės jūrų saugumo organizacijos duomenimis, šiuolaikiniuose laivuose yra naudojamos tokios ryšių sistemos, kaip analoginės radijo ryšio sistemos, veikiančios MF, HF ir VHF dažniais, skaitmeninės radijo ryšio bangų sistemos, veikiančios MF ir HF dažniais bei skaitmeninės radijo ryšio sistemos, veikiančios MF, HF ir VHF dažniais (Choi et al., 2013). Kaip galima pastebėti, daugelis iš dabartinių naudojamų klasikinių ryšių sistemų remiasi radijo ryšio technologijoms paremtomis VHF, HF, INMARSAT, EPIRB. Tačiau svarbu akcentuoti, kad šios technologijos yra ribotos ir veikia tik tam tikro dydžio teritorijoje. Nepaisant technologinių skirtumų, mokslinėje literatūroje dar yra akcentuojami skirtingi šių sistemų analizavimo pjūviai, nuo kurių gali priklausyti projektuojamų sistemų parametrai ir sprendimai, todėl yra taikomas sistemų architektūros, pranešimų technologijos bei sistemų priežiūros kompleksinis požiūris, padedantis atskleisti IRRS PGO metu efektyvumą.

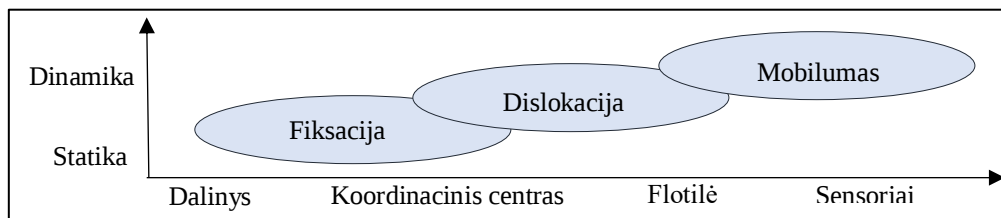
Pirmasis parametras, kurio pagrindu analizuojamas PGO metu naudojamos ryšių sistemos funkcinis operacinis parengties rodiklis - tai sistemos architektūra. LKJP ryšių sistemos įdiegtos laivo susisiektimo su krante esančiu ryšių centru pagrindu (laivas - krantas). Šis ryšių centras atlieka gaunamos informacijos persiuntimo ir koordinavimo tarp LKJP vadovybės ir laivų funkcijas. LKJP laivams, esantiems toli vienas nuo kito, atliekant skirtingas užduotis ir tam tikslui naudojant skirtingas radijo ryšio linijas, LKJP ryšių centras atlieka tarpininkavimo funkcijas laivams keičiantis informacija. Akivaizdu, jog toks ryšio palaikymo modelis yra gana lėtas, nes norint efektyviai komunikuoti yra būtina pereiti per keletą komunikacijos taškų. Spartesnio ir didesnio pralaidumo laivų ryšių sistemos sukūrimas leistų daug efektyviau ir optimaliau vykdyti informacijos dalijimąsi tarp LKJP flotilės laivų ir greičiau įvykdyti paskirtas užduotis. Tokia komunikacija ir informacijos dalijimasis yra itin būtini įgyvendinant kritines paieškos ir gelbėjimo operacijas, kuomet minimali reagavimo ir veikimo trukmė yra kartinė sąlyga lemianti operacijos baigties sėkmę.

Antrasis parametras- tai pranešimo perdavimo technologija ir su ja susijusios rizikos, neigiamai veikiančios PGO junginių operacinės parengties ir komunikacinės trukmės rodiklius. Šiuo metu LKJP laivuose naudojama IRRS, skirta PGO, yra sudaryta iš kompiuterio, radijo modemo ir radijo stoties. Kompiuteriuose yra įdiegta operacinė sistema, specializuotos programinės įrangos skirtos pranešimų siuntimui ir papildomiems specifiniams darbams atlikti bei kompiuterio antivirusinė programa. Sistema pritaikyta siųsti pranešimus naudojant karinių pranešimų standartą ACP127. Tai 16 eilučių pranešimų formatas, arba kitaip dar vadinamas pagrindiniu pranešimų formatu, yra standartinis kariškos radiogramos formatas naudojamas NATO šalyse. Gauti pranešimai kompiuteryje išsaugojami tekstinės rinkmenos formatu ir yra perskaitomi teksto redagavimo programine priemone. Standartizuoto formato pranešimus galima rašyti bet kuriame kompiuteryje, kuriame yra įdiegta teksto redagavimo programa, o tai daroma, siekiant paspartinti informacijos apsiėitimo greitį, nes vienu metu galima sukurti kelis skirtingų poreikių pranešimus PGO metu, vėliau juos įrašant į nešiojamą laikmeną ir pernešant į IRRS kompiuterį, kurio pagalba pranešimai išsiunčiami. Tačiau naudojant išorines laikmenas tekstinių pranešimų pernešimui, ypač naudojant kompiuterius, kurie nepriklauso IRRS, atsiranda didelė tikimybė, kad kuris nors kompiuteris gali būti užkrėstas ir kartu su tekstiniais pranešimais bus perneštas kompiuterinis virusas į IRRS kompiuterį taip jį užkrečiant. Problema dažniausiai yra susijusi ne su pačiu virusu ir jo patekimu į sistemą, o su nuolatinio monitoringo ir operatyvios reakcijos nebuvimo rizika. Jeigu visi kompiuterių ir ryšių tinklai yra įdiegti panaudojant fiksuotos lokalios sistemos arba dislokacines technologijas, IT personalui būna sudėtinga reaguoti į fiksuojamus incidentus, nes reikalingas kontaktinis darbas incidento įvykio vietoje. Būtent dėl to, mokslininkai J. Balthrop, S. Forrest (2004), pagrindiniais integruotų ryšių sistemų privalumais mobilumą, reakcijos į incidentą trukmės sumažinimą.

Trečiasis parametras - tai operatyvus reagavimas į incidentus bei nuolatinio monitoringo funkcionalumo užtikrinimas. Siekiant kuo labiau apsaugoti nuo galimos žmogiškos klaidos, užkrėsti IRRS kompiuterį, pernešant kenkėjišką programinę įrangą nuo užkrėsto kompiuterio ir taip išvedant laivą iš rikiuotės, reikalingas savalaikis IRRS kompiuterio programinės įrangos naujinimas. Pastarąją funkciją gali atlikti, tik paskirtas LKJP vado įsakymu vykdyti papildomas funkcijas prie savo pareigų, karys, kuris privalo ne rečiau kaip kartą per mėnesį kompiuterio operacinę sistemą ir antivirusinę programą atnaujinti aktualiausios versijos naujinimo paketais ir faktiškai egzistuojančia naujausios versijos virusų atpažinimo aprašų duomenų baze. Siekdamas įdiegti naujinius paskirtas sistemos administratorius privalo kartą per mėnesį fiziškai apeiti visų laivų ir LKJP ryšių centro kompiuterius ir įdiegti naujinius rankiniu būdu į kiekvieną darbo stotį atskirai, nes IRRS yra visiškai autonominė, neturinti prieigos prie interneto ar vidaus telekomunikacinio tinklo. Kadangi LKJP laivai vykdo jiems priskirtas užduotis ir savo nuolatinės dislokacijos vietoje būna tik neturint užduočių, o paskirtas sistemos administratorius taip pat vykdo jam paskirtas kasdienines užduotis ir jo tarnybos vieta nėra toje pačioje vietoje kaip LKJP flotilės laivų, apeiti visus sistemos kompiuterius vienu metu kartą per mėnesį tampa labai sudėtinga. Tokia IRRS aptarnavimo forma yra neefektyvi laiko ir kitų išteklių atžvilgiu, kas neužtikrina

sistemos saugumo dėl tikslinių veiksmų atlikimo fragmentiškumo, todėl yra mažinamas operacinės parengties atitikimo rodiklis bei didinamos incidentų šalinimo trukmės rizikos.

Siekiant minimizuoti visas aukščiau išanalizuotas rizikas, siekiant įgyvendinti komunikacijos procesą bei jo efektyvų valdymą PGO metu bei teikiant logistinio aprūpinimo paslaugas, užduotyse dalyvaujantiems laivams reikalingas tarpusavio ryšys, ryšys su aprūpinimo laivu bei ryšys su kranto tarnybomis, todėl remiantis NATO sukarintų kompiuterinių tinklų architektūra bei ryšio sistemų heterogeniškumo savybėmis (2 pav.), galima ieškoti technologinių IRRS modernizavimo galimybių, kai sistemos komponuojamos iš skirtingų, tačiau tarpusavyje integruotų elementų, susiejančių į vieną visumą lokalizuotas fiksuoto ryšio sistemas su mobiliomis ryšio sistemomis, kaip tai parodyta 2 paveiksle.



**2 pav.** Paieškos ir gelbėjimo darbuose taikomo taktinio tinklinio valdymo procesų ir sistemų heterogeniškumas

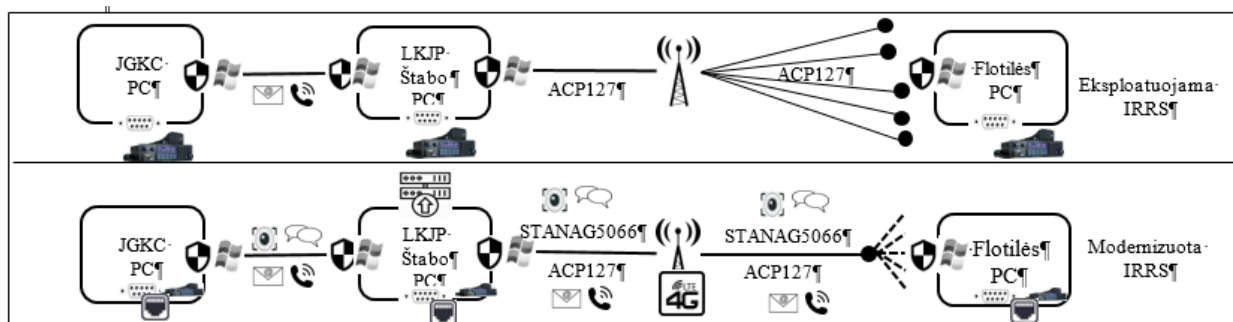
*Šaltinis: Karkkainen, A. (2015). Developing cyber security architecture for military networks using cognitive networking. Doctoral dissertation 170/2015. Unigrafia Oy: Helsinki*

Kaip teigia A. Karkkainen (2015), tokios sukarintos taktinės komunikacijos ir tinklaveikos sistemos pasižymi itin išplėtotomis fiksuotomis ir lokaliomis sisteminėmis integracijomis, o mobilieji tinklai nėra plačiai paplitę, nors operaciniame lygmenyje mobiliųjų tinklų panaudojimas padidintų tinklaveikos efektyvumą ir sumažintų komunikacinių vėlinimų rizikas, kas galėtų padidinti PGO efektyvumą. Dislokacijos lygio ryšių tinklai dažniausiai yra mišraus tipo, atitinkantys keleto fiksuotų tinklų apjungimą radijo ryšiu. Tokios integruotos sistemos taip pat yra susijusios ir su sistemų priežiūros problemomis, didelėmis darbų atlikimo vėlinimo rizikomis, dėl ko susidaro grėsmės užduotis pradėti vėliau ir sumažinti operatyvinį pasirengimo rodiklį daliniui ar junginiui.

Apibendrinant, galima teigti, kad komunikacijos kanalo užtikrinimas standartus atitinkančiomis ir saugiomis ryšio priemonėmis yra vienas iš sėkmingų paieškos ir gelbėjimo darbų užduočių įgyvendinimo veiksnių, todėl IRRS yra keliami ne tik architektūriniai, tačiau ir kibernetinį saugumą bei slaptumą užtikrinantys technologiniai sprendimai. Pagrindžiant IRRS svarbą logistiniams gelbėjimo ir paieškos darbų procesams galima išskirti šių sistemų heterogeniškumo savybes, sąlygojančias ryšio sistemų technologinės realizacijos įvairovę bei jų nuolatinės priežiūros ir monitoringo sudėtingumą, todėl siekiant operatyviai reaguoti į IRRS incidentus esant leidžiamam rizikos laipsniui rekomenduojama į ryšio sistemas įtraukti didesnę kiekį modernių mobiliojo ryšio duomenų perdavimo technologijų.

### 3. LKJP IRRS modernizavimo siūlymai ir ekonominis pagrindimas

Analizuojant LKJP laivuose ir JGKC įdiegtą integruoto ryšio sistemą, buvo nustatyta, kad sistema realizuota ACP127 standarto pagrindu. Todėl ši sistema gali būti atvaizduota taip, kaip parodyta 3 paveiksle. Matoma, kad nuolatinis ryšys, užtikrinantis ne tik specialaus formato pranešimų perdavimą, tačiau ir elektroninio pašto bei telefono ryšį, egzistuoja sausumoje tarp LKJP štabo jei JGKC. Tai reiškia, kad ryšys su kiekvienu iš užduotyje ir/ar operacijoje dalyvaujančių laivų yra palaikomas ACP127 protokolu užtikrinant ryšį „siuntėjas – gavėjas“ tokiu technologiniu principu: siuntėjas išsiunčia pranešimą, o jį gauna visi tinkle registruoti radijo taškai, tačiau adresatas pats atsirenka sau adresuotą pranešimą. Tačiau eilinis vartotojas negali atkoduoti pranešimo be operatoriaus pagalbos, vadinasi operatorius turi dešifruoti ir atrinkti sau adresuotus pranešimus pagal adresatą ir gavėją bei perduoti jį atsakingiems darbuotojams. Šiame technologiniame procese galima išskirti du esminius rizikos veiksniai: operatoriaus žmogiškoji elgsena ir pranešimo vėlavimas dėl papildomo jo apdorojimo. Akivaizdu, kad tokiu technologiniu principu veikianti sistema sukuria pranešimo „vėlinimo“ veiksnį dėl žmogiškosios elgsenos veiksnių ir operatyvaus pranešimo atrinkimo. Toks algoritmas sulėtina PGO veiksmus. Kitas principinis technologinis eksploatuojamos IRRS trūkumas yra tas, kad siunčiami tik koduoti tekstiniai pranešimai, nėra galimybės naudotis elektroninio pašto, tiesioginių pokalbių kanalų bei multimedija žinučių galimybės, kurios sudarytų prielaidas perduoti ne tik tekstinę, tačiau ir grafinę informaciją apie PGO objektą.



3 pav. Eksplloatuojamos ir modernizuotos LKJP IRRS palyginimas

Architektūrinis modernizavimas gali būti įgyvendintas konfigūruojant VPN technologija veikiančią sistemą. Saugumo rizikas didinanti taikoma technologinė saugumo užtikrinimo tvarka formuoja poreikį modernizuoti esamą sistemą siekiant išvengti atvejų, kai IRRS kompiuteris lieka neaptarnautas. Vienas iš potencialių būdų būtų sujungti visus IRRS kompiuterius į vieną domeną įdiegiant papildomą ryšių įrangą, tokią kaip 3G/4G maršrutizatorius, ir palydovinio ryšio INMARSAT įrangą taip sukuriant LKJP laivuose ir stacionariame ryšių centre virtualų privatų (VPN) tinklą, kurio technologinės charakteristikos sudaro galimybes greitai išplėsti organizacijos kompiuterinį tinklą, pasinaudojant pasauline interneto infrastruktūra. Tam nereikia ieškoti skirtosios linijos nuo padalinio iki padalinio, nes abiejuose padaliniuose pakanka, kad būtų po VPN įrenginį su interneto prieiga (3 pav.). LKJP ryšių centre papildomai įdiegus atnaujinimų tarnybinių stotį, kurio pagalba būtų galima nuolatos atnaujinti į šį tinklą sujungtas darbo stotis, būtų taupomi tokie ištekčiai, kaip sistemos administratoriaus neefektyvus darbo laikas keliaujant bei naudojamos transporto priemonės eksploataciniai kaštai. Vadinas, VPN technologijos architektūriniu pagrindu būtų įgyvendintas nuolatinio monitoringo ir operatyvaus reagavimo į incidentus principas.

Duomenų perdavimo technologijos modernizavimas būtų pagrįstas - STANAG5066 standarto įdiegimu LKJP IRRS. Šis protokolas apima SIS (Subnet Interface Service) protokolą, kuris leidžia programai prisijungti prie HF modemo per STANAG 5066 serverį naudojant TCP/IP protokolus. STANAG 5066 yra pagrindinis NATO radijo protokolas HF duomenų perdavimui. Įdiegus IRRS su STANAG 5066 atsiranda galimybė HF radijo tinkle naudoti IP protokolu naudojamas paslaugas, siųsti/gauti elektroninius laiškus, kas yra labai svarbu sėkmingam karinių operacijų planavimui ir vykdymui. Tokia IRRS turi aukščiausią informacijos apsaugos lygį, nuotolinio valdymo ir stebėjimo funkcijas, ACP127 sistemų palaikymą. Įdiegus šį standartą sudaroma galimybė radijo ryšiu siųsti ne tik ACP127 formatuotus pranešimus, tačiau taip pat elektroninius laiškus, naudoti tiesioginių pokalbių kanalus, naudoti failų persiuntimo paslaugas, kas sudarytų galimybes multimedija informacijos perdavimui, o tai, savo ruožtu, padidintų informacijos perdavimo apie PGO objektą operatyvumą, jos turinio, buvimo vietos geografinį vaizdinį suvokimo lygį (3 pav.).

LKJP PGO metu naudojamos IRRS modernizavimo kaštai rengiant projektą skaičiuojami priklausomai nuo techninės įrangos gamintojo siūlomos įrangos, todėl nėra griežtai finansiškai apibrėžiami, tačiau siekiant pateikti ekonominį siūlomo projekto pagrindimą yra vadovaujama siūlomos pridėtinės vertės bei finansinio optimizavimo principu, todėl gautos finansinės ekonominės naudos vertinės išraiškos pagrindu galima kituose etapuose rengiant projektą modeliuoti galimos įrangos komplektaciją. Ekonominio pagrindimo rodikliai pateikiami 1 lentelėje.

Analizuojant ekonomiškumo rodiklius, pažymėtina tai, jog skaičiuojant ekonominį pagrindimą ir vadovaujantis konfidencialios informacijos neviešinimo išipareigojimu, yra naudojami apytikriai rodikliai, kurie taikant šį modelį gali būti keičiami konkretaus projekto kontekste, o vieno darbuotojo etatas yra laikomas lygiu 8 h/parą. Taikant chronologinės stebėsenos metodą bei vertinant 1 lentelėje išskirtus rodiklius sudarytas LKJP GPO metu naudojamos IRRS technologinio modernizavimo projekto ekonominio pagrindimo modelis.

1 lentelė

#### LKJP IRRS rodiklių palyginimas prieš ir po modernizavimo

| Rodikliai, matavimo vnt.                                         | Reikšmė                              |                                    |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| <i>Pranešimo perdavimo trukmė</i>                                | <i>Prieš</i>                         | <i>Po</i>                          |
| Vidutinis paros pranešimų skaičius PGO ir pratybų metu           | 110 pranešimų                        | 110 pranešimų                      |
| Vidutinis laivų skaičius, dalyvaujantis vienoje PGO ir pratybose | 3 laivai                             | 3 laivai                           |
| Vidutinė operatoriaus vieno pranešimo identifikavimo trukmė      | 5 s                                  | 0s                                 |
| Vidutinė vieno operatoriaus vieno pranešimo apdorojimo trukmė    | 90 s                                 | 60 s                               |
| Vidutinis PGO pranešimų apdorojimo laikas, tenkantis operatoriui | 11000 s => 3,05 h/parą => 0,38 etato | 6600 s => 1,8 h/parą => 0,23 etato |
| <i>Sistemos monitoringas ir parengtumas</i>                      |                                      |                                    |

| Rodikliai, matavimo vnt.                                     | Reikšmė                  |                        |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Kompiuterizuotos įrangos kiekis (laivuose ir KJP štabe)      | 30 kompiuterių           | 30 kompiuterių         |
| Aptarnavimo trukmė vieno kompiuterio parengties užtikrinimui | 4 h                      | 1 h                    |
| Kompiuterio programinės įrangos naujinimų periodiškumas      | 1 k. per mėnesį          | 1 k. per mėnesį        |
| Programinė įrangos naujinimų diegimo trukmė per mėnesį       | 27*4 h=108 h             | 1 h.                   |
| Papildoma kelionės trukmė į fizinę įrangos buvimo vietą      | 21 h                     | 6 h.                   |
| Laivo buvimo dislokacijos vietoje tikimybė                   | 65%                      | 80%                    |
| Aptarnavimo laiko sąnaudos per mėnesį                        | 150,38 h/mėn. (6,8 h/d.) | 8,4 h/mėn. (0,38 h/d.) |

*Šaltinis:* KJP veiklos dokumentai, ataskaitos, 2012 – 2018 m. laikotarpiu

Remiantis atliktais skaičiavimais ir rezultatais, galima apibendrinti, kad, pagrindiniai eksploatuojamos LKJP IRRS, naudojamos GPO metu, įdiegto ACP127 standarto privalumai – tai itin aukštas saugumo užtikrinimas, pakankamai nesudėtingas technologinis įgyvendinimas ir įrangos aptarnavimo paprastumas, tačiau esminiais trūkumais išskiriami daugiaformatės informacijos perdavimo galimybių ribojimas, padidinta duomenų perdavimo kanalų užsikimšimo rizika ir/ar operatoriaus, skirstančio pranešimus adresatams, žemas darbo produktyvumas, sąlygojantys pranešimų vėlavimą, kas turi tiesioginį poveikį GPO rezultatyvumo sumažėjimui. Vienas esminių eksploatuojamos IRRS trūkumų – tai didelių laiko kaštų reikalaujantis techninis kompiuterizuotų taškų aptarnavimas, kurį sudaro nuolatinis monitoringas, antivirusinės programinės įrangos bei operacinės sistemos atnaujinimas, ypač LKJP flotilės laivuose, kurių eksploatacinis intensyvumas priklauso nuo pratybų vykdymo sezoniskumo. Nedidelio eksploatacinio intensyvumo periodu, įvertinus LKJP laivų flotilės dalyvavimą tarptautinėse užduotyse, vidutiniškai per mėnesį priežiūrai ir aptarnavimui įdiegta integruoto radijo ryšio sistema reikalauja 150,38 darbo val., kas prilygsta 0,85 darbuotojo etatui. Technologiškai modernizavus LKJP IRRS, technologinio sprendimo ekonominiam modeliavimui pasiūlyto modelio ekonominis efektas siekia vidutiniškai 1 etatu dirbančio darbuotojo atlygio per 1 darbo mėnesį vertę. Modernizacijos sukuriamas PGO veiksmingumo padidėjimo efektas sudaro sutrumpėjęs pranešimo perdavimas, kas leidžia sutaupyti 1,25 val. kiekvieno laive dirbančio operatoriaus darbo laiką, kas sąlygoja operatyvesnį pranešimo apdorojimą bei operatyvumo padidėjimą. PGO veiksmingumo požiūriu taip pat atsižvelgiama į tai, kad per 1 parą PGO gali sutrumpėti 1,25 val., kas reiškia didesnę žmogaus gyvybės išsaugojimo tikimybę. Saugumo požiūriu, užtikrinant nuolatinį monitoringą ir atnaujinimus iš vartotojų darbo vietos rizikos sumažinimo pozicijos 90% padidintų saugumą IRRS.

### Išvados

1. Apibūdinus IRRS reikšmę vykdant gelbėjimo ir paieškos darbų koordinavimą bei teikiant logistinį aprūpinimą modernizavimo poreikio požiūriu, galima teigti, kad remiantis NATO, ES, nacionaliniais bei vidiniais LKJP PGO bei jų metu teikiamo logistinio aprūpinimo procedūras reglamentuojančiais teisės aktais, IRRS yra vienas svarbiausių logistinės grandinės funkcionavimą užtikrinančių elementų, kurio pagrindu yra vykdoma komunikacija tarp operacijoje dalyvaujančių karinių laivų, įskaitant ir aprūpinimo laivą bei sausumos dalinius, konkrečiai koordinavimo centro bei kitų atsakingų LR institucijų. Nuo IRRS veikimo efektyvumo ir operatyvumo priklauso pasirengimo operacijoms parametrai, informacijos ir duomenų saugumas bei PGO rezultatyvumas.

2. Remiantis IRRS heterogeniškumo savybėmis, NATO operacinės parengties rodiklio perspektyviniais parametrais bei technologijų teikiama galimybėmis ir eksploatuojamos LKJP IRRS, architektūriniais, duomenų perdavimo bei sisteminės priežiūros parametrais, siūlomas technologinis modernizavimo projektas, kurio paskirtis- sumažinti ar visiškai eliminuoti duomenų praradimo, neteisėto panaudojimo rizikas ir maksimaliai padidinti PGO ir logistinio aprūpinimo komunikacinį koordinacinį efektyvumą bei PGO rezultatyvumą.

3. Išanalizavus LKJP PGO metu naudojamos IRRS architektūrinį, duomenų perdavimo bei nuolatinio monitoringo parametrų rinkinį, buvo nustatyta, kad eksploatuojama IRRS architektūroje duomenų perdavimui yra naudojamas ACP127 protokolai, užtikrinantis minimalią duomenų praradimo riziką, tačiau pasižymintis žemu produktyvumu pranešimo perdavimo trukmės bei tinklo kolizijų požiūriu. Siekiant didinti PGO rezultatyvumą, neprarandant saugumo ir pranešimo praradimo rizikos rodiklių, buvo pasiūlytas IRRS modernizavimo projektas, pagrįstas VPN tinklo architektūra bei duomenų perdavimo technologija, standartizuota pagal STANAG 5066, kas užtikrina perduodamo pranešimo įvairiatipiškumą ir sumažina pranešimo perdavimo trukmę, mažinant žmoniškųjų klaidų riziką. Įgyvendinus modernizavimo projektą, pranešimo perdavimo trukmė sumažėja ir tai leidžia sutaupyti 1,25 val. operatoriaus darbo, o tai sąlygoja operatyvesnį pranešimo

apdorojimą bei operacinio rodiklio padidėjimą. PGO rezultatyvumo požįūriu taip pat atsižvelgiama į tai, kad per 1 parą PGO gali sutrumpėti 1,25 val., kas reiškia didesnę žmogaus gyvybės išsaugojimo tikimybę. Saugumo atžvilgiu modernizacija, užtikrinant nuolatinį sistemos monitoringą ir atnaujinimą, vartotojų darbo vietos saugumo rizikas praktiškai eliminuotų, kas pastarųjų vietų saugumą leistų padidinti iki 90%.

### Literatūra

1. Choi M. et al. (2013). Ship to Ship Maritime Communication for e – Navigation Using IEEE 802.16j. Advanced Science and Technology Letters Vol.28 (CIA 2013), 110 – 115.
2. Edwards, J. (2015). New radio and network technologies present opportunities and challenges. The future of military comms on the battlefield. Prieiga internete: <https://defensesystems.com/articles/2012/02/08/cover-story-military-communications-technologies.aspx> [žiūrėta: 2018 – 10 – 05]
3. J. Balthrop, S. Forrest (2014). Technological networks and the spread of computer viruses. Science, 304 (5670), 527-529.
4. Karkkainen, A. (2015). Developing cyber security architecture for military networks using cognitive networking. Doctoral dissertation 170/2015. Unigrafia Oy: Helsinki.
5. Lietuvos kariuomenės vado įsakymas Nr. V – 945(2009) Dėl žmonių paieškos ir gelbėjimo darbų paieškos ir gelbėjimo rajone plano patvirtinimo.
6. Lietuvos Respublikos krašto apsaugos sistemos organizavimo ir karo tarnybos įstatymas. (1998). Valstybės žinios, Nr. 49 – 1325.
7. STANAG 5066: the standard for data applications over HF radio. Prieiga internete: <https://www.isode.com/whitepapers/stanag-5066.html> [žiūrėta: 2018 – 10 – 05].

### THE INVESTIGATION OF ECONOMICAL POSSIBILITIES TO UPGRADE THE COMMUNICATIONS SYSTEMS ON THE BOARD OF NAVY SHIPS INCLUDED INTO THE SEARCH AND RESCUE TASKS

#### Summary

The main idea of this thesis is to identify changes to logistical support capacities related to the communications systems, considering evolving communications technologies and message delivery standards in the area of naval operations of human search and rescue operations. In order to reveal this idea, the thesis provides definition of naval communications systems technological process. It also justifies the problematic nature of maintenance provision to the communications systems. At the same time, it distinguishes the indicator of technological preparedness for naval processes and operations. Empirical research results conclude that the introduction of additional communications technologies and supplementary messaging standard results in shortened information transmission time and the time allocated for assuring system preparedness criterion is significantly reduced.

**Key words:** search / rescue operations, data transfer technology.

#### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Stasys Donėla.

**Darbo vietą ir poziciją:** Lietuvos aukštosios jūrėivystės mokyklos uosto ir ekonomikos katedros lektorius, kompiuterių sistemų ir programinės įrangos specialistas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** informacijos sistemos, programavimas, algoritmai, jūrų transporto sektorius.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 621 86625, [s.donela@lajm.lt](mailto:s.donela@lajm.lt).

**Autoriaus vardas, pavardė:** Elena Valionienė.

**Darbo vietą ir poziciją:** Lietuvos aukštosios jūrėivystės mokyklos uosto ir ekonomikos katedros lektorė, IT laboratorijos vedėja, Mykolo Romerio universiteto vadybos krypties doktorantė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** informacijos sistemos, statistinis modeliavimas, vadyba, jūrų transporto sektorius.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 698 36297, [e.valioniene@lajm.lt](mailto:e.valioniene@lajm.lt).

#### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Stasys Donėla

**Science degree and name:** Msc., PhD. Student in field of Economics

**Workplace and position:** Lithuanian Maritime Academy, lecturer of Port Economics and Management department, IT specialist

**Author's research interests:** information systems, programming, maritime transport sector

**Telephone and e-mail address:** 8 621 86625, [s.donela@lajm.lt](mailto:s.donela@lajm.lt).

**Author name, surname:** Elena Valionienė

**Science degree and name:** Msc., PhD. Student in field of Management

**Workplace and position:** Lithuanian Maritime Academy, lecturer, Head of IT lab; doctoral student of Mykolas Romeris University

**Author's research interests:** information systems, statistical modeling, management, maritime transport sector

**Telephone and e-mail address:** 8 698 36297, [e.valioniene@lajm.lt](mailto:e.valioniene@lajm.lt).

# TARPTAUTINIO JŪRŲ KARINIO JUNGINIO LOGISTINIO APRŪPINIMO TECHNOLOGIJOS POVEIKIO OPERACINĖS PARENGTIES LYGIUI VERTINIMAS

**Elena Valionienė, Rima Mickienė**

*Lietuvos aukštoji jūreivystės mokykla, Mykolo Romerio universitetas*

## **Anotacija**

Šiuo tyrimu siekiama įvertinti tarptautinio karinio junginio aprūpinimo technologijos įtaką operacinei parengčiai, sprendžiant karo laivų aprūpinimo kuru technologijos problemą. Remiantis tyrimo rezultatais, galima teigti, kad padidinus karo laivų aprūpinimo kuru technologinio proceso našumą, sumažėja laivų bunkeravimo operacijų trukmė. Tai padidina viso karinio junginio operacinės parengties lygį bei užtikrina atitiktį naujai įsigaliojusiems tarptautiniams normatyvams.

**Reikšminiai žodžiai:** tarptautinis karinis junginys, aprūpinimo logistika jūroje, operacinės parengties rodiklis.

## **Įvadas**

Siekiant visapusiško Lietuvos kariuomenės integravimosi į NATO aljansą ir išlaikant aukštą parengties lygį dalyvavimui tarptautinėse operacijose, aktualu nuolat stebėti ir vertinti kovines galimybes, gebėjimus bei technologinę bazę bei plėtoti ją pagal nustatytus strateginius tikslus. Atsižvelgiant į NATO standartus ir juose apibrėžtus reikalavimus užduotims vykdyti atitinkamai pagal užduoties specifiškumą yra komplektuojami skirtingos sudėties tarptautiniai kariniai junginiai, kurių atliekamos užduotys gali būti tiek trumpalaikės, tiek ir ilgalaikės, todėl junginio aprūpinimo atsargomis jūroje technologiniam procesui yra keliami itin aukšti reikalavimai, o aprūpinimo proceso operacinės parengties rodiklis yra vienas iš karinių jūrų pajėgų pasirengimo vykdyti užduotis rodiklių. Būtent dėl tokių priežasčių yra aktualu vertinti tarptautinio junginio logistinio aprūpinimo jūroje technologinio proceso bei jo tobulinimo sąsajas su operacinės parengties rodiklio atitikties tarptautiniams normatyvams pokyčiais.

**Tyrimo objektas:** tarptautinio junginio štabo laivo aprūpinimo jūroje operacinė parengtis.

**Darbo tikslas:** vertinti štabo laivo tarptautinio junginio aprūpinimo jūroje operacinę parengtį modernizuojant aprūpinimo technologiją.

## **Darbo uždaviniai:**

1. Apibūdinti tarptautinio junginio aprūpinimo jūroje proceso specifiką.
2. Analizuoti tarptautinio junginio štabo laivo aprūpinimo technologinio proceso trukmę, priklausomai nuo junginyje esančių laivų technologinių parametrų;
3. Įvertinti tarptautinio junginio štabo laivo operacinės parengties rodiklio pokyčius priklausomai nuo technologinio aprūpinimo kuru įrangos sprendimo.

Teorinėje dalyje apibūdinant tarptautinio junginio aprūpinimo jūroje technologijas bei jų teisinį reglamentavimą ir technologinį įgyvendinimą taikomas mokslinės literatūros metodas: analizuojami teisės aktai ir technologinė mokslinė literatūra. Empirinėje dalyje siekiant įvertinti pagrindinius technologinius tarptautinio karinio junginio aprūpinimo jūroje technologijų parametrus bei nustatyti jų tobulinimo galimybes, taikomos laivo teorijos ir sandaros analitinės išraiškos. Operacinis laivo aprūpinimo pasirengimas įvertinamas operacinio aprūpinimo pasirengimo rodikliu, remiantis tarptautiniais dokumentais reglamentuojama apskaičiavimo metodika.

## **1. Tarptautinio junginio aprūpinimo jūroje operacinės parengties ir technologijų sąsajos**

Lietuvos kariuomenės struktūrai būdinga tarptautiniu mastu pripažinta struktūra, sudaryta iš įvairaus dydžio ir paskirties kariuomenės vienetų. Lietuvos kariuomenę sudaro keturių rūšių pajėgos: sausumos, oro, jūrų, specialiųjų operacijų pajėgos bei atskirieji vienetai (brigados, pulkai, batalionai, flotilės, valdybos, junginiai, tarnybos, departamentai ir pan.). Analizuojant technologinio aprūpinimo kuru proceso jūroje technologinio patobulinimo įtaką operacinei parengčiai, pažymėtina, kad apsiribojama LR Krašto apsaugos Karinių jūrų pajėgų (toliau KJP) situacijos analize (Lietuvos Respublikos krašto apsaugos sistemos organizavimo ir karo tarnybos įstatymas, 1998). KJP sudaro įvairūs funkciniai padaliniai: karo laivų flotilė, jūros ir pakrančių stebėjimo tarnyba, logistikos tarnyba, povandeninių veiksmų komanda, mokymo centras, jūrų gelbėjimo koordinavimo centras. Karo laivų flotilė yra pagrindinis KJP struktūrinis elementas, įgyvendinant NATO Aljanso tarptautines užduotis jūroje, kurio pagrindinės funkcijos yra šalies teritorinės jūros ir išimtinės ekonominės zonos kontrolė, apsauga ir gynyba, povandeninės ir viršvandeninės aplinkos stebėjimas ir kontrolė, išminavimo operacijos, paramos teikimas institucijoms vykdančioms antiteroristines operacijas jūroje, laivybos apsauga ir kontrolė, paieškos ir gelbėjimo operacijos, taršos likvidavimo darbų jūros rajone organizavimas, koordinavimas ir vadovavimas. Šias funkcijas KJP laivai turi sugebėti vykdyti ne tik kaip atskiri vienetai, bet ir junginyje. Junginio dalyvavimas užduotyje yra susijęs su tam tikros trukmės išplaukimu iš jūrų uosto, todėl atliekant įvairias užduotis būtina užtikrinti junginio aprūpinimą užduotims

įvykdyti reikalingomis atsargomis (Karinių jūrų pajėgų standartinės veiklos procedūros, 2015). Taigi, KJP veikla apima nuolatinis veiksmus, vykdomus jūroje, todėl logistinis aprūpinimo procesas yra aktualus trumpalaikiuose ir ilgalaikiuose plaukimuose, kurių metu vykdomos nacionalinės ir tarptautinės užduotys.

Analizuojant tarptautinių junginių aprūpinimo atsargomis problematiką, ypatingai svarbus tarptautinio junginio sampratos apibrėžimas, kadangi tarptautinio junginio ir tarptautinių užduočių vykdymas yra susijęs su skirtingų technologinių parametrų įranga, jūrų uostų infrastruktūros tinkamumu tarptautinėms užduotims vykdyti bei kitomis technologinės ir organizacinėmis lokalsios dislokacijos vietos sąlygomis (Board on army science and technology, 2014). Vykdamas Aljanso sutartyje apibrėžtus įsipareigojimus, karinės jūrų pajėgos, kaip ir bet kuris kitas Lietuvos Respublikos Krašto apsaugos funkcinis vienetas, turi bendradarbiauti su atitinkamomis NATO bei ES valstybių institucijomis planuojant bendrą gynybą, tarptautines operacijas ir jas vykdamas, o įgyvendinant numatytus bendradarbiavimo tikslus yra numatytos kolektyvinės gynybos, reagavimo į krizes ir kitos operacijos.

Lietuvos Respublikos Krašto apsaugos ministro įsakyme Nr. V-484 (2017) nustatyti technologinio pasirengimo dalyvauti tarptautinėse KJP užduotyse kriterijai (1 pav.):

1. NATO užduotims aprobeutų laivų skaičius. Rodiklis, kuriuo vertinamas parengtų laivų skaičius pagal nustatytus tarptautinius karinės laivybos reikalavimus. Tokie laivai gali dalyvauti tarptautinėse operacijose ir misijose kartu su sąjungininkų pajėgomis, NATO greito reagavimo pajėgose ir ES kovinėse grupėse.

2. Kolektyvinės veiklos suderinamumo su NATO standartais lygis. Apibūdina, ar koviniai vienetai yra tinkamai aprūpinti suderinta su NATO ginkluote, ar įgulų veiksmai ir atliekamos procedūros yra identiškos ir atitinka NATO standartizacijos normatyvus. Tai yra svarbu planuojant karinių jūrų pajėgų finansavimą, procedūrų tobulinimą bei administracinį vertinimą.

3. Laivų įgulų vidutinio plaukiojimo per metus santykinis rodiklis, kuris yra vertinimas lyginant su minimaliu NATO standartizacijos reikalavimu ir nusako, koks įgulos profesinis pasirengimas ir kokios yra įgytos praktinės užduočių vykdymo kompetencijos, užtikrinančios tarptautinių užduočių sėkmingą įgyvendinimą.

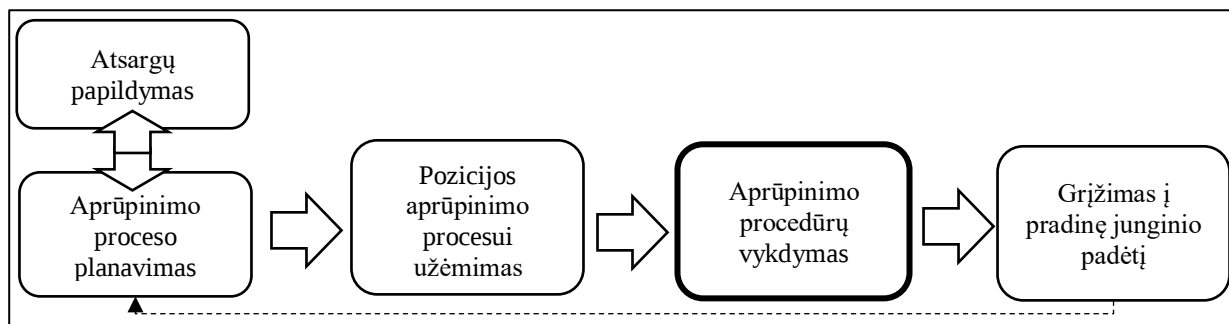
4. Aprūpinimo atsargomis rodiklis. Atsargos pagal aprūpinimo klases, esančios KJP kariniuose vienetuose, yra prilyginamos būtinų atsargų kiekiui nustatytos trukmės ir apimties operacijoms vykdyti, todėl aprūpinimas atsargomis junginiui esant jūroje yra vienas iš svarbiausių pasirengimo tarptautinių užduočių vykdymui vertinimo rodikliu.



**1 pav.** Parengties kriterijai

*Šaltinis: Lietuvos Respublikos Krašto apsaugos ministro įsakymas, 2017, V-484*

Karinių tarptautinio junginio laivų logistinis aprūpinimas yra skirstomas pagal aprūpinimo klases (Karinių jūrų pajėgų standartinės veiklos procedūros, 2015): maisto atsargos ir ekipuotė, kanceliarinės priemonės, kuras ir tepalai, remonto paslaugos, amunicija. Atliekant tarptautinio junginio aprūpinimo technologinius procesus kiekvieną laivą aprūpinant atskirai yra reikalingos didesnės laiko sąnaudos, tačiau vienu metu atlikti aprūpinimo procedūras visiems junginio laivams reikalingi pakankami aptarnaujančio štabo laivo technologiniai parametrai (Harabuda, 2016). Dažniausiai, planuojant logistines aprūpinimo operacijas, pagrindinės atsargos, maistas, ekipuotė, kanceliarijos priemonės, amunicija, yra suplanuojamos visam užduoties laikotarpiui, numatant potencialiai įmanomas situacijas dėl išorinių nenumatytų veiksnių. Dėl sudėtingo skysčių perpumpavimo technologinių sistemų konstrukcijų bei jų talpos, gėlo vandens, kuro bei tepalų atsargos neįmanoma suplanuoti visam užduoties laikotarpiui, todėl tarptautinių užduočių metų periodiškai šios atsargos turi būti papildomos artimiausiuose užduoties rajonui uostuose (2 pav.).



**2 pav.** Technologinio aprūpinimo jūroje proceso etapai  
Šaltinis: Harabuda, 2016)

Aprūpinimo atsargomis procesas yra nenutrūkstamas viso užduoties vykdymo laikotarpio metu, todėl pagal atitinkamą procedūrą kiekvienos užduoties vykdymo dienos pabaigoje atliekamas aprūpinimo proceso planavimas, o po planavimo procedūros technologškai aprūpinimo procesas yra sudarytas iš keleto esminių etapų: pozicijos aprūpinimo procesui užėmimas, aprūpinimo procedūrų vykdymas, grįžimas į pradinę junginio padėtį (2 pav., Truba et al., 2014). Jeigu nustatomas nepakankamas atsargų likutis, tai aprūpinimo laivas pasipildo atsargomis artimiausiame uoste per numatytą periodą.

Technologinio pasirengimo aprūpinant tarptautinį junginį atsargomis apibendrinantieji rodikliai- tai operacinis pajėgumas ir laivo autonomiškumo rodikliai. Laivo autonomiškumo rodiklio ypatumas yra tas, kad jis turi būti skaičiuojamas visiems junginio laivams, siekiant įvertinti reikalingo aprūpinimo kuro kiekį. Laivo autonomiškumo rodiklis remiasi atlikto kuro suvartojimo normų tyrimo rezultatais ir yra apskaičiuojamas pagal (1) formulę (Hunter, 2014).

$$q = \frac{q_{ats}}{q_l} \quad (1)$$

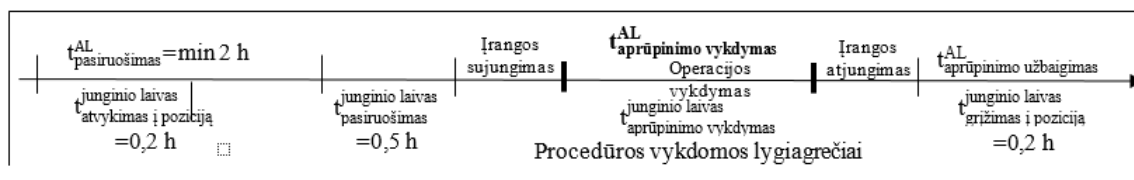
čia:  $q$  – laivo autonomiškumas, paros;  $q_{ats}$  – kuro atsargos, l;  $q_l$  – kuro sunaudojimas, atitinkantis faktinį eksploatacinį greitį, l/val..

Operacinio pajėgumo rodikliu, apskaičiuojamu pagal (2) formulę, įvertinamas aprūpinimo (štabo) laivo pasirengimą tiekti atsargas tarptautiniam junginiui jūroje. Operacinis pajėgumas yra tikimybė, kad aprūpinimo sistema yra parengta tiekimui bet kuriuo reikalingu laiko momentu junginiui atliekant užduotį (Hunter, 2014).

$$O_p = \frac{t_{budėjimo}}{t_{budėjimo} + t_{atsargų\ papildymo}} \quad (2)$$

čia:  $O_p$  – operacinis pasirengimas;  $t_{budėjimo}$  – tai tiekimo aprūpinimo sistemos budėjimo laikas, apibūdinantis aprūpinimo sistemos realistiškumą;  $t_{atsargų\ papildymo}$  – tai aprūpinimo sistemos neveikimo laikotarpis, apibūdinantis bendrą atsargų papildymo iki pilno operacinio pasirengimo trukmę.

Siekiant įvertinti operacinio pajėgumo rodiklio pokyčius keičiant aprūpinimo technologinį įgyvendinimą, analizuojama tik standartinė aprūpinimo procedūros situacija ir laikoma, kad aprūpinimo procesui įgyvendinti yra palankios meteorologinės sąlygos ir pats aprūpinimo procesas technologškai vyksta sklandžiai ir avarinės grupės veiksmai nėra reikalingi (3 pav.)



**3 pav.** Chronometražinis technologinio aprūpinimo proceso etapų išdėstymas  
Šaltinis: Hunter, 2014

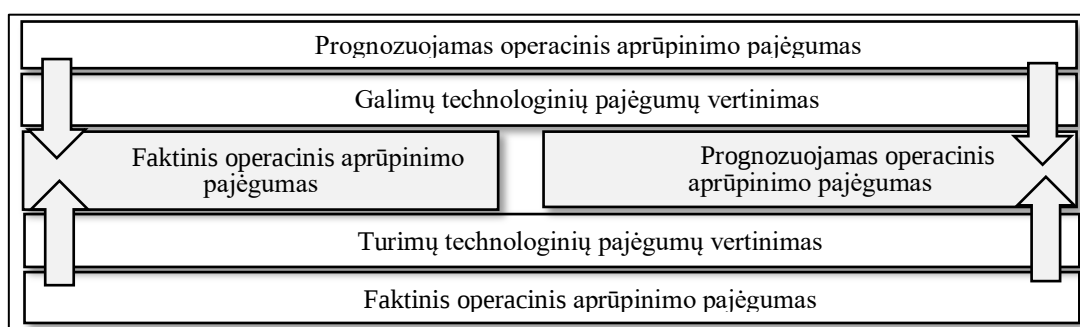
Remiantis aprūpinimo proceso ataskaitų rinkiniais, galima sudaryti standartinės tarptautinio karinio junginio aprūpinimo jūroje užduoties metu procedūros trukmės vertinimo algoritmą (3 pav.), išskiriant reglamentuotas ir praktikoje nusistovėjusias procedūrų ir procesų normas (tokias, kaip atvykimo į poziciją, pasirošimo, įrangos sujungimo bei atjungimo operacijos, junginio laivo grįžimas į poziciją) ir kintamos procedūros trukmės, priklausomos nuo junginyje sukomplektuotų laivų techninių parametrų. Suminė aprūpinimo technologinio proceso operacijų vykdymo trukmė yra ilgesnė nei aprūpinamo laivo suminė trukmė, o aprūpinimo kuro technologinė operacija abiejuose laivuose yra vykdoma lygiagrečiai, todėl yra

vienas iš svarbiausių operacinio pajėgumo rodiklio pokyčiams turinčių veiksnių. (3 pav.). Operacinio pasirengimo rodiklis yra tiesiogiai priklausomas nuo aprūpinimo kuru procedūros trukmės. Atlikus aprūpinimo kuru tarptautinės karinės užduoties jūroje metu technologinio proceso trukmės vertinimą esant standartinėms aplinkybėms, buvo nustatyta, kad operacinio pasirengimo rodikliui poveikį turi technologinis sprendimas, sudarantis aprūpinimo laivui technologines galimybes užduoties metu junginio laivus aprūpinti kuru ir gėlu vandeniu ne po vieną, o du laivus iš karto, todėl tyrimo tikslinė metodika yra orientuota į aprūpinimo kuru trukmės minimizavimą ((3), (4) formulės).

$$T^{AL} = \sum t^{AL} > T^{\text{junginio laivo}} = \sum t^{\text{junginio laivo}} \quad (3)$$

$$T^{AL} \rightarrow \min(T^{AL}), \text{ kai } t^{\text{aprūpinimo vykdymas}} \rightarrow \min(t^{\text{aprūpinimo vykdymas}}) \quad (4)$$

Tyrimo dizainas pateikiamas 4 paveiksle, palyginant faktinį operacinio pasirengimo rodiklį aprūpinant kuru po vieną junginio laivą ir prognozuojamą operacinio pasirengimo rodiklį, aprūpinant kuru du junginio laivus vienu metu. Taikant operacinio pasirengimo rodiklio analitinę išraišką bei remiantis aprūpinimo įrangos technologinėmis savybėmis, galima teigti, kad sumažinus bendrą operacinio pasirengimo trukmę, atsargų papildymo trukmė padidėtų, todėl šis rodiklis yra bendrai apibūdinantis viso aprūpinimo proceso efektyvumą.



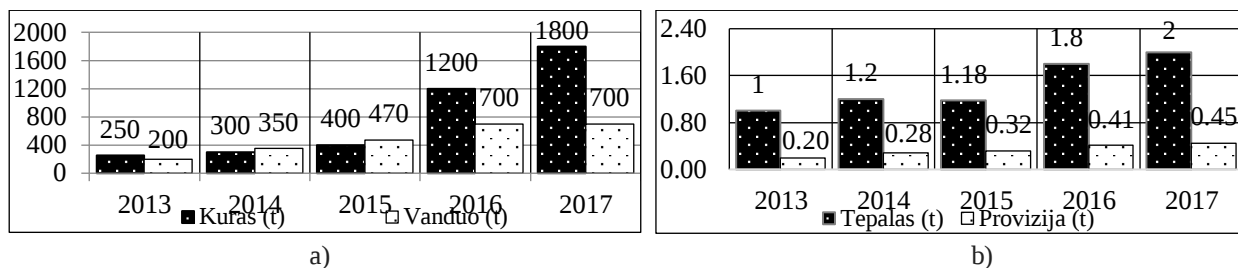
**4 pav.** Operacinio pasirengimo rodiklio tyrimo algoritmas

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Apibendrinant tarptautinio junginio aprūpinimo kuru jūroje technologinio sprendimo poveikį operacinio pasirengimo rodiklio reikšmei, pažymėtina, kad aprūpinimo jūroje procesas yra griežtai reglamentuotas tarptautiniais, nacionaliniais ir vidiniais teisės aktais, vykdomas vadovaujantis procedūriniais dokumentais. Operacinės parengties dalyvauti tarptautinio junginio užduotyse rodiklis priklauso nuo kiekvieno etapo ir jo metu vykdomų technologinių operacijų trukmės, o kiekvieno proceso operacijos yra vykdomos nuosekliai arba lygiagrečiai pagal griežtai apibrėžtą algoritmą, operacijų įvykdymo rezultatą griežtai dokumentuojant. Analizuojant technologinį aprūpinimo procesą jūroje aprūpinimo laivui esant inkaruotoje pozicijoje, buvo nustatyta, kad operacinės parengties rodiklio padidėjimui lemiamos įtakos turi technologinės galimybės aprūpinimo procesą vykdyti lygiagrečiai keliems junginio laivams.

## 2. Tarptautinio junginio aprūpinimo jūroje operacinės parengties vertinimas

Analizuojant tarptautinių junginių aprūpinimo problematiką remiamasi LR KJP atveju ir disponuojamais materialiaisiais ištekliais. Karo laivų flotilę sudaro šie funkciniai padaliniai: patrulinių laivų divizionas (toliau PL); priešmininių laivų divizionas (M); pagalbinių laivų ir katerių divizionas (PU). Analizuojant tarptautinėse Aljanso užduotyse dalyvaujančių junginio laivų aprūpinimo kuru ir gėlu vandeniu pokyčius 2013-2017 m. laikotarpiu, nustatyta, kad tarptautinėse užduotyse aprūpinimo procedūrų poreikiui būdinga didėjimo tendencija (5 pav. a) ir vidutinis metinis absoliutus pokytis siekia 400 t kuro. Poreikis aprūpinti gėlu vandeniu didėja lėčiau, ir vidutiniškai per metus laivai, dalyvaujantys tarptautinio junginio užduotyse, sunaudoja 135 t gėlo vandens daugiau. Aprūpinimo tepalu ir provizija būdingas poreikio didėjimas (5 pav. b): vidutinis kasmetinis poreikio didėjimo metinis absoliutusias pokytis sudaro 0,26 t, aprūpinimo provizija vykdant tarptautines junginio užduotis vidutinis kasmetinis absoliutusias pokytis – po 0,063 t.



5 pav. KJP laivų aprūpinimas, tonomis: (a) kuru ir gėlu vandeniu; (b) tepalu ir provizija

Šaltinis: KJP metinės ataskaitos 2013-2017 m.

Vertinant tarptautinio karinio jūrų flotilės junginio laivų techninius duomenis (1 lentelė), nustatyta, kad nors KJP flotilę sudarančių priešmininių laivų diviziono laivų techninės savybės yra skirtingos, tačiau šie laivai dažnai komplektuojami į vieną junginį, nes dėl laivų ilgio bei pločio parametrų laivų autonomiškumas skiriasi tik dvejomis paromis, o dėl techninių galimybių ir gramzdos galima vykdyti veiklą panašiuose plaukiojimo regionuose.

1 lentelė

#### Tarptautinio karinių jūrų pajėgų junginio naudojamų laivų techninės charakteristikos

| Laivas | Ilgis (m) | Plotis (m) | Aukštis (m) | Gramzda (m) | Kuro talpa (t) | Gėlo vandens talpa (t) | Igula | Kuro sąnaudos kg/val. | Kuro sąnaudos per parą (t) | Autonomiškumas paromis pagal kurą | Maistas dienomis |
|--------|-----------|------------|-------------|-------------|----------------|------------------------|-------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------|
| M1     | 47,10     | 8,30       | 20,0        | 3,71        | 27,40          | 12,70                  | 43    | 240/80                | 5,70                       | 4                                 | 7                |
| M3     | 60,3      | 10,4       | 25,0        | 3,23        | 55,26          | 28,87                  | 40    | 300/80                | 7,20                       | 6                                 | 7                |
| AL N42 | 64,40     | 12,17      | 25,6        | 4,60        | 238,0          | 86,0                   | 52    | 300                   | 7,20                       | 30                                | 28               |
| PL2    | 36,50     | 6,20       | 15,0        | 1,80        | 13,90          | 1,50                   | 22    | 300                   | 7,20                       | 1,5                               | 3                |
| PL1    | 54,0      | 9,0        | 21,0        | 2,50        | 55             | 12,0                   | 27    | 400                   | 9,60                       | 4                                 | 7                |

Šaltinis: sudaryta autorių

KJP aprūpinimo laivas štabas N42 yra vadovavimo ir aprūpinimo laivas priešmininių laivų divizione. N42 yra laivas-vadovietė, iš kurio vadovaujama mokymams ir operacijoms jūroje, laivas vykdo minų paiešką ir nukenksminimą bei aprūpina laivus ir karo laivų flotilę. Laivas priskiriamas „Vidar“ klasės laivams, kurie gali gabenti didelį kiekį vandens, kuro, maisto ir kitų atsargų, reikalingų kitiems, didesnio masto operacijose dalyvaujantiems, laivams, nes jie gali papildyti atsargas nesugrįždami į uostą. Taip taupomos kuro sąnaudos ir operacijų laikas. Laivas gali aptarnauti jūroje 8-10 laivų. Dažniausiai šis laivas atlieka užduotis junginiuose, veikiančiuose šiaurės Europos vandenyse, kur vykdomos išminavimo operacijos jūroje, dalyvaujant NATO šalių tarptautiniuose mokymuose ir pratybose su NATO partneriais. Laivo autonomiškumas yra 30 parų ir 5-8 kartus viršija šį kitų tarptautinio junginio laivų rodiklį. Įdiegta aprūpinimo kuru bei gėlu vandenius technologinės sistema sudaro galimybę vienu metu teikti aprūpinimą tik vienam laivui, todėl planuojama šiame laive atnaujinti technologinę kuro tiekimo įrangą, kad galima būtų vienu metu kuru aprūpinti du laivus.

Vertinant tarptautinio junginio užduoties metu aprūpinimo technologinį procesą, aprūpinimo procesą jūroje planavimo trukmė nėra įskaičiuojama. Viena vertus, tai yra preliminarus etapas, sudarantis prielaidas tinkamai pasiruošti aprūpinimo procesui. Kita vertus, planavimo procedūra vykdoma informacinėje sistemoje, ir yra pakankamai optimizuota trukmės požiūriu. Planavimas yra viena iš būtinųjų sąlygų, kuri turi būti išpildyta, kad technologinis aprūpinimo kuru jūroje procesas galėtų vykti, ir planavimo procesas operacinio pajėgumo rodiklio požiūriu yra vykdomas laivo autonomiškumo periodo metu.

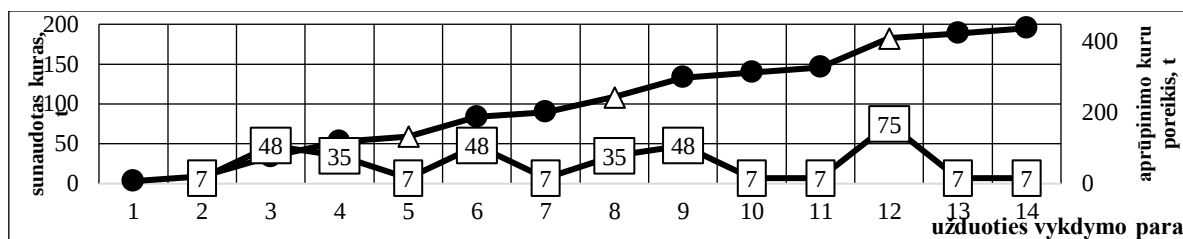
Analizuojant viso tarptautinio junginio, atliekančio užduotis jūroje, autonomiškumą, remiantis laivų autonomiškumo rodikliais ir aprūpinimo proceso technologiniais procedūriniais parametrais, galima viso tarptautinio junginio autonomiškumą įvertinti taip, kaip parodyta 2 lentelėje. Kiekvieno laivo autonomiškumo ir kuro talpos rodikliai bei aprūpinimo planavimo taisyklės, apibrėžtos Karinių jūrų pajėgų standartinės veiklos procedūrose (2015), sudaro prielaidą teigti, kad kuro poreikis susidaro tada, kai laivo talpose yra mažiau nei 50% kuro atsargų, ir bendras viso junginio autonomiškumo rodiklis tada siekia 3-5 paras, išskirtiniais atvejais – 6 paras. Toks vidutinių kuro sąnaudų chronometražinis išdėstymas leidžia daryti prielaidą, kad dažniausiai praktikoje formuojamo junginio aprūpinimo procesas vyksta kiekvieną parą. Remiantis bendro junginio autonomiškumo rodikliu galima teigti, kad aprūpinimo procesas užduoties metu yra vykdomas kasdien, o aprūpinimo laivo atsargų papildymas yra vykdomas kas 3-5 užduoties vykdymo paras, kai aprūpinti kuru reikia daugiau nei vieną laivą, tai vienos atsargų talpyklos eksploatacinis periodas trunka 2 paras.

2 lentelė

| Tarptautinio karinio junginio bendras autonomiškumo rodiklis |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
|--------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Paros                                                        | 1     | 2     | 3     | 4     | 5    | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12   | 13    | 14    |
| (M1) 4 paros                                                 |       |       | 14    |       |      | 14    |       |       | 14    |       |       | 14   |       |       |
| (M3) 6 paros                                                 |       |       |       | 28    |      |       |       | 28    |       |       |       | 28   |       |       |
| PL (P2) 1,5 paros                                            |       | 7     | 7     | 7     | 7    | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7     | 7    | 7     | 7     |
| PL (P1) 4 paros                                              |       |       | 27    |       |      | 27    |       |       | 27    |       |       | 27   |       |       |
|                                                              |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
| Aprūpinimas, t                                               |       | 7     | 48    | 35    | 7    | 48    | 7     | 35    | 48    | 7     | 7     | 75   | 7     | 7     |
| Jotvingis                                                    | 7,2   | 7,2   | 7,2   | 7,2   | 7,2  | 7,2   | 7,2   | 7,2   | 7,2   | 7,2   | 7,2   | 7,2  | 7,2   | 7,2   |
| sąnaudos, t/parą                                             |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
| Bendras sunaudotas kuro kiekis, t                            | 7,2   | 14,2  | 55,2  | 42,2  | 14,2 | 69,2  | 14,2  | 42,2  | 55,2  | 14,2  | 14,2  | 82,2 | 14,2  | 14,2  |
| Atsargos, 238 t                                              | 230,8 | 216,6 | 161,4 | 119,2 | 105  | 168,8 | 154,6 | 112,4 | 182,8 | 168,6 | 154,4 | 72,2 | 223,8 | 209,6 |
|                                                              | 97%   | 91%   | 68%   | 50%   | 44%  | 71%   | 65%   | 47%   | 77%   | 71%   | 65%   | 31%  | 94%   | 88%   |

Šaltinis: sudaryta autorių

Apskaičiavus laivų aprūpinimo kuru dviejų savaitių, t.y. 14 parų, tarptautinio junginio kuro poreikio dinamiką, galima matyti, kad nors aprūpinimo laivo techniniai parametrai sudaro galimybes išteklius papildyti 2 kartus per 14 parų, egzistuojančios normatyvinės teisinės standartizacijos normos siekiant mažinti išteklių stokos riziką nenumatytomis aplinkybėmis reglamentuoja kuro išteklių papildymą tris kartus per tą patį periodą. Analizuojant bendrą aprūpinimo poreikio dinamiką tarptautiniame junginyje užduoties metu, galima matyti, kad remiantis planavimo procedūromis, aprūpinimo procesas turi tam tikrą ciklišumą, kuris fiksuojamas periodu T=14 parų (6 pav.). Dėl to galima lanksčiai ir optimaliai planuoti išteklius.



6 pav. Aprūpinimo kuru poreikio vidutinis pasiskirstymas užduoties vykdymo metu 14 parų periodu

Šaltinis: sudaryta autorių

Remiantis aprūpinimo proceso dokumentacijos ir ataskaitų duomenis, iš aprūpinimo laivo į kitus laivus kuras perduodamas 6 barų slėgiu. Vadovaujantis priimamo kuro kokybės sertifikatu kuro faktinis tankis priėmimo metu yra 0,860 g/l, todėl kuro tekėjimo greitis iš aprūpinimo laivo į aprūpinamo laivo rezervuarus yra lygus 1,343 m/s. Kadangi aprūpinimas kuru yra vykdomas 50 mm spindulio vamzdžiu, tai vamzdžio skerspjūvio plotas yra 0,00785 m<sup>2</sup>. Remiantis šiais technologiniais aprūpinimo kuru jūroje parametrais, apskaičiuota, kad iš aprūpinimo laivo kuras paduodamas į aprūpinamus kuru laivus 10,55 m<sup>3</sup>/h sparta. Analizuojant aprūpinimo kuru trukmės skaičiavimų rezultatus (3 lentelė), nustatytas laivų aprūpinimo kuru technologinio kuro perdavimo iš laivo į laivą proceso operacijų trukmės pasiskirstymas, ir galima teigti, kad aprūpinimas kuru yra pakankamai ilgas procesas, galintis trikdyti standartinių karinių procedūrų vykdymą, ypatingai veikiant nenumatytais atvejais ir nenumatytomis aplinkybėmis.

3 lentelė

| Aprūpinimo kuru procedūrų vidutinė trukmė |                           |                                 |
|-------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Laivas                                    | Kuro talpa m <sup>3</sup> | Aprūpinimo procedūros trukmė, h |
| Prieš mininis (M1)                        | 31,236                    | 2,96                            |
| Prieš mininis (M3)                        | 62,996                    | 5,97                            |
| PL (P2)                                   | 15,846                    | 1,50                            |
| PL Patrulinis (P1)                        | 62,7                      | 5,94                            |

Šaltinis: sudaryta autorių

Atsižvelgiant į junginio laivų aprūpinimo kuru procedūros trukmę, galima apskaičiuoti faktinį aprūpinimo laivo operacinio pasirengimo rodiklį bei prognozuojamą rodiklį, kuris skaičiuojamas remiantis prielaida, kad modernizuota aprūpinimo kuru sistema vienu metu sudaro sąlygas aptarnauti du laivus. Pažymėtina, kad siekiant pademonstruoti technologinės modernizacijos svarbą operaciniam pasirengimui, analizuojama tik aprūpinimo kuru procedūros trukmė, kadangi kitos procedūros yra fiksuotos teisiniuose procedūros vykdymo reglamentuose ir nekinta dėl kuro sistemos technologinių parametrų pakeitimo.

Faktinio ir prognozuojamo operacinio pasirengimo rodiklio duomenys pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė

**Tarptautinio junginio laivų aprūpinimo kuru jūroje operacinio pasirengimo rodiklis**

| Aprūpinimo trukmė, h                | Paros |                       |      |      |      |                     |      |      |      |                      |      |      |      |      |
|-------------------------------------|-------|-----------------------|------|------|------|---------------------|------|------|------|----------------------|------|------|------|------|
|                                     | 1     | 2                     | 3    | 4    | 5    | 6                   | 7    | 8    | 9    | 10                   | 11   | 12   | 13   | 14   |
| (M1), h                             |       |                       | 1,51 |      |      | 1,51                |      |      | 1,51 |                      |      | 1,51 |      |      |
| (M3), h                             |       |                       |      | 3,03 |      |                     |      | 3,03 |      |                      |      | 3,03 |      |      |
| PL (P2), h                          |       | 0,76                  | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76                | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76                 | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,76 |
| PL (P1), h                          |       |                       | 2,92 |      |      | 2,92                |      |      | 2,92 |                      |      | 2,92 |      |      |
| Aprūpinimo laikas, h                | 0     | 0,76                  | 5,19 | 3,79 | 0,76 | 5,19                | 0,76 | 3,79 | 5,19 | 0,76                 | 0,76 | 8,2  | 0,76 | 0,76 |
| Prognozuojamas aprūpinimo laikas, h | 0     | 0,76                  | 3,68 | 3,03 | 0,76 | 3,68                | 0,76 | 3,03 | 3,68 | 0,76                 | 0,76 | 4,54 | 0,76 | 0,76 |
| Faktinis $O_p$ (0,91)               |       | $120/(120+10,5)=0,92$ |      |      |      | $72/(72+9,74)=0,88$ |      |      |      | $96/(96+14,93)=0,87$ |      |      |      | 0,98 |
| Prognozuojamas $O_p$ (0,94)         |       | $120/(120+8,23)=0,94$ |      |      |      | $72/(72+7,74)=0,91$ |      |      |      | $96/(96+9,74)=0,91$  |      |      |      | 0,98 |

Šaltinis: sudaryta autorių

Apibendrinant operacinio pasirengimo rodiklio reikšmes (4 lentelė), galima teigti, jog pagal standartinėmis sąlygomis vykdomos aprūpinimo procedūros 14 parų trukmės vieno periodo pasiskirstymą, empirinis operacinio pasirengimo rodiklis yra lygus 0,91. Išanalizavus galimybes sutrumpinti aprūpinimo trukmės laiką ir technologškai aprūpinimo procesą vykdant lygiagrečiai dviem laivams, operacinio pasirengimo rodiklio prognozuojama reikšmė padidėtų iki 0,94. Galima daryti išvadą, jog aprūpinimo kuru tarptautinio karinio junginio laivų jūroje proceso efektyvumo padidinimas sudarytų sąlygas padidinti operacinio pasirengiamumo rodiklį mažiausiai 3%, neatsižvelgiant į kitų technologinio proceso vykdymo operacijų trukmę.

### Išvados

1. Tarptautinio karinio junginio aprūpinimo atsargomis jūroje vykdant tarptautines užduotis procesui būdinga itin griežta specialiosios karinio junginio operacinės parengties vertinimo metodika, taikoma vertinant galimybę dalyvauti tarptautinėse karinėse operacijose. Šioje metodikoje aprūpinimo atsargomis santykinis rodiklis yra vienas iš keturių karinių jūrų pajėgų pasirengimo vykdyti tarptautines užduotis rodiklių, kuriuo remiantis yra įvertinama karinių jūrų pajėgų galimybė įgyvendinti NATO aljanso įsipareigojimus.

2. Išanalizavus Lietuvos kariuomenės karinių jūrų pajėgų štabo laivo tarptautinio junginio jūroje aprūpinimo procesą, nustatyta, kad 2013–2017 m. laikotarpiu aprūpinimo kuru ir gėlu vandeniu poreikis didėja, atitinkamai didėjant ir tarptautinių užduočių skaičiui bei jų trukmei, o laivų aprūpinimo procesui keliami reikalavimai griežtėja technologinių aprūpinimo proceso našumo didinimo požiūriu.

3. Įvertinus Lietuvos kariuomenės karinių jūrų pajėgų štabo aprūpinimo laivo tarptautinio junginio jūroje aprūpinimo technologinio proceso operacinio pasirengimo faktinį ir prognozuojamą rodiklį bei remiantis technologinių operacijų analizės rezultatais buvo nustatyti ribiniai junginio laivų autonomiškumo taškai bei pagrįsta prielaida, kad didinant laivų aprūpinimo kuru proceso našumą ir kuru aprūpinant ne vieną, o du laivus vienu metu, galima operacinės parengties rodiklį padidinti mažiausiai 3 procentais. Toks rodiklis atitinka esamus tarptautinio karinio junginio aprūpinimo laivui keliamus operacinės parengties normatyvus.

### Literatūra

1. Board on army science and technology: force multiplying technologies for logistics support to military operations. Division on engineering and physical sciences. (2014) [interaktyvus]. Prieiga internetu: <https://www.nap.edu/download/18832> [žiūrėta: 2019-01-15].
2. Haraburda, S. (2016). Transforming military support processes from logistics to supply chain management. Army sustainment, p.12-25, [interaktyvus]. Prieiga internetu: <https://alu.army.mil/alog/2016/marapr16/pdf/162197.pdf> [žiūrėta: 2019-02-01].
3. Haraburda, S., S. (2016). Transforming military support processes from logistics to supply chain management. Army sustainment, 12-25.
4. Hunter, M. (2014). Naval Logistics Integration through Interoperable Supply Systems. Master thesis of military art and sciences. Kansas: Fort Leavenworth.
5. Karinių jūrų pajėgų standartinės veiklos procedūros. (2015). Karinių jūrų pajėgų vado įsakymas Nr. V–276.
6. Lietuvos Respublikos Krašto apsaugos ministro įsakymas dėl krašto apsaugos ministro 2016 m. gruodžio 1 d. įsakymo Nr. V-1107 „Dėl Krašto apsaugos sistemos 2017-2019 m. strateginio veiklos plano patvirtinimo“ pakeitimo, Nr. V-484, 2017 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: [https://kam.lt/lt/administracine\\_informacija\\_planavimo\\_dokumentai\\_579/dokumentu\\_archyvas.html](https://kam.lt/lt/administracine_informacija_planavimo_dokumentai_579/dokumentu_archyvas.html) [žiūrėta: 2019-01-05].
7. Lietuvos Respublikos krašto apsaugos sistemos organizavimo ir karo tarnybos įstatymas. Valstybės žinios, Nr. 49-1325, 1998.

8. Truba R., Randy, H. (2012). Naval logistics integration: Adaptable, flexible, and critical. *The Navy Supply Corps Newsletter*, p. 10-12.

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF INTERNATIONAL COMPOUND'S LOGISTICS PROVISIONING TECHNOLOGY ON LEVEL OF THE OPERATIONAL PREPAREDNESS

### Summary

The operational capacity indicator is one of the indicators of the maritime navy's compound's readiness to carry out the special naval tasks. Depend on this reason it is important to assess the relationship between the process of logistic supply of the international marine naval compound and its technological development with the changes of the operational capacity indicator within the international standards. The research object is operational capacity of the logistical supply vessel of international marine navy compound. The aim of the research is to evaluate the operational readiness of the logistical supply vessel of international marine naval compound in the context of the modernization of supply technology. Research objectives are: to describe the specific of the maritime logistic supply process; to analyse the duration of the technological supply process of international maritime naval compound, depending on the technological parameters of the vessels; to evaluate changes in the operational capacity of the international maritime naval compound depending on the solution of the supply technology. The research methods are analysis of the scientific literature, timing, and analysis of the technological operations and interpretation of the results by presenting conclusions. The main idea of the research is to establish variation of the operational capacity of the technological process of the international military division servicing when technological process capacity of the fuel supply changes. In order to reveal this idea, the research contains definition of the servicing process military division in the sea, the reason is provided for the fuel supply issue, and the index of preparation for servicing operations is being distinguished. The results of the empirical research allow asserting that by increasing the capacity of the technological process of the fuel supply, the duration of the operation decreases; therefore, the operational preparation index increases what allows increasing the conformity to the international standards.

### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Elena Valionienė.

**Darbo vietą ir poziciją:** Lietuvos aukštosios jūrėivystės mokyklos uosto ir ekonomikos katedros lektorė, IT laboratorijos vedėja, Mykolo Romerio universiteto vadybos krypties doktorantė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** informacijos sistemos, statistinis modeliavimas, vadyba, jūrų transporto sektorius.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 698 36297, [e.valioniene@lajm.lt](mailto:e.valioniene@lajm.lt).

**Autoriaus vardas, pavardė:** Rima Mickienė

**Darbo vietą ir poziciją:** Lietuvos aukštosios jūrėivystės mokyklos uosto ir ekonomikos katedros lektorė, Mykolo Romerio universiteto ekonomikos krypties doktorantė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** jūrų transportas, jūrų uostų ekonomika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 46 397 253, [r.mickiene@lajm.lt](mailto:r.mickiene@lajm.lt)

### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Elena Valionienė

**Science degree and name:** Msc., PhD. Student in field of Management

**Workplace and position:** Lithuanian Maritime Academy, lecturer, Head of IT lab; doctoral student of Mykolas Romeris University

**Author's research interests:** information systems, statistical modeling, management, maritime transport sector

**Telephone and e-mail address:** 8 698 36297, [e.valioniene@lajm.lt](mailto:e.valioniene@lajm.lt).

**Author name, surname:** Rima Mickienė

**Science degree and name:** Msc., PhD. Student in field of Economics

**Workplace and position:** Lithuanian Maritime Academy, lecturer of Port Economics and Management department, doctoral student of Mykolas Romeris University

**Author's research interests:** maritime transport, seaport economics

**Telephone and e-mail address:** 8 46 397 253, [r.mickiene@lajm.lt](mailto:r.mickiene@lajm.lt)

# SANDĖLIAVIMO PROCESO BALTIJOS LOGISTIKOS CENTRO ŠALDYTUVE TECHNOLOGINIS VERTINIMAS

**Saulius Lileikis, Vilius Rubinas**  
*Lietuvos aukštoji jūrėivystės mokykla*

## **Anotacija**

Dėl didėjančios šalėdytų maisto produktų apyvartos Baltijos logistikos centro šalėdytuve svarbu numatyti geresnes sandėliavimo apimčių technologines galimybes. Tyrimo objektu pasirinktos sandėliavimo proceso technologijos Baltijos logistikos centro šalėdytuve. Prieš numatant bei įvertinant minėtas sandėliavimo proceso Baltijos logistikos centro šalėdytuve tobulinimo technologines galimybes straipsnyje teikiama atlikta Baltijos logistikos centro šalėdytuvo krovo procesų technologinės situacijos analizė. Šiai analizei ir vertinimui taikyti tyrimo metodai – mokslinės literatūros analizė, Baltijos logistikos centro veiklos rodiklių analizė, statistinė analizė, technologinių operacijų analizė, chronometrinis stebėjimas, lyginamoji analizė, PERT metodas, prognozavimas.

**REIKŠMINIAI ŽODŽIAI:** logistikos centras, šalėdytuvas, sandėliavimas, technologija.

## **Įvadas**

*Tyrimo problemos aktualumas.* Sparčiai tobulėjančios technologijos logistikos sektoriuje leidžia palaikyti aukštą krovinų kokybę gabenimo ir sandėliavimo metu. Kur gamyba specializuota, neišvengiami tolimieji vežimai. Krovinų vežimo paslaugas teikiantys verslininkai turi garantuoti didžiausią operacijų ekonomiškumą. Vežimo efektyvumo didėjimas mažina krovinų saugojimo išlaidas, o saugojimo sandėliuose efektyvumo didinimas užtikrina aukštą krovinų saugumo laipsnį laukiant, kol jie bus išvežti (Baublys, 2016).

Skirtingi produktai reikalauja skirtingų laikymo sąlygų, kartais specifinių, kad krovinys išlaikytų savo kokybę. Kuo geresnės krovinų transportavimo ir laikymo sąlygos, tuo maisto produktas bus šviežesnis ir kokybiškesnis.

Tinkamas aplinkos sąlygas palaikantys sandėlių įrengimai turi veikti sklandžiai, kad nebūtų pakitęs temperatūros diapazonas ir produktai nesugestų. Pakitus maisto žaliavų laikymo sąlygoms atitinkamoje terpėje spėję išplisti mikroorganizmai maisto produktuose gali sugadinti didelę dalį krovinio. Todėl ypač svarbus šalėdytų maisto produktų sandėliavimo proceso aspektas – maisto kontrolė.

Dėl didėjančios šalėdytų maisto produktų apyvartos Baltijos logistikos centro šalėdytuve svarbu aktualizuoti geresnes sandėliavimo apimčių technologines galimybes.

*Tyrimo objektas* – sandėliavimo proceso technologijos Baltijos logistikos centro šalėdytuve.

*Straipsnio tikslas* – numatyti sandėliavimo proceso Baltijos logistikos centro šalėdytuve tobulinimo technologines galimybes.

*Tyrimo uždaviniai:*

1. Analizuoti krovo procesų Baltijos logistikos centro šalėdytuve technologinę situaciją.
2. Įvertinti krovo procesų Baltijos logistikos centro šalėdytuve tobulinimo technologines galimybes.

*Tyrimo metodai:* mokslinės literatūros analizė, Baltijos logistikos centro veiklos rodiklių analizė, statistinė analizė, technologinių operacijų analizė, chronometrinis stebėjimas, lyginamoji analizė, PERT metodas, prognozavimas.

*Metodologinė nuostata* – verslo įmonės tvarios veiklos filosofija, kuri nurodo atsakingai derinti bei integruoti socialinius, technologinius, ekonominius bei ekologinius verslinės veiklos kriterijus.

*Straipsnio struktūra.* Straipsnį sudaro du skyriai: krovo procesų Baltijos logistikos centro šalėdytuve technologinė situacija ir krovo procesų minėtame šalėdytuve tobulinimo technologinės galybės.

## **Krovo procesų Baltijos logistikos centro šalėdytuve technologinė situacija**

Baltijos logistikos centro šalėdytuvo sandėliavimo technologiniame procese krovo operacijos atliekamos dalyvaujant skirtingoms transporto rūšims. Geležinkelio transporto ir autotransporto krova vyksta krovo rampose. Minėtame šalėdytuve krovinų krova skirstoma į krovinio priėmimą iš jūrinių refrižeratorinių konteinerių ant automobilinių platformų ir sunkvežimių su refrižeratoriais, ir į krovinio išdavimą į refrižeratorinius vagonus, konteinerius ant platformų ir sunkvežimius su refrižeratoriais.

Analizuojant krovinų krovo procesų Baltijos logistikos centro šalėdytuve technologinę situaciją, atliktas chronometrinis stebėjimas, fiksuojant šalėdytuvo krovo operacijų pradžios ir pabaigos laiką. Stebėtos krovinų priėmimo ir išdavimo operacijos („in“ / „out“).

Nuo transporto priemonės techninių charakteristikų priklauso technologinio apdorojimo procesų trukmė. Paletuotas (šalėdytas) krovinys Baltijos logistikos centro šalėdytuve kraunamas iš 3 rūšių refrižeratorinių

jūrinių konteinerių. 1 lentelėje pateiktos centre ant platformų kraunamų pagrindinių refrižeratorinių konteinerių techninės charakteristikos.

**1 lentelė**

**Refrižeratorinių jūrinių konteinerių charakteristikos**

| Tipas       | Išoriniai gabaritai (m) |        |         | Tūris (m <sup>3</sup> ) | EURO palečių talpa (vnt.) | Maks. pakrova (kg) | Palaikoma temperatūra |
|-------------|-------------------------|--------|---------|-------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------|
|             | ilgis                   | plotis | aukštis |                         |                           |                    |                       |
| 20' pėdų    | 6,06                    | 2,044  | 2,60    | 28,31                   | 10                        | 20 800             | -25/+25 C             |
| 40' pėdų    | 12,19                   | 2,438  | 2,59    | 57,76                   | 20                        | 25 500             |                       |
| 40' pėdų HC | 12,19                   | 2,440  | 2,90    | 66,37                   | 20                        | 25 900             |                       |

Šaltinis: UAB „Balthana“. (2012). Bendra konteinerių-šaldytuvų techninė charakteristika. Prieiga per internetą: <<https://www.balthana.lt>>.

Krovinių krova šaldytuve vyksta iš/i sunkvežimius su refrižeratoriais. Standartinių įmonėje kraunamų autotransporto priemonių techninės charakteristikos nurodytos 2 lentelėje.

**2 lentelė**

**Refrižeratorinio autotransporto techninės charakteristikos**

| Tipas       | Vidaus matmenys (mm) |           |           | EURO palečių talpa | Naudingas tūris (m <sup>3</sup> ) | Maks. pakrova (t) | Palaikoma temperatūra |
|-------------|----------------------|-----------|-----------|--------------------|-----------------------------------|-------------------|-----------------------|
|             | ilgis                | plotis    | aukštis   |                    |                                   |                   |                       |
| Puspriekabė | 13350/13620          | 2430/2480 | 2570/2700 | 33                 | 86                                | 24                | -25 °C /+25 °C        |

Šaltinis: UAB „Eurodata“. (2018). Transportas. Prieiga per internetą: <<http://www.eurodata.lt>>.

Iki Baltijos logistikos centro šaldytuvo yra nutiesta geležinkelio linija (vėžė – 1520 mm pločio). Šaldyta produkcija kraunama į refrižeratorinius (izoterminius) vagonus. 3 lentelėje – šių vagonų techninės charakteristikos. Šaldytas krovinyas kraunamas izoterminiame vagone tik išdavimo procese.

**3 lentelė**

**Refrižeratorinio vagono techninės charakteristikos**

| Vidiniai išmatavimai (mm) |        |         | Naudingas tūris (m <sup>3</sup> ) | Leistina pakrova (t) | EURO palečių talpa | Palaikoma temperatūra |
|---------------------------|--------|---------|-----------------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|
| ilgis                     | plotis | aukštis |                                   |                      |                    |                       |
| 17650                     | 2500   | 2400    | 108                               | 46                   | 44                 | -25 °C /+25 °C        |

Šaltinis: UAB „VPA Logistics“. (2018). Kraunamų izoterminių vagonų išmatavimai. Klaipėda: UAB „VPA Logistics“.

Siekiant nustatyti sandėliavimo proceso probleminius punktus, atliktas transporto priemonių priėmimo ir išdavimo operacijų stebėjimas. Pasirinktas 2018 m. balandžio 16–20 d. laikotarpis. Šaldytuvo krovinių priėmimo proceso operacijų („in“) laikas minėtu laikotarpiu pateiktas 4 lentelėje.

**4 lentelė**

**Krovos vieneto priėmimo („in“) operacijų vidutinis laikas**

| Įvykis | Priėmimo operacijos |                          | Laikas                 |            |            |            |            | Darbo trukmė (min) |
|--------|---------------------|--------------------------|------------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|
|        |                     |                          | 2018-04-16             | 2018-04-17 | 2018-04-18 | 2018-04-19 | 2018-14-20 |                    |
|        |                     |                          | Operacijų trukmė (min) |            |            |            |            |                    |
| 0 – 1  | A                   | Iškrovimas į šaltą doką  | 2                      | 2          | 2          | 2          | 2          | 2                  |
| 1 – 2  | B                   | Krovinio ruošimas        | 1                      | 2          | 1,5        | 2          | 2          | 1,7                |
| 1 – 4  | C                   | Produktų identifikavimas | 2                      | 2          | 2          | 1,5        | 2          | 1,9                |
| 2 – 3  | D                   | Suvedimas į sistemą      | 1                      | 1,5        | 1,5        | 1          | 1          | 1,2                |
| 4 – 3  | E                   | Suvežimas į kamerą       | 2                      | 2          | 2,5        | 2          | 2          | 2,1                |
| 3 – 5  | F                   | Sudėjimas į stelažus     | 3                      | 3          | 3          | 3          | 3          | 3                  |

Šaltinis: UAB „VPA Logistics“. (2018). BLC šaldytuvo pamainų darbų ataskaita. Klaipėda: UAB „VPA Logistics“.

Centre krautų paletuotų krovinių svoris priklauso nuo šaldyto krovinių rūšies. Žuvies ir kitų sandėliuojamų produktų dėžių svoris – skirtingas. 5 lentelėje pateikiama centre kraunamų palečių su kroviniu svorio statistika.

**5 lentelė**

**Krovos vieneto svorio statistika**

| Krovinių rūšis | Paletės su kroviniu svoris (kg) |           |             |
|----------------|---------------------------------|-----------|-------------|
|                | Mažiausias                      | Vidutinis | Didžiausias |
| Žuvis          | 500                             | 850       | 1200        |
| Kiti produktai | 300                             | 700       | 1200        |

Šaltinis: UAB „VPA Logistics“. (2018). BLC šaldytuvo pamainų darbų ataskaita. Klaipėda: UAB „VPA Logistics“.

Krovinio išdavimo proceso stebėjimo laikotarpiu apskaičiuota vidutinė kiekvienos operacijos darbo trukmė technologškai apdorojant krovos vienetą. 6 lentelėje pateikiama krovos vieneto išdavimo („out“) operacijų trukmė.

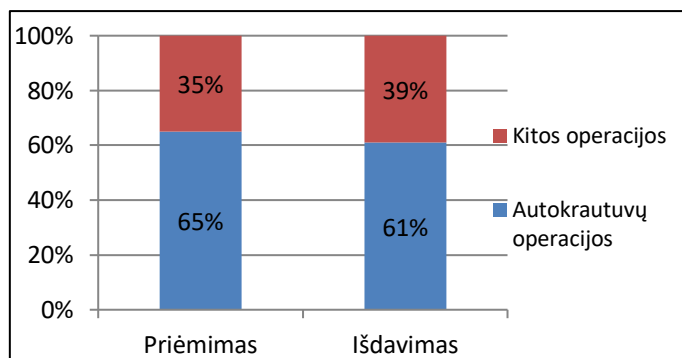
6 lentelė

**Krovos vieneto išdavimo („out“) operacijų laikas**

| Ivykis | Išdavimo operacijos |                                 | Laikas                 |            |            |            |            | Darbo trukmė (min) |
|--------|---------------------|---------------------------------|------------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|
|        |                     |                                 | 2018-04-16             | 2018-04-17 | 2018-04-18 | 2018-04-19 | 2018-04-20 |                    |
|        |                     |                                 | Operacijų trukmė (min) |            |            |            |            |                    |
| 0 – 1  | A                   | Produktų identifikavimas        | 1                      | 1          | 1,5        | 1          | 1          | 1,2                |
| 1 – 2  | B                   | Krovinio išėmimas iš stelažų    | 2                      | 2          | 2          | 2,5        | 2,5        | 2,2                |
| 1 – 4  | C                   | Duomenų suvedimas į sistemą     | 1                      | 1          | 1,5        | 1          | 1          | 1,2                |
| 2 – 3  | D                   | Krovinio suvežimas į šaltą doką | 2                      | 2          | 2          | 2          | 2          | 2                  |
| 4 – 3  | E                   | Krovinio ruošimas               | 2                      | 2          | 1,5        | 2          | 2          | 1,9                |
| 3 – 5  | F                   | Krova į transporto priemonę     | 2                      | 2          | 2          | 2          | 2          | 2                  |

Šaltinis: UAB „VPA Logistics“. (2018). BLC šaldytuvo paminų darbų ataskaita. Klaipėda: UAB „VPA Logistics“.

Šaldytuvo krovinį krovos pirmadienio – penktadienio pamainos trukdavo po 12 valandų (nuo 8 val. iki 20 val.). Pakrovos darbams atlikti sudaromi krovos planai, kuriuose surašyti planiniai duomenys apie planuojamą krauti krovinį. Autokrautuvai paskirstomi sandėliavimo operacijoms pagal tipą. 1 paveiksle autokrautuvų operacijų trukmės dalis palyginama su kitomis operacijomis.

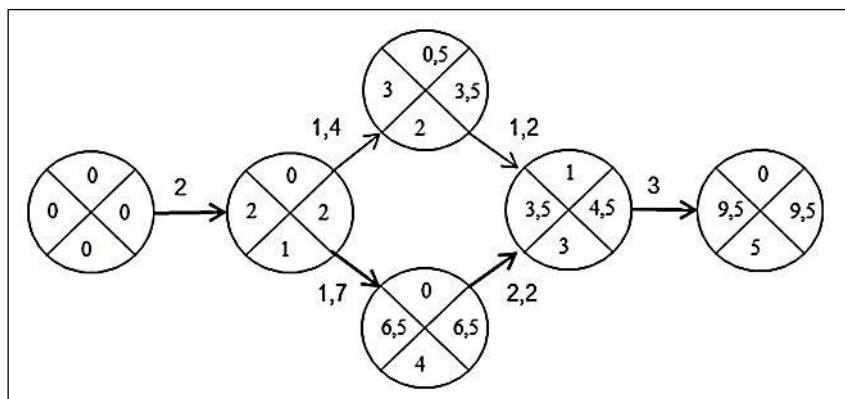


**1 pav.** Vieno krovos vieneto priėmimo ir išdavimo operacijų autokrautuvais trukmės dalis

Šaltinis: UAB „VPA Logistics“. (2018). BLC šaldytuvo paminų darbų ataskaita. Klaipėda: UAB „VPA Logistics“.

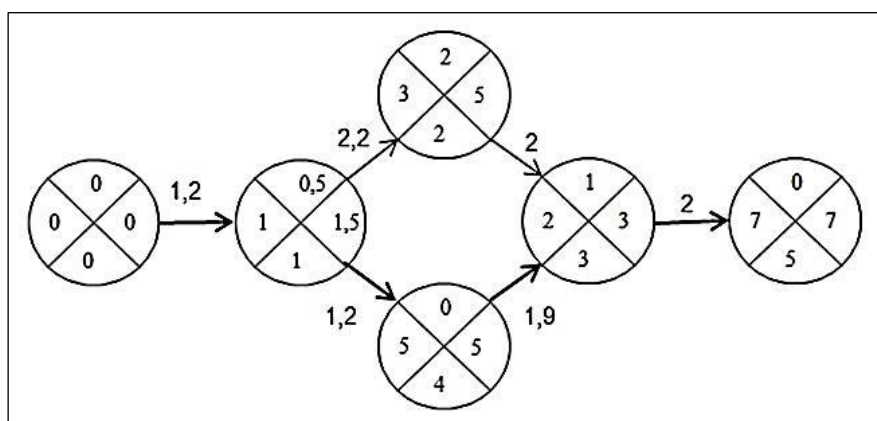
Technologiniame sandėliavimo procese krovos operacijos yra labai svarbios. 50 % sandėliavimo operacijų atliekama autokrautuvais. Operacijos yra transporto priemonių krova, transportavimas šaldytuve, krovinį nuleidimas/užkėlimas ant stelažų.

Tinklinis grafikas vaizduoja operacijų Baltijos logistikos centro šaldytuve tvarką ir eiliškumą. Apskritimuose nurodytas anksčiausias ir vėliausias įvykių laikas, taip pat rezervas. Laiko rezervas rodo, kiek laiko gali būti uždelsti įvykiai. Daugiausia įvykių, neturinčių laiko rezervo, yra kritiniuose keliuose, dėl kurių gali kilti krovos prastovos rizika. Pateiktuose krovinį krovos procesų tinkliniuose grafikuose PERT metodu nustatyti kritiniai keliai (grafikuose pažymėti paryškintomis rodyklėmis). Straipsnio autorių sudarytas šaldytuvo krovos vieneto priėmimo proceso tinklinis grafikas – 2 paveiksle.



**2 pav.** Šaldytuvo priėmimo proceso tinklinis grafikas

Krovinių priėmimo proceso kritinis kelias eina per įvykius 0,1,4,3,5. Krovinių priėmimo ir išdavimo operacijose rodyklės tarp įvykių žymi operacijas ir jų trukmę. Priėmimo procese kritinis kelias ( $L_{kr}$ ) stebėtu laikotarpiu truko 8,9 min (534 s).  $L_{kr}$  buvo ilgesnis 1,3 minutės už trumpiausią kelią (7,6 min). Krovinių priėmimo proceso įvykiai, neturintys rezervo, yra iškrova į šaltą doką, suvežimas į kamara, sudėjimas į stelažus. 3 paveiksle – straipsnio autorių sudarytas šaldytuvo išdavimo proceso tinklinis grafikas.



**3 pav.** Šaldytuvo išdavimo proceso tinklinis grafikas

Analizuojant krovinių išdavimą stebėtu laikotarpiu nustatyta, kad įvykiai, neturintys laiko rezervo, yra krova į transporto priemonę ir duomenų suvedimas į sistemą. Krovos vieneto išdavimo operacijų sekoje pažymėtas kritinis kelias, kurio darbų seka 0,1,4,3,5. Išdavimo operacijų kritinio kelio ( $L_{kr}$ ) trukmė – 9,1 min (546 s).  $L_{kr}$  ilgesnis 1,7 minutės už trumpiausią kelią.

Priimtų transporto priemonių srautas stebėtu laikotarpiu sudarė 59 % visų transporto priemonių srauto. Išduotų transporto priemonių srauto dalis sudarė 41 % nuo visų transporto priemonių dalies. Iš viso stebėjimo laikotarpiu priimti 1526 paletuoti krovos vienetai iš 78 transporto priemonių. Išduotas 1061 paletuotas krovinsys į 55 transporto priemones. Bendras priimtų palečių svoris siekė 822,01 t, išduotų – 1182,9 t. Nuo balandžio 16 iki 20 d. šaldytuve perkrauta 2,005 tūkst. t krovinių. Sezono metu pagal palečių skaičių žuvies kraunama daugiau nei kitų produktų. Šaldyta žuvies produkcija krovinių priėmimo ir išdavimo procesuose sudarė 77 % (1990 palečių) visų krovinių srauto. Kiti produktai minėtuose krovinių apdorojimo procesuose sudarė 23 % (597 palečių). Vietinės reikšmės pervežimų skaičius stebėtu laikotarpiu sudarė 29 transporto priemones, o tarptautinių – 104. Krova vykdavo į skirtingų charakteristikų transporto priemones. 78 % krovinių pervežimų vykdavo tarptautiniais maršrutais (104 transporto priemonės). 22 % pervežimų buvo Lietuvos teritorijoje (29 transporto priemonės).

Pilnai pakrauta transporto priemonė yra tuomet, kai krovinsys joje užima visą kroviniui skirtą plotą (krovos vietas – EURO paletę). Išdavimo procese iš dalies pakrautų transporto priemonių buvo 11 %. Likusi dalis – 89 % sudarė pilnai pakrautos transporto priemonės. Iš 78 transporto priemonių pilnai pakrautos priėmimo procese buvo 69, iš dalies – 9. Išdavimo procese iš 55 transporto priemonių pilnai pakrautos buvo 49, iš dalies – 6. Išdavimo procese pilnai pakrauti buvo refrižeratoriniai vagonai (4 vnt. po 44 paletes). Į 4 geležinkelio vagonus krauta 176 paletes, kurių bendras svoris siekė 136,4 t. Į sunkvežimius krauta 76 % visų

palečių (1971 vnt.), bendras svoris 1527,52 t. Į kontenerius krauta 17 % visų palečių su kroviniu (440 vnt.), bendras krovinių svoris 341 t.

Nuo 2018 m. balandžio 16 iki 20 d. Baltijos logistikos centro šaldytuve buvo kraunama 1 vagonų sekcija. Ją sudaro 4 (48 t) refrižeratoriniai vagonai. Sandėliavimo proceso trukmė skyrėsi dėl įvairių veiksnių, t. y. produktų tipo, jų padėties stelažuose, transporto tipo, krovinio kategorijos, krovinio transportavimo atstumo, temperatūrinio režimo, krovinio kiekio bei neplanuotų veiksnių. Krovos operacijų trukmę pakoreguoja įvairūs įrangos gedimai, saugos reikalavimų nesilaikymas. Krovos mašinų sąveika su drėgme ir žema temperatūra paveikia, kad greičiau išsenka baterijos, oksiduojasi metalai. Dėl to trumpėja autokrautuvų eksploatavimo trukmė. Prieš krovinį pakraunant į autotransportą jis turi būti sutvarkytas. Esant krovinio pažeidimams, keičiamos suplėšytos dėžės, paletuotas krovins papildomai apsučiamas pakavimo plėvele krovinio sutvirtinimui. Papildomi darbai daro įtaką krovos proceso trukmei.

#### Krovos procesų Baltijos logistikos centro šaldytuve tobulinimo technologinės galimybės

Didžiausios šaldytuvo sandėliuojamų krovinių apimtys – 300 tūkst. t per metus. Siekiant prognozuoti būsimą sandėliuojamų krovinių srautą, atliktas prognozavimas. Apskaičiuoti 2018–2022 m. abiejų prognozių vidurkiai (vidutiniai prognozės rezultatai) pavaizduoti 7 lentelėje.

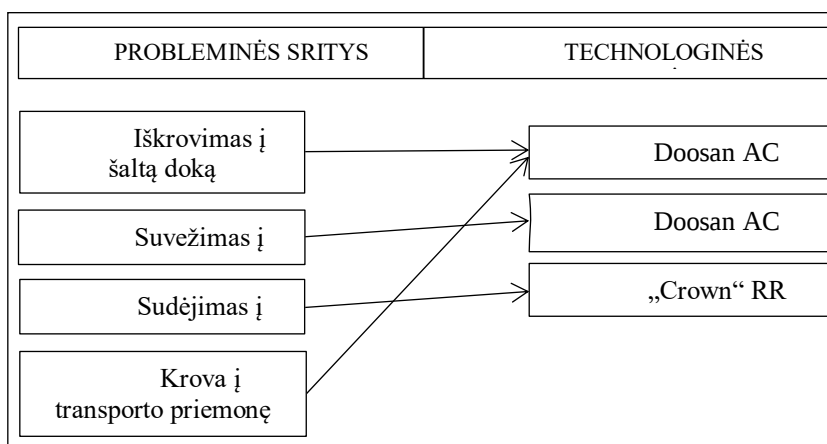
7 lentelė

Šaldytuvo sandėliavimo apimčių prognozavimo rezultatai

| F-lės nr.        | Prognozavimo būdas | Metai  |        |        |        |        |
|------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                  |                    | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
| (5)              | Gauso metodas      | 328,11 | 342,89 | 357,67 | 372,44 | 387,22 |
| (6)              | Trend              | 195,86 | 204,33 | 212,8  | 221,26 | 229,73 |
| Vidutinė reikšmė |                    | 261,98 | 273,61 | 285,23 | 296,85 | 308,36 |

Apskaičiavus 2018–2022 m. sandėliavimo apimčių prognozių vidurkius nustatyta, kad 2022 m. krovinių apimtys gali viršyti šaldytuvo sandėliavimo galimybes ir pasiekti 308,36 tūkst. t metinį krovinių srautą. 2017 m. šalia šaldytuvo pradėtas statyti 30 tūkst. t talpos šaldytuvai, kuris padidins sandėliuojamų šaldytų krovinių srauto galimybių ribas. Trend metodu nustatyta, kad krovinių srautas šaldytuve pesimistiškiausia prognoze didėtų 2022 m. pasiekiant 229,7 tūkst. t. Optimistiškiausia prognoze sandėliavimo apimtys 2022 m. sieks 264,1 tūkst. t per metus. Gauso metodu nustatyta, kad sandėliavimo apimtys nepasieks 300 tūkst. t ribos.

Įvertinus Baltijos logistikos centro šaldytuvo technologinę situaciją kyla poreikis trumpinti krovos trukmę. Be to, eksploatuojant esamus autokrautuvus pasitaiko gedimų, dėl kurių didėja sandėliavimo trukmė. Technologinė sandėliavimo proceso analizė parodė, kad krovos laikas užima 61–65 proc. visų procesų trukmės. Sandėliavimo proceso trukmę ilgina mažas autokrautuvų efektyvumas. Naujausi rinkoje esantys autokrautuvai siūlo didesnę krovos našumą, ilgesnį baterijų veikimo laiką. 4 paveiksle teikiama sandėliavimo probleminių sričių ir technologinių galimybių schema.



4 pav. Sandėliavimo proceso šaldytuve gerinimo technologinės galimybės

„Doosan“ korporacija – pramoninės įrangos gamintoja, logistikos ir krovos sektoriams tiekianti aukštos kokybės produktus nuo 1968 m. „Doosan“ autokrautuvai yra pritaikyti darbui šaldytuvuose esant žemai temperatūrai (Doosan Corporation, 2018).

Iškrovimo į šaltą doką ir pakrovimo į transporto priemonę operacijos vykdomos triračiais šakiniais krautuvais. Turėti greitus autokrautuvus sandėliavimo procese – sandėlio privalumas.

Rinkoje siūlomas Doosan AC „B20TL-7“ autokrautuvus pasižymi geresnėmis techninėmis specifikacijomis ir trumpesne krovos proceso trukme. 8 lentelėje – Doosan AC „B20TL-7“ triračio autokrautuvo pagrindinių specifikacijų palyginimas su šaldytuve naudojamo triračio autokrautuvo techninėmis charakteristikomis.

**8 lentelė**

**Doosan AC „B20TL-7“ techninių specifikacijų palyginimas**

| Pagrindinės specifikacijos             | Doosan AC „B20TL-7“ | Centre naudojamas modelis | Pranašumas (proc.) |
|----------------------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|
| Nominali apkrova (kg)                  | 2000                | 1500                      | 25                 |
| Krovinio transportavimo greitis (km/h) | 17                  | 10                        | 70                 |
| Krovinio kėlimo greitis (mm/s)         | 400                 | 320                       | 20                 |

Šaltinis: Doosan Corporation. (2018). Electric Counterbalance Forklift. 3-Wheel 1T Series. Prieiga per internetą: <<http://www.doosan-iv.com>>.

Iškrovimo į šaltą doką ir krovos į transporto priemonę operacijas Doosan AC „B20TL-7“ galėtų pagreitinti 70 %. Išvystant didesnę greitį šaldytuve operacijos laikas galėtų sumažėti nuo 2 min iki 0,66 min priėmimo ir išdavimo procesuose. „Doosan“ autokrautuvai yra pritaikyti darbui šaldytuvuose, esant žemai temperatūrai, ir turi kitų privalumų:

- „Easy Grip“ hidraulinė valdymo svirtis su priekinės ir atvirkštinės krypties keitimo jungikliu;
- „Guardian“ stabilumo sistema;
- lankstus našumo parametrų nustatymas ir stebėjimas naudojant prietaisų skydą arba paslaugų įrankį.

Pagrindinė ilgos krovinio suvežimo į kamerą trukmės priežastis – mažas naudojamo keturračio autokrautuvo krovinio transportavimo greitis. Ergonominiai Doosan AC „B20X-7“ hidrauliniai valdikliai suteikia geresnį matomumą šakių pagalba krovinį paimant arba nuleidžiant. Dėl to vykdomas sklandesnis ir greitesnis darbas šaldytuve. 9 lentelėje pateikiama Doosan AC „B20X-7“ autokrautuvo modelio palyginimas su Baltijos logistikos centro šaldytuve naudojamu keturračiu autokrautuvu.

**9 lentelė**

**Doosan AC „B20X-7“ techninių specifikacijų palyginimas**

| Pagrindinės specifikacijos             | Doosan AC „B20X-7“ | Centre naudojamas modelis | Pranašumas (proc.) |
|----------------------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|
| Nominali apkrova (kg)                  | 2000               | 1500                      | 25                 |
| Krovinio transportavimo greitis (km/h) | 17                 | 12                        | 30                 |
| Krovinio kėlimo greitis (mm/s)         | 400                | 320                       | 20                 |

Šaltinis: Doosan Corporation. (2018). Electric Counterbalance Forklift. 4-Wheel 1T Series. Prieiga per internetą: <<http://www.doosan-iv.com>>.

Keturračio autokrautuvo savybė – greitai transportuoti krovos vienetą į/iš kameros. Naudojant Doosan AC „B20X-7“ modelį 30 % didesnis transportavimo greitis galėtų sutrumpinti krovinio transportavimo operacijos trukmę priėmimo procese nuo 2,2 min iki 1,54 min.

Šaltoje temperatūroje išeikvojama daugiau baterijos energijos nei normalioje aplinkos temperatūroje. Norint prailginti autokrautuvo darbo laiką, tikslinga įsigyti atspausnes žemai temperatūrai krovos mašinas.

Krovinio sudėjimo į stelažus operacija atliekama aukštuminiais krautuvais (rietuvais). Pagrindinė ilgos sudėjimo į stelažus trukmės priežastis – mažas krovinio kėlimo greitis aukštuminiu krautuvu. Šis autokrautuvo tipas pritaikytas užkelti/nukelti paletuotą krovinį.

„Crown“ įmonė 1960 m. pradėjo dirbti krovos mašinų pramonėje. „Crown“ projektuoja ir gamina iki 85 % savo parduodamos įrangos komponentų, įskaitant pagrindines dalis, pvz., variklius, pavarų agregatus ir elektroninius modulius (Crown Equipment Corporation, 2018).

10 lentelėje pateiktos pagrindinės įtaką krovos trukmei darančios aukštuminio krautuvo techninės charakteristikos ir jų palyginimas su Baltijos logistikos centro šaldytuvo įrangos savybėmis.

**10 lentelė**

**„Crown“ RR 5725S-1.6 techninių specifikacijų palyginimas**

| Pagrindinės specifikacijos             | „Crown“ RR 5725S-1.6 | Centre naudojamas modelis | Pranašumas (proc.) |
|----------------------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------|
| Krovinio kėlimo greitis (m/s)          | 0,80                 | 0,60                      | 25                 |
| Krovinio transportavimo greitis (km/h) | 13                   | 8                         | 38,5               |

| Pagrindinės specifikacijos | „Crown“ RR 5725S-1.6 | Centre naudojamas modelis | Pranašumas (proc.) |
|----------------------------|----------------------|---------------------------|--------------------|
| Baterijos talpa (V/Ah)     | 36                   | 24                        | 33                 |

*Šaltinis: Doosan Corporation. (2018). Electric Counterbalance Forklift. 4-Wheel 1T Series. Prieiga per internetą: <<http://www.doosan-iv.com>>.*

Efektyvesnės autokrautuvų valdymo funkcijos pagreitina ir supaprastina autokrautuvo valdymą. „Crown“ RR 5725S-1.6 aukštuminio krautuvo krovinio kėlimo greitis yra 25 % didesnis nei naudojamo Baltijos logistikos centro šaldytuve. Be to, šiame aukštuminiame krautuve veikia 33 % talpesnė baterija. Dėl geresnių charakteristikų autokrautuvo našumas būtų didesnis nei naudojamo įmonėje. Tai gali 25 % sutrumpinti ilgą krovinio sudėjimo į stelažus trukmę.

Aukštuminio krautuvo „Crown“ RR 5725S-1.6 operacija – krovos vieneto pakėlimas/nuleidimas į stelažus. Šio modelio krovinio kėlimo greitis yra didesnis 25 %. Todėl priėmimo operacija sutrumpėtų nuo 3 min iki 2,4 min krovos vienetiui.

Nenumatyti veiksniai yra krovinio pažeidimų taisymas, įrangos gedimai, sugadintos paletės dėl saugos reikalavimų nesilaikymo. Paskutinio veiksnio tvarkymas užima didelę dalį laiko. Sugadintos paletės keičiamos naujomis, tačiau dėl netikslaus krovinio paėmimo autokrautuvu paletės gali būti vėl sugadinamos. Manevringesniais autokrautuvais krovinių paėmimas būtų tikslesnis, sumažėtų paletės sugadinimo rizika. Pakeitus Baltijos logistikos centro autokrautuvus į rinkoje siūlomas geresnių charakteristikų krovos mašinas, krovos vieneto priėmimo proceso kritinis kelias sumažėtų nuo 8,9 min iki 6,09 min (31,6 % mažesnė trukmė). Išsprendus probleminius punktus krovinio išdavimo procese, kritinis kelias sutrumpėtų nuo 9,1 min iki 7,7 min.

### Išvados

1. Išanalizavus krovos procesų Baltijos logistikos centro šaldytuve technologinę situaciją, galima teigti, kad krovos operacijos užima didžiausią sandėliavimo proceso trukmę. Sudarius šaldytuvo krovos procesų tinklinį grafiką, nustatyti priėmimo ir išdavimo operacijų kritiniai keliai. Krautuvų operacijų trukmė sudarė 63 % visų priėmimo/išdavimo procesų trukmės. Tai leidžia teigti, kad autokrautuvai yra itin svarbūs technologiniame sandėliavimo procese. Ilgą autokrautuvų operacijų trukmę galima sutrumpinti technologinės įrangos pokyčiais.

2. Įvertinus krovos procesų Baltijos logistikos centro šaldytuve tobulinimo technologines galimybes, vidutine sandėliavimo apimčių prognoze nustatyta, kad per ateinančius 3 metus sandėliavimas gali pasiekti didžiausias apimtis – 300 tūkst. t. Priėmimo operacijose panaudojus „Crown“ RR 5725S-1.6 aukštuminį krautuvą krovos trukmė sumažėtų iki 25 %. Doosan AC „B20X-7“ šakinis keturratis, skirtas krovinio transportavimui po šaldytuvą, yra 30 % greitesnis už šiuo metu naudojamą modelį. Triratis autokrautuvus Doosan AC „B20TL-7“ krovos iš transporto priemonių trukmę sumažintų 70 %. Krovos vieneto priėmimo proceso kritinis kelias sumažėtų nuo 8,9 min iki 6,09 min, o išdavimo procese – nuo 9,1 min iki 7,7 min.

### Literatūra

1. Baublys, A. (2016). *Krovinių vežimas*. Vilnius: Technologija.
2. Crown Equipment Corporation. (2018). *Specifications. Reach truck*. Prieiga per internetą: <<https://www.crown.com>>.
3. Doosan Corporation. (2018). *Electric Counterbalance Forklift. 3-Wheel 1T Series*. Prieiga per internetą: <<http://www.doosan-iv.com>>.
4. Doosan Corporation. (2018). *Electric Counterbalance Forklift. 4-Wheel 1T Series*. Prieiga per internetą: <<http://www.doosan-iv.com>>.
5. UAB „Balthana“. (2012). *Bendra konteinerių-šaldytuvų techninė charakteristika*. Prieiga per internetą: <<https://www.balthana.lt>>.
6. UAB „Eurodata“. (2018). *Transportas*. Prieiga per internetą: <<http://www.eurodata.lt>>.
7. UAB „VPA Logistics“. (2018). *Kraunamų izoterminių vagonų išmatavimai*. Klaipėda: UAB „VPA Logistics“.
8. UAB „VPA Logistics“. (2018). *BLC šaldytuvo paminų darbų ataskaita*. Klaipėda: UAB „VPA Logistics“.

## STORAGE PROCESS IN THE BALTIC LOGISTICS CENTER REFRIGERATOR: TECHNOLOGICAL EVALUATION

### Summary

Rapid improvement of technologies in the logistics sector allows to maintain high quality of products during their transportation and storage. Storage equipment with the required environmental conditions must work smoothly in order to maintain the temperature range and quality of products. Therefore, an important aspect of the storage of frozen food is

food control. The research object is the technological storage process of the Baltic logistics center refrigerator. The research aim is to provide possibilities for the technological storage process improvement. The research objectives are to evaluate technological situation of handling processes in the Baltic logistics center refrigerator, and to evaluate technological possibilities of handling processes in the Baltic logistics center refrigerator. The research methods are such as scientific literature analysis, data analysis of the Baltic logistics center activity, statistical analysis, analysis of technological operations, chronometric observation, comparison, PERT method and prognostication. Having considered the technological situation of the Baltic logistics center refrigerator storage processes, it has been established that the low productivity of the company's trucks has a major impact on long-term handling operations. Having considered the better-performance trucks offered on the market, it has been found that Doosan and Crown firms handling machines can shorten operations of long-term storage processes.

**Key words:** logistics center, refrigerator, storage, technology.

#### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Saulius Lileikis

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas

**Darbo vieta ir pozicija:** Lietuvos aukštosios jūrėivystės mokyklos, Uosto ekonomikos ir vadybos katedros docentas

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** jūrinė edukacija ir uosto vadyba

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 652 08106, s.lileikis@lajm.lt

**Autoriaus vardas, pavardė:** Vilius Rubinas

**Mokslo laipsnis ir vardas:** bakalauras

**Darbo vieta ir pozicija:** gamybos ir transporto technologas

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** transporto logistikos technologijos

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 46 397255, v.rubinas@lajm.lt

#### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Saulius Lileikis

**Science degree and name:** PHD, assoc. prof.

**Workplace and position:** Lithuanian Maritime Academy, Port Economics and Management Department associate professor

**Author's research interests:** marine education and port management

**Telephone and e-mail address:** +370 652 08106, s.lileikis@lajm.lt

**Author name, surname:** Vilius Rubinas

**Science degree and name:** bachelor

**Workplace and position:** production and transport technologist

**Author's research interests:** transport logistics technology

**Telephone and e-mail address:** +370 46 397255, v.rubinas@lajm.lt

# KRETINGOS RAJONO ATLIEKŲ IŠVEŽIMO GRAFIKŲ MOBILIOJI PROGRAMA

Jurij Tekutov<sup>1,2,3</sup>, Vitalija Radiukienė<sup>1</sup>, Gintaras Kučinskas<sup>1</sup>, Julija Smirnova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Klaipėdos valstybinė kolegija; <sup>2</sup>Klaipėdos universitetas; <sup>3</sup>Lietuvos verslo kolegija, Informatikos katedra

## Anotacija

Kretingos rajono atliekų išvežimą gyventojams organizuoja SĮ Kretingos komunalininkas. Kretingos rajono gyventojai norėdami, kad atliekos būtų išvežtos, iš vakaro arba atliekų išvežimo dieną iki 7 val. ryto, konteinerį su atliekomis turi palikti gatvėje. Tačiau dėl nepatogios atliekų išvežimo grafikų pateikimo formos, gyventojai ilgai užtrunka ieškodami informacijos apie tai, kurią dieną, kokios atliekos bus išvežamos arba apskritai pamiršta pasitikrinti ir atliekos lieka neišvežtos. Tyrimo tikslas – sukurti Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobiliąją programą. Objektas – Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobilioji programa. Metodai: literatūros analizė, informacijos sisteminimas, projektavimas, programavimas.

**REIKŠMINIAI ŽODŽIAI.** Kretingos rajonas, atliekos, grafikai, mobilioji programa, Android operacinė sistema.

## Ivadas

Kretingos rajono atliekų išvežimą gyventojams organizuoja SĮ Kretingos komunalininkas. Kretingos rajono gyventojai norėdami, kad atliekos būtų išvežtos, iš vakaro arba atliekų išvežimo dieną iki 7 val. ryto, konteinerį su atliekomis turi palikti gatvėje. Tačiau dėl nepatogios atliekų išvežimo grafikų pateikimo formos gyventojai ilgai užtrunka ieškodami informacijos apie tai, kurią dieną, kokios atliekos bus išvežamos arba apskritai pamiršta pasitikrinti ir atliekos lieka neišvežtos.

Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobilioji programa padėtų išspręsti šią problemą. Gyventojams mobiliojoje programoje reiktų pasirinkti norimą gatvę ar gyvenvietę ir visas atliekų išvežimo dienas matytų viename kalendoriuje. Gyventojai taip pat galėtų įjungti priminimą, kuris pasirinktu laiku, dieną prieš numatomą atliekų išvežimą, primintų apie planuojamas išvežti atliekas.

**Tyrimo tikslas** – sukurti Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobiliąją programą.

Siekiant įgyvendinti numatytą tikslą, keliama šie **tyrimo uždaviniai**:

1. Aptarti Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobiliosios programos sampratą.
2. Apžvelgti ir palyginti panašias mobiliąsias programas.
3. Suprojektuoti Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobiliąją programą.
4. Realizuoti ir testuoti Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobiliąją programą.

**Metodika:** literatūros analizė, informacijos sisteminimas, projektavimas, programavimas.

## Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobiliosios programos samprata

Apžvelgus Kretingos rajono sampratą, nustatyta, kad tai yra teritorija vakarinėje Lietuvos dalyje, Klaipėdos apskrityje, kuri sudaryta iš Kretingos miesto, Salantų miesto, Kretingos rajono, Darbėnų, Imbarės, Kartenos, Kūlpėnų, ir Žalgirio seniūnijoms, su Kretingos miesto administracijos centru (Lietuvių kalbos išteklų informacinė sistema, 2015; Kretingos krašto enciklopedija, 2016; Kretingos rajono savivaldybė, 2010; Lietuvos statistikos departamentas, 2013; Tarptautinių žodžių žodynas, 1985).

Aptarus atliekų sampratą (Lietuvių kalbos išteklų informacinė sistema, 2015; Darnaus vystymo iniciatyvos, 2018; Daušas, Barkauskas, Daušas, 1997; Lietuvos Respublikos Seimas, 1998) numatyta, kad šio tyrimo ribose, atliekos vadinamos įvairios sudėties butyje susidariusios nepageidaujamos medžiagos, kurių išvežimą nustatyta tvarka Kretingos rajono gyventojams vykdo SĮ Kretingos komunalininkas (Kretingos komunalininko tinklapis, 2018).

Nagrinėjant grafiko sampratą (Lietuvių kalbos išteklų informacinė sistema, 2015; Lietuvos Respublikos terminų bankas, 2018) nustatyta, kad tikslaus apibrėžimo šiai sąvokai nėra. Apibendrinus surinktą informaciją, nuspręsta, kad šio tyrimo ribose grafikas bus suprantamas kaip atliekų išvežimo tvarkaraštis, kai iš anksto numatytos atliekų išvežimo dienos vaizduojamos kalendoriuje.

Apžvelgus mobiliosios programos sampratą (Dagienė, Grigas, Jevsikova, 2014; Kauno technologijos universitetas, 2010; Miliūnaitė, Murmulaitytė, Stunžinas, Tamulionienė, 2015; Trečiokaitė, 1993) nustatyta, kad mobilioji programa yra nedidelė, tam tikros paskirties, kuria nors programavimo kalba parašyta programėlė, skirta nešiojamiesiems kompiuteriniams įrenginiams, ir kuri įrenginyje įdiegiama naudojant interneto ryšį.

Remiantis išnagrinėtomis sampratomis, 1 paveiksle pavaizduotas sudarytas koncepcinis žemėlapis (angl. *Concept Map*), kuris grafiškai iliustruoja ryšius tarp sąvokų (*Mindjet MindManager Pro<sup>TM</sup>* priemonės aplinkoje (Mindjet kompanija, 2018)).



**1 pav.** Sampratų koncepcinis žemėlapis

*Šaltinis: sudaryta autorių remiantis (Lietuvių kalbos išteklų informacinė sistema, 2015; Dagienė, Grigas, Jevsikova, 2014; Darnaus vystymo iniciatyvos, 2018; Daukšas, Barkauskas, Daukšas, 1997; Kauno technologijos universitetas, 2010; Kretingos krašto enciklopedija, 2016; Kretingos rajono savivaldybė, 2010; Lietuvos Respublikos Seimas, 1998; Lietuvos statistikos departamentas, 2013; Lietuvos Respublikos terminų bankas, 2018; Miliūnaitė, Murmulaitytė, Stunžinas, Tamulionienė, 2015; Nalivaika, 2013; Terminų žodynas, 2018)*

Apibendrinus dalykinės srities sampratas, galima teigti, kad Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobilioji programa yra nešiojamiems kompiuteriniams įrenginiams skirta, programavimo kalba parašyta programėlė, kurioje pateikiamas Kretingos rajono gyventojų įvairios sudėties butyje susidariusių nepageidaujamų medžiagų išvežimo tvarkaraštis, kai iš anksto numatytos atliekų išvežimo dienos vaizduojamos programėlės kalendoriuje.

### Panašių mobiliųjų programų apžvalga ir palyginimas

Google Play parduotuvėje buvo pasirinktos keturios mobiliosios programos, kurios panašios į Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobiliosios programos idėją. Apžvelgus ir palyginus šias mobiliąsias programas, nustatyta, kad visų jų paskirtis vienoda – gyventojams teikti informaciją apie atliekų išvežimo dienas. Taip pat išsiaiškinta, kad šiuo metu Lietuvos rinkoje egzistuoja tik viena tokia mobilioji programa, kuri skirta Ecoservice įmonės klientams (Digital sense, 2018). Išbandžius šią programą paaiškėjo, kad ji turi esminių klaidų, kurios neleidžia klientams naudotis pagrindinėmis mobiliosios programos funkcijomis. Visų programėlių apžvalga pateikiama 1 lentelėje.

**1 lentelė**

#### Visų mobiliųjų programų apžvalga

| Kriterijus                                                | Mobiliosios programos                   |                                              |                                                 |                                               |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                                                           | <i>Ecoservice</i> (Digital sense, 2018) | <i>My Waste</i> (Municipal media inc., 2018) | <i>Cal Waste</i> (Recollect systems inc., 2018) | <i>Ottawa Recycle</i> (3lywa solutions, 2018) |
| Atsisiuntimo kaina                                        | Nemokama                                | Nemokama                                     | Nemokama                                        | Nemokama                                      |
| Paskutinio atnaujinimo data                               | 2018 04 18                              | 2017 10 25                                   | 2018 04 19                                      | 2017 07 02                                    |
| Parsisiuntimų skaičius                                    | >1000                                   | >100 000                                     | >100                                            | >5000                                         |
| Naudotojų vertinimas (nuo 1 iki 5 balų vertinimo sistema) | 2,7                                     | 4,3                                          | 4,7                                             | 4,2                                           |
| Android versija                                           | 9                                       | 9                                            | 15                                              | 14                                            |
| Interneto ryšys                                           | Visada būtinas                          | Reikalingas tik pirmam paleidimui            | Visada būtinas                                  | Visada būtinas                                |
| Grafikai pateikiami kalendoriuje                          | –                                       | Yra                                          | –                                               | –                                             |
| Priminimo galimybė                                        | –                                       | Yra                                          | Yra                                             | Yra                                           |
| Priminimo laiko nustatymas                                | –                                       | Leidžiama rinktis iš siūlomų variantų        | Yra                                             | Leidžiama rinktis iš siūlomų variantų         |
| Gatvės/ gyvenvietės keitimas                              | Yra                                     | Yra                                          | Yra                                             | Yra                                           |

*Šaltinis: sudaryta autorių remiantis (Digital sense, 2018; Municipal media inc., 2018; Recollect systems inc., 2018; 3lywa solutions, 2018)*

Apžvelgus ir palyginus išnagrinėtas mobiliąsias programas, pastebėta, kad 3 iš 4 programų turi panašų naudotojų įvertinimą, tačiau tik viena iš jų išsiskiria atsisiuntimų skaičiumi. Nustatyta, kad daugiausia atsisiuntimų turi mobilioji programa, kuri veikia be interneto ryšio.

## Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobiliosios programos projektavimas

**Dalykinė sritis.** Mobiliosios programos dalykinė sritis – tai mobilioji programa, kurioje pasirinkus norimą gatvę ar gyvenvietę (toliau – gatvę) Kretingos rajono gyventojai galės matyti žaliųjų (birių), žaliųjų (šakų), mišrių komunalinių, plastiko ir popieriaus, stiklo, didžiųjų bei buityje susidarančių elektros ir elektroninės įrangos atliekų išvežimo grafikus, kurių išvežimą organizuoja SĮ Kretingos komunalininkas. Atliekų išvežimo diena bus pažymėta tam tikra spalva, pagal atliekų rūšį, kaip įvykis kalendoriuje. Spalvos paaiškinimas bus pateiktas po kalendoriumi, kad gyventojams būtų aišku, kurią atliekų rūšį atitinkama spalva reiškia. Gyventojai taip pat turės galimybę įjungti priminimą, kuris pasirinktu laiku, dieną prieš numatomą atliekų išvežimą, primintų apie planuojamas išvežti atliekas.

Kadangi šiuo metu labiausiai paplitę įrenginiai su *Android* operacine sistema, mobilioji programa bus kuriama šiems įrenginiams. Programos kūrimui pasirinkta Java programavimo kalba ir *Android Studio* integruota programavimo aplinka. Duomenų bazės kūrimui pasirinkta *MySQL* duomenų bazė, kurią administruoti galima *MS Excel* programoje įdiegus *MySQL for Excel* įrankį.

**Probleminė sritis.** Atliekų išvežimą Kretingos rajono gyventojams organizuoja SĮ Kretingos komunalininkas. Gyventojai atliekų išvežimo grafikus gali rasti tik įmonės tinklalapyje *kretkom.lt*, kur informacija pateikiama *\*pdf* failo formate (Kretingos komunalininko tinklapis, 2018). Skirtingų atliekų rūšių grafikai turi atskiras nuorodas į failus, informacija vaizduojama skirtingu stiliumi, labai neaiški, nepatogi ir sunkiai randama.

Probleminę įmonės situaciją galima vaizdžiai pateikti sudarant raiškųjį paveikslėlį, t. y. laisvos formos paveikslėlį, kuriame pavaizduoti dalykinės srities objektai, jų tarpusavio ryšiai. Sudarytas raiškųs (vaizdusis) paveikslėlis, vaizdžiai apibrėžiantis veiklos kontekstą ir probleminę sritį, pateikiamas 2 paveiksle.

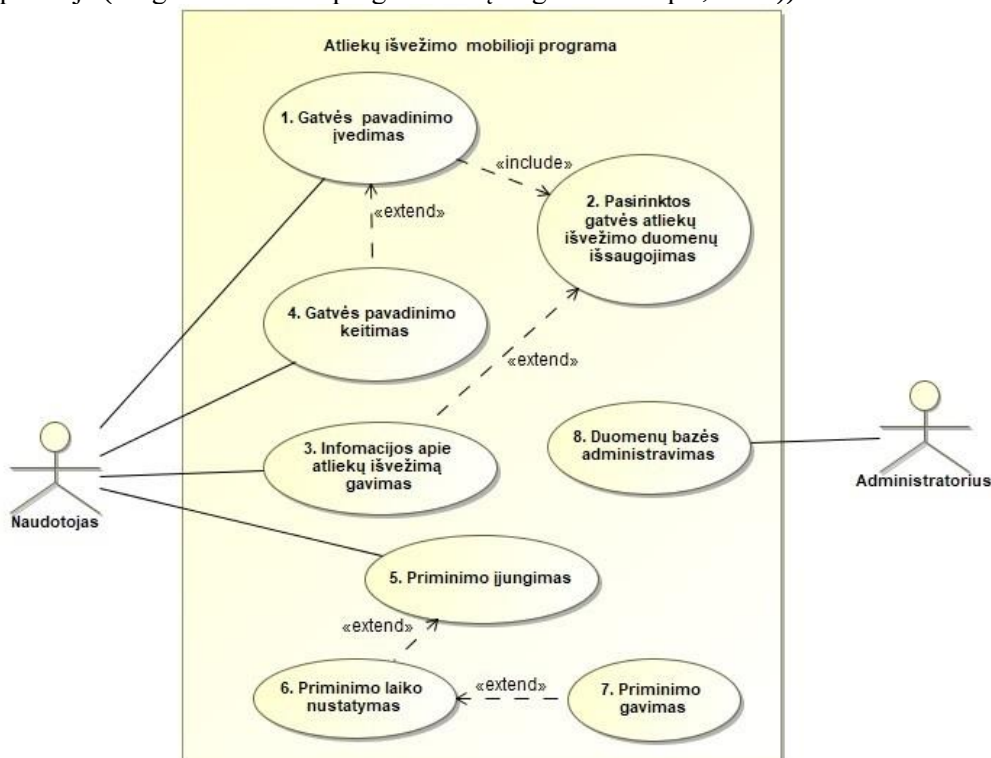


2 pav. Mobiliosios programos raiškųs paveikslėlis  
Šaltinis: sudaryta autorių

Kaip matome iš paveikslėlio, atliekų išvežimo paslauga naudojasi Kretingos rajono gyventojai. Norėdami, kad atliekos būtų išvežtos, gyventojai iki 7 val. ryto konteinerį su atliekomis turi palikti gatvėje. Tačiau čia iškyla problema, kai dėl nepatogios grafiko pateikimo formos gyventojai ilgai užtrunka ieškodami informacijos apie tai, kurią dieną, kokios atliekos bus išvežamos arba apskritai pamiršta pasitikrinti. Tada atliekos taip ir lieka neišvežtos.

Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobiliąją programą padėtų išspręsti šią problemą, nes gyventojams mobiliąjoje programoje reiktų tik pasirinkti norimą gatvę ir visas atliekų išvežimo dienas matytų viename kalendoriuje. Gyventojai taip pat galėtų įjungti priminimą, kuris pasirinktu laiku, dieną prieš numatomą atliekų išvežimą, primintų apie planuojamas išvežti atliekas ir padėtų nepamiršti atliekų išvežimo dienos.

**Reikalavimų specifikacija mobiliąjai programai.** Mobiliosios programos projektavimas pradedamas nuo panaudojimo atvejų (angl. *Use Case*) diagramos sudarymo, aprašančios, kokias funkcijas programa atlieka išorinio stebėtojo akimis. Ši diagrama naudojama identifikuoti pirminius programos elementus ir procesus. Pirminiai elementai traktuojami kaip aktoriai, o procesai kaip panaudojimo atvejai (Nemuraitė, 2008). Mobiliosios programos panaudojimo atvejų diagrama pavaizduota 3 paveiksle (*MagicDraw™ UML CASE* priemonės aplinkoje (MagicDraw UML programinės įrangos tinklalapis, 2018)).



3 pav. Mobiliosios programos panaudojimo atvejų diagrama

Šaltinis: sudaryta autorių

Mobiliosios programos naudotojas programoje gali atlikti 6 funkcijas: įvesti gatvės pavadinimą, išsaugoti pasirinktos gatvės atliekų išvežimo duomenis, keisti gatvę, gauti informaciją apie atliekų išvežimą, įjungti priminimą, nustatyti priminimą ir gauti priminimą. Programos naudotojas, norėdamas sužinoti, kada ir kokios atliekos bus išvežamos, programoje turi turėti galimybę įvesti Kretingos rajono gatvės pavadinimą bei jį išsaugoti. Tokiu būdu naudotojas gautų informaciją apie atliekų išvežimo dienas. Programos naudotojas taip pat turi turėti galimybę pakeisti gatvės pavadinimą, jį išsaugoti ir gauti informaciją jau apie naujos gatvės atliekų išvežimo dienas. Naudotojui taip pat turi būti suteikta galimybė įjungti ir nustatyti priminimą, kuris pasirinktu laiku, dieną prieš numatomą atliekų išvežimą, primintų apie planuojamas išvežti atliekas.

Programos administratorius atlieka vieną funkciją – administruoja duomenų bazę. Jis turi turėti galimybę papildyti, keisti ar šalinti duomenų bazės duomenis.

Panaudojimo atvejo „Gatvės pavadinimo įvedimo“ (PA1) aprašymas pateikiamas 2 lentelėje.

2 lentelė

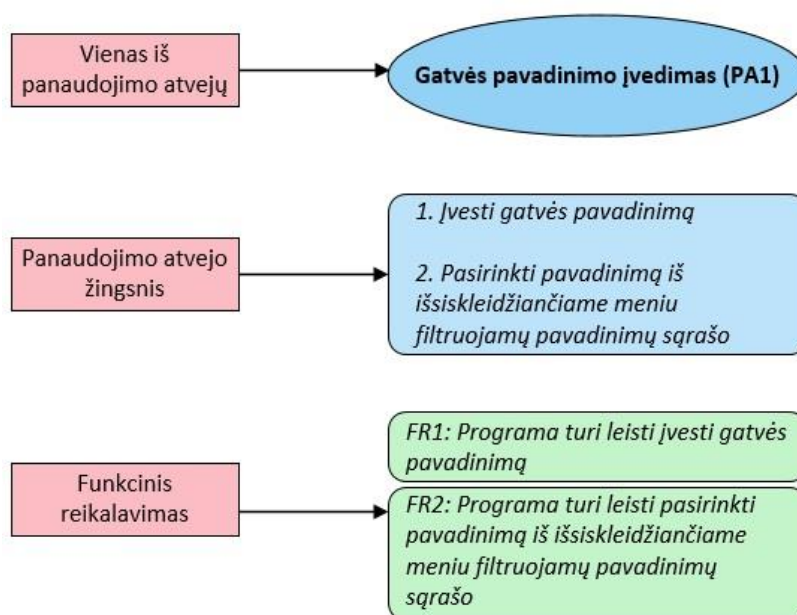
Gatvės pavadinimo įvedimo panaudojimo atvejo (PA1) aprašymas

|                           |                                                                                               |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Panaudojimo atvejo Nr.    | 1                                                                                             |
| Panaudojimo atvejis (PA)  | Gatvės pavadinimo įvedimas                                                                    |
| Tikslas                   | Reikalinga tam, kad naudotojas galėtų matyti jam reikalingos gatvės atliekų išvežimo grafikus |
| Aktoriai                  | Naudotojas                                                                                    |
| Ryšiai su kitais PA       | 2, 4                                                                                          |
| Nefunkciniai reikalavimai | Aiškiai ir lengvai suprantama grafinė naudotojo sąsaja                                        |

|                         |                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Prieš-sąlygos           | Naudotojas pirmą kartą įsidiegė programą telefone arba atsirado poreikis pakeisti gatvės pavadinimą.                                                                                                               |
| Sužadinimo sąlygos      | Naudotojas pirmą kartą įjungia programą arba paspaudžia mygtuką <KEISTI GATVĘ>                                                                                                                                     |
| Po-sąlygos              | Įrašytas gatvės pavadinimas į teksto įvedimo laukelį                                                                                                                                                               |
| Pagrindinis scenarijus  | Naudotojui pirmą kartą įsijungus programą arba jau besinaudojančiam programa naudotojui paspaudus mygtuką <KEISTI GATVĘ> atsirado programos langas su teksto įvedimo laukeliu, kuriame įvedamas gatvės pavadinimas |
| Alternatyvūs scenarijai | Neįvestas gatvės pavadinimas – programa informuoja, kad gatvė nepasirinkta.<br>Vedamas netinkamas gatvės pavadinimas – programa neleidžia įvesti pavadinimo, kurio nėra duomenų bazėje.                            |

Šaltinis: sudaryta autorių

Žingsninis metodas naudojamas nustatant mobiliosios programos funkcinis reikalavimus. Visi funkciniai reikalavimai išvesti panaudojimo atvejų diagramos pagrindu. Mobiliosios programos funkcinių reikalavimų nustatymo proceso fragmentas pateikiamas 4 paveiksle.



4 pav. Mobiliosios programos funkcinių reikalavimų nustatymo proceso fragmentas

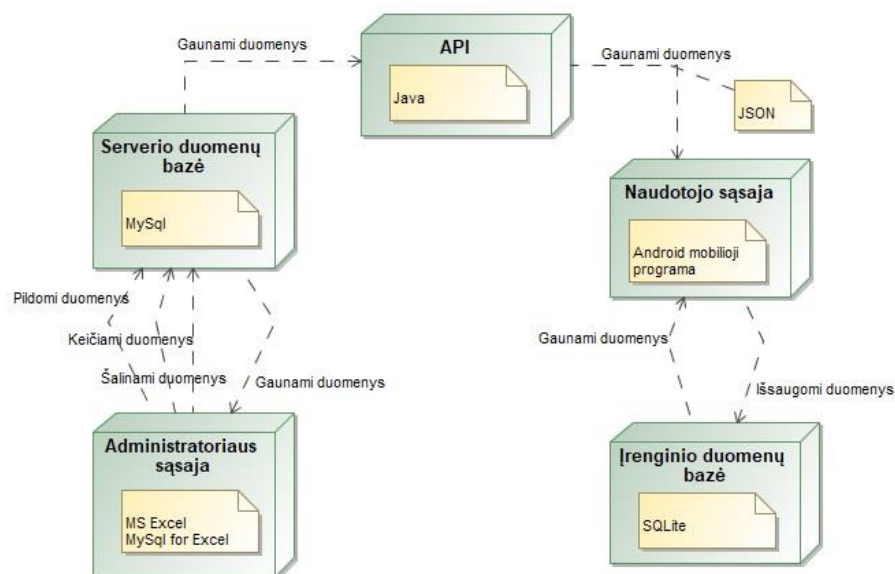
Šaltinis: sudaryta autorių

Visi mobiliosios programos funkciniai reikalavimai, išvesti panaudojimo atvejų diagramos pagrindu, apžvelgiami žemiau esančiose kortelėse.

Pirmo funkcinio reikalavimo (FR1) užpildyta kortelė:

| Pirmo funkcinio reikalavimo (FR1) aprašymas kortelė: |                                                                                           |                        |           |                               |      |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|-------------------------------|------|
| Reikalavimas #:                                      | 1                                                                                         | Reikalavimo tipas:     | Funkcinis | Įvykis/panaudojimo atvejis #: | 1    |
| Aprašymas:                                           | Programa turi leisti įvesti gatvės pavadinimą                                             |                        |           |                               |      |
| Pagrindimas:                                         | Reikalinga tam, kad naudotojas galėtų matyti tik įvestos gatvės atliekų išvežimo grafikus |                        |           |                               |      |
| Šaltinis:                                            | Naudotojas                                                                                |                        |           |                               |      |
| Tikimo kriterijus:                                   | Įvestas gatvės pavadinimas                                                                |                        |           |                               |      |
| Užsakovo tenkinimas:                                 | 5                                                                                         | Užsakovo netenkinimas: |           |                               | 5    |
| Priklausomybės:                                      | nėra                                                                                      | Konfliktai:            |           |                               | nėra |
| Papildoma medžiaga:                                  | nėra                                                                                      |                        |           |                               |      |
| Istorija:                                            | Užregistruotas 2018 m. spalio 18 d.                                                       |                        |           |                               |      |

Numatomas mobiliosios programos architektūrinis/ struktūrinis sprendimas. Mobiliosios programos išdėstymo diagrama (angl. *deployment diagram*) pateikiama 5 paveiksle.



5 pav. Mobiliosios programos išdėstymo diagrama

Šaltinis: sudaryta autorių

Administratoriaus sąsajai bus naudojama *MS Excel* programa, kurioje bus administruojama duomenų bazė. Joje bus atliekamas duomenų pridėjimas, keitimas, šalinimas. Visi pakeitimai bus įrašomi į serveryje esančią duomenų bazę. Šioms funkcijoms atlikti *MS Excel* programoje reikės įdiegti *MySQL for Excel* įrankį.

Serverio duomenų bazėje bus saugomi visi mobilieji programai reikalingi duomenys. Numatomas duomenų bazės tipas – *MySQL*. Šis komponentas tiesiogiai komunikuos su *API* ir *MS Excel* programa.

*API* (angl. *Application Programming Interface*) – tai susitarimų ir procedūrų rinkinys ryšiams tarp atskirų programų ir operacinės sistemos realizuoti (Dagienė, Grigas, Jevsikova, 2014). Šiuo atveju *API* veiks tarp mobiliosios programos ir serverio duomenų bazės. Šis komponentas atliks duomenų gavimo iš duomenų bazės funkciją. Duomenų pateikimas bus realizuotas *JSON* formatu. *API* realizavimui pasirinkta *Java* programavimo kalba.

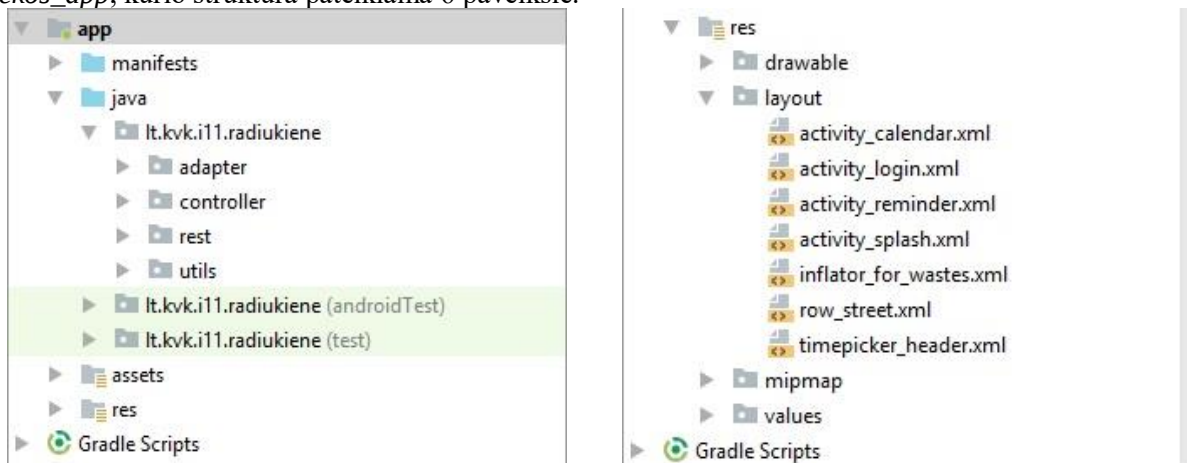
Naudotojo sąsaja – tai *Android* mobilioji programa. Joje bus galima pasirinkti gatvę, matyti pasirinktos gatvės atliekų išvežimo dienas kalendoriuje, įjungti priminimą ir nustatyti priminimo laiką bei pakeisti gatvę.

Įrenginio duomenų bazėje bus saugomi iš serverio parsųsti duomenys. Numatomas duomenų bazės tipas – *SQLite*.

#### Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobiliosios programos realizavimas ir testavimas

Šioje dalyje aprašoma *Android* mobiliosios programos realizavimo eiga. Kadangi mobilioji programa skirta *Android* operacinei sistemai, todėl mobiliosios programos realizavimui buvo pasirinkta nemokama *Android Studio* programavimo aplinka (angl. *Integrated Development Environment* – *IDE*).

**Android projekto struktūra.** *Android Studio* programavimo aplinkoje buvo sukurtas projektas – *Atliekos\_app*, kurio struktūra pateikiama 6 paveiksle.



6 pav. Android projekto struktūros vaizdas

Šaltinis: sudaryta autorių

Failai ir klasių kodai projekte suskirstyti pagal paskirties grupes į atitinkamus katalogus ir paketus. Pagrindiniame projekto kataloge *manifests*, *AndroidManifest.xml* faile yra laikomi visi programuotojų sugeneruoti *Android* projekto nustatymai. Šiame *XML* formato faile yra saugomos programos teisės, leidimai ir galimos jos pasekmės, todėl prieš įrašinėjant programą į telefoną, *Android* operacinė sistema visada parodo kokių teisių mūsų telefone turės programa, kurią mes bandysime įdiegti.

Mobiliosios programos projekto kodas yra saugomas *java* kataloge. *Assets* kataloge saugomas teksto, naudojamo mobiliojoje programoje, šrifto failas, o katalogas *res* skirtas įvairių mobiliajai programai skirtų resursų saugojimui, tokių kaip grafinės sąsajos komponentų išdėstymo failai, paveikslėliai, nuotraukos, spalvos ir pan.

Adapterių klasės, kurios veikia kaip tiltas tarp naudotojo sąsajos komponentų ir duomenų, kurie užpildo tą sąsają, saugomos pakete *adapter*. Pakete *controller* saugomos klasės, kurios naudojamos aprašyti naudotojo sąsajos logiką. Paketas *rest* skirtas saugoti klasėms, kurios aprašo mobiliosios programos komunikavimą su *API*. Įvairios pagalbinės klasės, kurios aprašo priminimo apie atliekų išvežimą veikimą, taip pat klasė, kuri aprašo iš tinklo parsisiųstus objektus, yra saugomos pakete *util*.

**Mobiliosios programos programinis kodas.** Grafinės sąsajos komponentų veikimo logika aprašoma *java/controller* pakete esančių klasių kode. Šių komponentų funkcijos turi atitikti numatytus užsakovo funkcinius reikalavimus.

Įvairioms funkcijoms *Android* programoje atlikti, buvo įdiegtos papildomos bibliotekos, o jų įdiegimui panaudotas *Gradle* įrankis. Naudojamos bibliotekos: *Retrofit 2.3.0* – padeda paversti *API* metodus į *Java* sąsajas; *Retrofit:converter-gson 2.3.0* – naudojama *Java* objektų keitimui į/ iš *JSON* duomenis.

Kadangi duomenų bazė saugoma išoriniame serveryje, mobilioji programa privalo komunikuoti su serveriu. Šiam tikslui įgyvendinti buvo panaudota *Retrofit2* biblioteka. Naudojant šią biblioteką, *RestApiInterface* sąsajos klasėje buvo sukurti metodai, reikalingi duomenų parsisiuntimui iš serverio. Sąsajos klasės kodas pateikiamas žemiau:

```
public interface RestApiInterface {
    @GET("streets")
    public Call<ResponseBody> getStreets();
    @GET("streetdate")
    Call<ResponseBody> getTimetable(@Query("street_id") String street_id);
    @GET("wastes")
    Call<ResponseBody> getWastes();
}
```

Šioje sąsajos klasėje, *getStreet* metodo pagalba, iš serverio parsisiunčiami gatvės pavadinimų duomenys, *getTimetable* metodas parsisiunčia duomenis iš serverio skirtus duomenų vaizdavimui kalendoriuje pagal pasirinktą gatvę, o *getWastes* metodo pagalba iš serverio parsisiunčiami atliekų pavadinimų duomenys.

Realizuojant šiuos metodus taip pat privaloma naudoti metodus *onResponse* bei *onFailure*. Metodas *onResponse* yra iškviečiamas, kai duomenys parsisiunčiami iš serverio ir verčiami į objektus, o panaudojus *response.body* metodą, gaunamos objektų kolekcijos. Metodas *onFailure* kviečiamas, kai nepavyksta prisijungti prie serverio arba įvyksta kita klaida. Tokiu atveju naudotojas informuojamas apie klaidą ir programa išjungama.

**Grafinės naudotojo sąsajos testavimas.** Testuojant mobiliosios programos grafinę naudotojo sąsają buvo naudojami įvairūs skirtingų rezoliucijų ir skirtingų operacinių sistemų versijų emulatoriai. Visų pirma, bandymai buvo atlikti su mobiliųjų telefonų emuliatoriais, kurių rezultatai pateikti 7 paveiksle.



Nexus 5 1080x1920 (v 7.1.1 API 25)



Nexus S 480x800 (v 7.0 API 24)



Nexus 4 768x1280 (v 4.1 API 16)

### 7 pav. Mobiliosios programos grafinės sąsajos testavimas telefonuose

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Šiame paveiksle pavaizduoti trys emuliatoriai su įjungta Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobiliąja programa. Pirmajame emuliatoriuje imituojamas *Galaxy Nexus 5* mobilusis telefonas su *Android 7.1.1* versija. Galima matyti, kad visi sąsajos komponentai čia atvaizduojami proporcingai. Antrasis emuliatorius imituoja *Galaxy Nexus S* mobiliųjį telefoną su *Android 7.0* versija. Galima pastebėti, kad šio dydžio ekrane netelpa mygtukas <NUSTATYTI PRIMINIMĄ>. Tačiau naudotojui tai problemų nesudaro, kadangi yra įgalinta vertikalaus slinkimo funkcija. Trečiajame emuliatoriuje imituojamas *Nexus 4* mobilusis telefonas su *Android 4.1* versija. Kaip ir pirmajame emuliatoriuje, taip ir čia, visi sąsajos komponentai atvaizduojami proporcingai.

Atlikus programėlės grafinės naudotojo sąsajos testavimą galima matyti, kad komponentų vaizdas nepriklauso nuo *Android* versijos, tačiau yra skirtumai tarp skirtingų dydžių ekranų. Šie skirtumai visiškai neįtakoja programėlės naudojimo, todėl galima teigti, kad programėlės grafinėje sąsajoje defektų nėra.

### Išvados

1. Aptarus ir apibendrinus dalykinės srities sampratas, nustatyta, kad Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobiliąja programa yra nešiojams kompiuteriniams įrenginiams skirta, programavimo kalba parašyta programėlė, kurioje pateikiamas Kretingos rajono gyventojų, įvairios sudėties buityje susidariusių, nepageidaujamų medžiagų išvežimo tvarkaraštis, kai iš anksto numatytos atliekų išvežimo dienos vaizduojamos programėlės kalendoriuje.

2. Apžvelgus ir palyginus panašias mobiliąsias programas, konstatuota, kad visų jų paskirtis vienoda – gyventojams teikti informaciją apie atliekų išvežimo dienas. Taip pat išsiaiškinta, kad šiuo metu rinkoje egzistuoja tik viena lietuviška mobiliąja programa, kuri skirta Ecoservice įmonės klientams, tačiau ir ši programa turi esminių klaidų, neleidžiančių naudotis pagrindinėmis funkcijomis. Pastebėta, kad 3 iš 4 programų turi panašų naudotojų įvertinimą, tačiau tik viena iš jų išsiskiria atsisuntimų skaičiumi. Nustatyta, kad daugiausia atsisuntimų turi mobiliąja programa, kuri veikia be interneto ryšio.

3. Nustačius dalykinę ir probleminę sritis, galima teigti, kad mobiliąja programa naudosis Kretingos rajono gyventojai, kurie nori sužinoti ŠĮ Kretingos komunalininkas atliekų išvežimo grafikus ir iš vakaro gauti priminimus apie numatomą atliekų išvežimą, bei duomenų bazės administratorius, kuris atsakingas už duomenų atnaujinimą.

4. Realizavus Kretingos rajono atliekų išvežimo grafikų mobiliąja programą ir atlikus programos testavimą, nustatyta, kad mobiliąja programa atitinka užsakovo poreikius ir yra tinkama praktiniam naudojimui.

Šis straipsnis prisideda prie Klaipėdos valstybinėje kolegijoje vykdomo taikomojo mokslinio tyrimo „Veiklos valdymo modelių taikymas žiniomis grindžiamoje informacinių sistemų inžinerijoje“ (veiklos sritis:

darnios aplinkos vystymas; kryptis: inovatyvios technologijos; tematika (šaka): išmaniosios komunikacijų technologijos, TMV IF-027).

### Literatūra

1. 3lywa solutions, 2018. *Ottawa Recycle: Garbage Collection Calendar* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.alywa.ottawa.recycle>.
2. Lietuvių kalbos išteklių informacinė sistema, 2015. *Dabartinės lietuvių kalbos žodynas* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 3 d.]. Prieiga per internetą: <http://lkiis.lki.lt/>.
3. Dagienė V., Grigas G., Jevsikova T., 2014, *Enciklopedinis kompiuterijos žodynas* [interaktyvus]. 4-as leidimas. Vilnius: VU MII [žiūrėta 2018 m. spalio 6 d.]. Prieiga per internetą: <http://ims.mii.lt/EK%C5%BD/>.
4. Darnaus vystymo iniciatyvos, 2018. *Kur keliauja atliekos? Sužinok ir papasakok!* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://dvi.lt/index.php/pageid/583>.
5. Daukšas K., Barkauskas J., Daukšas V., 1997, *Chemijos terminų aiškinamasis žodynas*. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 1997.
6. Digital sense, 2018. *Ecoservice* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://play.google.com/store/apps/details?id=lt.fullcap.ecoservice>.
7. Kauno technologijos universitetas, 2010, *Aiškinamasis elektrotechnikos terminų žodynas*: lietuvių k., vokiečių k., anglų k., prancūzų k., rusų k. Kaunas: Technologija.
8. Kretingos komunalinio tinklapis, 2018, *Atliekų išvežimo grafikai* [interaktyvus]. SĮ Kretingos komunalininkas [žiūrėta 2018 m. spalio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.kretinga.lt/atlieku-tvarkymas/atlieku-isvezimo-grafikai>.
9. Kretingos krašto enciklopedija, 2016. *Kretingos miesto seniūnija* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 4 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.kretingosenciklopedija.lt/lt/straipsniai/geografija/rajo administracinis teritorinis suskirstymas ir valdymas/seniunijos/kretingos miesto seniunija/>.
10. Kretingos rajono savivaldybė, 2010. *Kretingos miesto istorija* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.kretinga.lt/node/3650>.
11. Lietuvos Respublikos Seimas, 1998, *Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymas*. Valstybės žinios. Nr. 61-1726.
12. Lietuvos statistikos departamentas, 2013. *Lietuvos Respublikos 2011 m. gyventojų ir būstų surašymo rezultatai* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 7 d.]. Prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/services-portlet/pub-edition-file?id=2348>.
13. *Lietuvos Respublikos terminų bankas*, 2018 [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 5 d.]. Prieiga per internetą: <http://terminai.vlkk.lt/pls/tb/tb.search>.
14. MagicDraw UML programinės įrangos tinklalapis, 2018. *MagicDraw UML aprašymas* [interaktyvus]. MagicDraw Company [žiūrėta 2018 m. spalio 26 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.magicdraw.com/product\\_info/](http://www.magicdraw.com/product_info/).
15. Miliūnaitė R., Murmulaitė D., Stunžinas R., Tamulionienė A., 2015, *Garsinis naujažodžių žodynelis* [interaktyvus]. Vilnius: Lietuvių kalbos institutas, VU MII [žiūrėta 2018 m. spalio 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://liepa.rastija.lt/Tartuvas/Naujazodziai/Cat/4260>.
16. Mindjet kompanija, 2018. *Mindjet MindManager programa* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.mindjet.com/us/products/>.
17. Municipal media inc., 2018. *My Waste* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 11 d.]. Prieiga per internetą: <https://play.google.com/store/apps/details?id=mobi.mywaste.worldster.pack>.
18. Nalivaika S., 2013, *Atliekų rūšiavimo Lietuvoje įpročiai ir jų pokyčiai: gyventojų nuomonės tyrimas*: magistro baigiamasis darbas [interaktyvus]. Kaunas: Vytauto Didžiojo universitetas [žiūrėta 2018 m. spalio 4 d.]. Prieiga per internetą: [http://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:1990953/datastreams/ATTACHMENT\\_1990959/content](http://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:1990953/datastreams/ATTACHMENT_1990959/content).
19. Nemuraitė L., 2008, *Informacinių sistemų programinės įrangos projektavimas*. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla.
20. Recollect systems inc., 2018. *Cal Waste Recycles Right* [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://play.google.com/store/apps/details?id=net.recollect.calwaste>.
21. *Tarptautinių žodžių žodynas*, 1985. Vilnius: Vyriausioji enciklopedijų leidykla.
22. *Terminų žodynas*, 2018 [interaktyvus], [žiūrėta 2018 m. spalio 6 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.lietuviuzodynas.lt/terminai/Rajonas>.
23. Trečiokaitė A., 1993, *Informacijos terminų žodynas*. Vilnius: Lietuvos informacijos institutas.

### MODELING MOBILE PROGRAM FOR WASTE COLLECTION IN KRETINGA DISTRICT

#### Summary

Waste collection in Kretinga district is organized by Municipality Company Kretingos komunalininkas. In order for the waste to be collected, the residents of Kretinga district have to leave the waste container on the side of the street either the evening before the collection or on the day of collection before 7 a.m. Nevertheless, because of inconvenient

accessibility of waste collection schedules, it takes a lot of time for the residents to find the information about the dates of the collection of different waste types. Often the residents forget about it and the waste remain uncollected. The Goal of paper – to develop a mobile application for waste collection schedules in Kretinga district. Object – mobile application for waste collection schedules in Kretinga district. Paper methods: analysis of the available material on the topic, information systemization, designing, programming.

**Key words:** Kretinga district, waste, schedule, mobile application, Android operating system.

## AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Jurij Tekutov.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vietą ir poziciją:** Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Informacinių technologijų katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** organizacijų veiklos valdymo modelių ir veiklos taisyklių struktūrizavimo modelių kūrimas, taikant informacijos sistemų inžinerijai.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 618 54681, j.tekutov@kvk.lt.

**Autoriaus vardas, pavardė:** Vitalija Radiukienė.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** studentė.

**Darbo vietą ir poziciją:** Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Informacinių technologijų katedros studentė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** sistemų projektavimas, programavimas, kompiuterizuotos aplinkos.

**Autoriaus vardas, pavardė:** Gintaras Kučinskas.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** lektorius.

**Darbo vietą ir poziciją:** Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Informacinių technologijų katedros lektorius.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** papildyta realybė, išmaniųjų įrenginių technologijos.

**Autoriaus vardas, pavardė:** Julija Smirnova.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** lektorė.

**Darbo vietą ir poziciją:** Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Informacinių technologijų katedros lektorė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** informacinės technologijos, informatikos tyrimų krypties metodika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 618 54683, j.smirnova@kvk.lt.

# COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY AND ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF DIESEL OIL, RAPESEED OIL AND RAPESEED METHYL ESTER MIXTURES FUELLED COMPRESSION IGNITION ENGINE

**Badari Vishal Davu, Alfredas Rimkus, Jonas Matijošius**

*Vilnius Gediminas technical university*

## **Abstract**

The demand for fossil fuels like gasoline, diesel, etc, is rising day by day while their stock is depleting rapidly. Today the need for cleaner and efficient fuels produced from alternate sources like various vegetable oil fuels produced from agriculture which is used for blending in the fuel which does not affect more to the environment, Rapeseed oil and rapeseed methyl ester mixtures is considered one of the major alternative sources. In this study a comparison of diesel fuel, the rapeseed oil methyl ester and the rapeseed oil were made from the performance and main properties point of view.

**KEY WORDS:** compression ignition engine, rapeseed oil methyl ester, rapeseed oil, engine performance.

## **Introduction**

Europe has defined ambitious targets for the development of biofuels with the aim of improving domestic energy security, improving the overall CO<sub>2</sub> balance and sustaining European competitiveness. A mandatory target of a 20% share of energy from renewable sources in overall European Community energy consumption by 2020 and a target of at least 10% of the final consumption of energy in transport. The use of biodiesel is a potentially effective and environmentally friendly solution to reduce overreliance on energy import. Typical biodiesel is an alternative diesel fuel consisting of alkyl monoesters of fatty acids derived from vegetable oil, animal fats or waste cooking oil through the transesterification reaction. Due to its similar physical properties of diesel fuel, neat biodiesel or its blends with diesel fuel can be used on diesel engines directly. (Albo et al, 2017; Zhu et al, 2016, Zhu et al, 2011)

Interest in the usage of biofuels is increasing yearly due to their lower environmental impacts compared to fossil fuels, their contributions to reducing greenhouse gas emissions, and their potential for use as an alternative fuel. The usage of biofuel in Europe is also promoted by the rising prices of neat diesel fuel, European Union directives, and the Kyoto protocol directives. Within the European Union the transport sector contributes up to 19.7% of total emissions released, which indicates huge potential for future reductions in emissions, where biofuels can make a significant contribution. Compression ignition diesel engines are the most commonly. used engines in modern light- and heavy-duty vehicles due to their high efficiency levels. The biofuels' physical and chemical properties highly depend on the raw materials used for biofuel production and have a significant influence on combustion and emission formation processes. Several experimental tests should usually be conducted before introducing new types of biofuel for commercial usage within internal combustion engines. These are based on the physical and chemical descriptions of processes taking place within the combustion chamber and are suitable for performing several parametric studies. Since the injection process in diesel engines can be predicted in advance phenomenological combustion models can be used for numerical testing when introducing a new type of biofuel. (Torres-Jiménez et al, 2012; Bergthorson and Thomson, 2015)

## **Definitions of main properties**

**Density:** It is the mass of liquid per unit volume and it was tested through the ASTM D 1298 procedure. It effects engine settings and power generated as the amount of fuel injected per stroke changes. (Ganesan et al, 2013)

**Kinematic viscosity:** The measure of time taken by oil to flow with the help of gravity through a capillary and it was tested through ASTM D 445 method. (Ganesan et al, 2013)

**Calorific Value:** Calorific Value (CV) is defined as the amount of heat released by a substance when combusted and ASTM D 240 method was used to test for calorific value. (Ganesan, 2013)

**Flash and Fire point:** flash point is the temperature at which a substance ignites. Fire point is the temperature at which the substance vapours can sustain ignition and continue combustion, and both were tested by the ASTM D 93 process. (Ganesan, 2013)

**Cetane number:** It specifies the ignition quality of CI engine fuel. It tells us the percentage of cetane present in the fuel. The higher the cetane number, the better the fuel is. It was tested through the method ASTM D 613. (Ganesan, 2013)

## Comparison of Main properties of fuels

Table 1

### Main Properties of diesel oil, rapeseed oil, rapeseed methyl ester

| Property                            | Diesel oil | Rapeseed oil | Rapeseed methyl ester |
|-------------------------------------|------------|--------------|-----------------------|
| Calorific value (MJ/kg)             | 42.5       | 36.8         | 37.3                  |
| Density (15°C) (kg/m <sup>3</sup> ) | 850        | 933          | 885                   |
| Viscosity (40°C) (cSt)              | 2.60       | 3.27         | 4.4                   |
| Cetane number                       | 51         | 43           | 53                    |
| Carbon content (%) mass fraction    | 84         | 78.1         | 76.8                  |
| Oxygen content (%) mass fraction    | 0          | 10.3         | 10.9                  |
| Ash content (%) mass fraction       | 0.01       | 0.85         | -                     |
| Boiling Point (°C)                  | 180-330    | >220         | 300-350               |

Source: (Lešnik and Biluš, 2016), (Çelikten et al, 2012)

### Fatty acid components of rapeseed oil

The fatty acid composition of rapeseed oil used in this study was determined using Gas chromatography fitted with flame ionization detector, which is given in Table 1. This shows that rapeseed oil contains less saturated fatty acid than other oils like soya bean oil, palm oil, etc. and so it is more suitable to use in cold conditions.

Table 2

### Composition of rapeseed oil

| Fatty acid        | Structure | Weight % |
|-------------------|-----------|----------|
| Palmitic acid     | 16:0      | 4.6      |
| Stearic acid      | 18:0      | 3.2      |
| Arachidic acid    | 20:0      | 0.6      |
| Oleic acid        | 18:1      | 60.7     |
| Linolenic acid    | 18:2      | 20.5     |
| Linolenic acid    | 18:3      | 9.3      |
| Other fatty acids | -         | 1.1      |

Source: (Anantha Ramana et al, 2019)

### Fatty acid components of rapeseed methyl ester

Biodiesel were produced from rapeseed oil through the transesterification with methanol, and here named as RME (rapeseed methyl ester) blended fuels were prepared by the volume proportion 50% with the baseline diesel fuel identified as RME50. Fatty acid profile of the biodiesel corresponds to its feedstock. Most of the feedstocks possess fatty acid profiles consisting mainly of five C<sub>16</sub> to C<sub>18</sub>.

Table 3

### Composition of rapeseed methyl ester

| Fatty acid         | Structure | Weight % |
|--------------------|-----------|----------|
| Palmitic acid      | 16:0      | 4.07     |
| Stearic acid       | 18:0      | 1.55     |
| Oleic acid         | 18:1      | 62.24    |
| Linolenic acid     | 18:2      | 20.61    |
| Linolenic acid     | 18:3      | 8.72     |
| Others fatty acids | -         | 2.54     |

Source: (Zhu et al, 2016).

$$\Sigma \text{ Saturated} = \text{C14:0} + \text{C16:0} + \text{C18:0}.$$

$$\Sigma \text{ Unsaturated} = \text{C16:1} + \text{C18:1} + \text{C18:2} + \text{C18:3}.$$

$$\Sigma \text{ Polyunsaturated} = \text{C18:2} + \text{C18:3}.$$

Data from Reference 7 (Kline and McClintock, 1953)

### Biodiesel and additives

Biodiesel is defined as alkyl (methyl, ethyl, or propyl) esters of fatty acid, obtained by the chemical reaction's transesterification and esterification of oils or fats, from animal or plants, with short chain for example methanol and ethanol. An important factor in the reduction of fossil fuel consumption, and hence containment of carbon dioxide emission, is the use of renewable or alternative fuels. Ethanol produced from biomass, frequently itself the discarded vegetation from food crops, is one such renewable component which can be added to gasoline, with benefits in reduced fossil fuel consumption. Similarly, for compression ignition engine, fatty acid methyl ester produced from vegetable oil. Biodiesel is meant to be used in diesel engine because it has engine performance comparable with conventional diesel. It can be used pure and blended with diesel. Biodiesel is non-explosive, nontoxic, non-flammable and biodegradable fuel which provides reduction of many detrimental exhaust emissions. It has no SO<sub>x</sub> emission, particulate matter and soot and it can be reduced polycyclic aromatic hydrocarbons emissions. (Rashedul et al, 2014; Pinto et al, 2005; Jaichandar and Annamalai, 2011; Balat, 2006)

However, there are some disadvantages associated with the use of biodiesel fuels. Some biodiesel fuel increases NO<sub>x</sub> emission, which have rigorous environmental regulations and relatively poor low temperature flow properties compared to conventional diesel. Another demerit is the oxidation stability of biodiesel because of containing the double bond molecules in the free fatty acid. Fuels containing bio-components present special challenge in use, for which a range of additives provide valuable benefits. Aspect includes: (Leung et al, 2010).

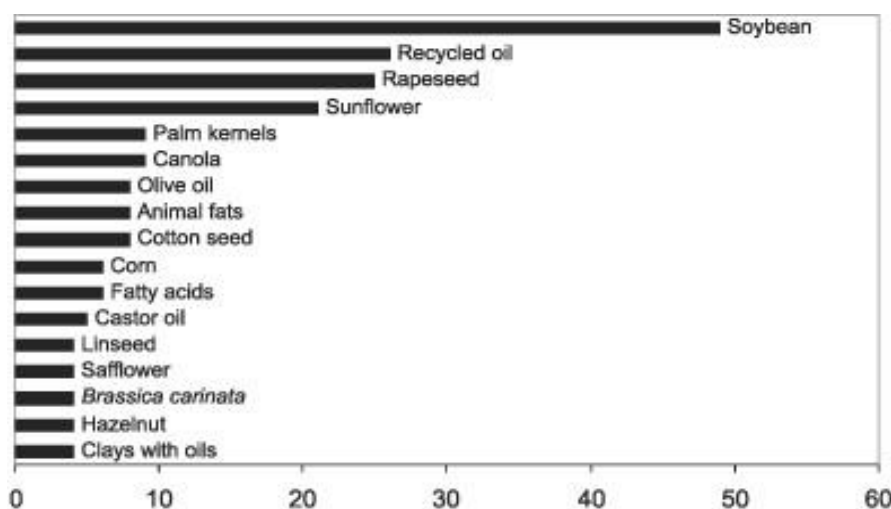
- Reduce oxidation stability.
- Corrosion in long term storage.
- Adverse effect on cold flow characteristics.

In this case, additives play a valuable and very cost-effective role in reducing potential operational problems and meeting fuel specification requirements, Additives are the chemical that are used to promote the properties of the fuel, are mixed with fuel such as diesel, biodiesel, gasoline, aviation oil etc. to improve the efficiency and fuel economy. Additives help the fuel to improve its engine performance and meeting environmental emission control standard. The selection of additives for the biodiesel fuel on fuel blending property, economic feasibility, additive solubility, toxicity, viscosity of the fuel blend, flash point of the fuel blend, solubility of water in the blend and water partitioning of the additive. In addition, the use of additives can solve some technical problems generated using biodiesel fuel. The main solving problems are: (Lin et al, 2011; Rashedul et al, 2014)

- Reduced refinery processing needed to meet diesel cetane, octane and specifications.
- Cold flow improvement in middle distillates, maximizing use of bio fuel.
- Fuel saving from optimized vehicle performance and economy.

### Source for Rapeseed Production

The source for biodiesel production is chosen according to the availability in each region or country. And it is the third most producing oil of rapeseed. Any fatty acid source may be used to prepare biodiesel, but most of the European scientific articles take rapeseed oil as a biodiesel source (Figure 1).



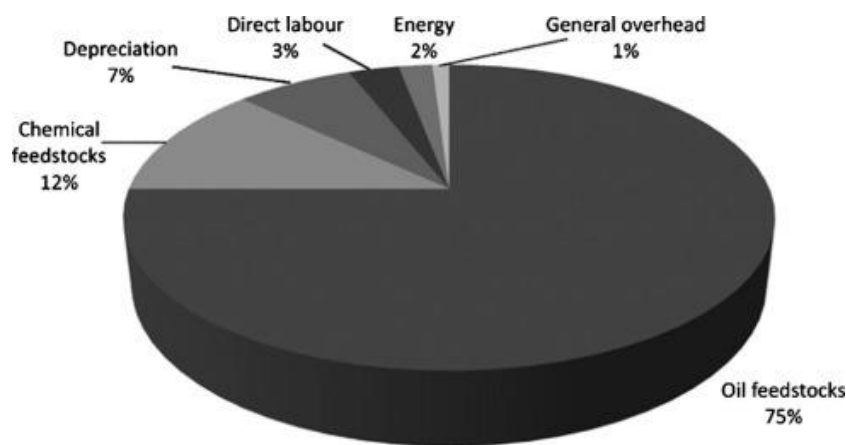
**Fig.1.** Leading biodiesel sources cited in scientific articles

Source: (Pinto et al, 2005).

Since the prices of edible vegetable oils, as rapeseed oil, are higher than that of diesel fuel, waste vegetable oils and non-edible crude vegetable oils are preferred as potential low-priced biodiesel sources. Low-quality underused feedstocks have been used to produce biodiesel. This product is comparable in composition, similar in engine performance and emissions, and predicted to be more economical to produce than biodiesel from refined rapeseed oil. (Pinto et al, 2005) (Fig.1)

### Economic aspects of biodiesel:

The economic feasibility of conventional biodiesel depends on the feedstock, processing, transportation, the price of crude oil and others. Vegetable oils are alternative, renewable and a potential source of energy content near to diesel fuel. The expense of raw materials is 60–75% of the total expense of biodiesel fuel. Several studies reported that feedstock is the major cost of biodiesel, which is about 75% of the overall production cost of biodiesel as shown in the (Fig.2). Chemicals and catalysts also affect the production cost of biodiesel. With the recent increase in the petroleum prices and the uncertainties of petroleum availability due to depletion, biodiesel is still gaining interest. Therefore, it is very necessary to look for some alternative feedstock and develop cost efficient production process. (Atabani et al, 2012; Rashedul et al, 2014) (Fig.2).



**Fig.2.** General cost break down for production of biodiesel

Source: (Rashedul et al, 2014)

The selection of the best feedstock is necessary to keep the production cost of biodiesel low. the problem associated with these low-cost oils is often the high content of free fatty acids (FFA). Pre-treatment has to be carried out in order to remove these free fatty acids before proceeding to subsequent transesterification. In terms of production cost, there are two aspects, the transesterification process and glycerol recovery. A continuous and unswerving transesterification process with a little reaction time and an extensive production capacity can reduce the cost of biodiesel production. the emission characteristics of biodiesel can be improved through a blending process in order to remain acceptable to the public. Further development of the use of the by-product such as glycerol will enhance the economic viability of the overall biodiesel production process. On top of that, strong government support and policy enforcement will play an important role in determining the success of the biodiesel industry. Thus, the implementation of a carbon tax that rewards the usage of renewable fuels usage including biodiesel and its blends over fossil diesel can stimulate the biodiesel industry. Mechanisms to encourage a wider participation of the global community towards the reduction of greenhouse gas emissions will further promote the use of renewable fuels. (Rashedul et al, 2014)

### Conclusions

1. From this study, it is understood that the additives play an extremely important role to increase engine performance and emission reduction in diesel engines. The characteristics of performance and emission of compression ignition engine fuelled with different biodiesel blended with different additives were investigated and compared with those fuelled with diesel fuel and neat biodiesel. It is observed that the use of biodiesel led to loss in engine power due to low temperature properties and lower heating value of biodiesel compared to diesel. However, blending with additives like ethanol, methanol and cold flow improver additives improves the cold flow performance.

2. Diesel has a density of nearly 0.85 kg/L but for rapeseed oil and Rapeseed methyl ester it is denser than diesel. Higher density means an increase in injection timing and the pressure required to atomize the fuel will be high.

3. Coming to the kinematic viscosity rapeseed oil and Rapeseed methyl ester is more viscous than diesel hence more pressure should be maintained in the fuel line and also injection pressure should also be higher to atomize the oil. The oil needs to be pre-heated to reduce its viscosity.

4. Due to lower calorific value, to obtain same thermal efficiency and similar power output more amount of fuel is required which translates into more amount of fuel being required by the vehicle to cover the same distance

5. The higher the cetane number, the better the fuel is, and the lesser cetane number indicates more amount of ignition delay is required. So, in rapeseed oil it is somewhat near to the diesel it is adjustable, where as in Rapeseed methyl ester is higher than diesel.

### References

1. Albo, P.A.G., Lago, S., Wolf, H., Pagel, R. and Glen, N. (2017). Density, viscosity and specific heat capacity of diesel blends with rapeseed and soybean oil methyl ester. *Biomass and Bioenergy*, (96) 87-95.
2. Anantha Ramana, L., Deepanraj, B., Rajakumar, S. and Sivasubramaniand, V. (2019). Experimental investigation on performance, combustion and emission analysis of a direct injection diesel engine fuelled with rapeseed oil biodiesel. *Fuel*, (246) 69-74.
3. Atabani, A.A., Silitonga, A., Badruddin, I.A., Mahlia, T., Masjuki, H. and Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable Sustain Energy*, (16) 2070-2093.
4. Balat, M. (2006). Fuel characteristics and the use of biodiesel as a transportation fuel. *Energy Sources, Part A*, 28(9) 855-864.
5. Bergthorson, J.M. and Thomson, M.J. (2015). A review of the combustion and emissions properties of advanced transportation biofuels and their impact on existing and future engines. *Renewable Sustain Energy*, (42) 1393-1417.
6. Çelikten, İ., Mutlu, E. and Solmaz, H. (2012). Variation of performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with diesel, rapeseed oil and hazelnut oil methyl ester blends. *Renewable Energy*, (48) 122-126.
7. Ganesan, V. (2013). *Internal combustion engines*. Tata Mcgraw Hill Education Private Limited; 4th edition.
8. Jaichandar, S. and Annamalai, K. (2011). The status of biodiesel as an alternative fuel for diesel engine—an overview. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, (2) 71-75.
9. Kline, S.J. and McClintock, F.A. (1953). Describing uncertainties in single sample experiments. *Mechanical Engineering*, (75) 3-8.
10. Lešnik, L. and Biluš, I. (2016). The effect of rapeseed oil biodiesel fuel on combustion, performance, and the emission formation process within a heavy-duty DI diesel engine. *Energy Conversion and Management*, (109) 140-152.
11. Leung, D.Y.C., Wu, X. and Leung, M.K.H. (2010). A review on biodiesel production using catalysed transesterification. *Applied energy*, 1083-1095.
12. Lin, L., Cunshan, Z., Vittayapadung, S., Xiangqian, S. and Mingdong, D. (2011). Opportunities and challenges for biodiesel fuel. *Applied Energy*, (88) 1020-1031.
13. Pinto, A.C., Guarieiro, L.L.N., Michelle J.C. and Rezende, M.J.C. (2005). Biodiesel: an overview. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, (16) no.6b.
14. Rashedul, H.K., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Ashraful, A.M., Ashrafur Rahman, S.M. and Shahir, S.A. (2014). The effect of additives on properties, performance and emission of biodiesel fuelled compression ignition engine. *Energy Conversion and Management*, (88) 348-364.
15. Torres-Jiménez, E., Kegl, M., Dorado, R. and Kegl, B. (2012). Numerical injection characteristics analysis of various renewable fuel blends. *Fuel* (97) 832-842.
16. Zhu, L., Cheung, C.S. and Huang, Z. (2016). A comparison of particulate emission for rapeseed oil methyl ester, palm oil methyl ester and soybean oil methyl ester in perspective of their fatty ester composition. *Applied thermal engineering*, (94) 249-255.
17. Zhu, L., Cheung, C.S., Zhang, W.G. and Huang, Z. (2011). Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fuelled with ethanol–biodiesel blends. *Fuel*, (90) 1743-1750.

### DYZELINO, RAPSŲ ALIEJAUS IR RAPSŲ METILO ESTERIO MIŠINIAIS VEIKIANČIO SLĖGINIO UŽDEGIMO VARIKLIO ENERGETINIŲ IR EKOLOGINIŲ RODIKLIŲ LYGINAMOJI ANALIZĖ

#### Summary

Iškastinio kuro, pvz., benzino ir dyzelino paklausa nemažėja, o jų atsargos senka. Reikia, kad švaresni ir efektyvesni degalai būtų gaminami iš alternatyvių šaltinių, pavyzdžiui, įvairių žemės ūkio produktų ar gamybos atliekų. Rapsų metilo esteris bei rapsų aliejus laikomi vienu iš pagrindinių alternatyvių šaltinių ir jie naudojami degalų mišiniuose. Tai leidžia

sumažinti neigiamą variklių teršalų emisijos įtaką aplinkai. Šiame tyrime atlikta dyzelinio kuro, rapsų metilo esterio ir rapsų aliejaus degalų fizikinių-cheminių ir eksploatacinių savybių apžvalga. Aptarta riebalų rūgščių komponentų, esančių rapsų ir rapsų metilo esteriuose, įtaka variklio veikimui. Nagrinėjamos rapsų aliejaus gamybos apimtys, biodyzelino naudojimo ekonominiai aspektai. Turima informacija rodo, kad tikslinga toliau tyrinėti ir analizuoti degalus, juos bandyti kompresinio uždegimo varikliuose, siekiant iširti šių degalų energines ir ekologines savybes.

**Reikšminiai žodžiai:** slėginio uždegimo variklis, rapsų metilo esteris, rapsų aliejus, variklio rodikliai.

#### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Badari Vishal Davu.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** bakalauras, magistratūros studentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakultetas, Automobilių inžinerijos katedros magistrantas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** Transporto priemonės, vidaus degimo varikliai, transporto ekologija.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 6 623 3320, [badari-vishal.davu@stud.vgtu.lt](mailto:badari-vishal.davu@stud.vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Alfredas Rimkus.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakultetas, Automobilių inžinerijos katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** alternatyvūs degalai, vidaus degimo varikliai.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 61571161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Jonas Matijošius.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakultetas, Automobilių inžinerijos katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** alternatyvūs degalai, vidaus degimo varikliai.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 68404169, [jonas.matijosius@vgtu.lt](mailto:jonas.matijosius@vgtu.lt)

#### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Badari Vishal Davu.

**Science degree and name:** bachelor, master student.

**Work place and position:** Vilnius Gediminas technical university, Faculty of Transport engineering, Department of Automobile engineering.

**Author's research interests:** alternative fuels, internal combustion engines.

**Telephone and email address:** +370 6 623 3320, [badari-vishal.davu@stud.vgtu.lt](mailto:badari-vishal.davu@stud.vgtu.lt)

**Author name, surname:** Alfredas Rimkus.

**Science degree and name:** doctor, associated professor.

**Work place and position:** Vilnius Gediminas technical university, Faculty of Transport engineering, Department of automobile engineering associated professor.

**Author's research interests:** alternative fuels, internal combustion engines.

**Telephone and email address:** +370 61571161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

**Author name, surname:** Jonas Matijošius.

**Science degree and name:** doctor, associated professor.

**Work place and position:** Vilnius Gediminas technical university, Faculty of Transport engineering, Department of automobile engineering associated professor.

**Author's research interests:** alternative fuels, internal combustion engines.

**Telephone and email address:** +370 68404169, [jonas.matijosius@vgtu.lt](mailto:jonas.matijosius@vgtu.lt)

# ALFA TIPO STIRLINGO VARIKLIO ŠILUMINIŲ IR GALIOS PARAMETRŲ MODELIAVIMAS

Tadas Macius, Vadim Mokšin  
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

## Anotacija

Straipsnyje pateikti  $\alpha$ -tipo Stirlingo variklio galios ir šiluminių parametrų skaitmeninio modeliavimo rezultatai. Rezultatai gauti naudojant „Stirlingpro“ programinę įrangą. Nustatyta, kad suprojektuoto variklio didžiausia 50 W galia pasiekama kai variklio dažnis (ciklų skaičius per sekundę) yra 45 Hz. Nustatyta, kad darbinų dujų temperatūra išsiplėtimo kameroje neviršija 182 °C.

**REIKŠMINIAI ŽODŽIAI.**  $\alpha$ -tipo Stirlingo variklis, galia, temperatūra, skaitmeninis modeliavimas.

## Įvadas

Šiuo metu visų išsivysčiusių pasaulio šalių pramonė pereina į naują technologinį lygį, susijusį su energijos taupymu, ekologija ir tradicinių energijos išteklių dalies mažinimu (Shufat et al., 2019). Tokia koncepcija tampa inovacinio pramonės vystymosi pagrindu. Taigi iki 2025 m. ES šalyse daugiau kaip 20% energijos bus gaminama naudojant alternatyvius ir atsinaujinančius degalus. Daugelio ekspertų nuomone, labiausiai perspektyvus būdas šioms problemoms spręsti yra Stirlingo variklio principu dirbančių energijos konversijos sistemų kūrimas, gamyba ir platus diegimas (Tlili, 2012).

Tokių variklių termodinaminį ciklą 1816 m. pasiūlė Škotijos dvasininkas Robertas Stirlingas (Stirling, 1816). Stirlingo varikliai buvo saugesni už garo variklius, nes dėl mažesnio darbinio slėgio jie nesprogdavo. Dviejų izotermų buvimas lemia idealaus Stirlingo ciklo ir Karno ciklo termodinaminio efektyvumo lygybę (Cinar et al., 2018; West, 1986; Walker, 1980). Todėl Stirlingo ciklu veikiantys varikliai teoriškai yra galingiausi iš visų egzistuojančių variklių.

Nepaisant to, iki šiol visas Stirlingo variklių potencialas dar lieka neatskleistas. Stirlingo variklių plėtimą nustelbė benzininiai vidaus degimo varikliai, nes Stirlingo variklis pakankamai ilgai užšyla, kad galėtų judėti. Tik pastaruoju metu aplinkosaugos problemos, švaresnių alternatyvų poreikis ir iškastinio kuro atsargų sumažėjimas atgaivino susidomėjimą Stirlingo varikliais.

Stirlingo mašinos yra mašinos, veikiančios uždaru termodinaminiu ciklu, kuriame cikliniai suspaudimo ir išsiplėtimo procesai vyksta esant skirtingoms temperatūroms, o darbinės terpės srautas reguliuojamas keičiant jos tūrį.

Konstruktoriniu požiūriu Stirlingo mašinos yra sėkmingas kompresoriaus, detandierio ir šilumokaičių (apkrovos šilumokaičio (šildytuvo arba kondensatoriaus), regeneratoriaus ir šaldytuvo) derinys viename agregate. Kaip darbinis kūnas yra naudojamas helis, o taip pat azotas bei oras.

Pagrindiniai Stirlingo mašinų privalumai yra tokie (Caetano et al., 2019; Cinar et al., 2018):

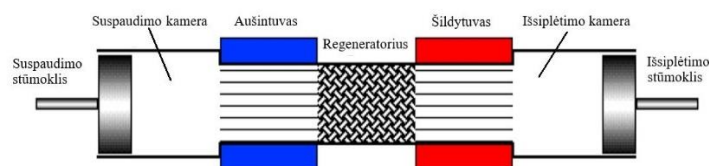
- termodinaminio ciklo universalumas leidžiantis projektuoti tiek tiesioginiu ciklu dirbančius įrenginius (variklius), tiek ir atvirkštiniu ciklu dirbančius energijos keitimo įrenginius (šaldymo ir kriogeninius įrenginius);
- didžiausias energijos suvartojimo efektyvumas (idealaus Stirlingo ciklo teorinis efektyvumas yra lygus Karno ciklo efektyvumui);
- didelis Stirlingo mašinose naudojamų darbinų kūrų ir jų atliekų ekologinis grynumas;
- galimybė naudoti įvairų kurą, tame tarpe ne tik tradicinių energijos šaltinių (naftos produktų, gamtinių dujų ir kt.) deginimą, bet ir saulės spinduliuotę, biodujas, medieną, durpes, anglį ir kt.;
- mažas keliamas triukšmas (apie 60–65 dB).

Nors Stirlingo variklius tyrinėjo daug mokslininkų, mokslinėje literatūroje  $\alpha$ -tipo Stirlingo varikliams nebuvo skirta daug dėmesio, nepaisant jų privalumų (Bataineh, 2018). Dauguma su Stirlingo varikliais susijusių tyrimų buvo atlikti  $\beta$ -tipo varikliams (Cinar et al., 2018). Todėl trūksta tikslų modelių, galinčių sukurti efektyviausią  $\alpha$ -tipo Stirlingo variklio konfigūraciją. Šio tyrimo tikslas – sumodeliuoti  $\alpha$ -tipo Stirlingo variklį. Sukurtas modelis turėtų leisti apskaičiuoti ir įvertinti optimalius variklio parametrus siekiant gauti didžiausią galią ir šiluminį efektyvumą. Efektyvumas ir didelė galia yra svarbūs, nes jie daro įtaką variklio pagamintos energijos kainai.

## Tyrimo objektas

$\alpha$ -tipo Stirlingo variklio schema pateikta 1 pav. Šio tipo varikliuose karšta ir šalta kameros yra atskirtos viena nuo kitos, paprastai jos išdėstomos atskiruose cilindruose. Stūmokliai yra prijungti prie tuo paties

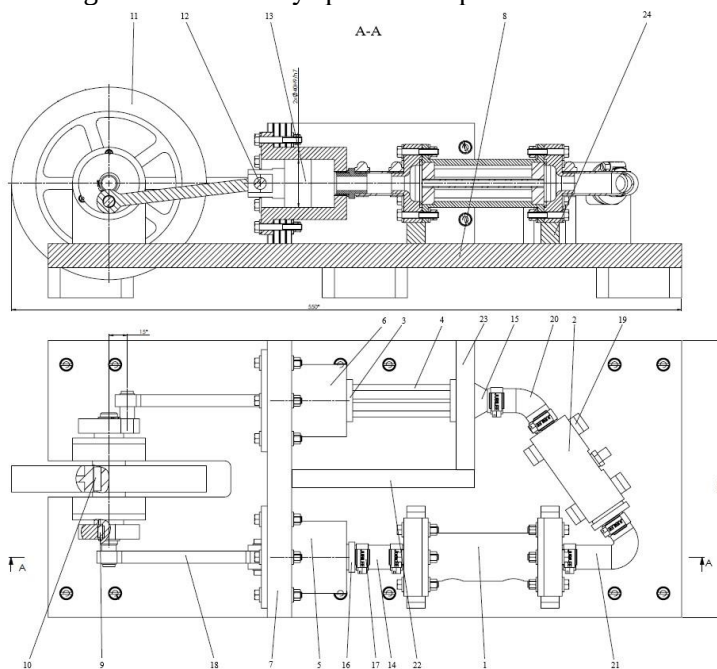
alkūninio veleno. Dvi cilindų kameros yra sujungtos su regeneratoriumi, esančiu darbinio kūno judėjimo kryptyje. Toks šilumos šaltinio ir nuotako atskyrimas apsaugo nuo karšto ir šalto darbinio kūno priešlaikinio maišymo. Tačiau stūmoklių sujungimo poreikis padidina agregato detalių skaičių, dėl ko padidėja nesandarumų atsiradimo ir nuotėkio per jungtis tikimybė. Intensyvus šilumos išsiskyrimas išsiplėtimo kameroje taip pat gali sukelti nuotėkį.



**1 pav.**  $\alpha$ -tipo Stirlingo variklio schema

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Tiriamąjį  $\alpha$ -tipo Stirlingo variklio brėžinys pateiktas 2 pav.



**2 pav.** Stirlingo variklio surinkimo brėžinys: 1 – aušintuvas; 2 – regeneratorius; 3 – jungtis; 4 – vamzdis; 5 – šaltas cilindras; 6 – karštas cilindras; 7, 8 – pagrindas; 9 – pleištas; 10 – smagračio pleištas; 11 – smagratis; 12 – pirštas; 13 – stūmoklis; 14, 20, 21 – guminė žarnelė; 15 – šilumokaičio jungtis; 16 – cilindro jungtis; 17 – apkaba; 18 – kotas; 19 – atrama; 22, 23 – apsauginė sienelė; 24 – aušintuvo atrama

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Modeliavimui buvo naudojama programa „Stirlingpro“. Jos tikslas yra padėti entuziastui, projektuotojui ar išradėjui sukurti veikiantį Stirlingo variklį, neturint specifinių matematikos ir termodinamikos žinių. Skaičiavimai atliekami remiantis skaitmeniniu Stirlingo variklio fizikos modeliu, kuris yra pagrįstas termodinamikos, skysčių mechanikos ir šilumos perdavimo principais.

Modelyje taikomos tokios prielaidos:

- plėtimo ir suspaudimo erdvės yra adiabatinės (darbinių dujų šilumos nuostolių cilindro sienelėms ir aplinkai nėra);
- tuščiosios erdvės yra izoterminės (šios erdvės čia apibrėžiamos kaip erdvės šildytuve, regeneratoriuje ir aušintuve);
- slėgis yra tolygiai pasiskirstytas tuščiosiose erdvėse bet kuriuo laiko momentu (gradientų nėra);
- tūriai svyruoja pagal sinusoidę;
- dujų inercija yra nereikšminga;
- variklio sienelių temperatūra yra pastovi laiko atžvilgiu;
- nėra darbinių dujų nutekėjimo iš variklio (visiškas sandarumas);

- procentinis slėgio kritimas regeneratoriuje yra 80% viso slėgio kritimo šildytuve, regeneratoriuje ir aušintuve (ši procentinė dalis laikoma pastovia kiekvienoje ciklo dalyje).
- Programos „Stirlingpro“ pradinių duomenų failas pateiktas 3 pav.

```
Swept volume in expansion space (cm^3)
37.7
Swept volume in compression space (cm^3)
37.7
Minimum volume in expansion space (cm^3)
3.77
Minimum volume in compression space (cm^3)
3.77
Phase angle (degrees)
90.0
Regenerator void volume (cm^3)
27.482
Flow cross-sectional area of each heater tube (cm^2)
0.1963
Flow cross-sectional area of each cooler tube (cm^2)
0.1963
Wetted perimeter for each heater tube (cm)
1.571
Wetted perimeter for each cooler tube (cm)
1.571
Flow length of each heater tube (cm)
10.0
Flow length of each cooler tube (cm)
10.0
Number of tubes in heater
7
Number of tubes in cooler
7
Heater temperature (K)
450.0
Cooler temperature (K)
300.0
Average pressure (Pa)
500000.0
Gas constant (J/(kg.K))
287.0
Cp of working gas (J/(kg.K))
1007.0
Cv of working gas (J/(kg.K))
720.0
Viscosity (N.s/m^2)
0.00003
Regenerator constant eps1 (dimensionless)
0.60
Regenerator constant eps2 (dimensionless)
0.60
Scale factor to get the average pressure you want at the engine speed you want (default = 1.0)
1.0
```

**3 pav.** Pradiniai parametrai skaičiavimams atlikti

*Šaltinis: sudaryta autorių*

## Rezultatai ir jų aptarimas

Skaičiavimų rezultatai, kurie nepriklauso nuo variklio dažnio pateikti 4 pav. Galima matyti, kad didžiausias variklio tūris sudaro  $1,28 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ . Slėgis, reikalingas variklyje prieš pradėdant darbą (prieš šildymą), kai variklio tūris yra didžiausias, sudaro 206 kPa.

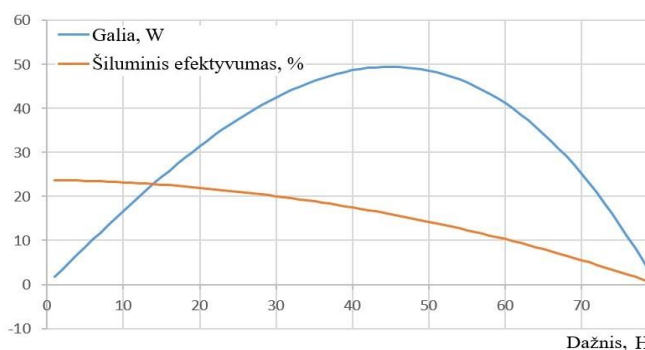
```
The maximum engine volume (m^3) = 0.0001283699
The minimum engine volume (m^3) = 0.0000750541
Compression ratio: (max. engine volume)/(min. engine volume) = 1.7103658423
The heater volume (m^3) = 0.0000137410
The regenerator void volume (m^3) = 0.0000274820
The cooler volume (m^3) = 0.0000137410
The mass of working gas in the engine (kg) = 0.0004687876
Assuming an ambient temp. of roughly 20 deg C, initially pressurize the engine to a gauge pressure (psi) of 29.8625694398
```

**4 pav.** Parametrai, kurie nepriklauso nuo variklio dažnio

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Variklio išėjimo galios priklausomybė nuo jo dažnio pateikta 5 pav. Iš 5 pav. galima matyti, kad didėjant variklio dažniui nuo 1 iki 45 Hz galia didėja, pasiekia 50 W maksimumą kai dažnis lygus 45 Hz, toliau mažėja, kai dažnis didėja nuo 45 iki 80 Hz. Variklio šiluminis efektyvumas, kuris nustatomas kaip variklio galios ir šilumos perduotos šildytuvui, santykis, didėjant dažniui, mažėja (5 pav.).

6 pav. galima matyti kaip kinta šiluma perduota šildytuvui ir pašalinta nuo aušintuvo priklausomai nuo variklio dažnio. Didėjant dažniui šiluminė energija didėja pagal tiesę.



**5 pav.** Variklio galios ir šiluminio efektyvumo priklausomybė nuo variklio dažnio (ciklų skaičiaus per sekundę)

*Šaltinis: sudaryta autorių*

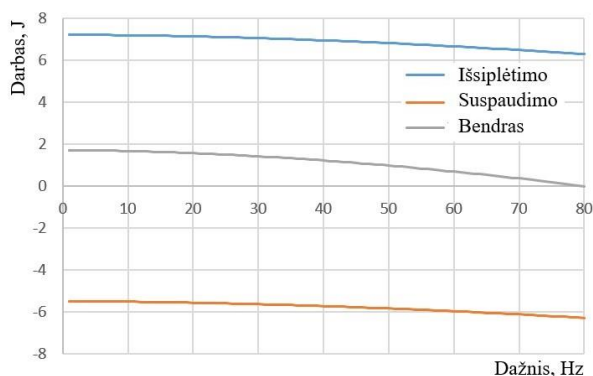


**6 pav.** Šiluminės energijos perduotos šildytuvui ir atimos nuo aušintuvo priklausomybė nuo variklio dažnio

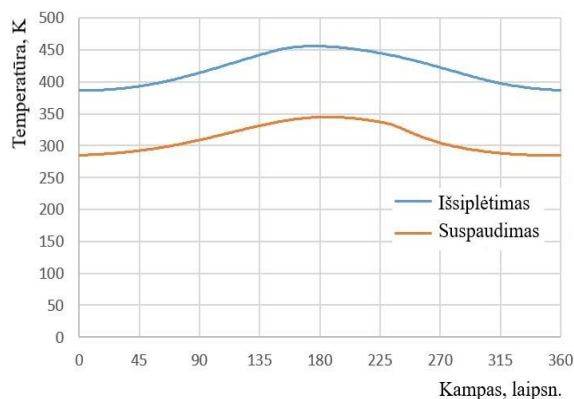
*Šaltinis: sudaryta autorių*

7 pav. parodyta kaip kinta išsiplėtimo kameroje atliktas per visą ciklą darbas priklausomai nuo variklio dažnio. Teigiamos reikšmės reiškia, kad išsiplėtimo kameroje pagaminama daugiau energijos per išsiplėtimą, o ne per suspaudimą. Ši reikšmė turi būti visada teigiama, kad variklis veiktų, nes tai yra erdvė, kuri turi suteikti pakankamą „smūgį“ varikliui pereiti per suspaudimo stadiją. Skirtingai nuo išsiplėtimo erdvės, darbas atliktas suspaudimo erdvėje yra neigiamas (7 pav.), nes suspaudimo erdvė pagamina daugiau energijos suspaudimui negu per išsiplėtimą. Tai yra erdvė, kuri turi išpumpuoti šilumą iš aušintuvo, kad būtų galima pakartotinai pašildyti darbines dujas, ir, atitinkamai, pakartoti ciklą.

Darbinių dujų išsiplėtimo ir suspaudimo kameroje temperatūros priklausomybė nuo variklio alkūninio veleno pasukimo kampo parodyta 8 pav. Pilnas sūkis tokiu būdu atliekamas kai kampas kinta nuo 0 iki 360°. Kai kampas lygus 0°, variklio tūris yra didžiausias (10 pav.). Grafikas gautas atvejui, kai variklio galia yra didžiausia, tai yra variklio dažnis lygus 45 Hz (5 pav.).



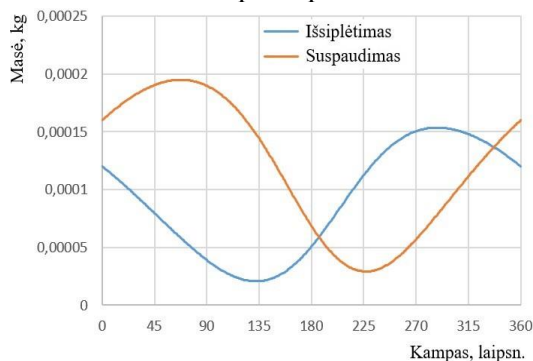
**7 pav.** Išsiplėtimo, suspaudimo erdvių ir bendras darbas per ciklą priklausomai nuo variklio dažnio  
*Šaltinis: sudaryta autorių*



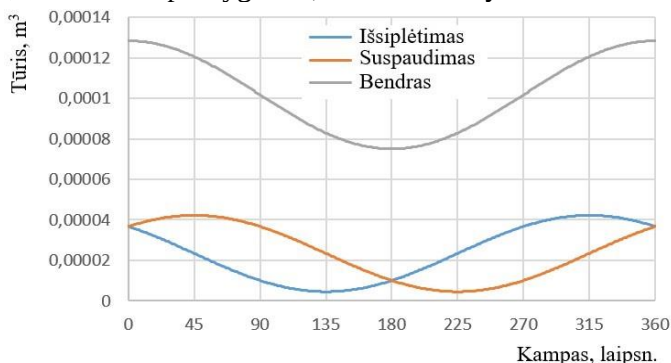
**8 pav.** Dujų temperatūros išsiplėtimo ir suspaudimo kameroje priklausomybė nuo alkūninio veleno pasukimo kampo kai variklio dažnis yra 45 Hz  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Dujų masės kitimas išsiplėtimo ir suspaudimo kameroje priklausomai nuo alkūninio veleno pasukimo kampo parodytas 9 pav. Grafikas gautas atvejui, kai variklio galia yra didžiausia, tai yra, variklio dažnis lygus 45 Hz (5 pav.). Iš 9 pav. galima matyti, kad didžiausia masė suspaudimo erdvėje bus kai alkūninio veleno pasukimo kampas lygus 67,5°. Mažiausia masė bus esant 225° kampo reikšmei. Didžiausia dujų masė išsiplėtimo erdvėje bus esant 290° kampo reikšmei, o mažiausia – 135°.

10 pav. parodytas išsiplėtimo, suspaudimo kamerų bei bendrojo variklio tūrio kitimas priklausomai nuo alkūninio veleno kampinės padėties. Galima matyti, kad kai kampas lygus 0°, variklio tūris yra didžiausias.



**9 pav.** Dujų masės išsiplėtimo ir suspaudimo kameroje priklausomybė nuo alkūninio veleno pasukimo kampo kai variklio dažnis yra 45 Hz  
*Šaltinis: sudaryta autorių*



**10 pav.** Išsiplėtimo ir suspaudimo kamerų tūrio priklausomybė nuo alkūninio veleno pasukimo kampo kai variklio dažnis yra 45 Hz  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

## Išvados

1. Suprojektuoto  $\alpha$ -tipo Stirlingo variklio didžiausia išėjimo galia sudaro 50 W esant 45 Hz dažniui.
2. Didžiausias suprojektuoto variklio šiluminis efektyvumas pasiekiamas esant 1–30 Hz dažniams.
3. Programinė įranga „Stirlingpro“ leidžia modeliuoti  $\alpha$ -tipo Stirlingo variklius išvengiant jų gamybos išlaidų bei brangių eksperimentinių tyrimų.

## Literatūra

1. Bataineh, K.M. 2018. Numerical thermodynamic model of alpha-type Stirling engine. Case Studies in Thermal Engineering, 12, 104–116.
2. Caetano, B.C., Lara, I.F., Borges, M.U., Sandoval, O.R., Valle, R.M. 2019. A novel methodology on beta-type Stirling engine simulation using CFD. Energy Conversion and Management, 184, 510–520.
3. Cinar, C., Aksoy, F., Solmaz, H., Yilmaz, E., Uyumaz, A. 2018. Manufacturing and testing of an  $\alpha$ -type Stirling engine. Applied Thermal Engineering, 130, 1373–1379.
4. Shufat, S.A., Kurt, E., Cinar, C., Aksoy, F., Hançerlioğullari, A., Solmaz, H. 2019. Exploration of a Stirling engine and generator combination for air and helium media. Applied Thermal Engineering, 150, 738–749.
5. Stirling, R. 1816. Improvements for Diminishing the Consumption of Fuel and in Particular, an Engine Capable of Being Applied to the Moving of Machinery on a Principle Entirely New. British Patent No. 4081.
6. Tlili, I. 2012. Thermodynamic study on optimal solar Stirling engine cycle taking into account the irreversibilities effects. Energy Procedia, 14, 584–591.
7. Walker, G. 1980. Stirling Engines. Oxford: Clarendon Press.
8. West, C.D. 1986. Principles and Applications of Stirling Engines. New York: van Nostrand Reinhold.

## SIMULATION OF THERMAL AND POWER PARAMETERS OF ALPHA-TYPE STIRLING ENGINE

### Summary

This paper presents results of numerical simulation of power and thermal parameters of alpha-type Stirling engine. Results were obtained using Stirlingpro software. It was established that the maximum output power (50 W) of designed Stirling engine is achieved when engine frequency (number of cycles per second) is equal to 45 Hz. The working gas temperature in the expansion chamber does not exceed 182 °C.

**Key words:**  $\alpha$ -type Stirling engine, output power, temperature, numerical simulation.

### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Tadas Macius

**Mokslo laipsnis ir vardas:** inžinerijos mokslų bakalauro

**Darbo vietą ir poziciją:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos fakulteto, Mechanikos ir medžiagų inžinerijos katedros magistrantas

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** mechaninių procesų skaitmeninis modeliavimas

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 5 2370594, [tadas.macias@stud.vgtu.lt](mailto:tadas.macias@stud.vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Vadim Mokšin

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, profesorius

**Darbo vietą ir poziciją:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos fakulteto, Mechanikos ir medžiagų inžinerijos katedros profesorius

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** tribologija, medžiagų apdirbimas pjovimu, mašinų dinamika

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 5 2370594, [vadim.moksin@vgtu.lt](mailto:vadim.moksin@vgtu.lt)

### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Tadas Macius

**Science degree and name:** bachelor of engineering

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas technical university, Faculty of mechanics, Department of mechanical and material engineering, M. Sc. student

**Author's research interests:** numerical simulation of mechanical processes

**Telephone and e-mail address:** 8 5 2370594, [tadas.macias@stud.vgtu.lt](mailto:tadas.macias@stud.vgtu.lt)

**Author name, surname:** Vadim Mokšin

**Science degree and name:** Ph. D., professor

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas technical university, Faculty of mechanics, Department of mechanical and material engineering, professor

**Author's research interests:** tribology, metal cutting, machine dynamics

**Telephone and e-mail address:** 8 5 2370594, [vadim.moksin@vgtu.lt](mailto:vadim.moksin@vgtu.lt)

# LENGVŲJŲ AUTOMOBILIŲ PADANGŲ SLĖGIO KONTROLĖS SISTEMŲ TYRIMAS

Vaidotas Gvozdas, Saulius Nagurnas, Vidas Žuraulis, Vytenis Surblys  
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

**Anotacija.** Šiame straipsnyje pateiktas skirtingų tipų padangų slėgio kontrolės (PSK) sistemų tyrimas. Atliktas mokslinės literatūros, kurioje nagrinėjami įvairūs skirtingų PSK sistemų bandymai, analizė. Pateiktame tyrime siekiama įvertinti lengvųjų automobilių padangų slėgio kontrolės sistemų funkcionavimo efektyvumą esant skirtingiems eksploataavimo režimams. Šiam tikslui pasiekti atlikti eksperimentiniai lengvųjų automobilių bandymai, matuojant kampinius ratų sukimosi greičius, keičiant slėgius tiriamų automobilių ratuose. Remiantis gautais rezultatais nustatyta, kada ima funkcionuoti skirtingų tipų PSK, priklausomai nuo slėgio pokyčių padangose.

**REIKŠMINIAI ŽODŽIAI:** lengvasis automobilis, slėgis padangose, kampinis greitis, važiavimo greitis, dinaminių charakteristikų matavimo įranga.

## Įvadas

Atsižvelgiant į tai, kad eksploatuojamų automobilių padangos yra vienas svarbiausių ir saugumą lemiančių automobilio mazgų, tiek padangų, tiek automobilio gamintojai stengiasi nuolat tobulinti sistemas ir gamybos technologijas, lemiančias didesnę automobilių saugumą, mažesnę poveikį aplinkai bei tobulinant komforto ir atskirų mazgų tiesiogines stebėjimo sistemas. Viena tokių sistemų – tai PSK. Todėl labai svarbu nustatyti, kaip tiksliai funkcionuoja skirtingų tipų PSK keičiantis slėgiui padangose.

**Tyrimo objektas** – lengvųjų automobilių skirtingų tipų padangų slėgio kontrolės sistemų tyrimas.

**Tyrimo tikslas** – atlikti lengvųjų automobilių skirtingų tipų padangų slėgio kontrolės sistemų funkcionavimo efektyvumo tyrimą.

**Tikslui pasiekti iškelti šie uždaviniai:**

1. Atlikti padangų slėgio kontrolės sistemų konstrukcinių ypatumų analizę.
2. Nustatyti lengvųjų automobilių ratų kampinių sukimosi greičių priklausomybes nuo važiavimo laiko, įvertinus skirtingų tipų padangų slėgio kontrolės sistemų darbą.

**Naudojami metodai:**

Mokslinės literatūros analizė, eksperimentiniai tyrimai.

**Straipsnio struktūra.** Pateikiama padangų slėgio kontrolės sistemų tyrimų apžvalga, eksperimentinių tyrimų atlikimo metodika, rezultatai bei jų analizė. Įvertinta įvairių PSK sistemų veikimo specifika ir veikimo tikslumas.

**Padangų slėgio kontrolės sistemų tyrimų apžvalga.** Mokslinėje literatūroje (Zhang et al., 2014) apžvelgiami skirtingi tiesioginės PSK sistemos jutikliai bei atliekami bandymai su membraniniais slėgio jutikliais, pasinaudojant ANSYS programiniu paketu, siekiant nustatyti tiesioginės PSK sistemos jutiklių patikimumą ir darbo režimus. Atliktos jutiklių simuliacijos parodo, kad tiesioginės PSK sistemos jutikliai puikiai atitinka savo paskirtį ir gali būti naudojami tiesioginėse PSK sistemose, užtikrinant tinkamą duomenų perdavimą ir vairuotojo informavimą apie slėgio pasikeitimus.

Yu Shiming (Shiming et al., 2012) nagrinėjo bevielės antenas, naudojamas tiesioginėje PSK sistemoje, galimybes bei jų tinkamą duomenų perdavimą valdymo blokui. Autoriai teigia, kad tiesioginės PSK sistemos antena yra jautri kitų elektros prietaisų skleidžiamiems signalų trikdžiams bei iškraipo perduodamus duomenis. Dėl šios priežasties tiesioginė PSK sistema gali veikti netinkamai.

Netiesioginės PSK sistemos gali būti tyrinėjamos ir pasinaudojant *Matlab* arba *Simulink* programiniais paketais. Mokslininkai (Miclaus et al., 2016) suprojektavę minėtomis programomis netiesioginę PSK sistemą nustatė, kad sistemos efektyvumas pasireiškia tik pasikeitus padangų slėgiui 30% nuo nustatytos reikšmės. Tačiau įžvelgė ir privalumus, kad informaciją apie pasikeitusį slėgį galima perduoti realiu važiavimo laiku, net ir į mobilųjį telefoną turint specialią programėlę, pabrėždami, kad tai vienas paprasčiausių ir lengviausių duomenų perdavimo sistemų, lyginant su tiesiogine PSK sistema.

Atsižvelgiant į ankstesnių mokslininkų, nagrinėjančių įvairių PSK sistemų funkcionavimą, šiame straipsnyje PSK sistemų veikimo efektyvumas nagrinėjamas kitu aspektu - naudojant kampinių ratų sukimosi greičių jutiklius. T. y., fiksuojamas ratų sukimosi kampinis greitis, keičiant slėgį padangose ir nustatoma kokioms reikšmėms esant pradeda veikti įvairių tipų PSK sistemos.

**Eksperimentinių tyrimų atlikimo metodika.** Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami bandant lengvuosius automobilius kelyje. Sumontavus matavimo įrangos *Corsys datron sensor system GmbH* (Kistler Group: 2009) jutiklius su atitinkama duomenų apdorojimo sistema. Bandymams naudoti *Mercedes Benz S320* (2007), *Mercedes Benz CLS* (2008) ir *Nissan Qashqai* (2018) lengvieji automobiliai su įvairiomis PSK

sistemomis. *Mercedes* automobiliuose buvo sumontuota netiesioginė PSK sistema (matuojanti ratų sukimosi greitį per ABS sistemos jutiklius), o *Nissan* automobilyje – tiesioginė PSK sistema, matuojanti slėgį per specialius jutiklius, sumontuotus ratų ventiliuose.

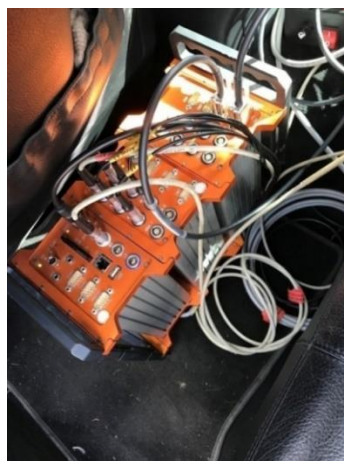
Bandymų atlikimo tvarka:

1. Bandymai atlikti ant sausos asfaltbetonio kelio dangos.
2. Ant bandomojo automobilio sumontuojami kampinio ratų sukimosi greičio jutikliai *Kubler* (*Kubler GmbH*: 2014) (1 pav.). Jie tvirtinami prie ratlankių ir automobilio kėbulo, užtikrinant laisvą judėjimą kartu su bandomojo automobilio pakabos elementais. Jutikliai tvirtinami prie dešinės automobilio pusės priekinio ir galinio ratų, taip priimant, kad kitos pusės ratų kampiniai greičiai atitiks matuojamų kampinio ratų greičio reikšmes.



**1 pav.** Rato kampinio sukimosi greičio jutiklis  
*Kubler*

*Šaltinis: sudaryta autorių*



**2 pav.** *Corrsys datron* procesorius  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

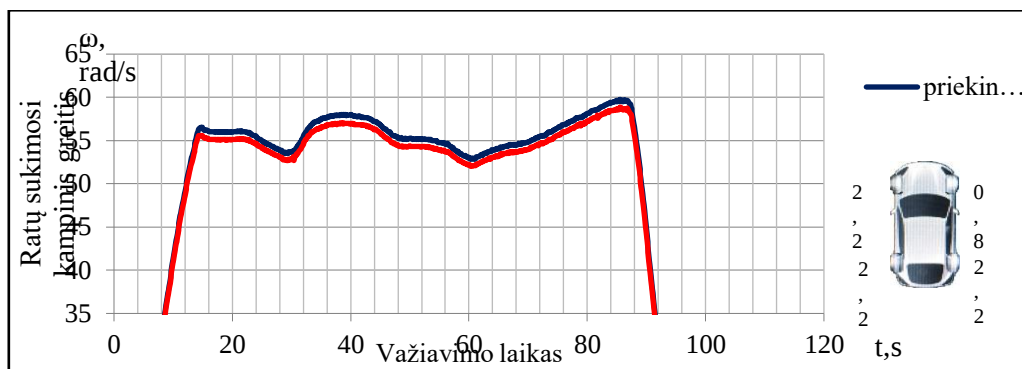
3. *Corrsys datron* procesorius (2 pav.) kabeliais sujungiamas su pritvirtintais prie ratų ir kėbulo jutikliais.

4. Parenkami važiavimo greičiai, slėgiai (konkrečios reikšmės pateiktos eksperimentinių tyrimų rezultatų analizėje), kuriais bandomasis automobilis bus eksploatuojamas. Pirmasis bandymas atliekamas su gamintojo reglamentuojamais padangų slėgiais.

5. Nustatomi kiekvieno automobilio tiriamų ratų kampiniai greičiai ir važiavimo trukmė.

6. Aukščiau paminėti parametrai nustatomi keičiant bandomojo automobilio priekinio dešinio rato slėgį. 3 paveiksle kaip pavyzdys pateikta automobilio *Mercedes Benz S320* (2007 m.) ratų kampinio greičio priklausomybė nuo važiavimo laiko, slėgį priekiniame dešiniame rate sumažinus iki 0,8 bar.

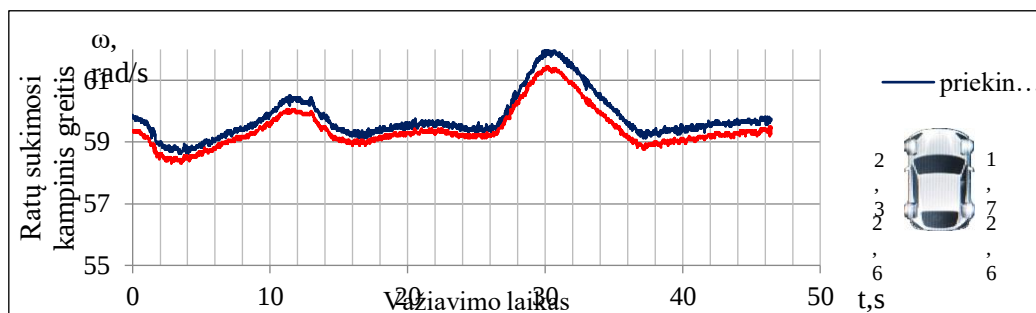
**Eksperimentinių tyrimų rezultatai ir jų analizė.** Eksperimentinių tyrimų metu atlikti konkretūs bandymai, siekiant nustatyti, kada sureaguos PSK sistemos. Atliekant bandymus su *Mercedes Benz S320* automobiliu (priekinės ašies padangos – 255/35 R20, galinės – 295/30 R20) padangų slėgis buvo mažinamas priekinės ašies dešiniame rate (kiekvieno važiavimo metu po 0,2 bar nuo gamintojo nustatytos reikšmės). Buvo stebimas bandomojo automobilio prietaisų skydas, kada sureaguos PSK sistema ir įsižiebs įspėjantysis indikatorius. Kiekvienas bandymas atliktas dvejais važiavimo greičiais – 50 km/h ir 70 km/h, siekiant nustatyti tyrinėjamos PSK sistemos efektyvumą. Pastebėta, kad PSK sistema suveikė važiuojant 70 km/h greičiu ir priekiniame dešiniame rate esant 1,4 barų mažesniai slėgiui, negu rekomenduoja gamintojas. Tai matyti 3 paveiksle ties automobilio simboliu.



**3 pav.** Mercedes Benz S320 bandymo ratų sukimosi kampinio greičio priklausomybė nuo važiavimo laiko, suveikus slėgio kontrolės sistemai. Važiavimo greitis – 70 km/h

Šaltinis: sudaryta autorių

Atliekant bandymus, su Mercedes Benz CLS automobiliu (priekinės ašies padangos – 245/40 R18, galinės – 275/35 R18) slėgiai padangose taip pat mažinami 0,2 bar dydžiu. Kiekvienas bandymas atliktas dviem važiavimo greičiais – 50 km/h ir 70 km/h, siekiant nustatyti tyrinėjamos PSK sistemos efektyvumą. Pastebėta, kad PSK sistema suveikė važiuojant 70 km/h greičiu ir priekiniame dešiniame rate esant 0,6 barų mažesniai slėgiui, negu rekomenduoja gamintojas (žr. 4 pav.).

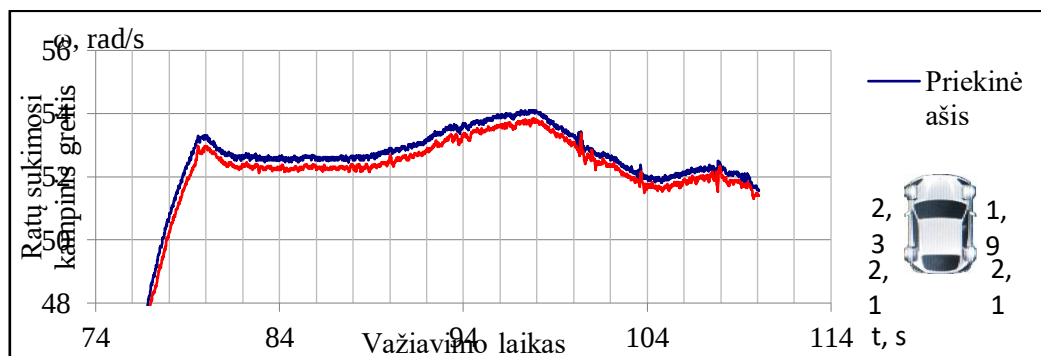


**4 pav.** Mercedes Benz CLS ratų sukimosi kampinio greičio priklausomybė nuo važiavimo laiko, suveikus padangų slėgio kontrolės sistemai. Važiavimo greitis – 70 km/h

Šaltinis: sudaryta autorių

Palyginus bandomųjų automobilių ratų kampinių greičių skirtumus matyti, kad to paties gamintojo (šiuo atveju Mercedes Benz) automobilių padangų slėgio netiesioginės kontrolės sistemos, veikiančios tokiu pačiu principu, suveikia skirtingai, esant skirtingiems padangų slėgių skirtumams tarp priekinės ir galinės ašių.

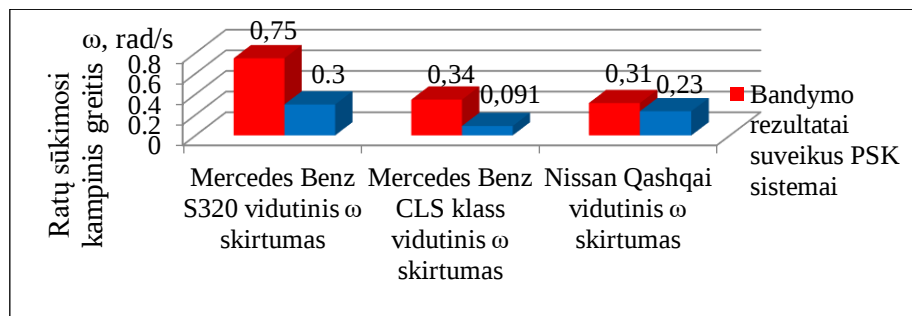
Atliekant bandymus su Nissan Qashqai automobiliu (priekinės ašies ir galinės ašių padangos - 215/60 R17), padangų slėgis buvo mažinamas priekinėje ašyje kiekvieno važiavimo metu 0,2 bar dydžiu, stebint bandomojo automobilio prietaisų skydą, kada sureaguos tiesioginės PSK sistema. Kiekvienas bandymas atliktas dvejais važiavimo greičiais – 50 km/h ir 70 km/h, siekiant nustatyti tyrinėjamos sistemos efektyvumą. Pastebėta, kad tiesioginė padangų slėgio kontrolės sistema suveikė esant 0,4 bar slėgių skirtumui (žr. 5 pav.).



**5 pav.** Nissan Qashqai ratų sukimosi kampinio greičio priklausomybė nuo važiavimo laiko, suveikus padangų slėgio kontrolės sistemai. Važiavimo greitis – 70 km/h

Šaltinis: sudaryta autorių

Susisteminus bandymų duomenis, kai buvo bandomi automobiliai su tiesioginės ir netiesioginės PSK sistemomis, ir sulyginus bandomųjų automobilių atitinkamų ratų sukimosi kampinių greičių reikšmes, gautas vidutinių kampinio ratų sukimosi greičio reikšmių skirtumas, kai suveikia PSK sistemos (6 pav.).



**6 pav.** Bandomųjų automobilių vidutinių ratų sukimosi kampinių greičių skirtumai tarp priekinio ir galinio ratų

Šaltinis: sudaryta autorių

6 paveiksle matyti, kad didesni skirtumai tarp vidutinių ratų sukimosi greičio reikšmių fiksuojami, esant netiesioginei PSK sistemai. Tai būtų galima paaiškinti naudotomis labai žemo profilio *Mercedes Benz* automobilių padangomis. Taip pat tikėtina, kad automobilyje *Nissan* sumontuota tiesioginio matavimo PSK sistema yra jautresnė ir reaguoja daug anksčiau, lyginant su netiesiogine PSK sistema.

Taip pat reikia pažymėti, kad nepriklausomai nuo automobilio klasės ir PSK sistemos, esant skirtingiems padangų išmatavimams, ratų kampiniai greičiai, esant nustatytiems padangų slėgiams, kuriuos rekomenduoja gamintojas, tarp priekinės ir galinės ašių – sutampa.

### Išvados

1. Remiantis atliktu tyrimu galime preliminariai teigti, kad tiesioginės PSK sistemos darbo efektyvumas ir suveikimo tikslumas yra geresnis nei netiesioginės PSK sistemos. Tačiau tai patvirtinti tikslinga atlikti papildomus tyrimus su žemo profilio padangomis, esant tiesioginei PSK sistemai.

2. Eksperimentinių tyrimų metu nustatyta, kad:

- Netiesioginė PSK sistema automobilyje *Mercedes Benz S320* suveikė tik esant didesniam, nei 1,4 bar slėgių skirtumui, o ratų kampinių greičių maksimalus skirtumas tarp priekinės ir galinės ašių buvo 0,88 rad/s.

- Netiesioginė PSK sistema automobilyje *Mercedes Benz CLS* suveikė esant didesniam, nei 0,6 bar slėgių skirtumui, o ratų kampinių greičių maksimalus skirtumas tarp priekinės ir galinės ašių 0,56 rad/s.

- Galima daryti prielaidą, kad to paties gamintojo automobiliuose tos pačios PSK sistemos ratų kampinių greičių vidutinių reikšmių skirtumai atsiranda dėl naudotų skirtingo aukščio padangų. Kuo žemesnio profilio padangos, tuo netiesioginė PSK sistema suveikia vėliau.

- Tiesioginė PSK sistema automobilyje *Nissan Qashqai* suveikė esant mažesniai nei 0,4 bar slėgių skirtumui, o ratų kampinių greičių maksimalus skirtumas tarp priekinės ir galinės ašių buvo tik 0,19 rad/s.

- Tiesioginė PSK sistema suveikia 3,5 karto greičiau, lyginant *Nissan Qashqai* ir *Mercedes Benz S320* automobilius ir 1,5 karto lyginant *Nissan Qashqai* ir *Mercedes Benz CLS* automobilius.

### Literatūra

1. A Kistler Group company. (2009). Corrsys datron product overview [žiūrėta 2017-05-20]. Prieiga internetu: [http://www.asras.co.th/images/introc\\_1363157515/Datron%20Product%20range.pdf](http://www.asras.co.th/images/introc_1363157515/Datron%20Product%20range.pdf).
2. Fritz Kubler GmbH. (2014). Incremental encoders [žiūrėta 2017-05-20]. Prieiga internetu: [https://www.kuebler.com/PDFs/leaflet/drehgeber/english/5000-5020\\_en.pdf](https://www.kuebler.com/PDFs/leaflet/drehgeber/english/5000-5020_en.pdf).
3. Miclaus A., Jano R., Chindris G. (2016). Implementation of car model for indirect tire pressure monitoring system. *Electronics Technology*. 39, p. 316–321.
4. Shiming Y., Jianbin T., Hong Q., Chegrong C. (2012). Wireless communication based tire pressure monitoring system. *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*. p. 2511 – 2514.
5. Zhang J., Zhang J., Qi H., Hu Z. (2014). Design of high-linear mems pressure sensor available for tpms. *Solid-State and Integrated Circuit Technology*. 12, p. 653 – 656.

# THE RESEARCH OF TIRE PRESSURE MONITORING SYSTEMS IN AUTOMOBILES

## Summary

This article presents a study of different types of tire pressure monitoring (PSK) systems. The analysis of scientific literature, which presents various tests of different PSK systems, has been performed. The aim of the study is to evaluate the performance of automobiles tire pressure control systems in different operating modes. To achieve this purpose, firstly, experimental testing of automobiles done by measuring the angular velocity of the wheels, then changing the pressure in the wheels of the automobiles under investigation. Based on the results, it was determined when different types of PSK starts to function, depending on the pressure change in the tires.

**Keywords:** automobile, tire pressure, angular speed, driving speed, measurement equipment of dynamic performance.

## AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Vaidotas Gvozdvas.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** magistrantas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių inžinerijos katedros magistrantas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** automobilių dinamikos ir eismo saugumo problemų tyrimai.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 671 48386, [vaidotas.gvozdvas@stud.vgtu.lt](mailto:vaidotas.gvozdvas@stud.vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Saulius Nagurnas.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių inžinerijos katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** automobilių diagnostika, automobilių elektroninės valdymo sistemos, transporto mašinų patikimumas.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 654 02786, [saulius.nagurnas@vgtu.lt](mailto:saulius.nagurnas@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Vidas Žuraulis.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių inžinerijos katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** automobilių dinamikos ir eismo saugumo problemų tyrimai.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 652 00486, [vidas.zuraulis@vgtu.lt](mailto:vidas.zuraulis@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Vytenis Surblis.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** magistras, lektorius.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių inžinerijos katedros lektorius.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** automobilių dinamikos ir eismo saugumo problemų tyrimai.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 692 25720, [vytenis.surblys@vgtu.lt](mailto:vytenis.surblys@vgtu.lt)

## A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Vaidotas Gvozdvas.

**Science degree and name:** postgraduate.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile engineering department postgraduate.

**Author's research interests:** research of automobile dynamics and traffic safety problems.

**Telephone and e-mail address:** +370 671 48386, [vaidotas.gvozdvas@stud.vgtu.lt](mailto:vaidotas.gvozdvas@stud.vgtu.lt)

**Author name, surname:** Saulius Nagurnas.

**Science degree and name:** doctor, associated professor.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile engineering department associated professor.

**Author's research interests:** automobile diagnostics, automotive electronic control systems, reliability of transport machinery.

**Telephone and e-mail address:** +370 654 02786, [saulius.nagurnas@vgtu.lt](mailto:saulius.nagurnas@vgtu.lt)

**Author name, surname:** Vidas Žuraulis.

**Science degree and name:** doctor, associated professor.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile engineering department associated professor.

**Author's research interests:** research of automobile dynamics and traffic safety problems.

**Telephone and e-mail address:** +370 652 00486, [vidas.zuraulis@vgtu.lt](mailto:vidas.zuraulis@vgtu.lt)

**Author name, surname:** Vytenis Surblis.

**Science degree and name:** M. Sc., lector.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile engineering department lector.

**Author's research interests:** research of automobile dynamics.

**Telephone and e-mail address:** +370 692 25720, [vytenis.surblys@vgtu.lt](mailto:vytenis.surblys@vgtu.lt)

# GAMTINIŲ DUJŲ IR BIODEGALŲ NAUDOJIMO SLĖGINIO UŽDEGIMO VARIKLIUOSE EFEKTYVUMO TYRIMAS

Vitalij Kabelis, Alfredas Rimkus  
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

## Anotacija

Straipsnyje pristatomi slėginio uždegimo variklio, veikiančio dvigubais degalais (dyzelinu ir gamtinėmis dujomis bei antros kartos biodyzelinu ir gamtinėmis dujomis) energetinio ir ekologinio efektyvumo tyrimo rezultatai, keičiant dujų energijos koncentraciją mišinyje ir degalų įpurškimo pradžios momentą. Eksperimentinių tyrimų duomenys skaitinio modeliavimo būdu analizuoti AVL BOOST programa, nustatant pagrindinius degimo proceso rodiklius. Nustatyta biodyzelino ir gamtinių dujų įtaka degimo procesui bei variklio rodikliams, pateiktos rekomendacijos variklio energetinio efektyvumo didinimui.

**Reikšminiai žodžiai:** slėginio uždegimo variklis, biodyzelinas, gamtinės dujos, energetinis efektyvumas, ekologiniai rodikliai.

## Išvadas

Paskutiniu metu ypač didelis dėmesys skiriamas slėginio uždegimo (dyzelinių) variklių keliama taršai. Vieni automobilių gamintojai dėl to atsisako šių variklių naudojimo ateityje, kiti gamintojai ieško būdų, kaip galima būtų modernizuoti esamus variklius, kurti tobulesnes jų maitinimo sistemas. Vienas iš modernizavimo būdų ir yra *Dual fuel* maitinimo sistemų kūrimas ir taikymas, į variklį, kaip papildomus degalus, tiekiant gamtines dujas (GD). Tačiau slėginio uždegimo variklio energetiniai parametrai blogėja į variklį tiekiant didesnę dujų kiekį, nes dujos sumažina į cilindrą patenkančio oro kiekį, dujų ir dyzelino degimo procesas vyksta skirtingai. Siekiant sumažinti šiltnamio dujų emisiją gali būti naudojami alternatyvūs degalai. Dyzelinas gali būti keičiamas biodyzelinu, GD keičiamos biodujomis. Pažymėtina, kad 2009 m. balandžio 23 d. Lietuvoje priimtas teisės aktas 2009/28/EB, dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją. Pagal šią direktyvą Lietuvoje iki 2020 m. biodegalai turi sudaryti ne mažiau kaip 10 % bendro energijos suvartojimo transporto sektoriuje.

Todėl šio tyrimo tikslas yra atlikti slėginio uždegimo variklio, veikiančio įvairiais gamtinių dujų ir dyzelino/biodyzelino mišiniais, eksperimentinių tyrimų rodiklių analizę ir skaitinį modeliavimą, optimizuojant mišinio sudėtį, degimo procesą ir siekiant didžiausio energetinio efektyvumo bei mažiausios aplinkos taršos.

Tyrimo uždaviniai:

1. Atlikti gamtinių dujų ir dyzelino/biodyzelino naudojimo slėginio uždegimo variklyje efektyvumo apžvalgą.
2. Atlikti degalų fizinių bei cheminių savybių analizę.
3. Atlikti slėginio uždegimo variklio, veikiančio įvairiais gamtinių dujų ir dyzelino/biodyzelino mišiniais, eksperimentinius tyrimus.
4. Atlikti gautų rezultatų analizę skaitinio modeliavimo būdu, AVL BOOST programa, nustatant pagrindinius degimo proceso rodiklius
5. Apibendrinti atliktus eksperimentinius ir teorinius tyrimus ir pateikti išvadas.

## Mišrios maitinimo sistemos *Dual fuel* naudojimas slėginio uždegimo variklyje

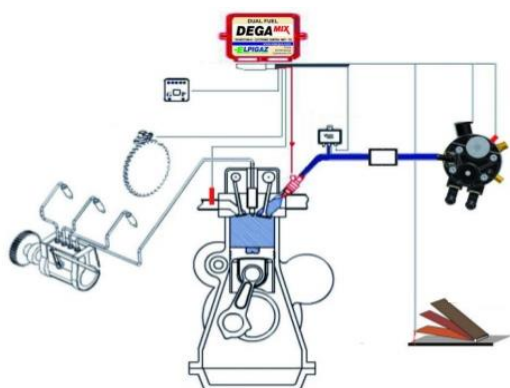
*Dual fuel* maitinimo sistemos yra skirtos slėginio ir kibirkštinio uždegimo varikliams. Jų dėka galima įvairiomis proporcijomis maitinti variklius skirtingais degalais. *Dual fuel* maitinimo sistemos dažniausiai naudojamos tiekti į variklį dujinius degalus ir yra montuojamos lygiagrečiai gamyklinei maitinimo sistemai, kuri skirta tiekti skystus degalus (1 pav.). *Dual fuel* sistema turi atskirus jutiklius, taipogi ji yra lygiagrečiai prijungiama prie gamyklinės maitinimo sistemos jutiklių, iš kurių gauna informaciją apie variklio sūkių, apkrovą ir paduodamą skystų degalų kiekį. Dujinių degalų kiekis yra reguliuojamas trumpiau ar ilgiau atidarant elektromagnetinius dujų padavimo purkštukus, o dyzelino kiekis gali būti mažinamas emuliuojant akseleratoriaus pedalo padėties jutiklio signalą arba degalų slėgio jutiklio signalą.

Naudojant *Dual fuel* sistemas su papildomai tiekiamomis GD ir keičiant skystų degalų įpurškimo momentą, kiekį ir slėgį, galima smarkiai pakeisti degimo procesą cilindre pagerinant ekologinius ir energetinius variklio rodiklius. (Liu et al., 2013) Dyzelino ir biodyzelino degimo procesas variklyje skiriasi ir maišant šiuos degalus su gamtinėmis dujomis. Galima pagerinti variklio darbo rodiklius, tačiau skystų degalų įpurškimo momento korekcija ne visada turi teigiamą poveikį ir tai priklauso nuo variklio sūkių ir apkrovos. Esant didesnėms apkrovoms degimo procesas dyzelino ir gamtinių dujų mišiniais veikiančiame variklyje gerėja ir jo teršalų emisijos yra mažesnės nei tik dyzelinu varomo variklio. (Ryu, 2013b) Gamtinės dujos, dėl

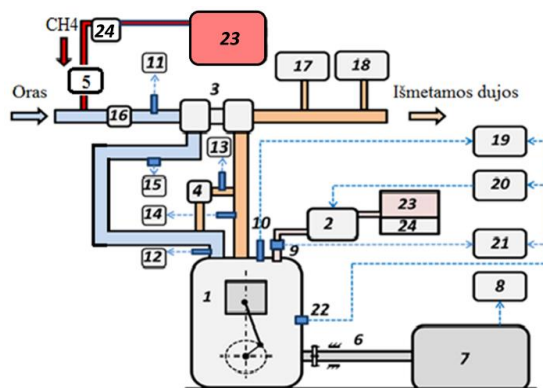
savo aukšto oktaninio skaičiaus, gali būti naudojamos dideliais kiekiais mišiniuose su dyzelinu slėginio uždegimo varikliuose. Tyrimais nustatyta, kad pirminis dyzelino ar biodyzelino įpurškimas turi vos apie 1 % įtaką variklio galiai bei energetiniam efektyvumui, bet jo pakanka kad būtų uždegtas gamtinių dujų mišinys slėginio uždegimo variklio cilindre ir tai leidžia dyzeliną, ar biodyzeliną pakeisti gamtinėmis dujomis iki 99 %. (Ryu, 2013a)

### Tyrimų objektas ir metodai

Bandymai atlikti VGTU Automobilių inžinerijos katedros laboratorijoje naudojant slėginio uždegimo variklį 1.9 TDI (1Z), kuriame sumontuotas elektronikos valdomas BOSCH VP37 skirstomojo tipo degalų siurblys ir turbokompresorius (2 pav.). Taipogi šitam varikliui buvo sumontuota dujų maitinimo sistema Dual fuel (Elpigaz - Degamix). Variklio pagrindiniai parametrai pateikti 1 lentelėje.



1 pav. Dual fuel sistema  
Šaltinis: Elpigaz



2 pav. Variklio bandymo įrangą: 1 – variklis; 2 – aukšto slėgio degalų siurblys; 3 – turbokompresorius; 4 – deginių recirkuliacijos vožtuvas; 5 – dujų purkštuvai; 6 – jungiamasis velenas; 7 – variklio apkrovos įrenginys; 8 – variklio sukčių ir apkrovos įrašymo įranga; 9 – degalų įpurškimo momento matavimo įranga; 10 – slėgio cilindre jutiklis; 11 – įsiurbiamo oro temperatūros jutiklis; 12 – įsiurbiamo oro temperatūros jutiklis už turbokompresoriaus; 13 – temperatūros jutiklis; 14 – išmetamų deginių temperatūros jutiklis; 15 – įsiurbiamo oro slėgio jutiklis; 16 – oro masės matuoklė; 17 – išmetamųjų dujų analizatorius; 18 – dūmomatis; 19 – cilindro slėgio reikšmių įrašymo įranga; 20 – degalų įpurškimo kampo reguliavimo įranga TMW-1; 21 – degalų įpurškimo momento nustatymo įranga VAG-COM v11.2; 22 – alkūninio veleno padėties jutiklis; 23 – CH<sub>4</sub> dujų balionas; 24 – dujų matuoklė.  
Šaltinis: sudaryta autorių

1 lentelė.

Slėginio uždegimo variklio 1Z pagrindiniai parametrai

| Parametras                                 | Vertė                                |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|
| Variklio darbinis tūris (cm <sup>3</sup> ) | 1986                                 |
| Cilindrų skaičius                          | 4                                    |
| Suslėgimo laipsnis                         | 19,5                                 |
| Stūmoklio skersmuo (mm)                    | 79,5                                 |
| Stūmoklio eiga (mm)                        | 95,5                                 |
| Galia (kW)                                 | 66 (4000 min <sup>-1</sup> )         |
| Sukimo momentas (Nm)                       | 182 (2000 – 2500 min <sup>-1</sup> ) |
| Degalų purkštovo atsідarymo slėgis (bar)   | 190                                  |

Šaltinis: Elektroninė duomenų bazė Tolerance 2009.2

Variklio efektyvus sukimo momentas  $M_e$  ir veleno sukiai  $n$  nustatyti apkrovos standu KI-5543,  $M_e$  matavimo paklaida  $\pm 1,23$  Nm. Dyzelino valandinėms sąnaudoms matuoti naudotos elektroninės svarstyklės SK-5000 ir chronometras, degalų sąnaudų matavimo paklaida 0,5 %. CH<sub>4</sub> sąnaudos matuotos dujų masės matuokliu Massflowmeter Type RHM 015, tikslumas  $\pm 0,1$  %. Įsiurbiamo oro masė matuota matuokle BOSCH HFM 5, kurios tikslumas 2 %. Slėgis cilindre fiksuotas kaitinimo žvakėje integruotu pjezoelektriniu jutikliu AVL GH13P, kurio jautrumas  $15,84 \pm 0,09$  pC/bar. Slėgio reikšmės per 100 ciklų įrašytos naudojant AVL DiTEST DPM 800 osciloskopą ir LabView Real programinę įrangą. Slėgio matavimo tikslumas 1 %. Slėgis variklio įsiurbimo kolektoriuje matuotas slėgio matuokliu Delta OHM HD 2304.0, matavimo paklaida  $\pm 0,0002$  MPa. Temperatūra nustatoma K-tipo termoporomis, kurių tikslumas  $\pm 1.5$  °C. Teršalų koncentracija išmetamosiose dujose matuota naudojant AVL DiCom 4000 deginių (CO, CO<sub>2</sub>, CH, NO<sub>x</sub>) analizatorių, o dūmingumas – AVL DiSmoke (2 pav.).

Variklio sukiai bandymo metu  $n = 2000$  min<sup>-1</sup>, nes šiais sukiais variklis dažnai veikia važiuojant miesto sąlygomis ir užmiestyje. Apkrova  $M_e = 45$  Nm, dažnai tenkanti varikliui eksploatacijoje, važiuojant miesto sąlygomis. Bandymai pradžioje atlikti su standartiškai veikiančia EGR sistema ir su atjungtu EGR vožtuvu. Kiekvieno režimo metu atlikta po penkis parametrų fiksavimo bandymus.

Eksperimentiniam tyrimui naudoti skysti degalai ir dvigubi (skysti ir dujiniai) degalai. Naudotas dyzelinas (žieminis, D klasės) ir II kartos biodyzelinas B (Neste firmos NExBTL), bei gamtinės dujos M (metanas ~98 % tūrio):

1. 100 % grynas dyzelinas D100;
2. 60 % dyzelino ir 40 % metano dujų D60/M40;
3. 40 % dyzelino ir 60 % metano dujų D40/M60;
4. 20% dyzelino ir 80 % metano dujų D20/M80;
5. 100 % grynas biodyzelinas B100;
6. 60 % biodyzelino ir 40 % metano dujų B60/M40;
7. 40 % biodyzelino ir 60 % metano dujų B40/M60;
8. 20% biodyzelino ir 80 % metano dujų B20/M80.

Degalų proporcijų nustatymui naudojama formulė, vertinanti metano (CH<sub>4</sub>) energetinę dalį degalų mišinyje:

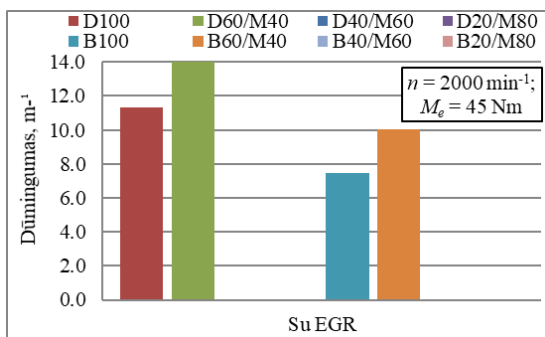
$$Pr_{CH_4} = \frac{B_{CH_4} \cdot H_{z\_CH_4} \cdot 100}{B_{CH_4} \cdot H_{z\_CH_4} + B_{Dyz} \cdot H_{z\_Dyz}} \quad (1)$$

čia:  $B_{CH_4}$  – metano dujų valandinės sąnaudos (kg/h);  $B_{Dyz}$  – dyzelino valandinės sąnaudos (kg/h);  $H_{z\_CH_4}$  – metano dujų žemutinis šilumingumas (50 MJ/kg);  $H_{z\_Dyz}$  – dyzelino žemutinis šilumingumas (43,6 MJ/kg).

Pirmoje tyrimo dalyje bandyti visi mišiniai, antroje tyrimo dalyje – mišiniai D40/M60 ir B40/M60, kurių ekologiniai ir energetiniai variklio darbo rodikliai buvo lyginami su grynais D100 ir B100 degalais, atjungus EGR. Kadangi gamtinių dujų savybės ženkliai skiriasi nuo dyzelino, sumaišius tuos degalus, variklyje pasikeičia degimo proceso rodikliai. Pradiniai bandymai atlikti su gamintojo numatytu degalų įpurškimo pradžios momentu kuris, varikliui veikiant dyzelinu yra 3° alkūninio veleno (AV) pasisukimo kampo prieš stūmoklio viršutinį galinį tašką (VGT). Teoriškai žinoma, kad didžiausias variklio sukimo momentas gaunamas maksimaliam slėgiui cilindre esant 10 – 12° AV po VGT. Norint ištirti ir atrasti optimalius variklio valdymo parametrus tiriamam varikliui buvo keičiamas dyzelinių degalų tiekimo pradžios momentas intervalais kas 3° AV tarp 18° ir 0° AV iki VGT.

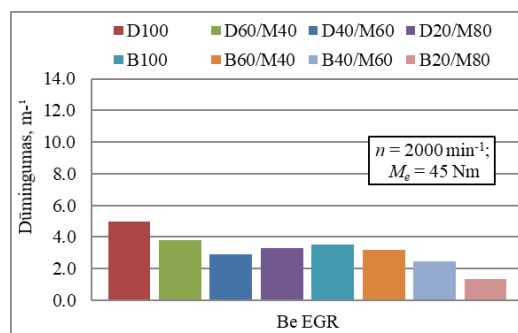
### Tyrimo rezultatai ir jų analizė

Varikliui veikiant su EGR (3 pav.) sistema paaiškėjo, kad, padidinus gamtinių dujų koncentraciją mišinyje iki 60 %, variklio dūmingumas labai išaugo (iki 99 m<sup>-1</sup>) ir, toliau didinant gamtinių dujų koncentraciją mišinyje iki 80 %, variklio darbas darėsi nestabilus, buvo juntami detonacijos požymiai. Remiantis stebėtais parametrais daroma išvada, kad tai vyksta dėl EGR. Paduodant daugiau gamtinių dujų varikliui ir išlaikant tą patį apkrovos režimą  $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ ,  $M_e = 45 \text{ Nm}$ , maitinimo sistemos elektroninio valdymo blokas pagal gamintojo surašytą programą, mažino dyzelino padavimą, vėlino dyzelino įpurškimo pradžios momentą ir atidarydavo labiau EGR vožtuvą, ko pasekoje sumažėdavo šviežio oro vartojimas ir mišinys smarkiai riebėjo, kaito ir prasidėjo nekontroliuojamas jo degimas. Atjungus EGR, didėjanti metano koncentracija degaluose mažino dūmingumą (4 pav.). Tai paaiškinama paprastesne dujų molekuline grandine, mažesniu gamtinių dujų C/H santykiu, užsitęsusi degimu. Palyginus dūmingumą, degant dyzelinui su CH<sub>4</sub> ir biodyzelinui su CH<sub>4</sub> matome, kad, naudojant NExBTL biodyzeliną, visų mišinių dūmingumas yra ~16 % mažesnis. To priežastis yra mažesnis biodyzelino C/H santykis, palyginus su mineraliniu dyzelinu.



**3 pav.** Tiriamo variklio dūmingumas veikiant skirtingais degalų mišiniais su veikiančiu EGR. D40M60, B40M60, D20M80 ir B20M80 mišinių dūmingumas artimas 99 m<sup>-1</sup>.

Šaltinis: sudaryta autorių

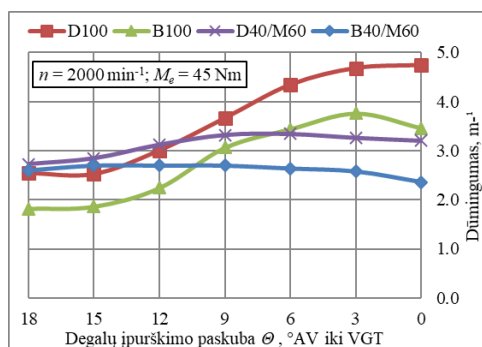


**4 pav.** Tiriamo variklio dūmingumas veikiant skirtingais degalų mišiniais su atjungta EGR sistema.

Šaltinis: sudaryta autorių

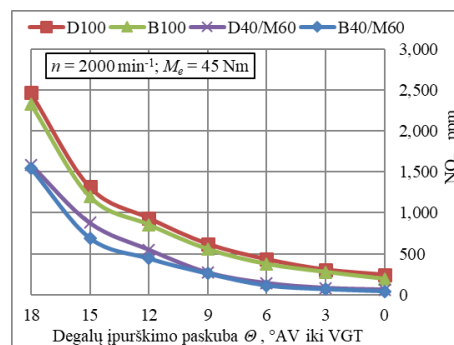
Esant nustatytam variklio apkrovos režimui ( $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ ,  $M_e = 45 \text{ Nm}$ ), degalų įpurškimo pradžios momentas turi didesnę įtaką dūmingumui varikliui veikiant grynais degalais, negu mišiniams su gamtinėmis dujomis (degaluose esant 60 % metano) (5 pav.), nes dujos cilindre dega ilgiau ir per tą laiką spėja geriau sudegti kartu degantys dyzeliniai degalai. Dyzeliną pakeitus biodyzelinu su 60 % metano, palyginus su grynu dyzelinu, esant degalų įpurškimo paskubai  $3^\circ \text{ AV}$  iki VGT, dūmingumas sumažėja ~51 %.

Azoto oksidų ( $\text{NO}_x$ ) koncentracijos kitimo grafikas (6 pav.) rodo, kad 60 % metano priedas  $\text{NO}_x$  koncentraciją sumažina ~80 %. *NExBTL* biodyzelinas taip pat mažina  $\text{NO}_x$  koncentraciją, tik šis efektas nėra ryškus. Ankstinant degalų įpurškimo pradžios momentą iki  $9^\circ \text{ AV}$  iki VGT,  $\text{NO}_x$  koncentracija tame taške ne viršija variklio, veikiančio grynu dyzelinu, esant degalų įpurškimo pradžiai  $3^\circ \text{ AV}$  iki VGT koncentracijos. Taip paankstinus degalų įpurškimo pradžią, variklio, veikiančio dyzelinu ir metanu (60 %), energetinis efektyvumas išauga ~8 % (7 pav.).



**5 pav.** Tiriamo variklio Dūmingumas veikiant skirtingais degalų mišiniais esant skirtingam degalų tiekimo momentui su atjungta EGR sistema.

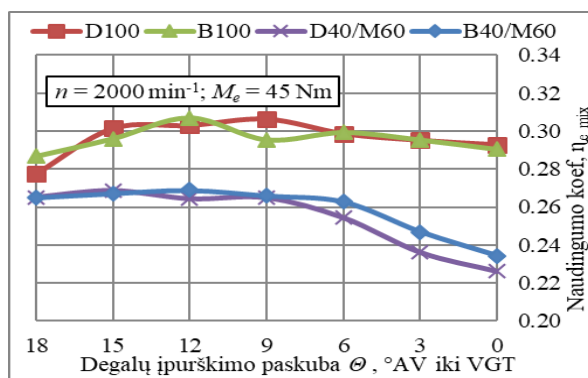
*Šaltinis: sudaryta autorių*



**6 pav.** Tiriamo variklio  $\text{NO}_x$  koncentracija išmetamosiose dujose veikiant skirtingais degalų mišiniais esant skirtingam degalų tiekimo momentui su atjungta EGR sistema.

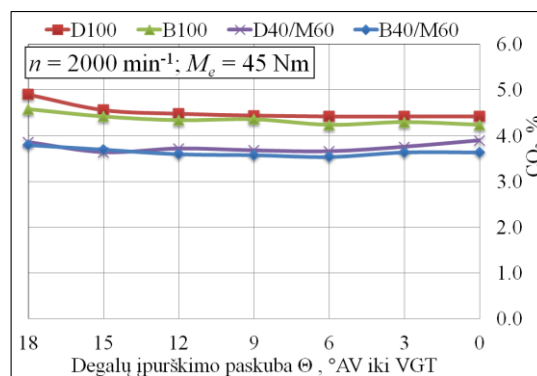
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Tyrimu nustatyta, kad variklio energetinio naudingumo parametrai blogėja didinant gamtinių dujų koncentraciją mišinyje. Variklio, veikiančio grynu dyzelinu ir biodyzelinu, degalų įpurškimo pradžios momento korekcija naudingumo koeficientui didelės įtakos neturi (7 pav.). Varikliui veikiant dvigubų degalų mišiniu, esant gamintojo numatytam degalų įpurškimo pradžios momentui ( $3^\circ \text{ AV}$  iki VGT), jo naudingumo koeficientas krenta ~20 %. Įpurškimo paankstinimas iki  $9^\circ \text{ AV}$  iki VGT leidžia atgauti ~13 % prarasto energetinio naudingumo. Grafike matome, kad biodyzelinas su gamtinėmis dujomis turi geresnį energetinį efektyvumą, negu mineralinis dyzelinas ir dujos, tačiau paankstinus degalų įpurškimą, skirtumas sumažėja.



**7 pav.** Tiriamo variklio naudingumo koeficientas veikiant skirtingais degalų mišiniais esant skirtingam degalų tiekimo momentui su atjungta EGR sistema.

*Šaltinis: sudaryta autorių*

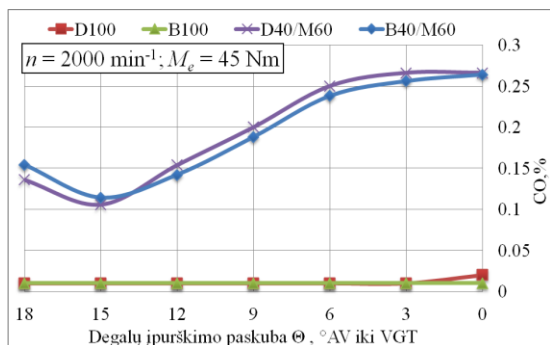


**8 pav.** Tiriamo variklio  $\text{CO}_2$  koncentracija išmetamosiose dujose veikiant skirtingais degalų mišiniais esant skirtingam degalų tiekimo momentui su atjungta EGR sistema.

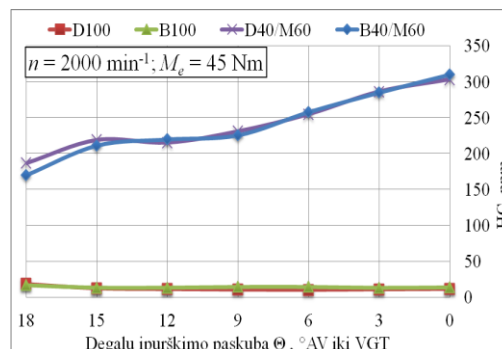
*Šaltinis: sudaryta autorių*

$\text{CO}_2$  koncentracija deginiuose, varikliui veikiant biodegalais ir dujomis, yra ~15 % mažesnė palyginus su dyzelinu (8 pav.), nes ir *NExBTL* biodyzelinas ir metanas, palyginus su dyzelinu, turi mažesnę C/H santykį. Tačiau papildomai tiekiamos dujos labai padidina nepilno degimo produktų emisijas. Esant degalų įpurškimo pradžios momentui  $3^\circ \text{ AV}$  iki VGT, CO koncentracija išauga ~27 kartus (9 pav.), nes dujos užima išsiurbiamo oro tūrį ir sumažina oro perteklių. HC koncentracija išauga ~30 kartų (10 pav.). Tai dalinai įtakoja sumažėjęs

oro kiekis cilindre, tačiau didžiausią įtaką turi metano dujų patekimas į išmetamąsias dujas vožtuvų perdengimo fazės metu, išsiurbiamą orą su dujomis į cilindrą pučiant turbokompresoriui. Ankstinant degalų įpurškimą, CO ir CH emisijos mažėja, nes kyla degimo temperatūra ir gerėja degimas.

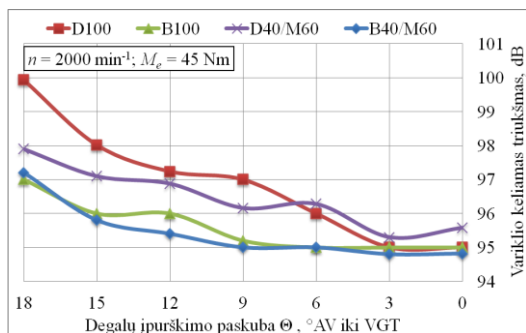


**9 pav.** Tiriama variklio CO koncentracija išmetamosiose dujose veikiant skirtingais degalų mišiniais esant skirtingam degalų tiekimo momentui su atjungta EGR sistema.  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

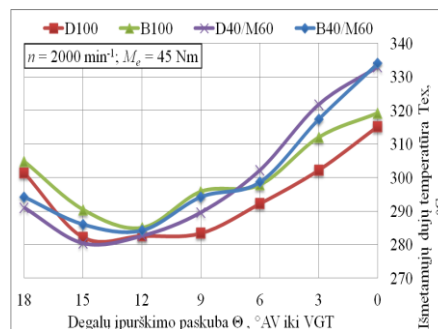


**10 pav.** Tiriama variklio HC koncentracija išmetamosiose dujose veikiant skirtingais degalų mišiniais esant skirtingam degalų tiekimo momentui su atjungta EGR sistema.  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Varikliui veikiant biodegalais ir dujomis (B40/M60) yra skleidžiamas mažiausias triukšmas. Didžiausias triukšmas skleidžiamas varikliui veikiant dyzelinu (11 pav.). Tai įtakoja didesnis NExBTL biodyzelino cetaninis skaičius, palyginus su dyzelinu. Tai sutrumpina NExBTL uždegimo gaisties fazę ir yra mažesnis šilumos išsiskyrimas ir slėgio prieaugis intensyvaus degimo pirminėje (pastovaus tūrio) fazėje (15 pav.). Metanas turi mažesnę degimo greitį ir papildomai mažina šilumos išsiskyrimą ir slėgio prieaugį cilindre bei skleidžiamą triukšmą.



**11 pav.** Tiriama variklio keliamas triukšmas veikiant skirtingais degalų mišiniais esant skirtingam degalų tiekimo momentui su atjungta EGR sistema.  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

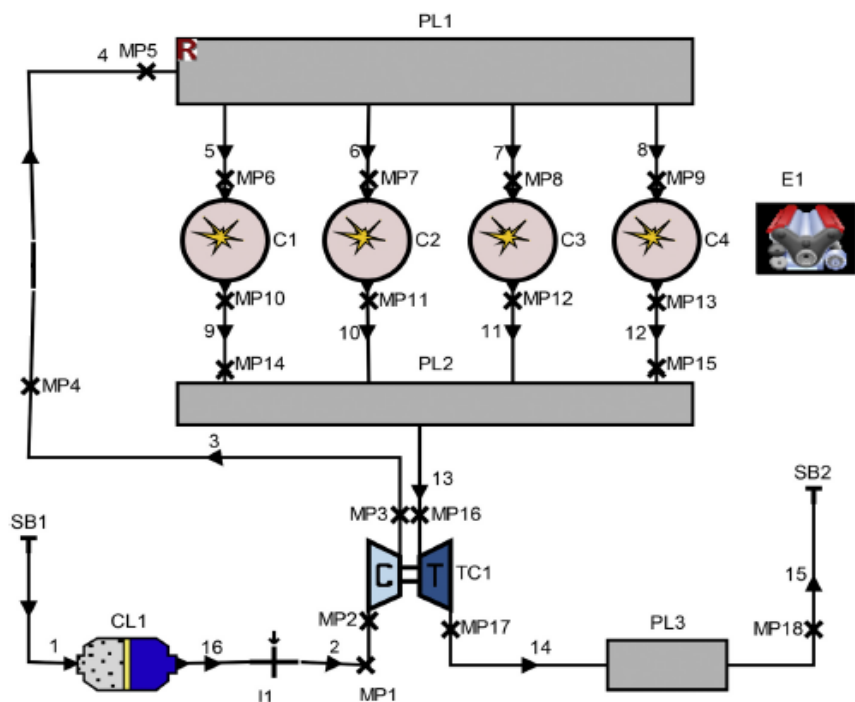


**12 pav.** Tiriama variklio išmetamųjų dujų temperatūra veikiant skirtingais degalų mišiniais esant skirtingam degalų tiekimo momentui su atjungta EGR sistema.  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Varikliui veikiant gamintojo numatytu režimu (degalų įpurškimo pradžia 3° AV iki VGT) žemiausia išmetamųjų dujų temperatūra yra naudojant dyzeliną (12 pav.). Naudojant NExBTL biodyzeliną deginių temperatūra pakyla ~10°C, nes šiuo atveju intensyvesnis šilumos išsiskyrimas vyksta antroje intensyvaus degimo (pastovaus slėgio) fazėje. Varikliui veikiant B40/M60 degalų mišiniu, deginių temperatūra dar papildomai pakyla ~10°C, nes, dėl lėtesnio metano degimo, šilumos išsiskyrimas pasislenka į išmetimo pusę (15 pav.) ir temperatūra cilindre degimo pabaigoje yra aukštesnė (16 pav.).

### Degimo proceso skaitinė analizė AVL BOOST programa

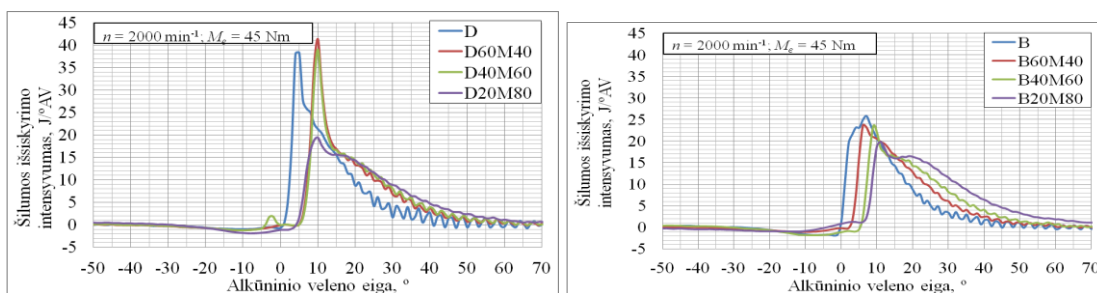
Siekiant išsamesnės variklyje vykstančio degimo proceso analizės ir jo optimizavimo galimybių tyrimo AVL BOOST programoje buvo sukurtas tiriama variklio skaitinis modelis (13 pav.). Į šį modelį įkėlus eksperimentinių tyrimų informaciją (degalų ir oro sąnaudos, slėgis cilindre ir kt.) apskaičiuoti degimo rodikliai varikliui veikiant įvairiais degalais.



**13 pav.** Tiriamo variklio modelis AVL BOOST programoje: I1 – gamtinių dujų tiekimo purkštukas; SB1-2 – aplinkos sąlygos; PL1 – įsiurbimo kolektorius; PL2 – išmetimo kolektorius; PL3 – duslintuvas; CL1 – oro filtras; MP1-18 – matavimo vietos; C1-4 – variklio cilindrai; 1-15 – jungiamieji vamzdžiai; TC1 – turbokompresorius.

Šaltinis: sudaryta autorių

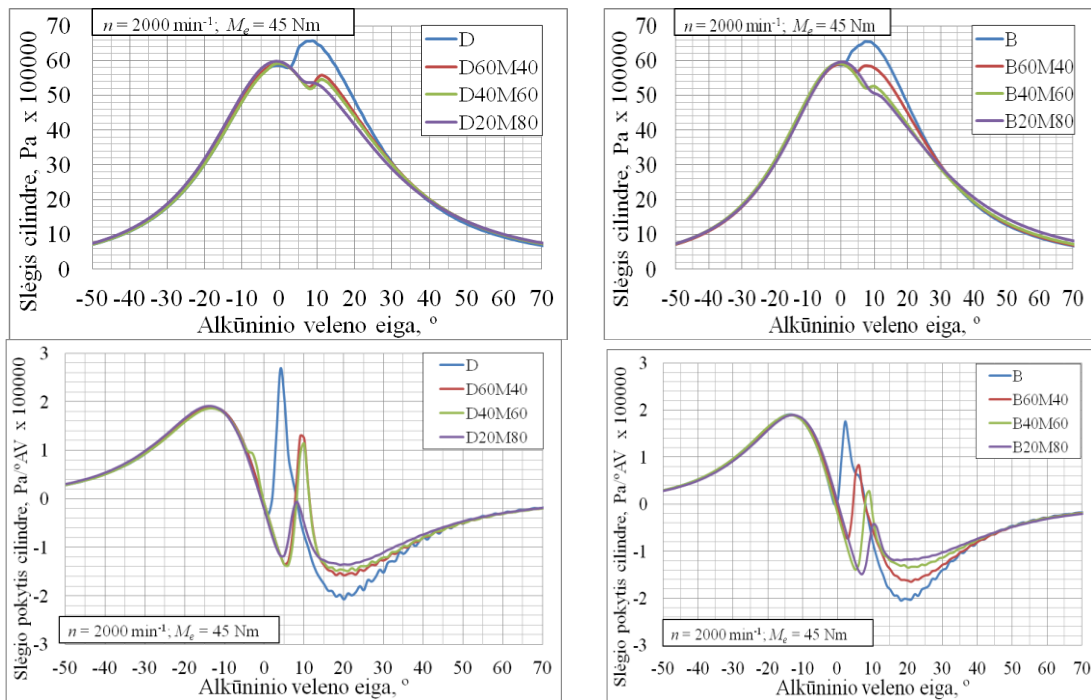
Dyzeliną pakeitus *NExBTL* biodyzelinu, maksimalus šilumos išsiskyrimas intensyvaus degimo pirminėje fazėje sumažėja nuo  $38,5 \text{ J/}^\circ\text{AV}$  iki  $26 \text{ J/}^\circ\text{AV}$  ( $\sim 32\%$ ), nes didesnis *NExBTL* cetaninis skaičius sutrumpina užsiliepsnojimo gaisties fazę. Didinant metano energijos koncentraciją degalų mišinyje, dėl lėtesnio dujų degimo šilumos išsiskyrimo pikas mažėja ir persislenka į išmetimo pusę. Degalų mišinio *B20/M80* maksimalus šilumos išsiskyrimas nustatytas  $20 \text{ J/}^\circ\text{AV}$  ir yra  $\sim 30\%$  mažesnis palyginus su *NExBTL* (14 pav.). Didelę įtaką degimo procesui ir šilumos išsiskyrimui turėjo ir tai, kad, didinant metano koncentraciją mišinyje (40 %, 60 % ir 80 %), variklio elektroninis valdymo blokas mažino aukšto slėgio siurblio tiekiamą degalų ciklinį kiekį ir vėlino degalų įpurškimo pradžią nuo  $3^\circ \text{AV}$  iki VGT iki atitinkamai  $1,32^\circ \text{AV}$  iki VGT,  $1,30^\circ \text{AV}$  iki VGT ir  $0,46^\circ \text{AV}$  iki VGT.



**14 pav.** Šilumos išsiskyrimo intensyvumo kitimas priklausomai nuo degalų mišinio sudėties su atjungta EGR sistema.

Šaltinis: sudaryta autorių

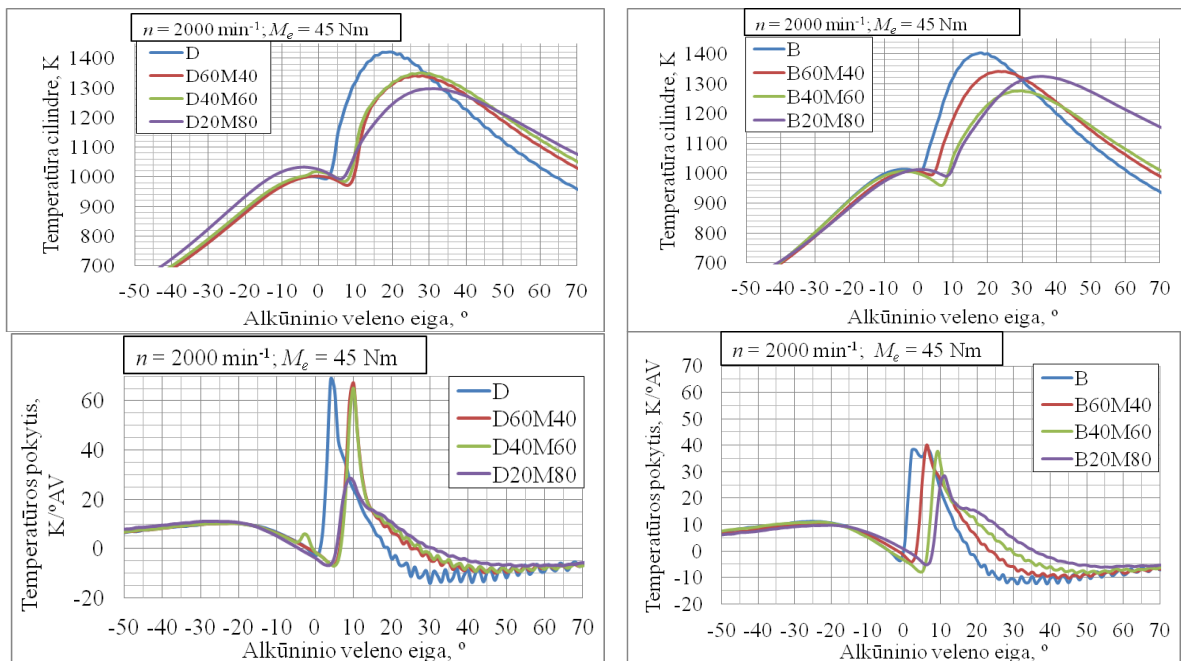
15 paveiksle pateikti slėgio cilindre ir slėgio pokyčio grafikai koreliuoja su aukščiau pateikta informacija apie šilumos išsiskyrimą. Dyzeliną pakeitus didesnio cetaninio skaičiaus *NExBTL* degalais ir didinant metano koncentraciją, dėl ko vėlinama degalų įpurškimo pradžia, slėgio prieaugis degimo metu sumažėja iki 3 kartų. Dėl užsitęsusio degimo (maksimalaus slėgio pikas vėluoja) mažėja variklio šiluminis efektyvumas (7 pav.).



**15 pav.** Slėgis cilindre ir jo kitimas priklausomai nuo degalų mišinio sudėties su atjungta EGR sistema.

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Varikliui veikiant biodyzelinu, dėl lėtesnio šilumos išsiskyrimo, palyginus su dyzelinu, maksimalus temperatūros prieaugis sumažėja nuo  $70 \text{ K/}^\circ\text{AV}$  iki  $40 \text{ K/}^\circ\text{AV}$  ( $\sim 42\%$ ). Degalų mišinio B20/M80 maksimalus temperatūros prieaugis  $30 \text{ K/}^\circ\text{AV}$  ir yra  $\sim 25\%$  mažesnis palyginus su NExBTL (16 pav.). Naudojant biodyzeliną ir metaną sumažėja ir maksimali temperatūra cilindre, bei jos pikas pasislenka išmetimo pusėn. Dėl apie  $100 \text{ K}$  sumažėjusios degimo temperatūros deginiuose padidėjo CO ir HC koncentracija (9 pav. ir 10 pav.). Tačiau užsitęsęs degimas padidino deginių temperatūrą (12 pav.), bei turėjo įtakos dūmingumo sumažėjimui (5 pav.).

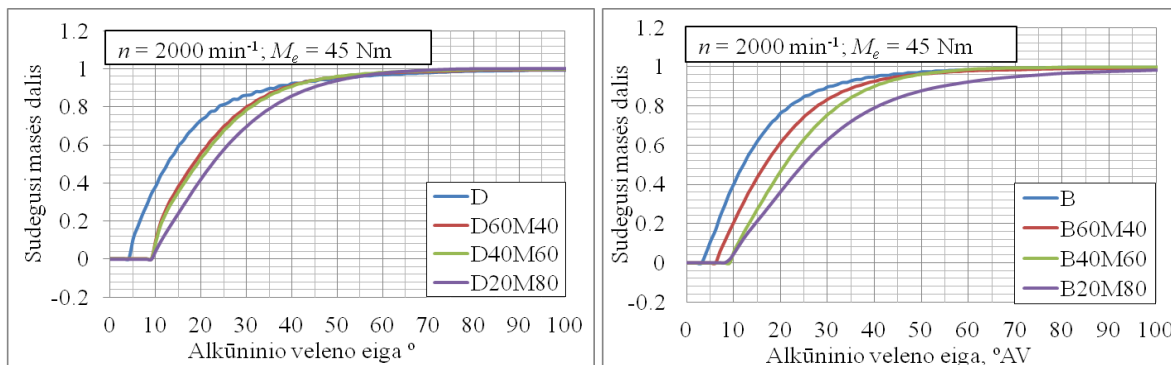


**16 pav.** Temperatūra cilindre ir jos kitimas priklausomai nuo degalų mišinio sudėties su atjungta EGR sistema.

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Remiantis termodinaminės degimo proceso analizės, atliktos AVL BOOST programa, rezultatais, galima matyti, kad degalų degimo greitis smarkiai lėtėja, didėjant gamtinių dujų (metano) energijos koncentracijai

*Dual fuel* degalų mišinyje. Teoriškai teigiama, kad, norint efektyviausiai išnaudoti degalų energiją 50 % degalų esančių degimo kameroje masės turi būti sudegę alkūniniame velenui esant  $\sim 10^\circ$  AV už VGT. Sudegusios degalų masės dalies grafike (17 pav.) matosi, kad, varikliui veikiant be dujų priedo (degalai pradedami purkšti  $3^\circ$  AV iki VGT), pasiekiamas rezultatas, artimas optimaliam.



**17 pav.** Sudegusi degalų masės dalis priklausomai nuo degalų mišinio sudėties (be EGR).

Šaltinis: sudaryta autorių

Didinant metano koncentraciją mišinyje (40 %, 60 % ir 80 %), variklio elektroninis valdymo blokas mažino aukšto slėgio siurblio tiekiamą degalų ciklinį kiekį ir vėlino degalų įpurškimo pradžią iki atitinkamai  $1,32^\circ$  AV iki VGT,  $1,30^\circ$  AV iki VGT ir  $0,46^\circ$  AV iki VGT. Dėl šios priežasties ir dėl lėtesnio metano degimo 50 % degalų masės sudega žymiai vėliau: esant 60 % metano prie  $20^\circ$  AV už VGT, esant 80 % metano prie  $23 - 25^\circ$  AV už VGT. Tai leidžia daryti prielaidą, kad, paankstinus skystų degalų įpurškimo pradžios momentą, galima padidinti variklio efektyvųjį naudingumo koeficientą. Tai ir buvo patvirtinta praktinio bandymo metu (7 pav.).

### Išvados

Atlikus dyzelino bei biodyzelino ir jų mišinių su gamtinėmis dujomis (*Dual fuel*) slėginio uždegimo variklyje efektyvumo tyrimą ir gautų rezultatų analizę pateikiamos šios apibendrintos išvados:

1. Slėginio uždegimo varikliui veikiant biodyzelino – gamtinių dujų (60 % energijos) *Dual fuel* mišiniu, variklio dūmingumas, lyginant su įprastiniu dyzelinu, sumažėja virš 50 %, o  $\text{NO}_x$  koncentracija sumažėja  $\sim 80$  %, nes didesnis *NExBTL* biodyzelino cetanis skaičius ir mažesnis dujų degimo greitis sumažina šilumos išsiskyrimo intensyvumą bei prailgina degimo laiką. Dūmingumą sumažina ir mažesnis alternatyvių degalų C/H santykis.

2. Didinant gamtinių dujų dalį ir išmetamųjų dujų recirkuliaciją (EGR) degalų mišinyje pradeda trūkti oro, labai išauga deginių dūmingumas. Dėl išaugusios temperatūros cilindre prasideda nekontroliuojamas gamtinių dujų degimas.

3. Naudojant dyzeliną/biodyzeliną ir gamtines dujas (60 %) sumažėja maksimali temperatūra cilindre, bei jos pikas pasislenka į išmetimo pusę, ko pasekoje deginiuose daug kartų padidėjo CO ir HC koncentracija, bet dėl užsitęsusio degimo sumažėja dūmingumas. HC emisiją didina ir vožtuvų perdengimas, nes tuo metu turbokompresorius per vožtuvus, kartu su oru, prapučia ir nesudegusias gamtines dujas. Tačiau mažesnis alternatyvių degalų C/H santykis  $\text{CO}_2$  koncentraciją sumažina  $\sim 15$  %.

4. Gamtinėms dujoms sudarant 60 % *Dual fuel* energijos ir ankstinant biodyzelino įpurškimo pradžios momentą iki  $9^\circ$  AV prieš VGT (gamintojo numatyta  $3^\circ$  AV prieš VGT), galima atgauti 13 % iš 20 % dėl *Dual fuel* prarasto energetinio naudingumo, nepabloginant ekologinių rodiklių.

5. Siekiant optimaliai išnaudoti slėginio uždegimo variklį, veikiantį biodyzelino ir gamtinių dujų *Dual fuel* mišiniais, reikia optimizuoti degalų mišinio energetinę sudėtį, biodyzelino įpurškimo pradžios momentą, EGR sistemos veikimą ir kitus reguliuojamus parametrus, priklausomai nuo variklio veikimo režimo.

### Literatūra

1. AVL BOOST v 2011.2. AVL BOOST users guide. Austria: Graz, 2011.
2. *Dual fuel* įrangų gamintojo tinklapis, 2018: <http://www.elpigaz.com/pl/index/>.
3. Elektroninė duomenų bazė Tolerance data 2009.2.
4. Europos parlamento ir tarybos direktyva dėl alternatyviųjų degalų infrastruktūros diegimo, 2013. Briuselis: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0094>.
5. Liu, J., Yang, F., Wang, H., Ouyang, M., Hao, S., 2013. Effects of pilot fuel quantity on the emissions characteristics of a CNG/diesel dual fuel engine with optimized pilot injection timing. *Applied Energy*, 110: 201–206.

6. Ryu, K., 2013a. Effects of pilot injection pressure on the combustion and emissions characteristics in a diesel engine using biodiesel–CNG dual fuel. *Energy Conversion and Management*, 76: 506–516.
7. Ryu, K., 2013b. Effects of pilot injection timing on the combustion and emissions characteristics in a diesel engine using biodiesel–CNG dual fuel. *Applied Energy*, 111: 721–730.

**Padėka.** Straipsnyje atlikti tyrimo rezultatai gauti naudojant AVL BOOST vidaus degimo variklių modeliavimo programą, įsigyta pasirašius bendradarbiavimo sutartį tarp AVL Advanced Simulation Technologies ir VGTU Transporto inžinerijos fakulteto.

## THE RESEARCH OF THE USAGE EFFICIENCY OF NATURAL GAS AND BIOFUELS IN THE COMPRESSED IGNITION ENGINES

### Summary

Dual fuel: diesel (D)/Biodiesel (B) and compressed natural gas (CNG) was tested used compression-ignition (CI) engine. Was investigated the energetic and environmental indicators. By performance of the bench testing it was found that an additional supply of CNG affects the combustion process of combustible mixture and reduces the thermal efficiency of the CI engine. The variation in the composition of a combustible mixture increases the amount of incomplete combustion products: the concentration of carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC) in the exhaust gas and smoke, but reduces nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions. Using the dual B and CNG fuel and by optimizing the diesel injection timing, the engine performance is close to diesel fuel, the concentration of incomplete combustion product decreases, but are higher the emissions, when engine used pure diesel.

**Key words:** compression ignition engine, compressed natural gas, biodiesel, energetic indicators, environmental indicators.

### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Vitalij Kabelis.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** studentas, magistrantas.

**Darbo vieta ir pozicija:** Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių inžinerijos katedros magistrantas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +37067526710, [vitalijkabelis@gmail.com](mailto:vitalijkabelis@gmail.com)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Alfredas Rimkus.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VGTU, Automobilių inžinerijos katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 61571161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Vitalij Kabelis.

**Science degree and name:** student, postgraduate.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty, Automobile Engineering department department master student.

**Author's research interests:** Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.

**Telephone and e-mail address:** +37067526710, [vitalijkabelis@gmail.com](mailto:vitalijkabelis@gmail.com)

**Author name, surname:** Alfredas Rimkus.

**Science degree and name:** associated professor.

**Workplace and position:** VGTU, Automobile Engineering department associated professor.

**Author's research interests:** Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.

**Telephone and e-mail address:** +370 61571161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

# KIBIRKŠTINIO UŽDEGIMO VARIKLIO EFEKTYVIŲJŲ IR EKOLOGINIŲ RODIKLIŲ TYRIMAS NAUDOJANT DUJINIUS DEGALUS IR REGULIUOJANT ĮSIURBIMO VOŽTUVŲ FAZES

Tadas Ragauskas, Alfredas Rimkus, Donatas Kriaučiūnas  
Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas

## Anotacija

Straipsnyje yra analizuojama įsiurbimo vožtuvų fazių įtaka variklio ekologiniams ir efektyviesiems rodikliams, kibirkštinio uždegimo varikliui veikiant gamtinėmis dujomis. Atliktas termodinaminių procesų skaitinis modeliavimas AVL BOOST programa. Įvertinti benzino ir gamtinių dujų degimo proceso skirtumai ir jų įtaka variklio rodikliams.

**Reikšminiai žodžiai:** Gamtinės dujos, įsiurbimo vožtuvų fazės, termodinaminiai procesai, variklio rodikliai.

## Įvadas

Nors vidaus degimo variklis (toliau – VDV) buvo sukurtas dar XIX amžiaus pabaigoje, tačiau ir dabar vis ieškoma būdų kaip patobulinti ir padaryti jį efektyvesniu. Didžiausia problema su kuria susiduriama šiais laikais ir apie ją yra daug diskutuojama, tai – šiltnamio efektas. Stengiantis sumažinti kenksmingų dujų išmetimą į aplinką automobilių gamintojams keliama tam tikri reikalavimai. Reikalavimams vis griežtėjant ir sudėtingėjant technologijoms bei senkant būdams sumažinti kenksmingų išmetamųjų dujų kiekį naudojant įprastą benziną bei dyzeliną, gamintojai daugiau dėmesio pradėjo skirti alternatyviems degalams (Khan et al., 2015).

Kalbant apie alternatyvų ieškojimą, tai benzinai ir dyzeliniai nėra patys švariausi degalai ir dėl jų sudėties ir degimo procese išskiriamų dujų, tokiu kaip CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, HC, buvo integruoti įvairūs katalizatoriai. Tačiau šios technologijos didina automobilio savikainą. Todėl, norint labiau sumažinti kenksmingų išmetamųjų dalelių kiekį, yra naudojamos alternatyviems degalams (etanoliui, biodyzelinui, dujiniais degalais: propanui–butanui, metanui, vandeniliui) pritaikytos maitinimo sistemos (Ma et al., 2008).

Dėl didėjančių reikalavimų VDV gamintojai ieško technologinių alternatyvų, kaip padaryti VDV efektyvesniu. Vienas iš efektyvumo didinimo būdų yra cilindro pripildymo šviežiu degiuoju mišiniu gerinimas, optimizuojant vožtuvų atidarymo ir uždarymo fazes. Tam buvo sukurtos įvairios sistemos: VVT (*Toyota* kintamų fazių vožtuvų sistema), Vanos (BMW kintamų fazių vožtuvų sistema), VVL (*Nissan* kintamų fazių ir vožtuvų atidarymo eigos sistema), V-Tec (*Honda* kintamų fazių ir vožtuvų atidarymo eigos sistema) ir kitos. Šio tyrimo tikslas – ištirti kokią įtaką turi įsiurbimo vožtuvų fazės kibirkštinio uždegimo variklio efektyviesiems ir ekologiniams rodikliams, varikliui veikiant dujiniais degalais.

## Metano dujų panaudojimas VDV

Buityje yra plačiai naudojamos suslėgtos gamtinės dujos (GD). Jų didžiąją dalį sudaro metano dujos (~98 % tūrio). Automobilių naudojimui šias dujas reikia suslėgti į metalinį konteinerį, dažniausiai jis būna cilindrinės formos, iki 200 – 250 barų. GD yra vieni švariausiai sudegančių alternatyvių degalų, kuriuos galima naudoti vidaus degimo varikliuose. Teisingai sureguliuotos ir veikiančios GD maitinimo sistema generuoja mažesnę kenksmingų išmetamųjų dujų kiekį, nei variklis naudojantis benzininiais degalais. Daugelis tarptautinių tyrimų parodė, kad perėjus nuo dyzelinu ir benzinu varomų automobilių į GD varomus automobilius, Indijoje, Delhi mieste oro užterštumas ženkliai sumažėjo: kietųjų dalelių 14 %, CO 10 %, SO<sub>2</sub> 22 % ir NO<sub>x</sub> 6 %. (Khan et al., 2015)

GD turi mažesnę molinę masę (16 g/mol), lyginant su benzinu (~114,23 g/mol). Kadangi GD yra mažo tankio (0,656 kg/m<sup>3</sup>), jos gerai susimaišo su oru ir sudaro geresnį homogeninį oro ir degalų mišinį. Kitas teigiamas poveikis tas jog metanas iškart yra dujų pavidalu, o benzinai yra skystas dėl ko reikia laiko ir energijos kol jo dalelės išgaruoja ir atomizuojasi, kad sudarytu homogeninį degų mišinį. (Wang et al. 2007)

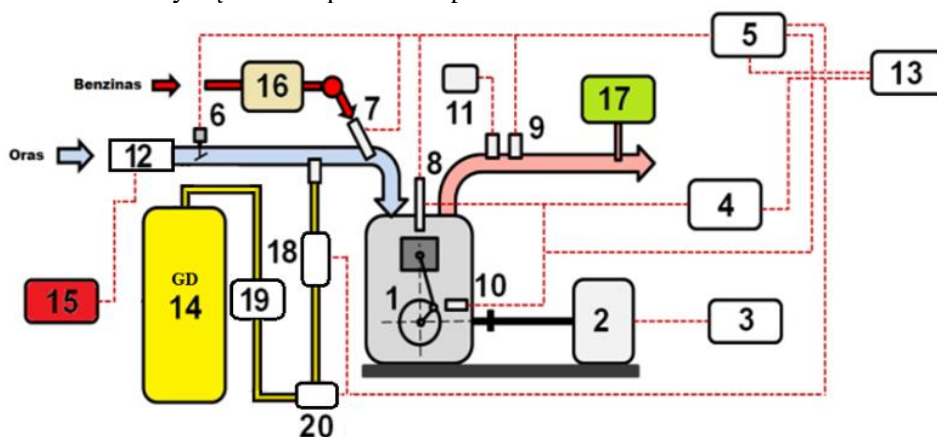
Naudojant GD būtų galima padidinti VDV suslėgimo laipsnį iki 16:1 ir vis tiek būtų išvengiama detonacinio degimo, nes GD oktaninis skaičius varijuoją nuo 120 iki 130. Tokiu būdu variklio terminis efektyvumas galėtų padidėti iki 10 % daugiau, nei variklio naudojančio benziną. Tačiau variklis turi būti pritaikytas GD. Jeigu varikliui buvo pritaikyta tik maitinimo sistema, toks variklis neišnaudotų viso GD efektyvumo potencialo ir daug degimo energijos būtų išvaistyta. (Wang et al., 2007)

Tačiau GD turi keletą problemų. Pirmoji problema su kuria yra susiduriama, tai lėtesnis dujų degimo greitis, lyginant su benzininiais degalais. Toks degimo greitis lemia jog visas degimo procesas užtrunka ilgiau

Antroji problema – metano dujos užima dalį tūrio įsiurbimo kolektoriuje ir cilindre. Dujos išstumdamos dalį oro, kurį būtų galima panaudoti efektyviam degimui, sumažina variklio turinį efektyvumą iki 10 %. (Mariani et al., 2011)

Šiuolaikiniuose benzininiuose varikliuose vožtuvų atidarymo ir uždarymo momentai daro didelę įtaką mažinant kenksmingų dujų išmetimą į atmosferą bei didinant vidaus degimo variklio ekonomiškumą ir galią. Daugelyje VDV vožtuvų atidarymo ir uždarymo momentai valdomi mechanškai paskirstymo velenėliu. Norint nustatyti optimalius vožtuvų atidarymo momentus tam, kad efektyviausiai pripildyti cilindrus šviežiu degiuoju mišiniu ir gauti geriausią degimo procesą cilindruose buvo atlikta daug tyrimų. Sukurta daug kintamų fazių vožtuvų mechanizmų tipų kurie padėtų efektyviai reguliuoti vožtuvų atidarymo ir uždarymo momentus. Dažniausiai valdymas atliekamas alyvos slėgio pagalba, kuris, pastumdamas tam tikrus vožtuvus, svirtis ar kaiščius, pakeičia vožtuvų fazes. Tačiau, kad iš vidaus degimo variklio išgauti maksimalų efektyvumą, reikalinga sistema, kuri būtų visiškai nepriklausoma nuo alkūninio veleno pasisukimo kampo ir galėtų vožtuvus atidaryti ir uždaryti bet kuriuo momentu. Tokios sistemos dažniausiai naudoja elektromagnetus, hidrauliką, pneumatiką ar mišrią sistemą, kuri valdo vožtuvus. Tačiau šios sistemos yra pakankamai brangios, sudėtingos konstrukcijos, sunaudoja daug elektros energijos, reikalauja papildomų agregatų ir šiuolaikiniuose varikliuose praktiškai nenaudojamos. Tačiau mechaninė vožtuvų sistema turi savų privalumų, jie būtų tokie: kai naudojamos tinkamos vožtuvų spyruoklės, dažniausiai vožtuvo atidarymas ir uždarymas yra lygiai toks pats kaip ir paskirstymo veleno kumštelio profilis ir tai leidžia tiksliai atidaryti vožtuvą kiekvieną kartą, nenaudojant sudėtingos valdymo sistemos. Maksimalus vožtuvo atidarymo eiga gali būti nustatyta optimali (5 – 9 mm), nes vožtuvo eigą riboja tik kumštelio profilis ir alkūninio – švaistiklinio mechanizmo kinematika. (Nagaya et al., 2004)

Tyrimas atliktas Vilniaus Gedimino Technikos Universitete variklių laboratorijoje. Tyrimui naudotas *Nissan HR16DE* kibirkštinio uždegimo variklis. Variklio pagrindiniai duomenys pateikti 1 lentelėje. Variklis valdomas programuojamu valdymo bloku *Motec M800*, kuriuo galima programiškai reguliuoti įsiurbimo vožtuvų fazes. Variklio bandymų schema pateikta 1 paveiksle.



1 – VDV; 2 – VDV apkrovos stendas *AMX200/100*; 3 – VDV apkrovos stendo valdymo blokas; 4 – slėgio cilindre matavimo įranga *AVL DiTEST DPM 800*; 5 – VDV valdymo blokas *Motec M800*; 6 – droselinės sklendės valdymo mechanizmas; 7 – degalų purkštuvas; 8 – uždegimo žvakė su cilindro slėgio jutikliu *AVL ZI31*; 9 – deguonies jutiklis; 10 – alkūninio veleno padėties jutiklis; 11 – išmetamųjų dujų temperatūros jutiklis; 12 – oro masės matuoklė; 13 – valdymo kompiuteris; 14 – GD balionas; 15 – oro masės matuoklės indikatorius; 16 – degalų sąnaudų matuoklė; 17 – išmetamųjų dujų analizatorius *AVL DiCom 4000*; 18 – dujų purkštuvas; 19 – dujų srauto matuoklis *RHEONIK RHM015*; 20 – aukšto slėgio dujų reduktorius.

92

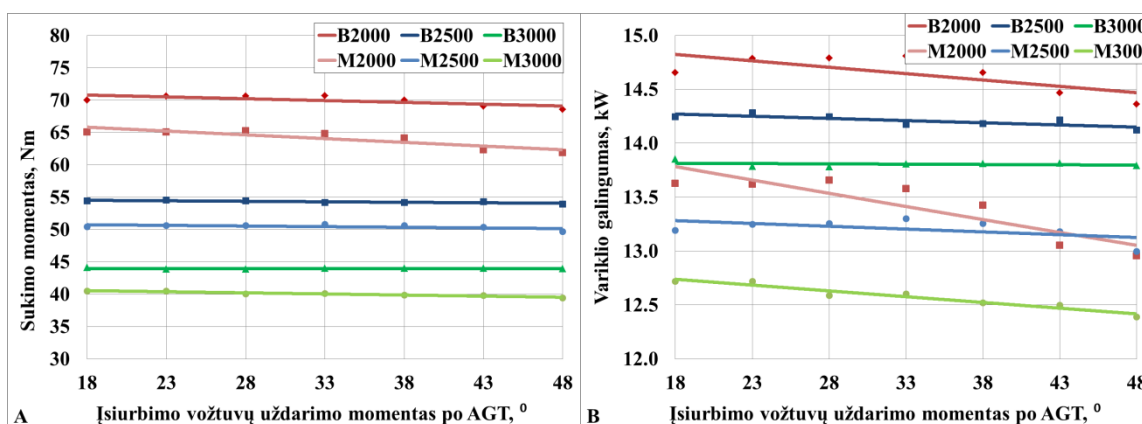
Variklio Nissan HR16DE pagrindiniai duomenys

| Parametras                     |                 |
|--------------------------------|-----------------|
| Cilindrų skaičius              | 4               |
| Cilindro diametras, mm         | 78              |
| Stūmoklio eiga, mm             | 83,6            |
| Variklio tūris                 | 1,598           |
| Maksimali variklio galia, kW   | 84 (6000)       |
| Maksimalus sukimo momentas, Nm | 156 (4400)      |
| Suslėgimo laipsnis             | 10,7            |
| Vožtuvų skaičius cilindrui     | 4               |
| Išsiurbimo vožtuvas atsidaro   | 24°AV prieš VGT |
| Išsiurbimo vožtuvas užsidaro   | 18°AV po AGT    |
| Išmetimo vožtuvas atsidaro     | 156°AV po VGT   |
| Išmetimo vožtuvas užsidaro     | 10°AV po VGT    |

Variklio sukimo momentas  $M_e$  (Nm) ir sūkliai  $n$  ( $\text{min}^{-1}$ ) nustatyti variklio apkrovos stendu AMX200/100. Benzino sąnaudos matuojamos svarstyklėmis, o GD sąnaudos matuojamos dujų srauto matuokle. Tyrimo metu dujų analizatoriumi AVL DiCom 4000 nustatyti VDV ekologiniai parametrai ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HC}$  ir  $\text{NO}_x$  koncentracija išmetamosiose dujose). Pirmame cilindre uždegimo žvakėje integruotu slėgio jutikliu AVL ZI31 matuotas indikatorinis slėgis cilindre per veikimo ciklą. Programuojamu valdymo bloku Motec M800 atliktas VDV valdymo parametrų keitimas. Buvo nustatytas stochiometrinis degusis mišinys ( $\lambda = 1$ ). Droselinė sklendė atidaryta 15 %, mišinio uždegimo paskubos kampas nustatytas 22° alkūninio veleno (AV) prieš VGT. Matavimai atlikti varikliui veikiant benzinu (grafikuose žymima B) ir GD (grafikuose žymima M) 2000, 2500 ir 3000  $\text{min}^{-1}$  sūkliais. Išsiurbimo vožtuvo uždarymo momento reguliavimo diapazonas nuo 18° iki 48°AV už AGT, kas 5°AV. Rodikliai, gauti pakeitus išsiurbimo vožtuvų fazes kas 15°AV, grafikuose žymimi B0, B15 ir B30 bei M0, M15 ir M30.

### Tyrimo rezultatai ir jų analizė

Vėlinant išsiurbimo vožtuvo uždarymo momentą nuo 18° iki 48°AV už AGT, variklio sukimo momentas nežymiai sumažėja dėl dalinai išstumto degiojo mišinio atgal į išsiurbimo kolektorių (2 pav. A). Tai labiau matoma esant mažesniems variklio sūkliais (2000  $\text{min}^{-1}$ ), nes išsiurbiamų dujų srautas turi mažesnę inerciją. Benzina pakeitus gamtinėmis dujomis variklio sukimo momentas sumažėja ~9 %, nes dujos užima oro vietą ir, palaikant stochiometrinį mišinį, sumažėja ciklinė degalų masė. Paskaičiavus variklio galingumą, nustatyta, kad, vėlinant išsiurbimo vožtuvų uždarymo momentą variklio galia mažėja (8 %) esant 2000  $\text{min}^{-1}$ . Padidinus variklio sūklus galios mažėjimas yra mažesnis, tačiau dujų panaudojimas neigiamai įtakoja variklio galią (2 pav. B).

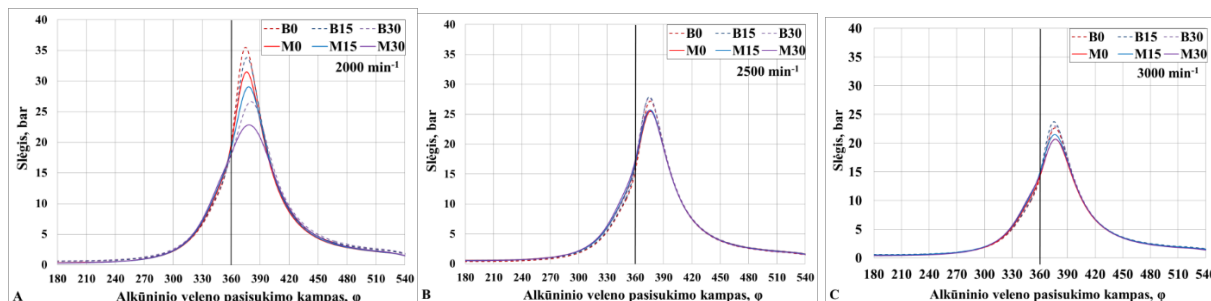


2 pav. Variklio energetinių rodiklių pokytis: A – variklio sukimo momentas; B – variklio galingumas.

Šaltinis: sudaryta autorių

Indikatorinio slėgio cilindre grafikai parodo sumažėjusio sukimo momento priežastį. Didžiausias sukimo momentas generuojamas prie 2000  $\text{min}^{-1}$  dėl gerai pripildomo cilindro šviežiu degiuoju mišiniu.

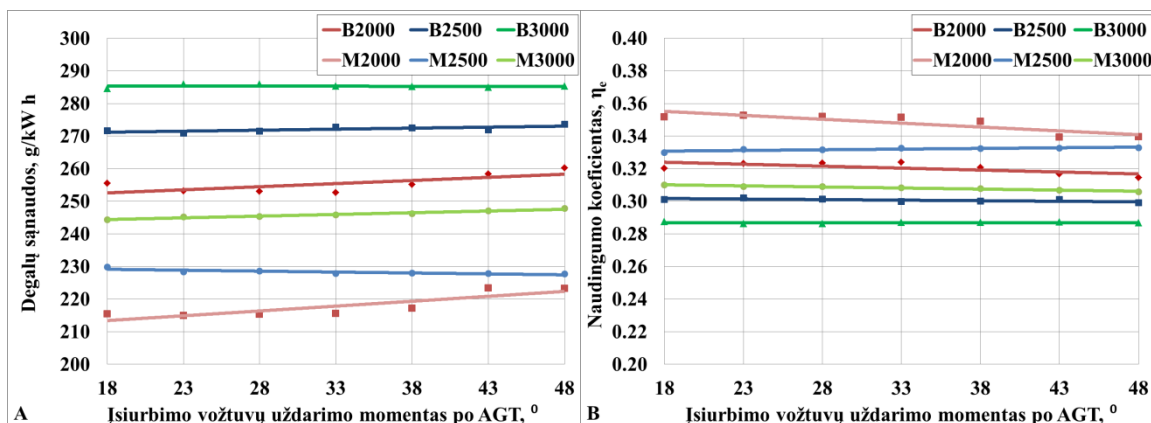
Vėlinant įsiurbimo vožtuvų uždarymo momentą, dalis mišinio gražinama į įsiurbimo kolektorių ir dėl sumažėjusios degiojo mišinio masės cilindre krenta maksimalus slėgis. Ypatingai tai galima matyti įsiurbimo vožtuvų uždarymą pavėlinus  $30^\circ$  AV (3 pav. A). Didinant variklio sukįs iki  $2500 \text{ min}^{-1}$  cilindras nespėja prisipildyti šviežiu degiuoju mišiniu (nes droselis atidarytas tik 15 %), dėl to maksimalus slėgis cilindre sumažėja, nors šiuo atveju maksimalus slėgis cilindre gaunamas  $15^\circ$ AV pavėlinus įsiurbimo vožtuvų uždarymą (3 pav. B). Esant  $3000 \text{ min}^{-1}$  režimui slėgis cilindre dal labiau sumažėja dėl anksčiau minėtų priežasčių (3 pav. C). Naudojant dujas, dėl mažesnio įsiurbto kiekio, maksimalus slėgis cilindre mažėja.



3 pav. Indikatorinis slėgis cilindre: A –  $2000 \text{ min}^{-1}$ ; B –  $2500 \text{ min}^{-1}$ ; C –  $3000 \text{ min}^{-1}$

Šaltinis: sudaryta autorių

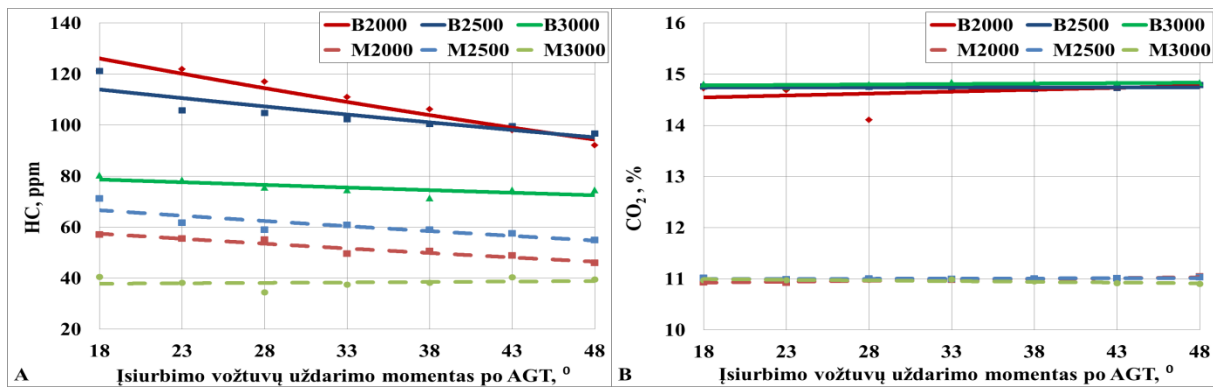
Benziną pakeitus GD, lyginamosios degalų sąnaudos sumažėja  $\sim 14\%$  (4 pav. A). Pagrindinės priežastys yra tai, kad GD žemutinis šilumingumas ( $47,5 \text{ MJ/kg}$ ) yra didesnis už benzino ( $44 \text{ MJ/kg}$ ), bei tai, kad, varikliui veikiant GD, pasiekiamas  $\sim 7\%$  didesnis efektyvusis naudingumo koeficientas (4 pav. B). Vėlinant įsiurbimo vožtuvų uždarymo momentą, esant  $2000 \text{ min}^{-1}$ , lyginamosios degalų sąnaudos didėja. Tačiau, naudojant GD ir esant  $2500 \text{ min}^{-1}$  bei pavėlinus vožtuvų uždarymą iki  $30^\circ$  AV, lyginamosios degalų sąnaudos mažėja iki artimų minimalioms ir tikėtina, kad šis variklio artimas optimaliam.



4 pav. Variklio energetinių rodiklių priklausomybė nuo degalų ir vožtuvų fazių: A – lyginamosios degalų sąnaudos; B – variklio efektyvusis naudingumo koeficientas.

Šaltinis: sudaryta autorių

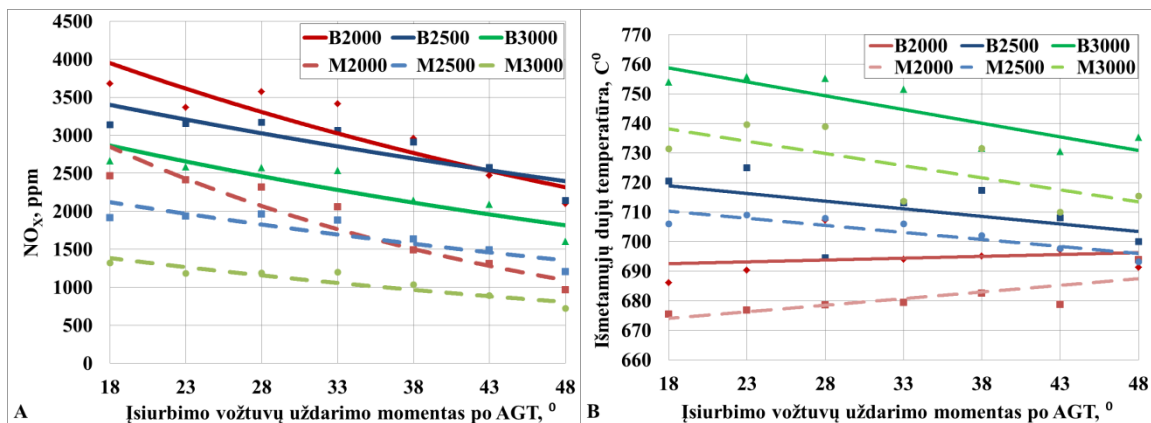
Benziną pakeitus gamtinėmis dujomis variklio deginiuose angliavandenilių (HC) koncentracija sumažėja  $\sim 45\%$ , o anglies dvideginio ( $\text{CO}_2$ ) koncentracija sumažėja  $\sim 25\%$  (5 pav. A ir B). Pagrindinės priežastys – mažesnis GD C/H santykis ir paprastesnė molekulinė grandinė. Vėlinant įsiurbimo vožtuvų uždarymo momentą, HC koncentracija išmetamosiose dujose mažėja, nes dalis dujų išstumama atgal į įsiurbimo kolektorių ir mažesnė koncentracija degiojo mišinio dega cilindre. Tačiau didinant variklio sukįs iki  $2500 \text{ min}^{-1}$  ir  $3000 \text{ min}^{-1}$ , angliavandenilių koncentracija mažėja tačiau ne taip sparčiai kaip prie  $2000 \text{ min}^{-1}$ . Tai galima paaiškinti jog mišinio uždegimo momentas nėra optimalus ir dėl to užsitęsia degimas dėl ko prasciau sudega degalai, taip pat cilindrų pripildymas stabilizuojasi. Didėjant anglies dvideginio ( $\text{CO}_2$ ) dujų koncentracijai ir mažėjant HC koncentracija galima teigti, kad degalai sudega efektyviau.



5 pav. Išmetamų teršalų priklausomybė nuo degalų ir vožtuvų fazių: A – angliavandenilių (HC) koncentracija; B – anglies dvideginio (CO<sub>2</sub>) koncentracija.

Šaltinis: sudaryta autorių

Benziną pakeitus GD, azoto oksidų (NO<sub>x</sub>) koncentracija išmetamosiose dujose sumažėja ~48 %, (6 pav. A). Pagrindinės priežastys – blogesnis cilindro pripildymas ir mažesnė degimo temperatūra (8 pav. A, B ir C)). Vėlinat įsiurbimo vožtuvų uždarymą NO<sub>x</sub> koncentracija mažėja, nes dalis mišinio yra išstumama atgal į įsiurbimo kolektorių ir suspaudimo taktas tampa trumpesniu bei yra panaudojamas (sudega) mažesnė darbinio mišinio masė. Dėl to mažėja ir išmetamųjų dujų temperatūra (6 pav. B). Tačiau, naudojant GD ir esant 2000 min<sup>-1</sup> režimui, išmetamųjų dujų temperatūra didėjo, dėl sumažėjusio suspaudimo slėgio cilindre ir užsitęsusio šilumos išsiskyrimo degimo metu (6 pav. B2).

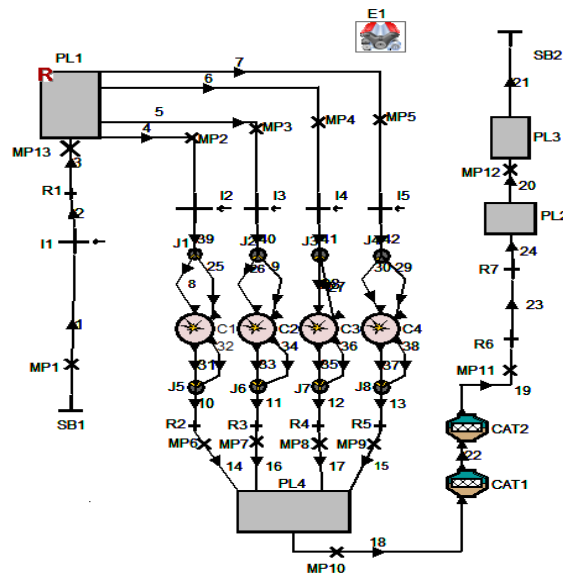


6 pav. Išmetamų teršalų ir deginių temperatūros priklausomybė nuo degalų ir vožtuvų fazių: A – azoto oksidų koncentracija; B – deginių temperatūra.

Šaltinis: sudaryta autorių

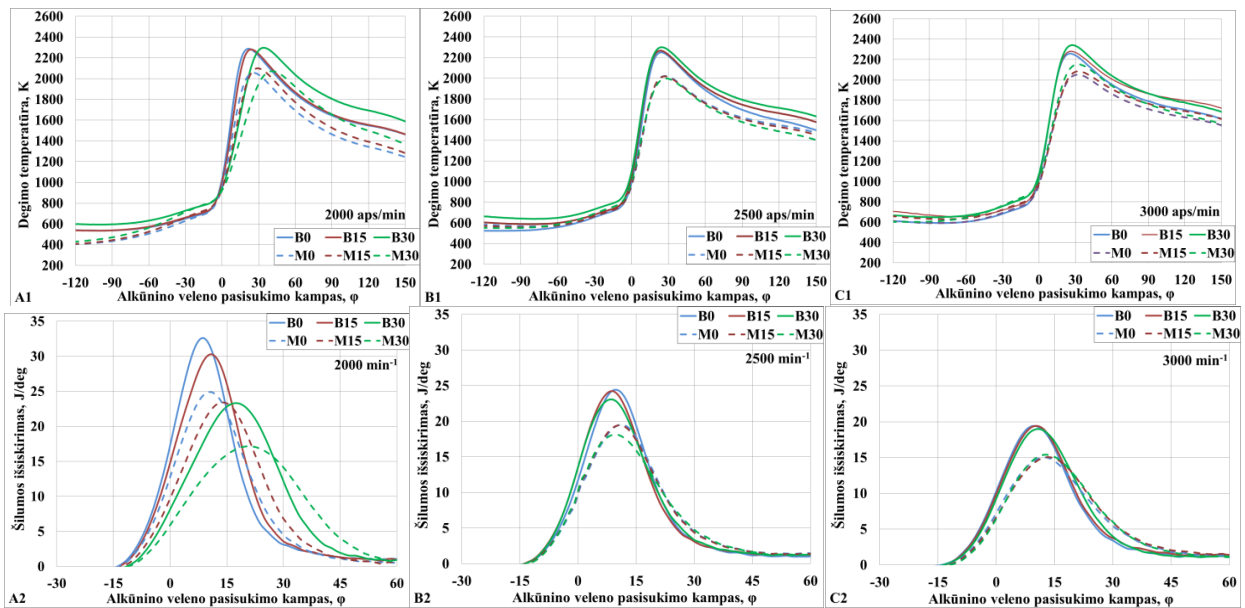
### Termodinaminių procesų skaitinis modeliavimas

Norint nustatyti variklio termodinaminius procesus buvo pasitelkta vidaus degimo variklio skaitinio modeliavimo programa AVL BOOST. Virtualus variklio modelis pateiktas 7 paveikslėlyje. Šia programa galima modeliuoti įvairius termodinaminius procesus: slėgį cilindre, temperatūrą, degimo greitį, slėgio ir temperatūros prieaugį, sudegusių degalų masės dalį ir kt. (AVL BOOST, 2011). Taip pat šia programa galima modeliuoti įvairius alternatyvius degalus bei jų mišinius ir stebėti kaip keisis variklio rodikliai. Kadangi daugumai procesų ištirti reikalinga įranga yra brangi, todėl AVL BOOST modeliavimo programa yra puikus įrankis atlikti preliminarinius VDV termodinaminių procesų teorinius tyrimus.



**7 pav.** Nissan HR16DE variklio skaitinio modeliavimo AVL BOOST programa virtualus modelis.  
Šaltinis: sudaryta autorių

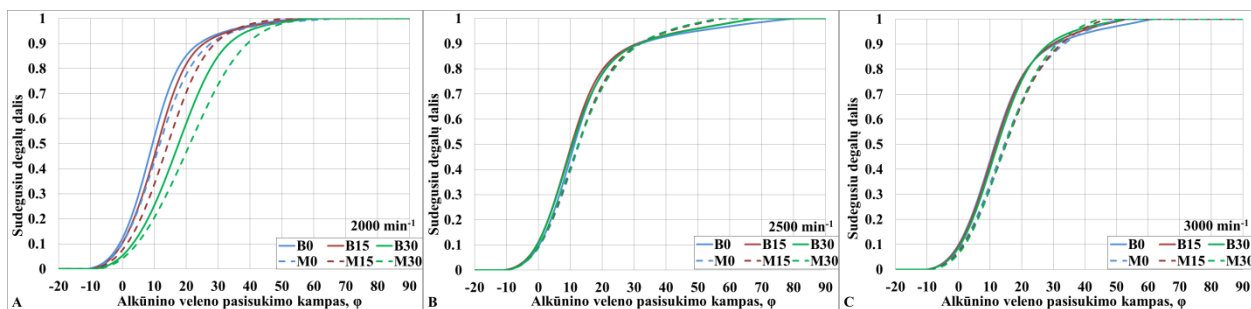
Visose variklio sūkių režimuose, benzina pakeitus GD, dėl blogesnio cilindų pripildymo maksimali degimo temperatūra sumažėja nuo  $\sim 2300^{\circ}\text{C}$  iki  $2000 - 2100^{\circ}\text{C}$  (13 – 9 %) (8 pav. A1, B1 ir C1). Esant  $2000 \text{ min}^{-1}$ , maksimali degimo temperatūra, pavėlinus įsiurbimo fazes  $30^{\circ}\text{AV}$ , pasislenka nuo  $15^{\circ}\text{AV}$  už VGT iki  $30^{\circ}\text{AV}$  po VGT. Tai galima paaiškinti užsitęsusiu degimu, ką demonstruoja šilumos išsiskyrimo grafikas (8 pav. A2). Didinant VDV sūkius, įsiurbimo vožtuvų uždarymo fazių vėlinimas neturėjo reikšmingos įtakos šilumos išsiskyrimui (8 pav. B2 ir C2).



**8 pav.** Degimo temperatūros (A1, B1, C1) ir šilumos išsiskyrimo (A2, B2, C2) priklausomybė nuo degalų ir vožtuvų fazių.

Šaltinis: sudaryta autorių

Optimalus variklio energetinis efektyvumas pasiekiamas tada, kai 50 % degiojo mišinio sudega ties  $10^{\circ}\text{AV}$  po VGT. Varikliui veikiant benziniu  $2000 \text{ min}^{-1}$  ir  $2500 \text{ min}^{-1}$  sūkiiais yra gaunamas artimas rodiklis, veikiant  $3000 \text{ min}^{-1}$  uždegimas vėluoja ir ties  $10^{\circ}\text{AV}$  po VGT sudega apie 45 % degalų (9 pav. A, B ir C). GD masės dalis sudeganti ties  $10^{\circ}\text{AV}$  po VGT, lyginant su benziniu yra 10 – 15 % mažesnė.



**9 pav.** Sudegusios degalų masės dalies priklausomybė nuo degalų ir vožtuvų fazių esant skirtingiems variklio sūkiams.

Šaltinis: sudaryta autorių

Keičiamos įsiurbimo vožtuvų atidarymo fazės didelę įtaką turėjo tik esant  $2000 \text{ min}^{-1}$ , kai vėlinant įsiurbimo vožtuvų uždarymo momentą degiojo mišinio šilumos išsiskyrimas lėtėjo (8 pav. A2). Esant variklio sūkiams  $2500 \text{ min}^{-1}$  ir  $3000 \text{ min}^{-1}$ , vožtuvų fazės įtakos turėjo nedaug (9 pav. B ir C), nes cilindrų pripildymas mažai keitėsi.

### Išvados

1. Atlikus VDV stendinius bandymus ir termodinaminius skaičiavimus, keičiant įsiurbimo vožtuvų uždarymo momentus nustatyta, kad, dėl prastesnių gamtinių dujų (metano) degimo savybių bei blogesnio cilindrų pripildymo, lyginant su benzinu, vidaus degimo variklio sukimo momentas ir galia sumažėjo ~9 %.
2. Benzina pakeitus GD, lyginamosios degalų sąnaudos sumažėja ~14 %, pasiektas ~7 % didesnis efektyvusis naudingumo koeficientas.
3. Netinkamai reguliuojant įsiurbimo vožtuvų fazes, cilindrų pripildymas blogėjo ir degimo temperatūra cilindre sumažėjo ~20°C. Dėl to  $\text{NO}_x$  koncentracija naudojant benzina sumažėjo apie 35 %, o naudojant GD – 45 %.  $\text{NO}_x$  koncentracijos skirtumas tarp benzino ir GD sudarė ~48 %.
4. Dėl blogesnio cilindrų pripildymo, benzina pakeitus GD ir dėl geresnio GD degimo, deginiuose sumažėjo ir HC koncentracija. Skirtumas tarp benzino ir GD sudarė ~45 %.
5. Naudojant GD, šiltnamio efektą sukeliančių  $\text{CO}_2$  dujų koncentracija sumažėjo ~25 % dėl paprastesnės dujų molekulinės sandaros ir mažesnio C/H santykio.
6. Atlikus termodinaminių procesų skaitinį modeliavimą nustatyta, kad degimo metu GD išskiria ~20 % mažiau šilumos, maksimali degimo temperatūra ~200°C mažesnė ir GD masės dalis sudegianti ties  $10^\circ\text{AV}$  po VGT yra 10 – 15 % mažesnė, lyginant su benzinu.
7. Tolimesni tyrimai turėtų būti atliekami su vandenilio ir gamtinių dujų mišiniu, kuris užtikrintų optimalų degimo greitį. Šiam degalų mišiniui turi būti optimizuotas VDV valdymas.

### Literatūra

1. AVL BOOST v 2011.2. *AVL BOOST users guide*. Austria: Graz, 2011.
2. Khan, M.I., Yasmin, T., Shakoor, A. 2015. Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51:785–797.
3. Ma, F., Wang, Y., Wang, M., Liu H., Wang, J., Ding, S., Zhao S. 2008. Development and validation of a quasi-dimensional combustion model for SI engines fuelled by HCNG with variable hydrogen fractions. *International Journal of Hydrogen Energy* 33:4863–4875.
4. Mariani, A., Morrone, B., Unich, A. 2011. Numerical evaluation of internal combustion spark ignition engines performance fuelled with hydrogen Natural gas blends. *International Journal of Hydrogen Energy* 37:2644–2654.
5. Nagaya, K., Kobayashi, H. Koike, K. 2004. Valve timing and valve lift control mechanism for engines. *Mechatronics* 16:121–129.
6. Wang, Y., Ma, F., Liu, H., Li, Y., Wang, J., Zhao, S. 2007. Experimental study on thermal efficiency and emission characteristics of a lean burn hydrogen enriched natural gas engine. *Energy Procedia* 32:5067–5075.

**Padėka.** Straipsnyje atlikti tyrimo rezultatai gauti naudojant AVL BOOST vidaus degimo variklių modeliavimo programą, įsigytą pasirašius bendradarbiavimo sutartį tarp AVL Advanced Simulation Technologies ir VGTU Transporto inžinerijos fakulteto.

# EFFICIENT AND ECOLOGICAL INDICATORS OF SPARK IGNITION ENGINES BY USING NATURAL GAS FUEL AND VARIABLE INTAKE VALVES TIMING

## Summary

The article analyses the influence of the intake valve timing on the ecological and effective indicators of the spark ignition engine with use of natural gas. Practical test was done with *Nissan* HR20DE engine which have variable valve timing control. Engine effective and ecological indicators was measured. The numerical modelling of the thermodynamic processes with *AVL BOOST* has been performed. Differences between the burning of petrol and natural gas and their influence on engine parameters have been evaluated.

**Key words:** Natural gas, intake valve timing, thermodynamic processes, engine indicators.

## AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Tadas Ragauskas.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** studentas, magistrantas.

**Darbo vieta ir pozicija:** Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių inžinerijos katedros magistrantas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +37062960905, [tad.ragauskas@gmail.com](mailto:tad.ragauskas@gmail.com)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Alfredas Rimkus.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VGTU, Automobilių inžinerijos katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 61571161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Donatas Kriaučiūnas.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** magistras.

**Darbo vieta ir pozicija:** VGTU, Automobilių inžinerijos katedros doktorantas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +37064557538, [donatas.kriauciunas@vgtu.lt](mailto:donatas.kriauciunas@vgtu.lt)

## A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Tadas Ragauskas.

**Science degree and name:** student, postgraduate.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty, Automobile Engineering department department master student.

**Author's research interests:** Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.

**Telephone and e-mail address:** +37062960905, [tad.ragauskas@gmail.com](mailto:tad.ragauskas@gmail.com)

**Author name, surname:** Alfredas Rimkus.

**Science degree and name:** associated professor.

**Workplace and position:** VGTU, Automobile Engineering department associated professor.

**Author's research interests:** Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.

**Telephone and e-mail address:** +370 61571161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

**Author name, surname:** Donatas Kriaučiūnas.

**Science degree and name:** master.

**Workplace and position:** VGTU, Automobile Engineering department PhD student.

**Author's research interests:** Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.

**Telephone and e-mail address:** +37064557538, [donatas.kriauciunas@vgtu.lt](mailto:donatas.kriauciunas@vgtu.lt)

# BRAUNO DUJŲ ĮTAKA KIBIRKŠTINIO UŽDEGIMO VARIKLIO DEGIMO PROCESUI

Alfredas Rimkus<sup>1,2</sup>, Edvinas Bučinskas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vilniaus Gedimino technikos universitetas, <sup>2</sup> Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

## Anotacija

Straipsnyje, apžvelgiant kitų tyrėjų gautus rezultatus, analizuojamos Brauno (HHO) dujų naudojimo kaip degalų priedo galimybės gerinant kibirkštinio uždegimo variklio energetinius ir ekologinius rodiklius. Remiantis degimo proceso rezultatais, gautais eksperimento metu keičiant degiojo mišinio oro pertekliaus koeficientą  $\lambda$  nuo 1,0 iki 1,4, atliktas vidutinio indikatorinio slėgio variacijos koeficiento skaičiavimas. Įvertinta Brauno dujų įtaka įvairios sudėties mišinių degimo stabilumui.

**REIKŠMINIAI ŽODŽIAI.** Brauno dujos, benzinas, vandenilis, kibirkštinio uždegimo variklis.

## Įvadas

Griežtėjantys aplinkosauginiai reikalavimai sparčiai populiarina elektros energiją varomų transporto priemonių naudojimą. Elektros jėgainių naudojimas šiuolaikiniuose automobiliuose yra ganėtinai patogus aplinką tausojantis procesas, tačiau vienas iš pagrindinių šio proceso trūkumas, skatinantis žmones naudoti skystojo kuro jėgaines – ilgas elektros akumuliatorių krovimo laikas. Vystantis elektromobiliams, gretimai vystosi ir benzininiai bei dyzeliniai vidaus degimo varikliai. Siekiant sumažinti šių variklių daromą žalą aplinkai, vykdomi eksperimentai ieškant ekologiškesnių bei ekonomiškai naudingesnių degalų pakaitalų. Viena iš galimų vystymo krypčių yra vandenilio panaudojimas transporte. Vandenilio, kaip energijos šaltinio, naudojimas plečiamas vystant degalų elementų technologijas, kurios skirtos vandenilio dujų energijos konvertavimui į elektros energiją. Tačiau ir elektros ir vandenilio tiekimo transportui infrastruktūra šiuo metu yra vystymo stadijoje, todėl pereinamuoju laikotarpiu aktualu pradėti naudoti giminingas technologijas. Yra galimybė transporte, turinčiame vidaus degimo variklius, kaip papildomus degalus naudoti vandenilio dujas. Plačiai tyrinėjami vandenilio ir deguonies mišinio (Brauno dujų) naudojimo galimybės kibirkštinio ir slėginio uždegimo varikliams maitinti. Brauno dujos gaunamos skaidant vandenį elektrolizės būdu. Susidariusių dujų vandenilio ir deguonies dujų tūrių santykis yra 2:1. Brauno dujos žymimos HHO (Rimkus, 2017; Damaševičius ir kt., 2016).

## Brauno dujų panaudojimo efektas

Vandenilis, esantis Brauno dujų sudėtyje, kaip degalai dalinai arba pilnai pakeičiantys benzina, pasižymi kitokiomis cheminėmis ir fizikinėmis savybėmis (Subramanian et al., 2018). Vandenilio ir benzino parametrai pateikti 1 lentelėje. Nepaisant šių skirtumų, daugelis tyrėjų nustatė, kad vandenilio kaip priedo degaluose panaudojimas duoda gerus rezultatus. Brauno dujų tiekimas į įsiurbimo kolektorių 20 litrų per minutę srautu Peugeot-1B53318F, 1,1 litro darbinio tūrio variklio galią pakelia nuo 15,40 kW iki 16,18 kW esant 3500 sūkių per minutę. Lyginamosios degalų sąnaudos sumažėjo nuo 386,3 g/kWh iki 350,0 g/kWh esant 1500 sūkiams per minutę. Variklio šiluminis naudingumas padidėjo nuo 27,24 % iki 26,34 %. Maksimalus angliavandenilių (CH) išmetimas sumažėjo nuo 299 ppm iki 225 ppm esant 2000 sūkių per minutę. Smalkių (CO) emisija sumažėjo 3,5 % – 16,4 % visuose variklio veikimo diapazonuose. Nors CH ir CO emisija sumažėjo, ženkliai padidėjo NO<sub>x</sub> emisija: nuo 662 ppm iki 785 ppm esant 2000 apsisukimų per minutę arba atitinkamai 36,2 % – 15,4 % (Karagoz et al., 2015).

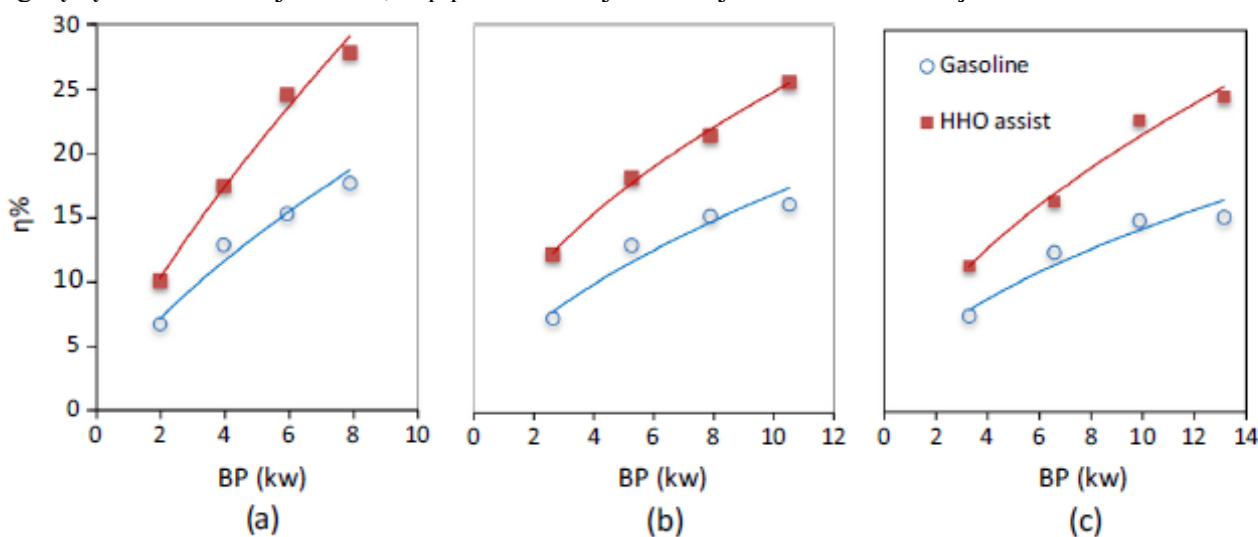
1 lentelė

Vandenilio ir benzino parametrai

| Parametras                                                 | Degalai | Vandenilis<br>H <sub>2</sub> | Benzinas<br>A95 |
|------------------------------------------------------------|---------|------------------------------|-----------------|
| Molinė masė (kg/kmol)                                      |         | 2,02                         | 114             |
| Žemutinis šilumingumas (MJ/kg)                             |         | 120,21                       | 43,9            |
| Viršutinis šilumingumas (MJ/kg)                            |         | 142,18                       | 46,34           |
| Laminarinis liepsnos greitis (cm/s)                        |         | 230                          | 37 – 43         |
| Tankis (kg/m <sup>3</sup> ) prie 15° C ir 1,01 baro slėgio |         | 0,082                        | 721 – 785       |
| Oro masė, reikalinga sudeginti kilogramui degalų           |         | 34,3                         | 14,6            |
| Savaiminio užsiliepsnojimo temperatūra (°C)                |         | 585                          | 260 – 460       |

Šaltinis: Subramanian et al., 2018

EL-Kassaby et al. 2015 m, atlikę tyrimus su Škoda Felicia GLXi1.3L varikliu nustatė, jog papildomas Brauno dujų (18 l/h) tiekimas į variklį pagerina variklio šiluminį naudingumą ~10 % (1 pav.), todėl variklio degalų sąnaudos sumažėja ~34 %, taip pat CO emisija sumažėja 18 %, o CH emisija – 14 %.



**1 pav.** Škoda Felicia GLXi1.3L variklio šiluminio naudingumo koeficiento kitimas didinant apkrovą ir esant fiksuotam variklio sūkių skaičiui: a – 1500 min<sup>-1</sup>, b – 2000 min<sup>-1</sup>, c – 2500 min<sup>-1</sup>

Šaltinis: EL-Kassaby et al., 2015

Atsižvelgiant į atliktų tyrimų rezultatus, aprėpiančius variklio šiluminį naudingumą, galios ir degalų sąnaudų pokytį bei emisijų pokyčius, tyrimo tikslas nustatyti, kaip keičiasi vidutinis indikatorinis bei maksimalus slėgiai ir kokią įtaką Brauno dujos turi degimo stabilumui kibirkštinio uždegimo variklyje.

### Tyrimo metodika

Ekspperimentinis tyrimas atliktas naudojant automobilio „Nissan Qashqai“ HR 16DE kibirkštinio uždegimo variklį, valdomą programuojamu valdymo bloku MoTeC M800. Variklio pagrindiniai parametrai pateikti 2 lentelėje.

**2 lentelė**

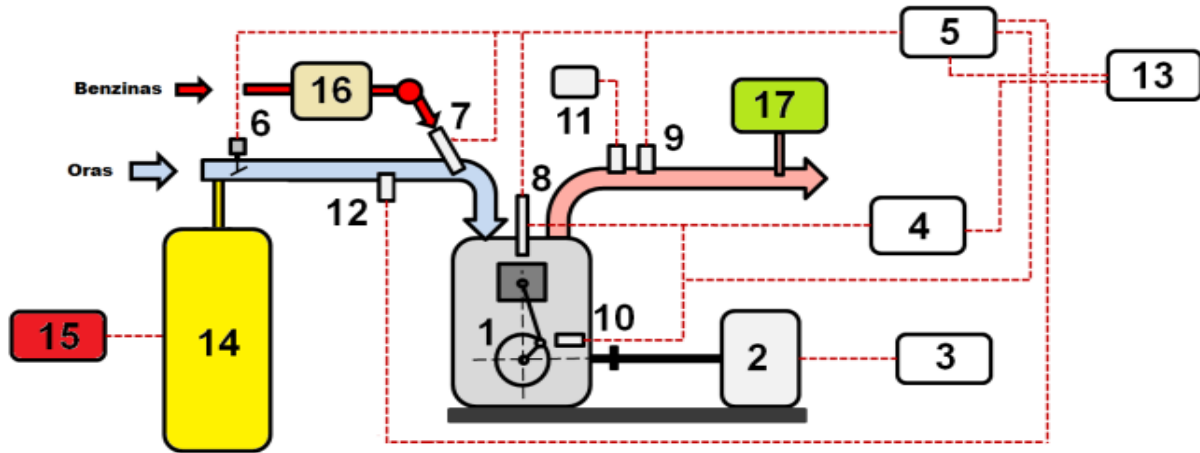
**Variklio Nissan HR 16DE pagrindiniai parametrai**

| Parametras                                                        | Reikšmė    |
|-------------------------------------------------------------------|------------|
| Cilindrų skaičius                                                 | 4          |
| Cilindro skersmuo, mm                                             | 78         |
| Stūmoklio eiga, mm                                                | 83,6       |
| Darbinis tūris, cm <sup>3</sup>                                   | 1598       |
| Nominali galia, kW (min <sup>-1</sup> )                           | 84 (6000)  |
| Maksimalus sukimo momentas $M_{e\ max}$ , Nm (min <sup>-1</sup> ) | 156 (4400) |
| Suslėgimo laipsnis $\epsilon$                                     | 10,7       |
| Vožtuvų skaičius cilindrui                                        | 4          |

Tyrimai atlikti naudojant laboratorinių tyrimų įrangą, kurios schema pateikta 1 pav. Naudojant AVL DiTEST DPM 800 įrenginį ir pjezojutiklį AVL ZI31-Y7S uždegimo žvakėje, variklio cilindre matuotas indikatorinis slėgis  $p$  (bar).  $p_{max}$  matavimo tikslumas 1 %. Brauno dujos išgaunamos elektrolizės būdu, naudojant išorinį nuolatinės įtampos srovės šaltinį. Generuojamas dujų kiekis (l/min) valdomas reguliuojant srovės stiprį (Rimkus 2013).

Tyrimai atlikti varikliui veikiant esant fiksuotam uždegimo paskubos kampui  $\theta = 20^\circ$  alkūninio veleno (AV) alkūninio veleno pasisukimo kampu prieš viršutinį galinį tašką (PVGT) esant 20 % atidarytam droseliui, kai alkūninio veleno apsisukimų skaičius  $n = 2000\ min^{-1}$  ir esant skirtingiems oro pertekliaus koeficientams:  $\lambda = 1$ ;  $\lambda = 1,1$ ;  $\lambda = 1,2$ ;  $\lambda = 1,3$ ;  $\lambda = 1,4$ . Naudoti du degalai – benzinai (B) ir benzinai + 3,6 l/min Brauno dujų

(B+HHO). Brauno dujos tiekiamos prieš droselinę sklendę, pro kurią patekusios į įsiurbimo kolektorių susimaišo su įpurkšto benzino garais.



**2 pav.** Stendinių tyrimų įrangos schema: 1 – variklis *Nissan HR 16DE*; 2 – variklio apkrovos stendas *AMX 200/100*; 3 – apkrovos stendo elektroninio valdymo blokas; 4 – slėgio cilindre fiksavimo įranga *AVL DiTEST DPM 800*; 5 – variklio elektroninio valdymo blokas *MoTeC M800*; 6 – droselio valdymo servovariškis; 7 – benzino purkštuvai; 8 – uždegimo žvakė su integruotu slėgio jutikliu *AVL ZI31*; 9 – deguonies jutiklis; 10 – alkūninio veleno padėties jutiklis; 11 – išmetamųjų deginių temperatūros jutiklis; 12 – oro masės matuoklė; 13 – asmeninis kompiuteris; 14 – HHO dujų elektrolizės įrenginys; 15 – maitinimo šaltinis; 16 – benzino sąnaudų matavimo įrenginys *AMX 212F*; 17 – išmetamųjų dujų analizatorius *AVL DiSmoke 4000*

Šaltinis: sudaryta autorių

Variklio darbo stabilumui vertinimui matuojami maksimalūs ( $p_{max}$ ) ir vidutiniai indikatoriniai dujų slėgiai ( $p_{imep}$  – indicate mean effective pressure) cilindre. Variklio darbo stabilumas priklauso nuo šių slėgių kitimo (variavimo). Kuo daugiau kinta slėgis cilindro viduje, tuo nestabilesnis variklio darbas. Norint įvertinti variklio darbo stabilumą skaičiuojamas variklio vidutinio indikatorinio slėgio variacijos koeficientas  $COV_{p_{imep}}$  (Wang et al., 2008; Mohamed and Selim, 2004):

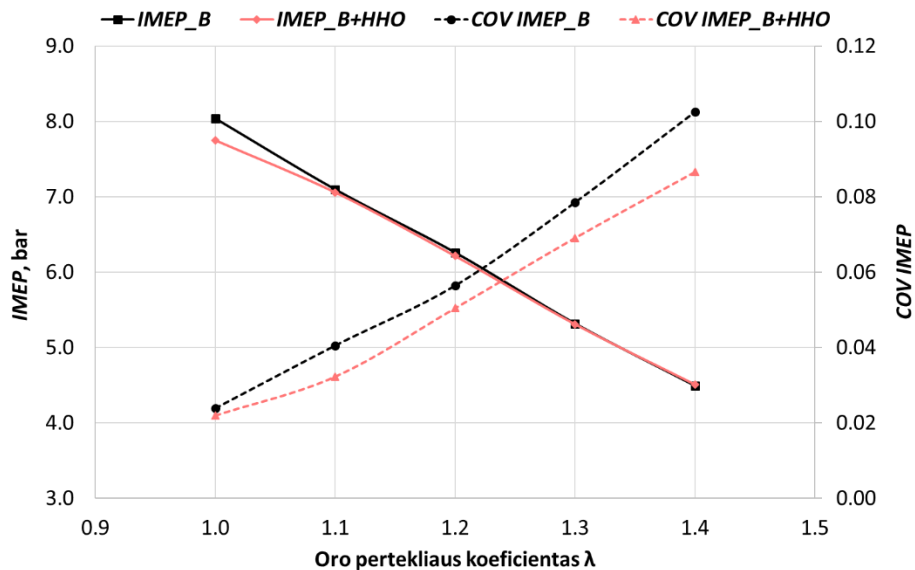
$$\overline{P_{(imep)}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{(imep)i} \quad (1)$$

$$\sigma_{P_{imep}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\overline{P_{(imep)}} - P_{(imep)i})^2}{n-1}} \quad (2)$$

$$COV_{P_{imep}} = \frac{\sigma_{P_{imep}}}{\overline{P_{imep}}} \quad (3)$$

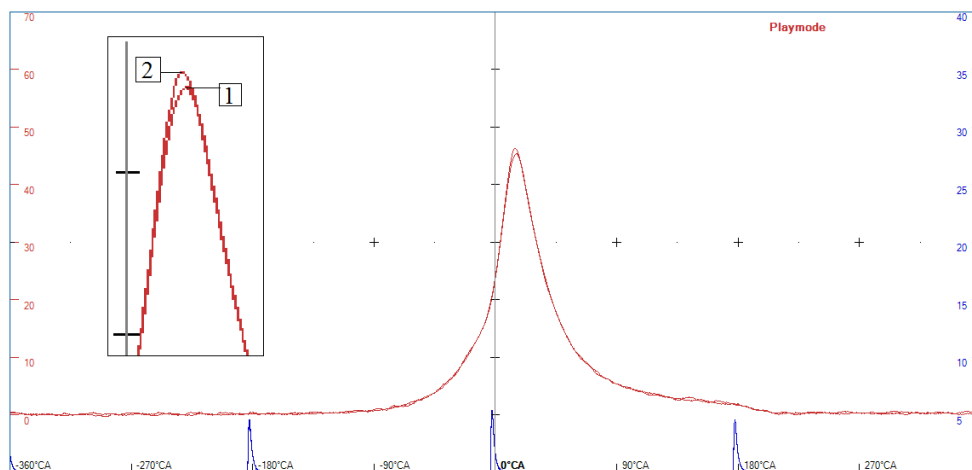
### Tyrimo rezultatai ir jų analizė

Nustatyta, jog varikliui veikiant benzinu, liesinant mišinį stipriai mažėja maksimalus bei vidutinis indikatorinis slėgiai, taip pat išauga šių slėgių variacija, kuri pasireiškia prastėjančiu variklio darbo stabilumu. Liesinant degųjų mišinį, lyginant su stochiometrinio mišiniu  $\lambda=1$ , maksimalus dujų slėgis cilindre krenta 12,4 %; 25,5 %; 39,8 % ir 51,0 % esant atitinkamiems mišiniams  $\lambda = 1,1$ ;  $\lambda = 1,2$ ;  $\lambda = 1,3$  ir  $\lambda = 1,4$ , vidutinio indikatorinio slėgio kritimas atitinkamai 11,7 %; 22,1 %; 33,8 %; 44,1 %.  $COV_{p_{imep}}$  išaugo nuo 0,0239 iki 0,1025 (~32 %). Papildomai į degųjų mišinį įmaišius Brauno dujų, variklio rodikliai lyginant su to paties riebumo benzino mišinių rodikliais pagerėjo: slėgių kritimas sumažėjo, maksimalus slėgis pasiekiamas anksčiau (ankstėja degimas), tai šiek tiek padidina variklio efektyvumą. Lyginant su to paties riebumo benzino mišinio degimo maksimaliais slėgiais, papildomas Brauno dujų tiekimas maksimalų slėgį padidina atitinkamai 0,78 %; 0,61 %; 2,19 %; 5,93 % ir 4,34% mišiniams  $\lambda = 1$ ;  $\lambda = 1,1$ ;  $\lambda = 1,2$ ;  $\lambda = 1,3$  ir  $\lambda = 1,4$ . Taip pat pastebimas ženklus variklio darbo stabilumo pagerėjimas. Diagramoje (3 pav.) vaizduojamas vidutinio indikatorinio slėgio kritimas ir slėgių variacijos koeficiento augimas liesinant degųjų mišinį.



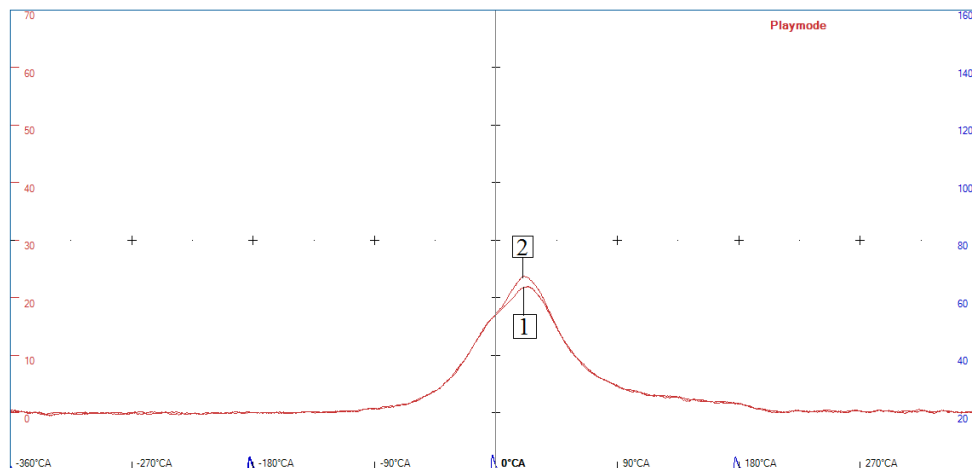
**2 pav.** Variklio vidutinio indikatorinio slėgio (IMEP) ir vidutinio indikatorinio slėgio variacijos koeficiento ( $COV_{P_{imep}}$ ) priklausomybė nuo mišinio sudėties  
Šaltinis: sudaryta autorių

3 ir 4 paveikslėliuose vaizduojamos dvi indikatorinės diagramos vaizduojančios slėgį variklio cilindre priklausomai nuo alkūninio veleno pasisukimo kampo: 1 kreivė vaizduoja slėgį varikliui dirbant tik benzinu, 2 – benzino ir Brauno dujų mišiniu.



**3 pav.** Indikatorinė slėgio diagrama, varikliui dirbant stechiometrinu mišiniu ( $\lambda = 1$ ), naudojant benzina [1] ir naudojant benzino ir Brauno dujų mišinį [2]  
Šaltinis: sudaryta autorių

Varikliui veikiant stechiometrinu mišiniu, naudojant benzina ir benzino bei Brauno dujų mišinį ženklus skirtumo nepastebėta. Maksimalus slėgis vidutiniškai pakilo nuo 45,10 baro iki 45,45 baro (0,79 %) ir pasiekiamas ~0,13 laipsnio anksčiau (3 pav.). Tačiau liesinant degų mišinį šie rodikliai išaugo. Naudojant liesą mišinį ( $\lambda = 1,4$ ) maksimalus slėgis vidutiniškai pakilo nuo 22,09 baro iki 23,09 baro (4,54 %) ir pasiekiamas ~0,57 laipsnio anksčiau (4 pav.).



**4 pav.** Indikatorinė slėgio diagrama, varikliui veikiant liesu mišiniu ( $\lambda = 1,4$ ), naudojant benzina [1];  
naudojant benzino ir Brauno dujų mišinį [2]  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Vandenilis, esantis Brauno dujose, turi didesnę degimo greitį. Didesnė vandenilio koncentracija yra aktuali liesiems mišiniams, kurių degimo greitis mažėja. Paskaičiuota, kad, tiekiant pastovų 3,6 l/min Brauno dujų kiekį ir liesinant mišinį nuo stechiometrinio  $\lambda = 1$  iki  $\lambda = 1,4$ , vandenilio energijos koncentracija degaluose išauga nuo 0,76 % iki 1,05 %. Tokio vandenilio kiekio nepakanka kompensuoti degimo ir šilumos išsiskyrimo pokytį paliesinus mišinį nuo  $\lambda = 1$  iki  $\lambda = 1,4$ . Šiuo atveju maksimalus degimo slėgis sumažėja 44,1 %, o Brauno dujos šį slėgį padidina tik 4,34%. Tačiau, esant ( $\lambda = 1,4$ ) liesam mišiniui, Brauno dujos variklio vidutinio indikatorinio slėgio variacijos koeficientą sumažino nuo 0,1025 iki 0,0866 (11,5 %) (2 pav.). Todėl galime teigti, kad ir maža Brauno dujų koncentracija degiajame leidžia ženkliai padidinti liesų mišinių degimo stabilumą.

#### Išvados

1. Kibirkštinio uždegimo varikliui veikiant benzinu nustatytu režimu ( $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ , esant 20 % atidarytam droseliui) ir keičiant oro pertekliaus koeficientą nuo  $\lambda = 1$  iki  $\lambda = 1,4$ , papildomai tiekiant Brauno dujas (3,6 l/min), vandenilio dujų energijos koncentracija darbiname mišinyje išaugo nuo 0,76 % iki 1,05 %.
2. Paliesinus mišinį nuo  $\lambda = 1$  iki  $\lambda = 1,4$ , varikliui veikiant benzinu, maksimalus slėgis cilindre sumažėjo ~51 %, vidutinis indikatorinis slėgis sumažėjo ~44 %, vidutinio indikatorinio slėgio variacijos išaugo ~32 %. Tai sumažino variklio galią ir veikimo stabilumą.
3. Brauno dujos stechiometrinio mišinio maksimalų degimo slėgį padidino ~0,8 %, naudojant liesą mišinį ( $\lambda = 1,4$ ) maksimalus slėgis pakilo ~4,5 % ir slėgio pikas pasiekiamas ~0,6° AV anksčiau. Variklio vidutinio indikatorinio slėgio variacijos koeficientas sumažėja ~11,5 %.
4. Brauno dujos padidino kibirkštinio uždegimo variklio degiojo mišinio degimo greitį ir degimo stabilumą, nes Brauno dujose esančio vandenilio degimo greitis 5 – 6 kartus didesnis už benzino – oro mišinio degimo greitį. Šis teigiamas Brauno dujų efektas didėja varikliui veikiant liesais mišiniais, tačiau nedidelis (~1,05 % degalų masės) šių dujų kiekis pilnai nekompensuoja mažėjantį degimo intensyvumą liesinant mišinį.

#### Literatūra

1. Damaševičius, M.; Rimkus, A.; Melaika, M.; Matijošius, J. 2016. Biodegalų ir vandenilio įtaka kibirkštinio uždegimo variklio veikimo rodikliams. *Mokslas – Lietuvos ateitis. Statyba, transportas, aviacinės technologijos*, 8(5): 526–532.
2. EL-Kassaby, M.M.; Eldrainy, Y.A.; Khidr, M.E.; Khidr, K.I. 2015. Effect of hydroxy (HHO) gas addition on gasoline engine performance and emissions. *Alexandria Engineering Journal*, 55: 243–251.
3. Karagoz, Y.; Yuca, N.; Sandalcı, T.; Dalkılıç, A.S. 2015. Effect of hydrogen and oxygen addition as a mixture on emissions and performance characteristics of a gasoline engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40: 8750–8760.
4. Mohamed, Y.E.; Selim. 2004. Effect of engine parameters and gaseous fuel type on the cyclic variability of dual fuel engines. *Fuel*, 84: 961–971.

5. Rimkus, A. 2017. HHO ( $H_2/O_2$ ) dujų panaudojimo vidaus degimo variklyje efektyvumo vertinimas. *Inžinerinės ir edukacinės technologijos*, 2017(2): 101–107.
6. Subramanian, B.; Ismail, S. 2018. Production and use of HHO gas in IC engines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43: 7140–7154.
7. Wang, J.; Chen, H.; Liu, B.; Huang, Z. 2008. Study of cycle-by-cycle variations of a spark ignition engine fueled with natural gas–hydrogen blends. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33: 4876–4883.

## BROWN'S GAS IMPACT ON COMBUSTION PROCESS OF SPARK IGNITION ENGINE

### Summary

This article analyzes possibility of using Brown's gas as a fuel additive to improve energetical and ecological indicators of a spark ignition engine, by overviewing results obtained by other researchers. Based on the results of combustion process, obtained in experimental way by changing air – fuel ratio  $\lambda$  from 1,0 to 1,4, coefficient of variation of indicated mean effective pressure were calculated. Effects on combustion stability of various air – fuel ratio mixtures were evaluated.

**Key words:** Brown's gas, gasoline, hydrogen, spark ignition engine.

### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Alfredas Rimkus.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių inžinerijos katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 61571161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Edvinas Bučinskas.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** studentas.

**Darbo vietą ir poziciją:** VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Automobilių transporto inžinerijos katedros studentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** Transporto techninis eksploatavimas, alternatyvioji energetika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 69235742, [edvinas.bucinskas@tf.vtdko.lt](mailto:edvinas.bucinskas@tf.vtdko.lt)

### A COVER LETTER OF THE AUTHOR

**Author name, surname:** Alfredas Rimkus.

**Science degree and name:** associated professor.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Engineering department associated professor.

**Author's research interests:** Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.

**Telephone and e-mail address:** +370 61571161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

**Author name, surname:** Edvinas Bučinskas.

**Science degree and name:** student

**Workplace and position:** Vilnius Technology and Design College, Automobile Transport Engineering department student.

**Author's research interests:** Technical exploitation of transport, alternative energy.

**Telephone and e-mail address:** +370 69235742, [edvinas.bucinskas@tf.vtdko.lt](mailto:edvinas.bucinskas@tf.vtdko.lt)

# REVIEW ON THE ENERGY AND ECOLOGICAL INDICATORS OF A COMPRESSION IGNITION DIESEL ENGINE FUELLED BY BIODIESEL (RME BASED) AND ISOPROPANOL FUEL BLENDS

Sai Manoj Rayapureddy, Jonas Matijošius, Alfredas Rimkus  
Vilnius Gediminas Technical University

## Abstract

On the idea of replacing the fossil fuels, which are causing a great damage to environment through the release of harmful gases with Alcohol fuels which balances it out with both efficiency and less harmful comparatively. Alcohol fuels such as isopropanol can be made from a diverse group of biomass-based feedstocks and they can be used as additives with the diesel fuel in the diesel engines.

**KEY WORDS:** Isopropanol, Internal Combustion engine, Rapeseed methyl ester, Energy Indicators, Efficiency Indicators

## Introduction

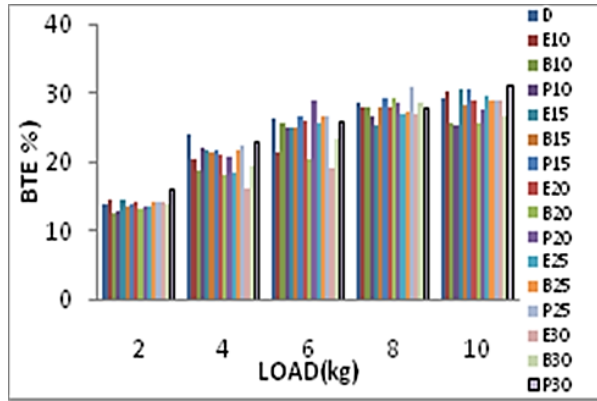
Environmental protection and ecology are important factors today. The air quality is mostly affected by mobile sources of pollution. Transport, especially motor vehicles, is the largest source of environmental pollution. Abundant multidirectional activities for minimization of the environmental pollution caused by internal combustion engines take place. The major pollutants caused by usual hydrocarbon fuels include unburnt and partially burnt hydrocarbons, carbon dioxide, nitrogen oxides and solid particles harmful for human health. Combustion products from internal combustion engine, mostly CO<sub>2</sub> and CO, together with other greenhouse gases, such as methane and nitrogen oxides, impact the changes of the global temperature. In presence of the above-mentioned problems, the today motor industry confronts an increasingly growing challenge related to an increased power, improved fuel consumption and minimization of pollutant emissions. Engines are equipped with combustion products recirculation (exhaust gas recirculation, or EGR) equipment, various catalysers, solid particles filters and so on. The said measures enable reducing the pollutants emission after the combustion process; however, in order to satisfy the provisions of the increasingly tightening norms of combustion products emissions, we should strive for minimization of the pollution during the combustion process by use of alternative fuels or their mixtures. Interest in the usage of biofuels is increasing yearly due to their lower environmental impacts compared to fossil fuels, their contributions to reducing greenhouse gas emissions, and their potential for use as an alternative fuel. (Rimkus, 2017), (Tira, 2014).

In the Communiqué of the European Commission on the European Alternative Fuels Strategy, the main alternative fuels that could replace petroleum or reduce emissions caused by vehicles are assessed. The provided list of alternative fuels includes electric energy, hydrogen, biofuels, and liquified petroleum gas. With regards to the gaseous fuels, Liquified Petroleum Gas is most frequently used in cars both in Lithuania and Europe. Its popularity is predetermined by comparatively low price of gas that is about a half of diesel fuel or petrol prices, sufficiently developed network of gas equipment and service centers and the wide network of filling stations. The targets of the European Commission in the transport sector by the year 2020 include reduction of greenhouse gas emissions by up to 20%; however, if other developed countries assume similar obligations according to a wide-scale global agreement and developing countries contribute in accordance with their possibilities, the reduction of greenhouse gas emissions by up to 30% should be a real target. In addition, it is strived for an improvement of fuel consumption efficiency by 20%. In a diesel engine, various gases (such as liquified petroleum gas, compressed natural gas, biogas, and hydro methane) may be used as an alternative to diesel fuel by a partial replacing of the diesel fuel by them. Usually, the said gaseous fuels are used as secondary fuels and the diesel fuel is considered a primary fuel required for starting the combustion process. Because of high cetane number, the injected diesel fuel ignites in a high temperature caused by the compression and then causes an ignition of the secondary fuel (Rimkus, 2017), (Raslavičius, 2014).

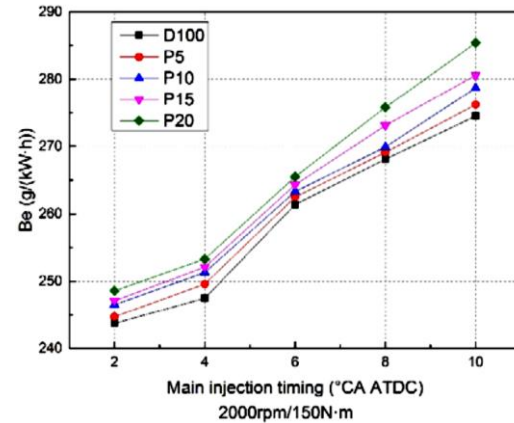
## 1. Energy indicators in IC engines

*Brake Thermal Efficiency (BTE).* The variations of BTE at different loads for various fuel blends have been shown in Fig 1. BTE for 25% ethanol and n-Butanol is very close to that of Diesel. Maximum Brake thermal efficiency is obtained for iso-propyl alcohol. BTE for 30% Iso-propyl alcohol gives a good result compared with other alcohol and neat diesel. This is due to the reduction of viscosity which in turn increases the atomization and leads to the enhancement of combustion.

BTE of engine is increased by 4.6%, 10% when using the blends of 15% Ethanol, 30% Isopropyl alcohol respectively at rated loads. It remains the same when using n-Butanol blends (Krishnamoorthi, 2016).



**Fig 1.** BTE of Isopropanol  
Source: (Krishnamoorthi, et al, 2016)



**Fig 2.** BSFC of Isopropanol mixture  
Source: (Liu et al, 2015)

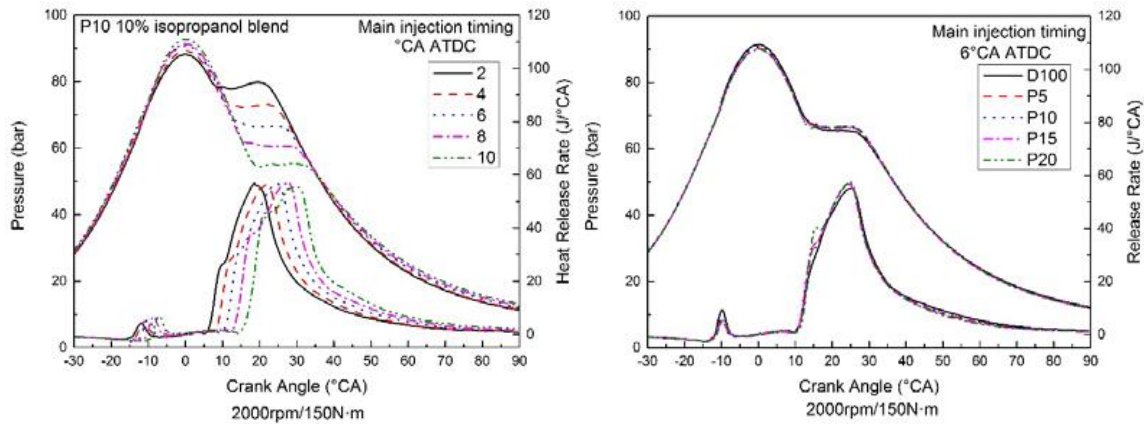
**Brake Specific Fuel Consumption (BSFC).** The curve of brake specific fuel consumption of various blends under different main injection timing. It can be seen from Fig 2 that the BSFC of five kind fuels increases with the increase of the mixing ratio of isopropanol. This is due to the heating value of the fuel blends decreases with the increase of the proportion of isopropanol. In order to get the same output power, cycle fuel injection quantity increases. Thus the BSFC of the mixed fuel is increased. It also can be seen that the BSFC of all fuels decreases with injection timing advanced. In the operating condition of 2000rpm/150N·m the combustion occurs after TDC and in the expansion stroke. At this time, the heat transfer loss decreases and the fuel consumption is reduced. In addition, the fuel injection timing is advanced, the ignition delay period is prolonged, the amount of combustible mixture is increased, and the combustion efficiency is improved (Liu, 2015).

**Rate of Heat Release (ROHR).** HRR (heat release rate) and in-cylinder pressure of various fuel blends and various main injection timing (Fig 3). It can be seen that distinctive double peaks of in-cylinder pressure and Heat Release Rate are found, the first peak corresponds to the pilot injection, and the second peak reflects the main injection. Characterization of the combustion in cylinder main stages of the second peak is the main object of study (Qia, 2011), (Deqing, 2014).

With the mixing proportion of isopropanol increase, the first peak of mixed fuel of HRR and in-cylinder pressure decrease and lower than that of pure diesel, the second peak increase and higher than pure diesel. Due to the longer ignition delay of pilot injection raised by isopropanol addition, the mixing process of pilot injected fuel and air is enhanced, which could form over-lean regions where combustion does not happen, results in much lower pilot injection heat release rate and in-cylinder pressure (Yao, 2010).

Main injection phase as a result of the mixed fuel ignition period prolonged, the amount of combustible mixed gas increases, premixed combustion ratio increases, and isopropanol oxygen promote the process of combustion, the peak of HRR and in-cylinder pressure increases. The interval of the first peak and the second gradually descend with the ratio of isopropanol ascend, this can be attributed to the low viscosity and density of isopropanol, the atomization quality improved, the speed of flame propagation accelerated, the combustion duration shortened, then promote the combustion (Liu, 2015).

The first peak of HRR and in-cylinder pressure decrease when the second peak increase with the injection timing advanced. This is the expected behaviour due to pilot injection timing is before the top dead centre, with the fuel injection timing advanced, compression negative work increases, and the temperature and pressure in cylinder is reduced, participate in the combustion mixture gas decreases; Main injection timing after the Top Dead Centre, when fuel injection timing advanced, the ignition period delayed, increase in the number of combustible mixed gas formation, premixed combustion increase, in addition, the temperature in cylinder higher, more conducive to mixture combustion, thus the combustion efficiency increased (Liu, 2015).



**Fig 3.** HRR of Isopropanol mixture  
Source: (Liu et al, 2015)

## 2. Ecological indicators

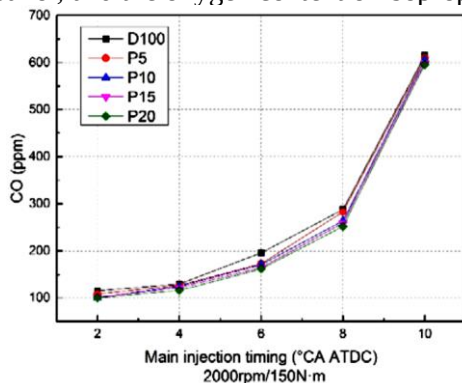
An ecological indicator gives us the data about an ecosystem, such as its biodiversity. We use ecological indicators to gain information about ecosystems and our impact on those ecosystems. ‘Ecological indicator’ is a collective term for stressor indicators, habitat response, and exposure.

The main parameters to know the effect of Isopropanol as a fuel blend in CI engine on the environment are as follows.

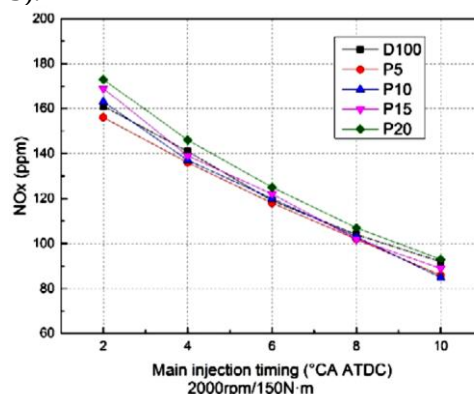
*Carbon monoxide concentration levels.* A comparison of carbon monoxide (CO) concentration levels in isopropanol and diesel-powered engine exhaust gasses. Subject to constant load. A graph should be drawn indicating CO concentration (ppm-parts per million) on the y axis and Torque (Nm) on the x axis

Relative change to carbon monoxide (CO) concentration levels in isopropanol and diesel-powered engine exhaust gasses. A graph should be drawn indicating the Relative change (%) of CO on the y axis and torque on the x axis.

The CO emission decreases with the injection timing advanced (Fig 4). Oxidation of CO to CO<sub>2</sub> conditions are: the presence of oxygen, suitable temperature and a longer period of time. Under the same operating condition, the CO emission increases with the delay of the fuel injection timing. This is because the combustion occurs after TDC. At this time, the cylinder temperature is lower. With the injection timing delayed, the ignition delay is shortened, the proportion of premixed combustion is reduced, and the CO from combustion of combustible mixture is not oxidized and frozen (Heywood, 1988). Compared with the pure diesel fuel, the CO emission of the mixed fuels is reduced under the same fuel injection timing. The oxygen content of isopropanol increases the oxygen concentration in the combustion process, and makes the combustion of combustible mixture more complete. As the isopropanol mixing ratio increases, CO emission reduction ratio decreases. This may be attributed to synergistic effects of the latent heat of vaporization of isopropanol, and the oxygen content of isopropanol (Liu, 2015).



**Fig 4.** CO concentration levels in Isopropanol mixture  
Source: (Liu et al, 2015)

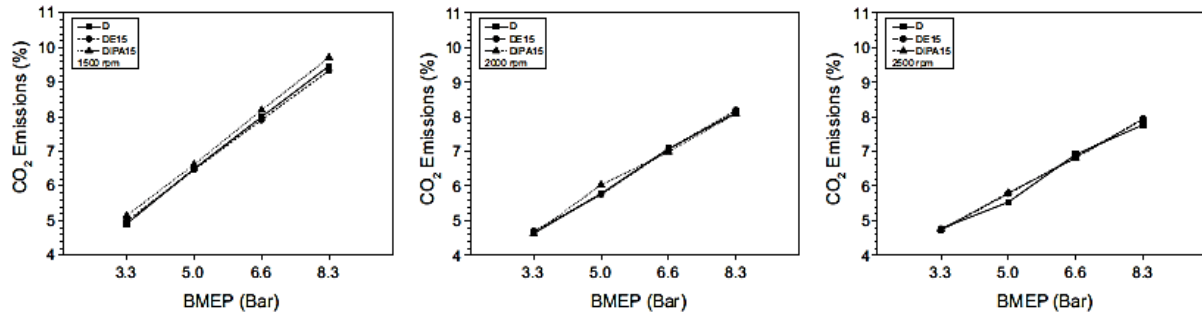


**Fig 6.** NOx concentration levels in Isopropanol mixture  
Source: (Liu et al, 2015)

**Carbon dioxide concentration levels.** A comparison of carbon monoxide ( $\text{CO}_2$ ) concentration levels in isopropanol and diesel-powered engine exhaust gasses. Subject to constant load. A graph should be drawn indicating  $\text{CO}_2$  concentration (ppm-parts per million) on the y axis and Torque (Nm) on the x axis

Relative change to carbon monoxide ( $\text{CO}_2$ ) concentration levels in isopropanol and diesel-powered engine exhaust gasses. A graph should be drawn indicating the Relative change (%) of  $\text{CO}_2$  on the y axis and torque on the x axis.

The  $\text{CO}_2$  emission results as a function of engine load and engine speed (Fig.5).  $\text{CO}_2$  emissions increased with increasing engine load and they decreased with the increase in engine speed. As seen from the figure,  $\text{CO}_2$  emissions of all test fuels were close to each other. The average increases in  $\text{CO}_2$  emissions were about 0.4% and 1.6% for DE15 (ignore this part in the graph as it is of ethanol) and DIP15 compared to pure diesel fuel, respectively. When the fuel blends compared to each other, it is seen that DIP15 caused about 1.1% higher  $\text{CO}_2$  emissions compared to DE15 fuel blend. These results proved that there were not significant differences in the  $\text{CO}_2$  emissions for the test fuels used in this study (Alptekin, 2017).

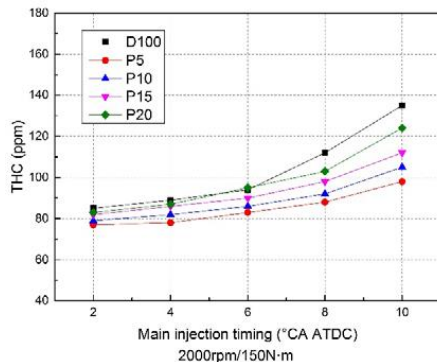


**Fig 5.**  $\text{CO}_2$  concentration levels in Isopropanol mixture  
Source: (Alptekin, 2017)

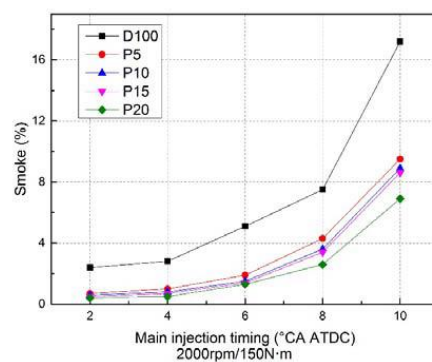
**Nitrogen oxide concentration levels.** A comparison of nitrogen oxide ( $\text{NO}_x$ ) concentration levels in isopropanol and diesel-powered engine exhaust gasses. Subject to constant load. A graph should be drawn indicating  $\text{NO}_x$  concentration (ppm-parts per million) on the y axis and Torque (Nm) on the x axis

Relative change to nitrogen oxide ( $\text{NO}_x$ ) concentration levels in isopropanol and diesel-powered engine exhaust gasses. A graph should be drawn indicating the Relative change (%) of  $\text{NO}_x$  on the y axis and torque on the x axis.

It is well known that the formation conditions of  $\text{NO}_x$  are: high temperature, enough oxygen and sufficient reaction time. We can see from figure (Fig 6) that the  $\text{NO}_x$  emission increases sharply with the fuel injection timing advanced by the Figure. This is in accordance with that the fuel injection timing is advanced, the combustion time is ahead of time, the ignition delay period is prolonged, the proportion of the premixed combustion increases, and the highest temperature and pressure in the cylinder increase. The premixed gas is in the state of oxygen enrichment. With the increase of the proportion of the premixed combustion, the temperature of fast combustion period in the cylinder is increasing rapidly, and the combustion duration increases. This makes the three formation conditions of  $\text{NO}_x$  are enhanced, so the  $\text{NO}_x$  emission increases (Liu, 2015).



**Fig 7.** THC levels in Isopropanol mixture  
Source: (Zhihao et al, 2011)



**Fig 8.** Smoke levels in Isopropanol mixture  
Source: (Liu et al, 2015)

**Total Hydro Carbons (THC) levels.** A comparison of carbon monoxide (THC) concentration levels in isopropanol and diesel-powered engine exhaust gasses. Subject to constant load. A graph should be drawn indicating THC concentration (ppm-parts per million) on the y axis and Torque (Nm) on the x axis

Relative change to carbon monoxide (THC) concentration levels in isopropanol and diesel-powered engine exhaust gasses. A graph should be drawn indicating the Relative change (%) of TTHC on the y axis and torque on the x axis.

The THC emission decreases with the injection timing advanced (Fig 7). The emission of HC is mainly caused by the unburned fuel and incomplete combustion. Under the same operating condition, the amount of air entering the cylinder is equal. With the fuel injection timing advanced, the ignition delay period is prolonged, the proportion of premixed combustion increases, the pressure and temperature in the cylinder increases, and the oxidation process of hydrocarbon fuels is accelerated. Thus the production of THC decreases with the injection timing advanced. With isopropanol mixing ratio increases, THC emission increases. Generally speaking, the shorter the ignition delay period, the lower the HC emission is (Zhihao, 2011). The cetane number of isopropanol is low, the ignition delay period is long, and the more hydrocarbon wall quenching. At the same time, isopropanol containing oxygen, reducing the area of over concentrated mixture in the cylinder, the combustion efficiency improved. And the HC emission caused by the lack of oxygen in the combustion process of diesel engine is also decreased (Liu, 2015), (Xingcai, 2007).

**Smoke Levels.** A comparison of Smoke levels in isopropanol and diesel-powered engine exhaust gasses. Subject to constant load. A graph should be drawn indicating Smoke Levels (%) on the y axis and Torque (Nm) on the x axis.

Relative change to Smoke levels in isopropanol and diesel-powered engine exhaust gasses. A graph should be drawn indicating the Relative change (%) of Smoke Levels on the y axis and torque on the x axis.

It is pointed out that the smoke emission increases with the decrease of injection timing advance (Fig 8). This is because the fuel injection timing is in advance, the ignition delay period is prolonged, the proportion of premixed combustion increases and the peak of heat release rate increases. The pressure and temperature in cylinder is increasing. The combustion of HC from the fuel pyrolysis is more completely. This reduces the number of polycyclic aromatic hydrocarbons generated by small molecular weight HC, so as to restrain the formation of smoke. Generally, the formation of smoke is mainly caused by the cracking of high polymer hydrocarbon (especially the aromatic hydrocarbon) in high temperature and lack of oxygen in the concentrated mixture area of the combustion chamber. The components of aromatic and naphthenic hydrocarbons in diesel provide a large number of complete aromatic and aromatic free radicals for the growth of smoke particles. It is helpful to the basic carbon particles in the formation of particles in the process of interaction with each other. Thus the formation of large particles containing more basic carbon particles and branched chain. The content of aromatic hydrocarbon decreases after the diesel is blended with isopropanol. This "dilution effect" inhibits the formation of smoke emissions at the source. In addition, the boiling point and viscosity of isopropanol are lower, and the quality of fuel atomization is improved. The gas and fuel are mixing more fully, and the area of the over concentrated mixture is reduced. The latent heat of vaporization of isopropanol can reduce the combustion temperature of the cylinder, thereby reducing the thermal cracking reaction of fuel, and inhibiting the formation of smoke. Besides, the isopropanol is an oxygenated fuel, which promotes the combustion process, which is conducive to the further oxidation of smoke. Finally, the longer ignition delay period of fuel blends improves the degree of premixing of fuel and air, which is another reason for the decrease of the smoke emission. Therefore, under the same fuel injection timing, the smoke emissions of the mixed fuel were significantly lower than that of the net diesel fuel (Liu, 2015) (Balamurugan, 2014) (Deming, 2007) (Danna A, 2009).

## Conclusion

In this work, bio diesel and isopropanol fuel blends were reviewed in terms of energy and ecological indicators of a diesel engine. We can find the increase in the energy and ecological parameters compared to different fuels with different concentration of the mixture. The in-cylinder pressure and HRR of pilot injection, Brake specific fuel consumption were reduced. The THC emissions and NO<sub>x</sub> emissions increased, CO emissions and smoke decreased significantly. Compared to 100% diesel, the isopropanol and diesel fuel blends could significantly decrease CO and smoke emissions. Further study in this area may bring a huge turn in automotive industry.

## Reference

1. Alfredas Rimkus\*, Mindaugas Melaika, Jonas Matijošius Efficient and Ecological Indicators of CI Engine Fuelled with Different Diesel and LPG Mixtures, 2017.

2. Danna A., Ciajolo A., et al. Effect of fuel/air ratio and aromaticity on the molecular weight distribution of soot in premixed n-heptane flames, *Proc. Combust. Inst.*, 2009.
3. Donghui Qia, et al. Effect of EGR and injection timing on combustion and emission characteristics of split injection strategy DI diesel engine fueled with biodiesel. *Fuel* 90 (2011).
4. Ertan Alptekin, Evaluation of ethanol and isopropanol as additives with diesel fuel in a CRDI diesel engine, 2017.
5. John Benjamin Heywood. Internal Combustion Engine Fundamentals [M]. *New York: McGraw-Hill Book Company*, 1988.
6. H. S. Tira, J. M. Herreros, A. Tsolakis, L. W. Wyszynski, Influence of the addition of LPG-reformate and H<sub>2</sub> on an engine dually fuelled with LPG–diesel, –RME and –GTL Fuels, *Fuel* 118 (2014) 73–82.
7. L. Raslavičius, A. Keršys, S. Mockus, N. Keršienė, M. Starevičius, Liquefied petroleumgas (LPG) as a medium-term option in the transition to sustainable fuels and transport, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 32 (2014) 513–525.
8. Lv Xingcai, Ji Li bin, et al. Parametric Study on Emissions and Heat Release Analysis of Combustion of HCCI Engines Fueled with Isopropanol/n-Heptane Blend Fuels. *Journal of Combustion Science and Technology*, 2007, 13(3).
9. M. Krishnamoorthi, R. Malayalamurthi A Comparison of performance and emission characteristics of three alcohol biofuels: ethanol, n-butanol and isopropyl, 2016.
10. Ma Zhihao, Wang Xin, et al. Effects of fuel injection timing on economy and emissions of diesel engine fueled with diesel/biodiesel blends[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011.
11. Mei Deqing, Ren Hua, et al. Effects of multiple injections strategy on combustion process of mixed fuels with dimethyl carbonate and diesel[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2014.
12. Mingfa Yao \*, Hu Wang, et al. Experimental study of n-butanol additive and multi-injection on HD diesel engine performance and emissions, 2010. *Fuel* 89 (2010) 2191–2201.
13. T. Balamurugan, R. Nalini, Experimental investigation on performance, combustion and emission characteristics of four stroke diesel engine using diesel blended with alcohol as fuel, 2014.
14. Yibin Liu\*, Bin Xu, Jianhao Jia, Jian Wu, Weiwei Shang and Zhihao Ma, Effect of Injection Timing on Performance and Emissions of DI-diesel Engine Fueled with Isopropanol 2015.

#### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Alfredas Rimkus.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių inžinerijos katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 61571161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

#### A COVER LETTER OF THE AUTHOR

**Author name, surname:** Alfredas Rimkus.

**Science degree and name:** associated professor.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Engineering department associated professor.

**Author's research interests:** Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.

**Telephone and e-mail address:** +370 61571161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Jonas Matijošius.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakultetas, Automobilių inžinerijos katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** alternatyvūs degalai, vidaus degimo varikliai.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 68404169, [jonas.matijosius@vgtu.lt](mailto:jonas.matijosius@vgtu.lt)

#### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Science degree and name:** doctor, associated professor.

**Work place and position:** Vilnius Gediminas technical university, Faculty of Transport engineering, Department of automobile engineering associated professor.

**Author's research interests:** alternative fuels, internal combustion engines.

**Telephone and email address:** +370 61571161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

**Author name, surname** Jonas Matijošius.

**Science degree and name:** doctor, associated professor.

**Work place and position:** Vilnius Gediminas technical university, Faculty of Transport engineering, Department of automobile engineering associated professor.

**Author's research interests:** alternative fuels, internal combustion engines.

**Telephone and email address:** +370 68404169, [jonas.matijosius@vgtu.lt](mailto:jonas.matijosius@vgtu.lt)

# ROTORINIŲ SISTEMŲ VIBRODIAGNOSTIKOS IR MONITORINGO METODOLOGIJA

Audrius Čereška

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

## Anotacija

Virpesiai labai svarbūs mechatronikoje, mašinų gamyboje, technologiniuose procesuose, statyboje ir kitose srityse. Mechaninės-dinaminės mašinos dalis – rotorinė sistema. Rotorinės sistemos turi tam tikrus būdingus virpesius ir todėl rotorinių sistemų diagnostika sudėtinga. Straipsnyje pateikta rotorinių sistemų diagnostikos bei monitoringo metodologija. Aprašyti mechatroninės sistemos vibrodiagnostinių tyrimų etapai bei naudojamos diagnostikai bei monitoringui priemonės. Pateikta bendra rotorinių sistemų vibrodiagnostinių matavimų bei analizės sistema, kuria taikant galima užtikrinti sėkmingą ir efektyvią tokių rotorinių sistemų diagnostiką ir monitoringą.

**Reikšminiai žodžiai:** rotorinė sistema, diagnostika, monitoringas, poslinkis, greitis, pagreitis.

## Išvadas

Vystantis technikai, žmogus vis dažniau susiduria su virpesiais, apimančiais beveik visas žmogaus gyvavimo sritis. Virpesiai labai svarbūs mechatronikoje, mašinų gamyboje, technologiniuose procesuose, statyboje ir kitose srityse [1, 2, 3].

Mechaninės-dinaminės mašinos dalis – rotorinė sistema. Rotorinė sistema – tai kompleksas atskirų elementų [4, 5, 6]. Rotorinių sistemų diagnostika sudėtinga ir tam reikalinga sudėtinga vibrodiagnostikos ir monitoringo sistema.

Svarbu žinoti, kaip išvengti virpesių žalos, rezonansinio efekto kuriamuose ir eksploatuojamuose įrenginiuose, kaip panaudoti virpesius įvairiems technologiniams procesams atlikti, naujoms mašinoms kurti ir eksploatuoti, kadangi virpesiai gali būti ne tik žalingi, bet ir naudingi [6].

Žalingieji virpesiai dažnai kelia tiesioginį pavojų svarbiems mechaniniams ir kitokiems įrenginiams, mašinoms ir jų dalims. Mechaniniai virpesiai trukdo normaliai eksploatuoti įvairias mašinas ir įrengimus, neleidžia techniškai progresuoti vienoje ar kitoje srityje. Be to virpesiai gali kenkti žmogaus sveikatai sukelti vibracinę ligą, virpesių žadinamus triukšmus – akustinį nuovargį [7].

Naudingieji virpesiai jau seniai naudojami žmogaus darbui palengvinti. Vystantis atitinkamoms taikomosios virpesių teorijos šakoms, panaudojus kompiuterius ir šiuolaikinius eksperimentų metodus buvo sukurti įvairūs vibraciniai įrenginiai ir prietaisai bei technologiniai procesai.

Virpesiai gali ne tik trukdyti, bet ir padėti atlikti įvairius neelektrinių dydžių matavimus. Iš specialių virpančiųjų sistemų yra sukonstruoti mechaninių virpesių greičių ir pagreičių registravimo prietaisai [8, 9, 10, 11]. Pagal veikiančių mašinų virpesius ir jų pobūdį sprendžiama apie mašinos būklę, atsiradus kokiam nors mechatroninės sistemos gedimui, virpesių pobūdis keičiasi [11]. Mokslas sprendžiantis apie įvairių objektų būklę iš jų virpesių, vadinamas vibrodiagnostika [12].

Mechaninių virpesių teorija tiria virpesių atsiradimo dėsningumus, panaudojimo galimybes, matavimo metodus ir virpesių padarinius [13]. Apie įrenginių ar mašinų būklę bei darbo resursus galima spręsti nustačius juose kylančius virpesių dėsningumus.

Tikslas – pateikti rotorinių sistemų diagnostikos ir monitoringo metodologiją, kuri užtikrintų sėkmingą ir efektyvią tokių sistemų diagnostiką ir monitoringą.

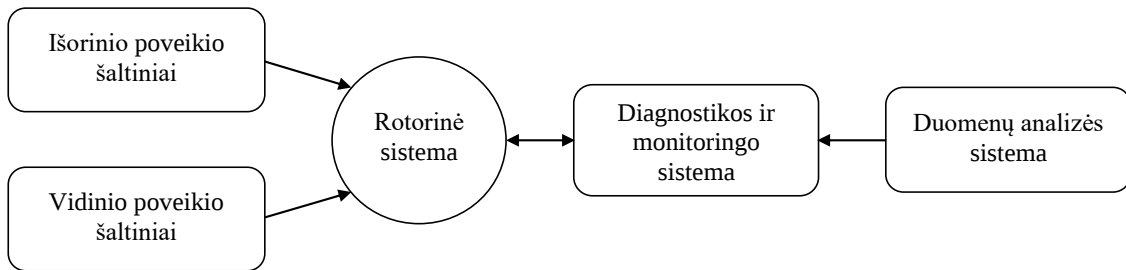
## Vibrodiagnostika ir monitoringas

Rotorinės sistemos turi tam tikrus būdingus virpesius, kurių šaltiniais dažniausiai būna rotoriaus disbalansas, rotorų sukimosi ašių nesutapimai su bendrąja rotoriaus sukimosi ašimi, mašinos konstrukcijos elementų mechaninis susidėvėjimas, elektros variklių ir generatorių elektrinės sistemos specifiniai defektai, tepalo, garo, skysčio sužadinti virpesiai, krumplinių pavarų defektai, turbinų, jų menčių ir ventiliatorių defektai, riedėjimo guolių defektai, slydimo trinties guolių defektai, rezonanso reiškiniai.

Minėti virpesių šaltiniai apibūdinami tik jiems būdingais virpesių dažniais. Pagal virpesių dažnį nustatoma, „kas vibruoja“, o pagal virpesių amplitudę nustatomas virpesių pavojingumo laipsnis. Virpesių parametrų matavimas ir jų analizės praktika bei gilus mašinos fizikinio modelio supratimas, paaiškina vibracijų atsiradimo ir perdavimo mechanizmą.

Rotorinių sistemų virpesių monitoringas – tai periodinis, sistemingas ir nepertraukiamas virpesių matavimas, matavimų rezultatų analizė, archyvavimas, duomenų bazių sudarymas ir jų taikymas praktikoje defektų nustatymui bei siekiant išvengti netikėtų gedimų. Ši technologija tapo ypač aktuali padidėjus mašinų greičiams ir automatizacijos lygiui.

Principinė rotorinės sistemos diagnostikos ir monitoringo schema pateikta 1 pav.



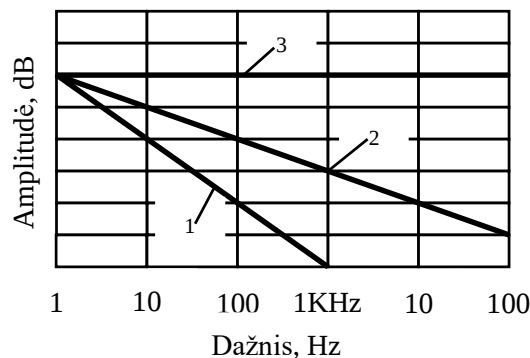
**1 pav.** Rotorinės sistemos principinė diagnostikos ir monitoringo schema

Rotorinių sistemų virpesių monitoringo ir gedimų diagnostikos technologijos taikymo privalumai, patvirtinti praktikoje:

- padidėja mašinų darbo našumas;
- sumažėja eksploatacijos ir remonto išlaidos;
- gerėja darbo saugos sąlygos ir sumažėja ekologinės problemos;
- padidėja įrenginių naudingumo koeficientas;
- užtikrina aukštą projektinę produkcijos kokybę ir kokybės kontrolę.

### Rotorinių sistemų virpesiai ir matavimo priemonės

Tiriant virpesių poveikio mašinai, prietaisui ir jų elementams intensyvumą, matuojami mechaninių virpesių parametrai, sudaromi virpesių matavimo duomenų formatai ir kartu su technologinio proceso parametrais įvertinama techninė mašinos būklė, nustatomi defektai ir sekamas jų vystimasis iki gedimo. Virpesių poslinkio, greičio ir pagreičio tarpusavio ryšys ir jų priklausomybė nuo dažnio parodyti 2 pav. [12].



**2 pav.** Virpesių poslinkio, greičio priklausomybė nuo dažnio kai pagreitis pastovus:  
1 – poslinkis, mm; 2 – greitis, m/s; 3 – pagreitis, m/s<sup>2</sup>

Poslinkis, greitis ir pagreitis lengvai išreiškiami vienas kitu integralinėmis priklausomybėmis.

Rotorinių sistemų elementų virpesių poslinkiai matuojami esant žemiems dažniams, todėl, tiriant mašinų virpesius plačiąja prasme, elementų virpesių poslinkių matavimas teikia ribotą informacijos kiekį. Virpesių poslinkiai nusako įtempimus mašinos konstrukcijos elemente. Reliatyvusis rotoriaus ar veleno virpesių poslinkis, tiesiogiai išmatuotas virpesių poslinkio keitikliu, yra tikslesnis parametras, lyginant su absoliučiuoju virpesių greičiu (pagreičiu), išmatuotu seisminiais keitikliais ant guolio korpuso [12].

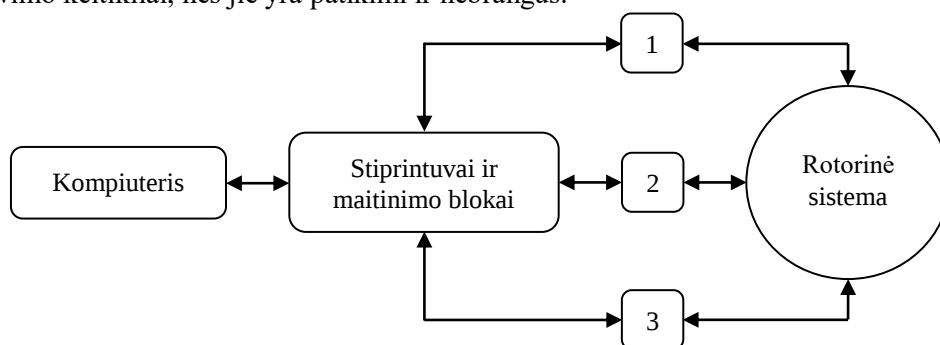
Bekontakčiai indukciniai poslinkių matavimo keitikliai naudojami tiesiogiai matuoti besisukančio veleno virpesių poslinkius. Indukcinių keitiklių veikimo principas pagrįstas Fuko srovėmis. Keitiklis veikia kaip aukšto dažnio vibratorius, kai keitiklio apvija maitinama aukšto dažnio elektros srove ir sužadina apvijos aplinkoje magnetinį lauką.

Virpesių greitis parodo mechanizmo dinamiką nedideliame dažnių intervale. Virpesių greičio kvadratinis vidurkis parodo vibracijų pavojingumą, nes virpesių greičiai tiesiogiai nusako virpesių energiją ir yra jų destruktivaus efekto matas.

Grečio matuokliai priskiriami seisminiams matuokliams, nes matuoja absoliučiuosius rotoriaus korpuso virpesių greičius. Šie keitikliai pirmieji panaudoti mašinų dalių virpesių greičių ir dažnių matavimams, kaip pirminiai prietaisai. Grečio keitiklių trūkumai: dėvėsi judančios mechaninės dalys, dėl medžiagos nuovargio kinta spiruoklės standumas, jautrūs pašalinių magnetinių laukų veikimui, aplinkos temperatūriniai skersinių jėgų veikimui ir turi didelius gabaritų.

Prietaisai matuojantys mašinos arba jos elementų mechaninių virpesių pagreičius, vadinami akcelerometrais. Pagreitis nusako jėgą, veikiančią mašinos konstrukcijos elementą. Akcelerometrai matuoja mašinos elementų virpesių pagreičius plačiame dažnių intervale, viršijančiame 30 kHz.

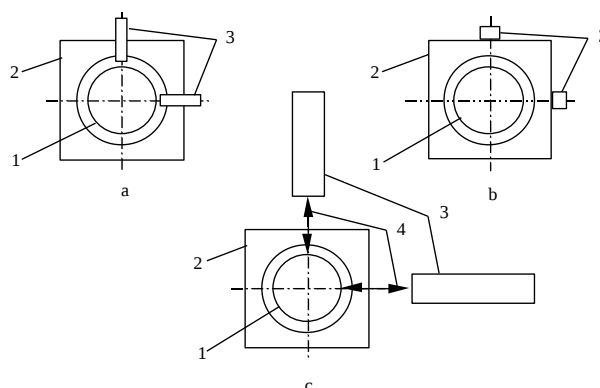
Pagreičių matavimo matuokliai, pjezoelektriniai akcelerometrai, kaip seisminiai matuokliai, naudojami matuoti absoliučiuosius virpesius plačiame dažnių intervale. Akcelerometrai – paplitę pirminiai mašinų virpesių matavimo keitikliai, nes jie yra patikimi ir nebrangūs.



**3 pav.** Principinė rotorinės sistemos matavimo schema:

1 – poslinkio matuoklis, 2 – greičio matuoklis, 3 – pagreičio matuoklis

Rotorinės sistemos rotoriaus disbalansas, bendraašiškumo nuokrypiai (ašių nesutapimas su bendra sukimosi ašimi) padidėję tarpai guolyje dėl išdilimo ar kitų priežasčių, rotoriaus įtrūkimai ir kliuvimai už korpuso dalių ir t.t., gali būti nustatyti tik naudojant du matuoklius. Todėl, rotorinės sistemos diagnostikai reikia naudoti po du tokius pačius matuoklius. Matuokliai turi būti išdėstyti 90° kampu vienas kito atžvilgiu ir vienoje skerspjūvio plokštumoje, kaip parodyta 4 pav.



**4 pav.** Matuoklių išdėstymo schemos,

a: 1 – rotorius, 2 - matuoklių tvirtinimo korpusas, 3 – bekontaktakčiai poslinkių matuokliai;

b: 1 – rotorius, 2 – korpusas, 3 – pagreičių matuokliai (akcelerometrai);

c - rotorius, 2 – korpusas, 3 – greičio matuokliai, 4 – greičio matuoklių spinduliai

Matuoklių orientacija nebūtinai turi būti vertikali arba horizontali. Parenkama patogi mechanizmo konstrukcijai padėtis.

### Vibrodiagnostinių tyrimų metodika

Vibrodiagnostinių tyrimų eiga:

1. Sudaromas rotorinės sistemos dinaminis modelis analiziniam vibrodiagnostiniam tyrimui. Suprastinama tiriamoji sistema ir modelyje paliekama tik tai, ko reikia tolesniam tyrimui. Aproximuojant stengiamasi dinaminį modelį padaryti kuo paprastesnį, bet kartu ir palikti jį tokį, kad būtų įmanoma reikiamu tikslumu ištirti objekto virpesius. Gali būti sudaroma ir keletas dinaminio modelių, iš kurių toliau tirti pasirenkamas vienas arba keli. Nagrinėjamu atveju laikoma, kad tiriamas vienas dinaminis modelis.

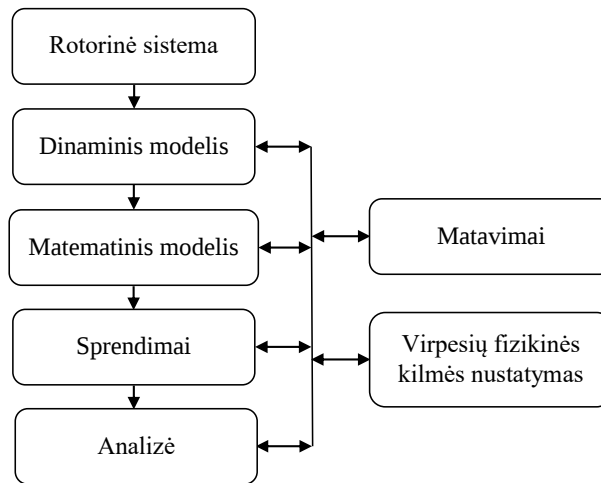
2. Sudaromas pasirinkto dinaminio modelio matematinis modelis.

3. Atliekamas matematinio modelio sprendimas.

4. Gauti rezultatai analizuojami.

5. Remiantis analizės rezultatais sudaromos rekomendacijos objektui tobulinti.

6. Kuriami nauji objektai, jiems sudaromi nauji dinaminiai modeliai ir procesas kartojasi.
  7. Atliekant analizinius tyrimo etapus arba net ir anksčiau, gali būti vykdomi eksperimentai. Tiriamas virpesių pobūdis, veikimas.
  8. Nustatoma virpesių fizikinė kilmė, išsiaiškinama ar objekte kylantys virpesiai yra priverstiniai, ar savaiminiai, tiesiniai ar netiesiniai, nustatomi virpesių žadinimo šaltiniai ir kt.
- Bendroji vibrodiagnostinių tyrimų eiga pateikta (5 pav.) [3].



5 pav. Rotorinės sistemos vibrodiagnostinių tyrimų principinė schema

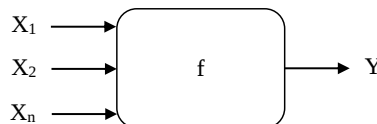
Eksperimentų duomenis, ypač virpesių atsiradimo priežastis, reikia žinoti visuose analitinių tyrimų etapuose, bet pirmiausia – tiriamojo objekto dinaminiam modeliui sudaryti.

Aprašytoji vibrodiagnostinių tyrimų schema (5 pav.) gali būti vykdoma ne visa.

Šiuolaikinėje technikoje yra daug įvairių mechaninių ir kitų sistemų, kurių virpesių tyrimas turi didelę teorinę ir praktinę reikšmę, bet būna sunku ar net neįmanoma ištirti tik gryną mechaninę virpančią sistemą ir ją išnagrinėti. Norint teisingai ištirti tokią sistemą, reikia tirti jau ne mechaninę, bet mechatroninę virpančią sistemą.

### Matavimo rezultatai ir jų analizė

Matavimo proceso įvertinimo modelį, kuris nusako ryšį tarp matuojamojo dydžio ir kitų dydžių, galima atvaizduoti schema, parodyta 6 pav.



6 pav. Matematinio proceso įvertinimo modelio schema:  
 $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) – įėjimo dydžiai,  $Y$  – matavimo rezultatas

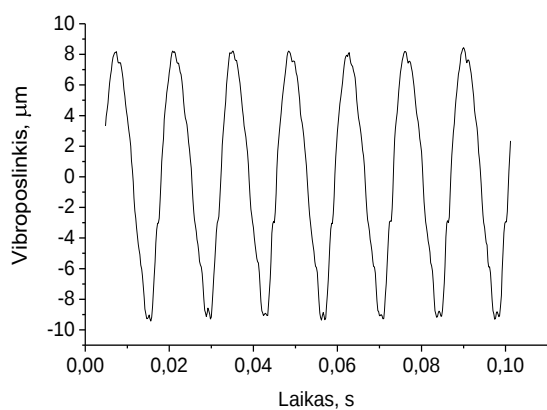
Modelio funkcija nusako matavimo procedūrą ir įvertinimo metodą. Ji aprašo, kaip išėjimo dydžio  $Y$  vertės gaunamos iš įėjimo dydžių  $X_i$  verčių.

Sudarant matavimo modelį, daroma prielaida, kad dydis  $Y$ , kurį reikia išmatuoti, matuojant išlieka pastovus. Daroma prielaida, kad  $n$  kitų dydžių  $X_i$ , nuo kurių priklauso matuojamasis dydis  $Y$ , taip pat yra stebimi.

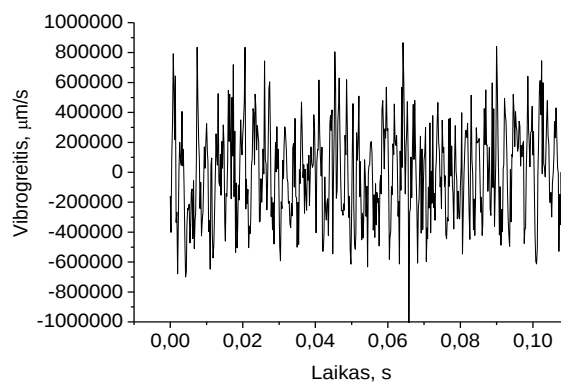
Matematiškai šį reiškinį galima parašyti taip:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (1)$$

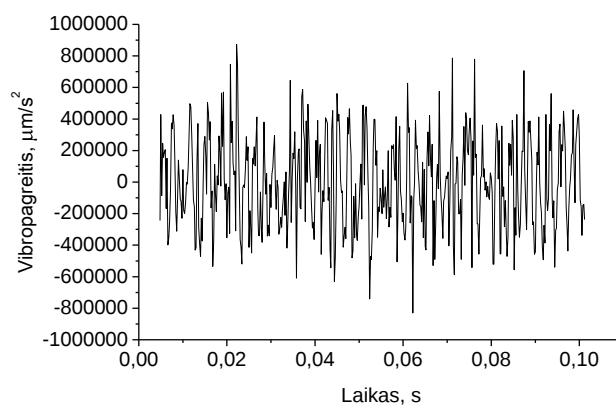
Panaudojus matavimo priemones atliekami matavimai ir gaunami pirminiai matavimo rezultatai (7a, 7b, 7c pav.) kurie analizuojami (8 pav.) ir pagal analizės rezultatus nustatoma tiriamos rotorinės sistemos techninė būklė.



a

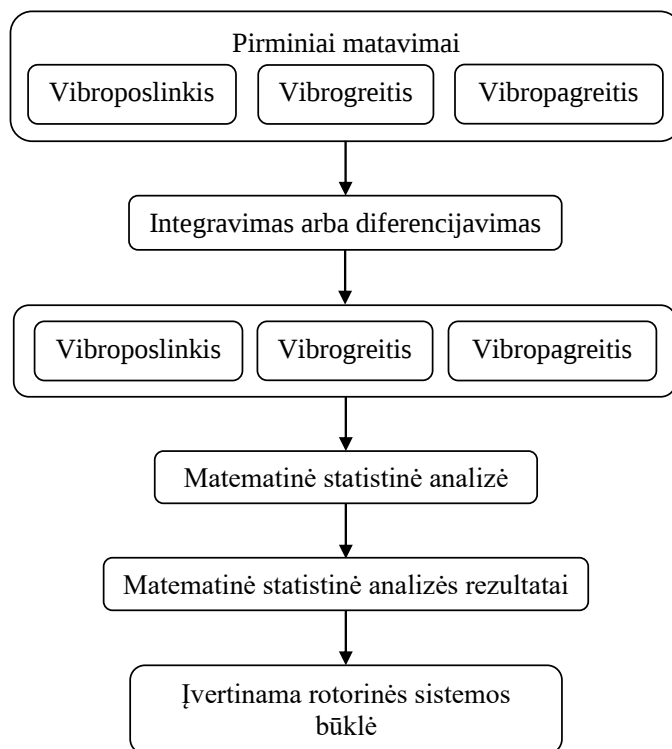


b



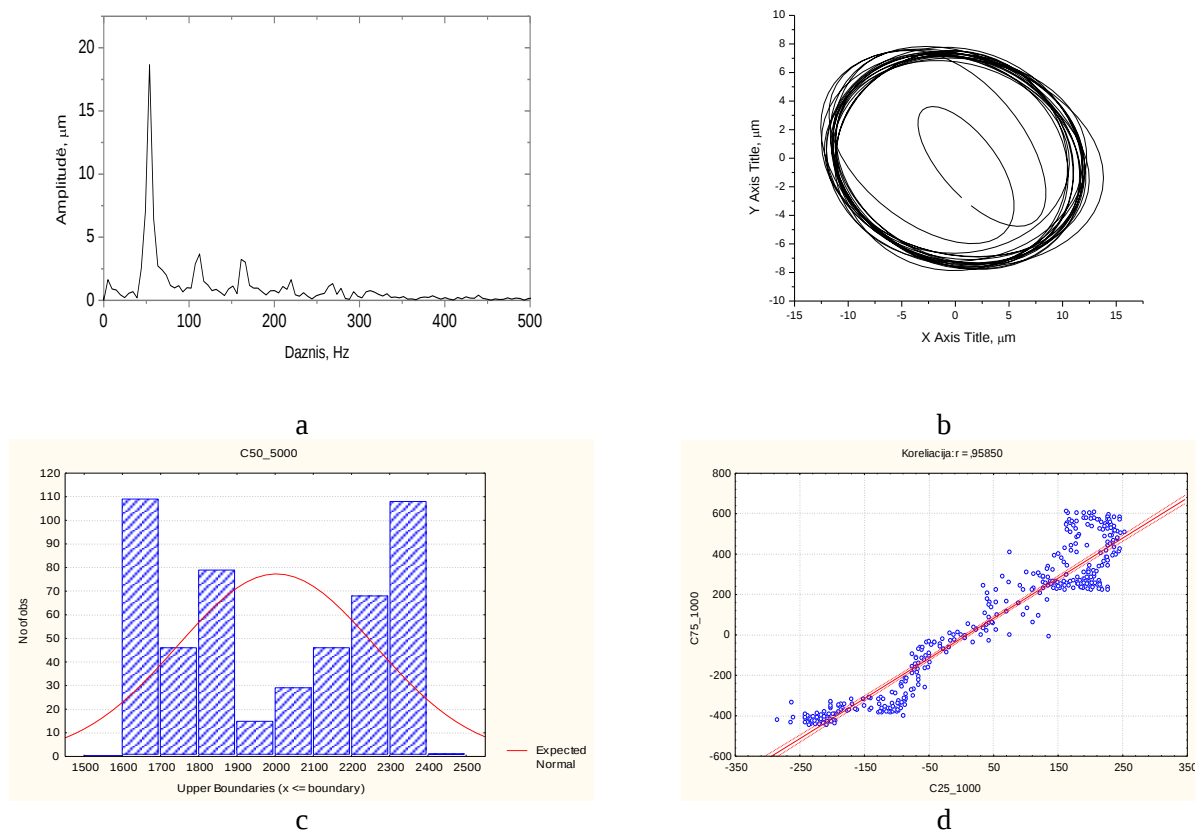
c

**7 pav.** Rotorinės sistemos: a - rotoriaus sukimosi vibroposlinkio signalas, b - rotoriaus sukimosi vibrogreičio signalas, c - rotoriaus sukimosi vibropagreičio signalas



**8 pav.** Matavimo rezultatų analizės schema

Atlikus pirminių signalų integravimą arba diferencijavimą (8 pav.) gaunami visi vienodi signalai: vibroposlinkiai, vibrogreičiai arba vibropagreičiai, o vėliau atlikus šių signalų matematinės statistikos analizę galima gauti: momentinę laiko funkciją; suvidurkintą laiko funkciją; autokoreliacinę laiko funkciją; tarpusavio koreliacijos funkciją; orbitas; momentinį spektrą; nuosavus spektrus ir tarpusavio spektrus; kepstrą; statistines funkcijas; dažnines charakteristikas  $H_1H_2$ , koherencinį ir nekoherencinį išėjimo signalo galingumą; autokoreliacinę bei tarpusavio koreliacijos funkcijas; impulsinę charakteristiką, naudojant Hilberto transformaciją (9 pav.).



**9 pav.** Pirminių signalų analizės rezultatai:

a – rotoriaus virpesių spektras, b – rotoriaus sukimosi ašies orbita, c – signalo skirstinys, d – signalo tarpusavio koreliacija

Analizei atlikti naudojami įvairūs programiniai paketai: Origin, Master Data, Excel, Statistika ir kt.

### Išvados

Pateikta tyrimų metodika tinka įvairių rotorinių sistemų vibrodiagnostikai ir monitoringui.

Pateikta tyrimų įranga ir metodologija užtikrina galimybę atlikti pilną rotorinės sistemos vibrodiagnostinį tyrimą ir monitoringą.

Neturint galimybės panaudoti visų matuoklių vienu metu, gali būti panaudoti keli ar net tik vienas kurio nors tipo matuoklis. Po atlikus gautų rezultatų transformaciją (integravimą ar diferencijavimą) galima gauti, bet kurį reikalingą rezultatą (duomenų formatą).

Transformuojant pirminius matavimo signalus (pvz. Iš vibroposlinkio transformuoti į vibrogreitį arba atvirkščiai ir t.t.), reikia žinoti kokia yra transformacijos metu gaunama paklaida. Tik tokiu atveju galima gauti patikimus rezultatus.

Pateikta metodologija gali būti taikoma ir kitokių mechaninių-dinaminių sistemų diagnostikai ir monitoringui.

### Literatūra

1. Žiliukas P., Barauskas R. Mechaniniai virpesiai. Kaunas. Technologija. 1997, 308 p.
2. Вильфсон И.И. Колебания в машинах. Санкт-петербург. Гос. Ун-т технологий и дизайна. 1996.
3. Augustaitis. V. K. Mechaninių virpesių pagrindai. Vilnius. Žiburio leidykla. 2000, 319 p.
4. Исии Т. И др. мехатроника. Перевод с японского с.л. масленникова; под редакцией в.в. васьилькова. Москва: мир, 1988, 314 p.

5. Cetinkunt, Sabri. Mechatronics. Hoboken (n.j.): wiley, 2006, 2007. Viii, 615 p.
6. Vekteris V., Čereška A. Моделирование мехатронных систем. XI международная научно-техническая конференция машиностроение и техносфера XXI века, сборник трудов, том 1, Севастополь, Украина, 2004, 122-126 p.
7. Вибраций в технике. Справочник 5 т. – Москва. Машиностроение. 1981, 496 с.
8. Jonušas R., Juzėnas, E., Juzėnas K. Vibrodiagnostics of complex rotary systems. Kaunas university of technology, Lithuanian academy of science, Iftomm national committee of lithuania, baltic association of mechanical engineering. Mechanika, 2007, 107-110 p.
9. Vekteris V., Čereška A., Trumpa A. The application of measuring transducers in the diagnostics of the mechatronical system. Journal of vibroengineering, volume 5 number 1(10) december, 2003, 5-9 p.
10. Vekteris V., Čereška A. Diagnostical measurements of elements of mechatronical system. International conference of daaam baltic industrial engineering – adding innovation capacity of labour force and entrepreneur, tallinn, estonia, april 20 – 22, 2006, 183-187 p.
11. Pawlak, Andrzej M. Sensors and actuators in mechatronics: design and applications. Boca raton (fla.): crc/taylor & francis, 2007, 376 p.
12. Barzdaitis V., Činikas G. Rotorinių mašinų monitoringas ir diagnostika. Kaunas. Technologija. 1998, 365 p.
13. Thomson William T., Dahlen M.D. Theory of vibration with applications. 5 th ed. – London: chapman and hall, 1997.

## VIBRODIAGNOSTIC AND MONITORING METHODOLOGY OF ROTOR SYSTEMS

### Summary

The vibrations are very important in mechatronics, machine manufacturing, technological processes, construction and other areas. The mechanical-dynamic machine is a rotor system. Rotor systems have some inherent vibrations and are therefore difficult to diagnose. The paper presents the methodology of diagnostics and monitoring of rotor systems. The stages of the vibrodiagnostic research of the mechatronic system are described and the tools for diagnostics and monitoring are used. A common system of vibrodiagnostic measurements and analysis of rotor systems is provided, which ensures successful and efficient diagnostics and monitoring of such rotor systems.

**Key words:** rotor systems, diagnostic, monitoring, vibrochange, vibrospeed, vibroacceleration.

### AUTORIAUS LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Audrius, Čereška

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, profesorius

**Darbo vietą ir poziciją:** Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos fakulteto, Mechanikos ir medžiagų inžinerijos katedros profesorius

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** mechaninių statinių ir dinaminių sistemų diagnostika ir monitoringas

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 606 90514, [audrius.cereska@vgtu.lt](mailto:audrius.cereska@vgtu.lt)

### A COVER LETTER OF AUTHOR

**Author name, surname:** Audrius, Čereška

**Science degree and name:** doctor, professor

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Mechanics faculty, Mechanical and material engineering department professor

**Author's research interests:** diagnostics and monitoring of static and dynamic mechanical systems

**Telephone and e-mail address:** +370 606 90514, [audrius.cereska@vgtu.lt](mailto:audrius.cereska@vgtu.lt)

# KINEMATIKOS UŽDAVINIŲ SPRENDIMAS TAIKANT VAIZDO ANALIZĘ

Skirmantė Vardauskaitė

Kauno technikos kolegija

## Anotacija

Dabartinės technologijos suteikia galimybę sujungti tradicinį fizikos mokymąsi su kompiuteriniu proceso modeliavimu ir analizavimu. Vienas iš vaizdo analizės ir modeliavimo įrankių fizikos mokymuisi - atvirojo kodo programa *Tracker*. Straipsnyje pristatomos šios programos galimybės ir pateikiami trijų judėjimų (tiesiaiegio tolyginio, tiesiaiegio tolygiai kintamo ir matematinės svyruoklės svyravimų) vaizdo analizės pavyzdžiai-uždaviniai, sprendžiami fizikos paskaitose.

**REIKŠMINIAI ŽODŽIAI.** Kinematika, fizika, vaizdo analizė, probleminis mokymasis.

## Įvadas

Tradicinės fizikos paskaitos ar seminarai padeda įgyti tik pagrindines teorines žinias be gilesnio jų supratimo ir neišmoko tų žinių pritaikyti probleminiams uždaviniams spręsti. Todėl daugeliui studentų fizikos mokslas siejasi su nuobodžiu mokymosi procesu, aibe formulių ir sudėtingais uždaviniais. Siekiant pajavairinti mokymosi procesą, sudominti studentus vis dažniau įtraukiama realių procesų vaizdo analizė. Realaus vaizdo nagrinėjimas fizikiniu požiūriu, leidžia studentams greičiau išmokti fizikinius dydžius, lengviau įsisavinti per teorines paskaitas gautas žinias, skatina jų kūrybiškumą bei loginį mąstymą, didina susidomėjimą fizikos mokslu (*Esclada, 1997; Gröber et al., 2014*).

**Tyrimo objektas:** vaizdo analizės taikymas kinematikos mokymosi procese.

**Tikslas:** pateikti kinematikos uždavinių nagrinėjimo, panaudojant programą *Tracker*, galimybes ir privalumus.

## Uždaviniai:

1. Supažindinti su programos *Tracker* pritaikomumu fizikos paskaitose.
2. Pateikti kinematikos uždavinių sprendimo, panaudojant video analizę, pavyzdžių.

## Programos *Tracker* naudojimas fizikos paskaitose

Dabartinės technologijos suteikia galimybę sujungti tradicinį fizikos mokymąsi su kompiuteriniu proceso modeliavimu ir analizavimu (Klein P. et al, 2015; Klein P. et al., 2014; Struck et al., 2010). Vienas iš vaizdo analizės ir modeliavimo įrankių fizikos mokymuisi - atvirojo kodo programa *Tracker* ([www.cabrillo.edu](http://www.cabrillo.edu)). Šia programa galima nagrinėti 22 fizikinių dydžių kitimą laiko atžvilgiu, rasti pradinis parametrus, duomenis pateikti grafikų ir lentelių pavidalu, suprasti kuo skiriasi vektoriniai ir skaliariniai dydžiai. Programa taip pat leidžia patiems įsivesti fizikinius dydžius, kurie yra nepateikti. Galima nagrinėti įvairių kūnų judėjimą – tiesiaiegi, sukamąjį, svyruojamąjį.

Lietuvoje tokie fizikos mokymosi metodai dar nėra plačiai taikomi, tačiau tokie probleminiai uždaviniai studentams leidžia ne tik geriau įsisavinti teorinę medžiagą, bet ir pastebėti fizikos dėsningumus supančioje aplinkoje, naudojamoje technikoje ir t.t., nes bet koks nufilmuotas kūno judėjimas gali būti vizualizuojamas ir analizuojamas.

Kinematika yra mechanikos dalis, kurioje nagrinėjama materialųjų objektų judėjimo geometrija neatsižvelgiant į jų inertiškumą ir veikiančias jėgas. Nagrinėjant kūnų judėjimą, kinematika gali atsakyti į klausimą, kaip kūnas juda, kur yra konkrečiu laiko momentu. Kinematikoje vyrauja dviejų rūšių uždaviniai: pirmojo tipo kinematikos uždaviniuose nustatomi kūno judėjimo dėsniai, t. y. kūno padėtį aprašančių laiko funkcijų visuma; antrojo tipo kinematikos uždaviniuose, remiantis šiais judėjimo dėsniais, apskaičiuojamos viso kūno arba atskirų kūno taškų judėjimo kinematinės charakteristikos (koordinatės, greičiai, pagreičiai ir t.t.) (*Bogdonovičius, 2010*). Visus šiuos uždavinius galima spręsti panaudojant atviro kodo programą *Tracker*, ji gali pakeisti įprastų kinematikos uždavinių sprendimą iš uždavinytų.

Judėjimo analizei *Tracker* programa reikalingas vaizdo įrašai su judėjimu. Juos galima gauti tiek iš duomenų bazių, tiek nufilmavus patiems, tik būtina, jog filmavimo metu kamera nejudėtų ir vieno matomo objekto matmuo būtų žinomas. Analizė pradedama atidedant koordinatės sistemos pradžios tašką, pažymint mastelį ir parenkant tašką ant objekto, kurio judėjimas ir bus analizuojamas. Paleidus video įrašą, automatiškai nustatomas pažymėto taško padėties kitimas laiko atžvilgiu. Atskaitos taškų skaičius atitinka kadrų skaičių, jeigu kadrų skaičius didelis, galima parinkti, kad programa sektų taško judėjimą tik kas 5 ar 10 kadrą. Gauti duomenys tiek grafikų, tiek lentelių pavidalu gali būti analizuojami pagal dėstytojo pateiktus klausimus: randami pradiniai parametrai, užrašomos judėjimo lygtys, įvertinamos gautų dydžių, pvz., greičio ar pagreičio, ženklo reikšmės, apskaičiuojamos mechaninės energijos, įvertinimas jų kitimas judėjimo metu, panaudojant

teorinėse paskaitose gautas žinias modeliavimo bloke įvedami nauji dydžiai (pvz., potencinė energija, pilnutinė energija), patikrinami tvermės dėsniai ir padaromos išvados dėl jų neatitikimo su teorija ir t.t.

### Tiesiai ir tolygiai judančio kūno analizė

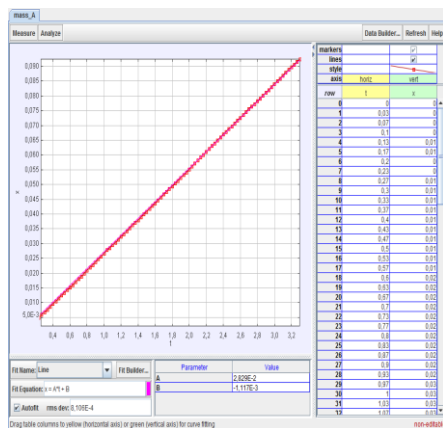
**Uždavinys:** nustatyti tiesiaiegiu tolyginiu judėjimu judančio kūno pradinis kinematinis parametras, užrašyti kinematinę lygtį.

**Teorinė dalis.** Tiesiaiegiu tolyginiu judėjimu judančio kūno judėjimo trajektorija yra tiesė, o per vienodus laiko tarpus jis nueina vienodus atstumus, t.y., jo judėjimo greitis yra pastovus. Jeigu judėjimas vienmatis, galime laikyti, jog kūnas juda  $x$  ašies kryptimi. Tuomet tiesiaiegiai tolygiai judančio kūno judėjimo lygtį galima užrašyti (Bogdonovičius, 2010):

$$x(t) = x_0 + v_x t, \quad (1)$$

čia  $x_0$  – pradinė koordinatė,  $v_x$  – greitis  $x$  ašies kryptimi,  $t$  – laikas.

**Sprendimas.** Įkėlus nufilmuotą vaizdą į *Tracker* programą, vaizdas sustabdomas, ant judančio objekto pažymimas taškas, kurio atžvilgiu ir bus nagrinėjamas judėjimas, atidedamas ir vieno žinomo iš vaizdo įrašo objekto matmuo. Pasirenkama koordinatinių sistema, kurios centras sutapatinamas su pažymėtu tašku, o  $x$  ašis sutampa su kūno judėjimo kryptimi. Paleidus video įrašą, nustatomas pažymėto taško padėties kitimas laiko atžvilgiu.



1 pav. Tiesiaiegio tolygiai judančio kūno judėjimo kreivė ir jos parametrai

Šaltinis: sudaryta autorių

1 paveiksle pateiktas objekto judėjimo kreivė laiko atžvilgiu. Atliekant matematinį sutapatinimą matome, jog kūno judėjimo trajektoriją yra tiesė, kuri aprašoma lygtimi

$$x = at + b. \quad (2)$$

Lyginant (1) ir (2) lygtis, gauname, kad  $a = v_x$ , o  $b = x_0$ , vadinasi kūno judėjimo greitis yra  $2,829 \cdot 10^{-2}$  m/s, o pradinė koordinatė yra  $-1,117$  cm. Koordinatės vertė gali kisti, priklausomai nuo pažymėto koordinatinių pradžios taško. Iš šių duomenų galima parašyti ir objekto judėjimo lygtį:

$$x(t) = -1,117 \cdot 10^{-2} + 2,829 \cdot 10^{-2}t, \text{ m.} \quad (3)$$

### Laisvai krintančio kūno analizė

**Uždavinys:** Užrašyti laisvai krintančio kūno judėjimo lygtį  $y$  ašies kryptimi, nustatyti laisvojo kritimo pagreitį, apskaičiuoti kūno greitį praėjus 0,5 s nuo judėjimo pradžios.

**Teorinė dalis.** Laisvasis kūnų kritimas – tiesiaiegio, tolygiai kintamo judėjimo pavyzdys. Jis aprašomas lygtimi:

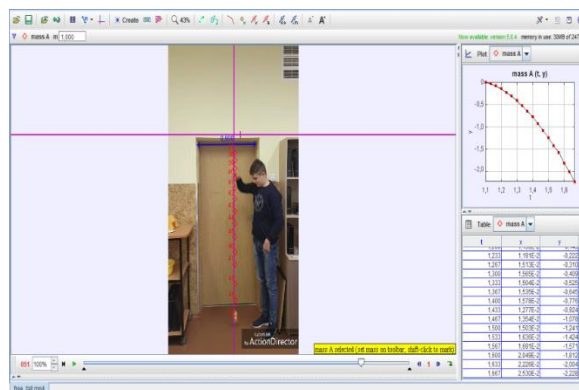
$$y(t) = y_0 + v_{0y}t + \frac{gt^2}{2}, \quad (4)$$

čia  $y_0$  – pradinė koordinatė,  $v_0$  – pradinis greitis ir  $g$  – laisvojo kritimo pagreitis. Visi kūnai krinta vienodu pagreičiu, kurį Žemėje priimta laikyti lygiu  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

Greičio lygtis randama ieškant ( $x$ ) lygties pirmos išvestinės laiko atžvilgiu (Bogdonovičius, 2010; Glawtanong P. et al., 2011):

$$v(t) = v_{0y} + gt. \quad (5)$$

**Sprendimas.** Kaip ir pirmojo uždavinio atveju, įsikėlus vaizdo įrašą, pažymima koordinatinių sistemos atskaitos pradžia bei skalė. Dabar nagrinėjamas judėjimas  $y$  ašies kryptimi, todėl pakeičiama programos lange ašis ir programa automatiškai pažymi kūno (kamuoliuko) padėtį erdvėje laiko atžvilgiu (2 pav.).



2 pav. Laisvai krintančio kūno analizė programa Tracker  
Šaltinis: sudaryta autorių

Iš grafiko matyti, jog kūno padėties kitimas aprašomas parabolės dėsnium  

$$y = at^2 + bt + c. \quad (6)$$

Lyginant ir (5) ir (6) lygtis, gaunama, kad  $g = 9,874 \frac{m}{s^2}$ , kas neblogai atitinka tikrąją laisvojo kritimo vertę. Antrasis parametras  $b = 9,778 \frac{m}{s}$  atitinka kamuoliuko pradinį greitį vertikalios ašies atžvilgiu. Šis dydis, kaip ir pradinė koordinatė ( $c = -4,734 m$ ) gali kisti, priklausomai nuo koordinačių sistemos atskaitos pradžios taško pažymėjimo. Žinant pradinius parametrus, galima parašyti kamuoliuko judėjimo lygtį

$$y(t) = -4,734 + 9,778t - \frac{9,874t^2}{2} m, \quad (7)$$

O iš jos rasti ir greičio kitimo lygtį:

$$v(t) = 9,778 - 9,874t, \frac{m}{s}. \quad (8)$$

Turint greičio lygtį, galima rasti ir judėjimo greitį, praėjus 0,5 s sekundei nuo judėjimo pradžios -  $v(0,5) = 14,7 \frac{m}{s}$ .

### Matematinės svyruoklės svyravimų analizė

**Uždavinys:** Užrašyti matematinės svyruoklės svyravimų lygtį, nustatyti laisvojo kritimo pagreitį ir patikrinti mechaninės energijos tvermės dėsnius.

**Teorinė dalis.** Mechaninis svyravimas, pasikartojantis reguliariai, vadinamas periodiniu svyravimu. Tokį svyravimą galima atvaizduoti kaip harmoninių svyravimų sumą. Kūno arba materialiojo taško nuokrypis nuo pusiausvyros padėties aprašomas

$$x(t) = x_0 \cos(\omega_0 t \pm \varphi_0) \quad (9)$$

lygtimi, kur  $x_0$  – didžiausias kūno nuokrypis nuo pusiausvyros padėties (amplitudė),  $\omega_0$  – kampinis dažnis,  $(\omega_0 t \pm \varphi_0)$  – svyravimų fazė laiko momentu  $t$ ,  $\varphi_0$  – pradinė svyravimų fazė.

Kampinis dažnis išreiškiamas per svyravimų periodą  $T$  ar dažnį  $\nu$ :

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu. \quad (10)$$

Harmoningai svyruojančio kūno greitis lygus pirmajam poslinkio išvestinei pagal laiką

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = -v_0 \sin(\omega_0 t \pm \varphi_0). \quad (11)$$

Tuomet harmoningai svyruojančio  $m$  masės kūno kinetinė energija bus

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2} m x_0^2 \omega_0^2 \sin^2(\omega_0 t \pm \varphi_0). \quad (12)$$

Potencinė energija:

$$E_p = mgh. \quad (13)$$

Pagal mechaninės energijos tvermės dėsnius kinetinės ir potencinės energijų suma yra pastovus dydis:

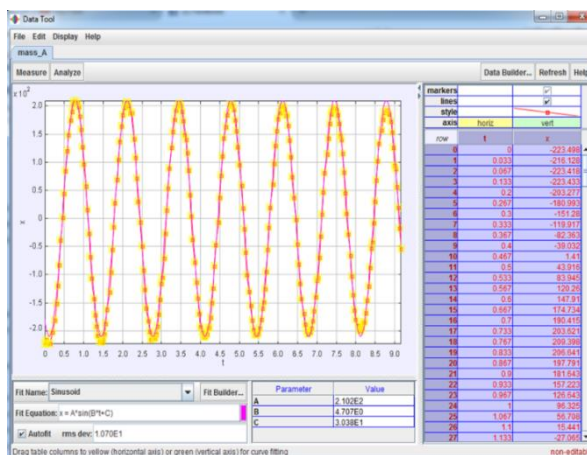
$$E = E_k + E_p. \quad (14)$$

Visos šios lygtys tinka ir matematinės svyruoklės svyravimams aprašyti. Tokios svyruoklės svyravimų periodas:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (15)$$

kur  $l$  – siūlo ilgis,  $g$  – laisvojo kritimo pagreitis. Periodas nepriklauso nuo rutuliuko masės ir svyravimo amplitudės (Bogdonovičius, 2010), esant nedidelėms svyravimo amplitudėms, todėl pasinaudojus (15) formule galima apskaičiuoti laisvojo kritimo pagreitį.

**Sprendimas.** Įkėlus nufilmuotą vaizdą į *Tracker* programą, vaizdas sustabdomas, atsilenkus metaliniam rutuliukui maksimalia amplitude, pažymimas taškas (rutuliuko masės centras), kurio atžvilgiu ir bus nagrinėjamas judėjimas, parenkamas mastelis bei pažymimas koordinatų sistemos pradžios taškas, jis sutaps su rutuliuko masės centru, jam esant ramybės būsenoje. Paleidus vaizdo įrašą, nustatomas masės centro padėties kitimas laiko atžvilgiu (3 pav.). Iš svyravimų grafiko  $x(t)$  duomenų, parinkus sinusoidinį nagrinėjamo taško kitimo pobūdį, gaunama svyravimų lygtis. Pakeitus ašį, analogiškai veiksmai atliekami ir nustatant greičio bei kinetinės energijos kitimo lygtis.



3 pav. Matematinės svyruoklės svyravimų grafikas ir parametrai  
Šaltinis: sudaryta autorių

Iš matematinės svyruoklės metalinio rutuliuko judėjimo duomenų, parinkus programoje sinusoidinį judėjimo pobūdį, gaunami (9) lygties pagrindiniai parametrai (3 pav.), kuriuos žinodami galime parašyti pagrindinę svyravimų lygtį:

$$x(t) = 0,210 \cdot \cos(4,707t + 30,380) \text{ m.} \quad (16)$$

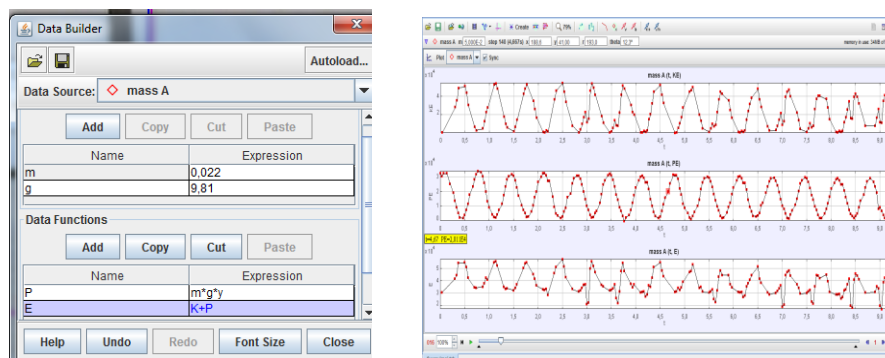
Iš lygties matome, kad matematinės svyruoklės atsilenkimo amplitudė yra 21 cm, kampinis dažnis  $4,707 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ , o pradinė fazė 30,38 rad. Pasinaudojus (10) ir (15) lygtimis, apskaičiuojamas laisvojo kritimo pagreitis  $g$ :

$$g = 9,748 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Pakeitus *Tracker* programoje ašį į  $v_x$ , gaunamas matematinės svyruoklės rutuliuko greičio kitimo grafikas, aprašomas (11) lygtimi. Parinkus grafiko kitimo formą ir sumodeliavus, gaunama greičio lygtis:

$$v_x = 1,255 \cdot \sin(4,707t - 0,303) \text{ m/s.} \quad (17)$$

Analogiškai veiksmai atliekami ir norint žinoti kaip keičiasi matematinės svyruoklės kinetinė energija jai svyruojant. Potencinės ir pilnutinės energijos kitimo programa *Tracker* neskaičiuoja, bet juos aprašius *DataBuilder* lange, galime gauti jų priklausomybes (4 pav.).



4 pav. a) DataBuilder langas naujų dydžių įvedimui, b) mechaninių energijų (kinetinės, potencinės ir pilnutinės) priklausomybės nuo laiko  
Šaltinis: sudaryta autorių

Iš energijos kitimų grafikų (4b pav.) matome, kad potencinė energija yra didžiausia, kai kinetinė energija – mažiausia, t.y., metaliniam rutuliukui esant kraštinėse padėtyse. Pagal energijos tvermės dėsnį potencinės bei kinetinės energijų suma turi būti pastovus dydis, bet šis dėsnis galioja tik priimant, kad svyruoklės neveikia trinties bei kitos jėgos.

### Išvados

1. *Tracker* programa palengvina mokymosi procesą, leidžia lengviau įsisavinti teorinę medžiagą ir ją pritaikyti probleminiams uždaviniams spręsti, pastebėti fizikos dėsningumus supančioje aplinkoje, naudojamoje technikoje ir t.t.

2. Atvirojo kodo programa *Tracker* leidžia išanalizuoti nufilmuotą realų judėjimą, remiantis fizikos dėsniais, nustatyti kūno judėjimo pobūdį iš poslinkio, greičio bei pagreičio nuo laiko grafikų, gauti jų kitimų lygtis bei pradinis kinematinis parametrus, įvertinti mechaninių energijų kitimus. Pateikti nagrinėjimo pavyzdžiai gali būti taikomas auditoriniam ir savarankiškam studentų darbui.

### Literatūra

1. Bogdanovičius A. Fizikos pagrindai inžinerijoje, 1 dalis, Vilnius: Technika, 2010
2. Esclada L.T., Zollman D.A. *An investigation on the effects of using interactive digital video in a physics classroom on student learning and attitudes*. Journal of Research in Science Teaching, 1997, 34(5), p.467-489,
3. Glawtanong P. et al. *Studies of free falling object and simple pendulum using digital video analysis*. Walailak Journal of Science and Technology, 2011, 8 (1), p. 63-69,
4. Gröber S. et al. *Video-based problems in introductory mechanics physics courses*. European Journal of Physics, 2014, 35 (5),
5. Klein P. et al. *The right frame of reference makes it simple: an example of introductory mechanics supported by video analysis of motion*. European Journal of Physics, 2015, 36, p.
6. Klein P. et al. *Video analysis of projectile motion using tablet computers as experimental tools*. Physics education, 2014, 49 (1),
7. Programa Tracker: <https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>
8. Struck W., Yerrick R. *The effect of data acquisition-probeware and digital video analysis on accurate graphical representation of kinetics in a high school physics class*. Journal of Science Education and Technology, 2010, 19, p. 199-211,

## VIDEO-BASED KINEMATICS PROBLEMS SOLUTION

### Summary

Current technologies provide the opportunity to combine traditional physics learning with computer modeling and video analysis. One of the tools of video analysis and modeling for physics learning is the open source program Tracker. The article presents the possibilities of this program and gives examples of three motions (uniform motion, free falling body motion and mathematical pendulum oscillations) video-based problems solutions solved in physics lectures.

**Key words:** Kinematics, physics, video analysis, problem-based learning.

### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Skirmantė Vardauskaitė.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** magistras, lektorė

**Darbo vietą ir poziciją:** Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakultetas, lektorė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** probleminis mokymasis, vaizdo analizė.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 65275248, [skirmante.vardauskaite@edu.ktk.lt](mailto:skirmante.vardauskaite@edu.ktk.lt)

### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Skirmantė Vardauskaitė.

**Science degree and name:** master, lecturer.

**Workplace and position:** Kaunas Technical Colleges, Faculty of Engineering Sciences, Lecturer

**Author's research interests:** problem-based education, video analysis

**Telephone and e-mail address:** 8 65275248, [skirmante.vardauskaite@edu.ktk.lt](mailto:skirmante.vardauskaite@edu.ktk.lt)

# USAGE OF MICROCONTROLLERS IN TESTING ELECTRONICS COMPONENTS

**Audronis Kontautas**  
Šiauliai State College

**Annotation.** The article writes about usage of microcontrollers in testing electrical characteristics of electronics components, automatic detection of transistors and other semiconductor components terminals. There are summarized about semiconductors components testing, resistance, capacitance and inductance measurement methods using microcontrollers. The schematic diagram of measuring device is described. There are also given comparable testing results of some capacitors, resistors and inductors. The aim of this article is to get electronics specialists interested in possibilities of using microcontrollers in testing electronics components.

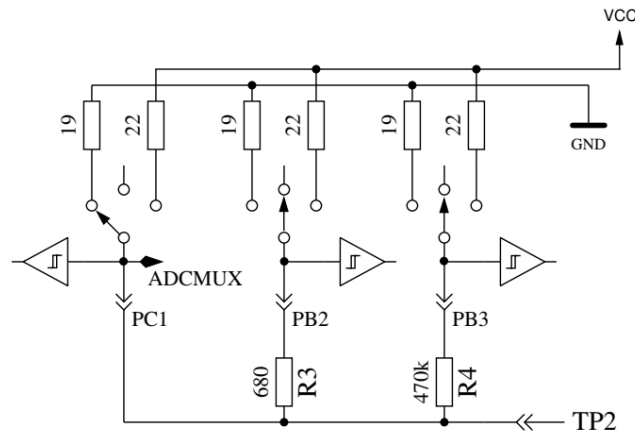
**Key words:** AVR-Transistor tester, Automatic detection of pin layout, Equivalent Series Resistance ESR, sampling technique.

## Introduction

While the number of worldwide manufacturers of electronics components is increasing, sometimes it is hard to describe the purpose of the component. Through holes mounted axial leaded resistors, inductors and some other components marked with colored rings could be as an example. Usually there are some inscriptions on through holes mounted components, but according to them, it is not always possible to find proper data. Moreover, some manufacturers mark diodes with colored rings and transistors with symbols, such as triangles, diamonds and others, which makes difficult to find data about them. Identification of very small size SMD (Surface Mount Device) components is also not very easy. What is more, tiny semiconductors do not have any identification code, according to which needed data could be received. Many mid-class multimeters besides voltage, current and resistance measurement are also able to measure capacitors capacity. Some of them can even measure bipolar transistor current amplification factor, but only a few of them can measure inductance. Very often, it is very important to find out whether specific electronics component is not damaged while fixing failures in electronics appliances. To achieve this, it is essential to know exactly what kind of component it is. If measuring devices were produced, which could measure not only electronics components electrical characteristics, but also could identify what kind of component it was, it would be possible to reduce time consumption and sometimes even mounting mistakes would be avoided.

## Testing methods and equipment

Electronics components on aspect of electrical measurement could be divided into two groups. The first ones are those, which are enough to perform test with two measuring equipment test leads connected (resistors, capacitors, inductors). The others are those, which require performing test two times while counterchanging test leads. For example, diode is usually tested two times and the second time test leads are connected vice versa. If there is a transistor and the purpose of its lead wires is unknown, there are six possible connection combinations of test leads. As one of the measuring equipment testing leads is positive potential and the other is negative potential, testing leads need to be counterchanged in order to test semiconductors structures. This manual work could be automated using microcontroller's Input/Output-Port terminals. Depending on the managing program, the same terminal could have positive or negative potential. It could be connected to microcontroller's supply voltage or to common wire. Voltage could be measured by using ADC (*Analog to Digital Converter*) which is in microcontroller. For example, if bipolar transistor's current amplification factor is needed to be measured, two ADC will be needed. It is so, because it will be needed to measure voltage drop in base and collector circuits (or in emitter circuit, according to the measuring scheme). To sum up, it is possible to state that one measurement terminal probe has to be made from three microcontroller's terminals. As three-terminal electronics components will be tested (transistors, thyristors and others), three connections necessary for the test will be needed (for example, they could be named TP1, TP2 and TP3). Simplified connection circuit needed for such test is shown in Figure 1.



**Fig. 1.** Simplified circuit of each measurement terminal probe TP ([www.mikrocontroller.net](http://www.mikrocontroller.net))

Resistors with numbers 19 and 22, show in simplified microcontroller's inside circuit in Figure 1, are imitating inside resistance of corresponding electrical keys. Switches are imitating corresponding multiplexers, amplifiers mark digital inputs, arrow directed to ADCMUX is showing that this input could be used for voltage measurement, PC1, PB2 and PB3 – corresponding Input/Output-Port terminals. Resistors R3 (680Ω) and R4 (470KΩ) are resistors mounted outside the microcontroller.

Each electronic component is tested using all possible variants. By sequentially testing and checking whether test results suit some beforehand provided criterions, it is determined what component is connected and it's electrical data are measured. Firstly, it is checked to how many (two or three) measurement probes tested component is connected. If it is discovered that it is connected to all three probes, it is attempting to identify what kind of element it is. It could be a transistor, a thyristor, two diodes with common anode or cathode, or two passive elements. If initial test show that it is a transistor, it is checked whether it is a field effect transistor or a bipolar transistor. If it is field effect transistor, it is checked whether it is JFET (*Junction Field Effect Transistor*), or whether it is MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) and so on. If it is determined that tested component is connected to two measurement probes, tests are performed in order to identify whether it is a resistor, a capacitor, an inductor or a diode and certain electrical measurements are performed.

In order to perform a diode test, two measurement terminal probes, as shown in Figure 1, will be needed. A diode will have to be connected between TP2 and, for example, TP3 that will be in different measurement connection (not shown in Figure 1). If a diode's anode is connected to TP2, certain switchovers will have to be done: the left key will have to be switched to central position, the middle one will have to be connected to VCC (through 22Ω resistor), the right one will have to be switched to central position. In other measurement, connection the left one will have to be connected to GND (through 19Ω resistor). Current will flow from VCC through 22Ω resistor, key, PB2 terminal, outside 680Ω resistor, TP2, diode, TP3, other microcontroller's terminal, key, 19Ω resistor to GND. With such changeover configuration, ADC will be able to measure diode's forward voltage drop. If a diode's cathode is connected to TP2, then middle key will have to be switched to central position and VCC will have to be connected through the right key, other keys' positions will have to be unchanged. With such changeover configuration, ADC will be able to measure reverse voltage drop and recalculate it to reverse leakage current. As it is not known initially how the diode will be connected, and where it's anode and where it's cathode will be, keys' changeover is performed so, that it would be possible to measure both forward voltage drop and reverse leakage current. It is like performing a measurement, replacing TP2 and TP3 with each other and performing a measurement again.

A measurement of resistance is performed similarly like diode's, positions of keys are the same as in the first part of the description of testing the diode, comparatively small resistance is measured connected to VCC through 680Ω resistor and comparatively big resistance – through 470KΩ resistor.

If measured resistance value is less than 2100Ω, inductance measurement is initiated. Coil is connected in series to 680Ω resistor. Current is switched through this circuit. If current drop through 680Ω resistor is fixed, it means that it is a resistor. If current drop is increasing – it is inductance. When current is connected, inside microcontroller's meters are triggered, which are stopped when comparator is activated while trying to equalize increasing voltage with predefined in the programme. Inductance is calculated according to meters' data. If measured resistance value is less than 24Ω, then

instead of 680Ω resistance the microcontroller's key inside resistance (19Ω) is used for measuring voltage drop. In this case, current impulse has to be very short, because current is exceeding all allowable limits.

Capacitors, depending to their capacity, are divided to comparatively big capacity, medium and small. Before the measurement, it is tested whether a capacitor has any charge (it is recommended to discharge it before the measurement). If a remaining voltage is less than particular value (1,3V), both terminals of the capacitor are connected to GND before the beginning of the measurement. Charge impulses are given to big capacity capacitor, connecting 680Ω resistor to VCC. After each impulse, voltage of capacitor is measured. When voltage reaches 300mV, charging is cut and discharge of capacitor is initiated which duration is chosen proportionally to charging time. When discharge time is over, the remaining voltage is measured. The capacity is calculated evaluating charging time and remaining voltage after discharging time. This method is used in order to reduce capacitor's electrodes isolation quality influence to measuring results. Number of charging impulses is limited. When it ends (it might happen while measuring bad quality capacitor or it's capacity is bigger than the possibility to measure it) measuring of capacity is cut. If limit of 300mV is reached after the first impulse, a different algorithm for measuring capacity of capacitor is used. A capacitor is charged through 470KΩ resistor and it's charging time is measured with inside microcontroller's meters. Meters are stopped when comparator inside the microcontroller is activated, which uses inside supporting voltage. The capacity of the capacitor is calculated according to data of meters.

Charging capacitors, which capacity is less than 100pF, is very fast process and measuring capacity with methods written above is impossible. Measuring capabilities of ADC microcontroller is possible to extend using method, which is called Oversampling and Decimation [2], [4]. It is possible to increase ADC resolution by increasing sampling number and processing measuring results by programme. Number of extra sampling is calculated by equation:

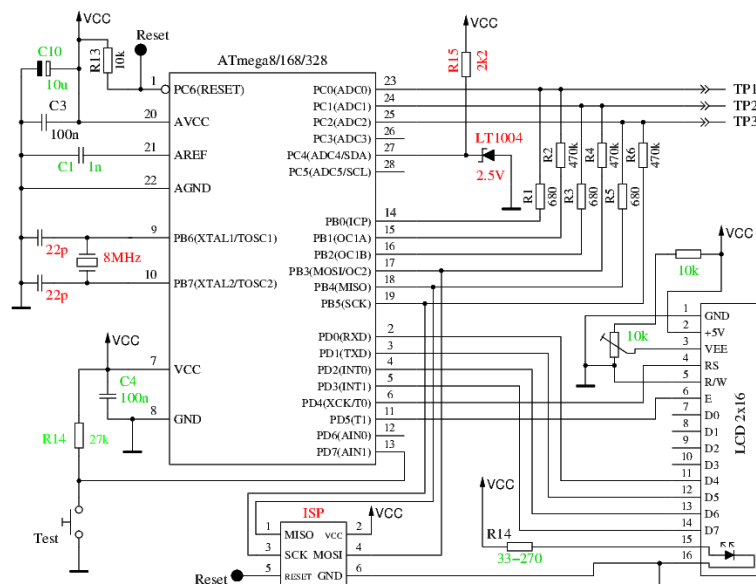
$$f_{os} = 4^w f_s \quad (1)$$

where  $w$  is the number of additional bits of resolution desired,  $f_s$  is the original sampling frequency requirement, and  $f_{os}$  is the oversampling frequency.

For example, measuring resolution of microcontroller ADC is 10 bits and one measurement per second is performed. If we want to get resolution such as 11 bits, then:  $4^1 \cdot 1 = 4$ . So instead of one measurement per second we will need to perform four measurements per second. Then there will be four measurements of 10 bits resolution and after summing them up, the result will be 11 bits. If we want to perform further operations with 10 bits numbers, we will need to shift 11 bits result to the right by 1-bits. If we want to get resolution of 12 bits, then:  $4^2 \cdot 1 = 16$ . So instead of one measurement per second we will need to perform sixteen measurements per second. Then there will be sixteen measurements of 10 bits resolution and after summing them up, the result will be 12 bits. In this case, we will need to shift 12 bits result to the right by 2-bits. Such shifting of the result to the right is called decimation.

When using microcontroller Atmega328 for very small capacitors measurements, there are no technical possibilities to increase ADC sampling rate. However, this restriction could be avoided [4]. The ADC need 13 clock cycles for a total conversion and the ADC clock is built by dividing the processor clock by 64. A normal ADC cycle takes  $13 \times 64 = 832$  clock cycles with an 8 MHz processor clock. If capacitor charging is repeated every 831 clock cycles, so every repetitive charging will start one processor's cycle later or, in other words, ADC sampling will be performed each time belatedly and after 255 measurements there will be enough data to calculate the capacity of the capacitor.

One of the comparatively big capacity capacitor's quality index is equivalent series resistance (ESR). When capacitor is getting old, ESR is increasing. With measurements of ESR, we can evaluate the quality of capacitors. While charging capacitor, it's voltage is a bit bigger than straight after charging current is cut. It is considered that voltage augment appears because of ESR. Measurement accuracy is bigger if charging current direction is changed cyclically. Capacitor is partly charged before giving charging-uncharging current, because ADC cannot measure negative voltage. In order to get enough measurement resolution there are 255 measurement cycles used. The beginning of charging – uncharging impulses is chosen so that the middle of the impulse would synchronize with ADC measuring sampling.



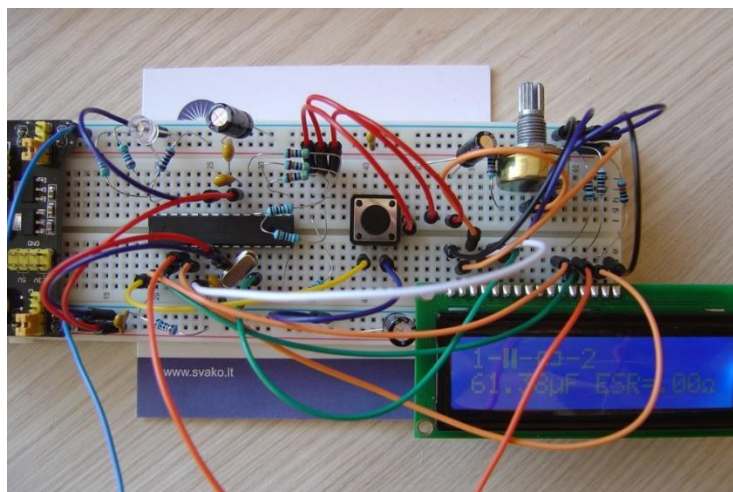
The schematic diagram of a device in which measuring methods, which are written above, are used is shown in Figure 2. Measurement terminal probes are marked TP1, TP2 and TP3. Measuring precision depends on resistors R1-R6, that is why they have to be 0,1% tolerance. Measuring results are shown in Liquid Crystal Display (LCD). It is 2 lines and 16 symbols in each line display and it is not able to show graphic symbols. Because of that, information about tested element is shown in words abbreviations. Software is open source, so it can be easily downloaded. There are software versions designed for graphic displays. ISP connection, shown in the scheme, is designed for software updates. If precise measurements are not needed, there is no need to mount red-marked components. In that case, changes in software will have to be done as well. Black-marked components are left from primary version of a device, green-marked components have come during improvements of a device. Testing is started when supply is given and „Test“ button is pressed.

While preparing this article, this device [4], which was described, was constructed and several measurements were performed. The measuring results were compared with indications of a multimeter „AMPROBE 38XR-A“ (capacitors and resistors). Measuring results are given in Table 1, Table 2 and Table 3. Measuring device „TransistorTester“ (operational test) is shown in Figure 3.

| Measuring of capacitors |          |           |           |           |               |           |
|-------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|
|                         | KCO-2    | KCO-2     | K71-7     | K71-7     | K71-7         | OCK73-16B |
|                         | 910±2%pF | 2200±2%pF | 2700±1%pF | 4700±2%pF | 0,0134±0,5%µF | 1,0±5%µF  |
| 38XR-A                  | 00,88nF  | 02,21nF   | 02,74nF   | 04,73nF   | 13,47nF       | 1,014µF   |
| TransistorTester        | 872pF    | 2170pF    | 2657pF    | 4642pF    | 13,32nF       | 1006nF    |
|                         |          |           |           |           |               | ESR 0.17Ω |

| Measuring of resistors |                   |                      |                      |                      |                      |                   |                   |                       |
|------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
|                        | C2-10<br>6,12±1%Ω | C2-10<br>62,6±0,5% Ω | C5-5B<br>1,0±0,05%KΩ | C5-5B<br>2,0±0,05%KΩ | MPX<br>10±0,05K<br>Ω | MPX<br>100±0,2%KΩ | MPX<br>200±0,2%KΩ | MPX<br>2,0±0,2%M<br>Ω |
| 38XR-A                 | 6,00Ω             | 62,7Ω                | 0,996KΩ              | 1,994KΩ              | 09,99<br>KΩ          | 09,99KΩ           | 199,7KΩ           | 1996KΩ                |
| TransistorTe<br>ster   | 6,24Ω             | 62,7Ω                | 1000Ω                | 1998Ω                | 9993Ω                | 100,2KΩ           | 199,8KΩ           | 1995KΩ                |

| Measuring of coils |               |                |                |
|--------------------|---------------|----------------|----------------|
| ДПМ-0,1 10±5%      | ДПМ-0,1 40±5% | ДПМ-0,1 100±5% | ДП2-0,1 150±5% |
| 0,2Ω 0,01mH        | 1,6Ω 0,04mH   | 6,9Ω 0,10mH    | 7,1Ω 0,15mH    |



**Fig. 3.** „TransistorTester“, operational test

Conclusions. 1. At the moment of writing this article, it was not known for the author any industrial-way made devices, which could have similar, as written above, semiconductor devices testing possibilities and at the same time could measure capacitors, resistors and coils (there are made “clones” of such devices in China). So it can be stated, that it is perspective and worth interest area. The device lets save plenty of time, because you do not have to overload with different data sheet, especially if it is needed to know transistor’s or thyristor’s lead wires positions. Easily reached open source software gives a possibility to improve the device without any restrictions.

2. In the device, which was constructed by the author of this article, 1% precision resistors were used (Figure 2, R1- R6), although it is recommended to use 0,1%. That is why measuring precision was approximately the same as AMPROBE 38XR-A.

3. ZIF ZIP IC test DIP board socket can be used to connect through hole-mounting elements, but there are no special connections for SMD elements. Testing SMD elements remains problematic.

4. If the device is made under amateur circumstances, it’s price should not exceed middle class portable multimeter but it’s functions are much bigger. It is considered that possibility to test electronics components is much more important and useful than possibility to measure voltage or current.

### References

1. Markus Frejek *AVR-Transistortester*,. Embedded Projects Journal, 11. Ausgabe, 2011
2. Atmel Corporation *Atmel AVR121: Enhancing ADC resolution by oversampling*,. Application Note, 8003A-AVR-09/05, 2005
3. Atmel Corporation *8-bit AVR with 4/8/16/32KBytes In-System Programmable Flash - ATmega48 - ATmega328*,. Manual, 8271D-AVR-05/11, 2011
4. [https://www.mikrocontroller.net/articles/AVR\\_Transistortester](https://www.mikrocontroller.net/articles/AVR_Transistortester) Online documentation of the Transistortester, Online Article, 2009-2017
5. <http://www.mikrocontroller.net/topic/248078> Thread from Karl-Heinz, Thread and new software versions, 2012 - 2018
6. <https://www.silabs.com/documents/public/application-notes/an118.pdf> AN118 Improving ADC resolution by oversampling and averaging, Silicon Laboratories, 2013
7. <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328> Atmega328/P complete datasheet

### Santrauka

Mikrovaldiklių naudojimas elektronikos komponentų testavimui, leidžia automatizuoti testavimo procesą, įgalina automatiškai atpažinti elektronikos komponentus, nustatyti jų išvadų paskirtį. Tai žymiai pagreitina elektronikos komponentų testavimo procesą, leidžia išvengti klaidų aptinkant nekondicinius komponentus. Straipsnyje aprašomi elektronikos komponentų testavimo įrenginio veikimo principai, aiškinamas elektrinės įrenginio grandinės veikimas, nagrinėjama elektrinių matavimų tikslumo problematika. Su pasigamintu elektronikos komponentų testavimo įrenginiu buvo atlikti rezistorių, kondensatorių ir ričių matavimai, gauti rezultatai palyginti su pramoniniu multimetru išmatuotomis reikšmėmis.

# DARBO POZOS POVEIKIO JUOSMENS RAUMENŲ ELEKTRINIAM AKTYVUMUI ANALIZĖ IR VERTINIMAS

Loreta Valatkienė<sup>1</sup>, Donata Putnaitė<sup>1</sup>, Andrius Kozlovas<sup>2</sup>, Giedrė Adomavičienė<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kauno technologijos universitetas, <sup>2</sup>Kauno technikos kolegija

## Anotacija

Straipsnyje analizuojamas darbuotojų dirbančių stovimą darbą darbo krūvis, nustatyta darbo pozos įtaka juosmens raumenų elektriniam aktyvumui, sudaryta darbo pozų tyrimo metodika bei pateiktos rekomendacijos juosmens raumenų apkrovų mažinimui. Darbo pozų ergonوميškumo bei fizinių negalavimų vertinimui naudoti trys metodai: elektromiografijos, greitas viršutinių galūnių vertinimo (RULA) bei anketinės apklausos metodai.

Siekiant įvertinti darbo pozų ergonوميškumą, sudarytas klausimynas fizinių negalavimų vertinimui anketinės apklausos būdu. Atlikus anketinę apklausą, nustatyta, kad virš 60 % darbo laiko darbuotojai praleidžia stovėdami, o darbas stovimoje padėtyje vargina. Dirbant pasilenkus praleidžiama 21÷30 % darbo laiko, ši padėtis taip pat nepatogi. Nustatyta, kad didžiausias nuovargis yra jaučiamas nugaros juosmeninėje dalyje (33 %); tiek dirbant pasilenkus (29 %), tiek keliant sunkius krovinius (26 %). Darbuotojų fiziniai negalavimai pasitvirtino atlikus ir ergonominį vertinimą RULA metodu. Nustatytas juosmens raumenų elektrinis aktyvumas darbo metu stovint bei pasilenkus.

**Reikšminiai žodžiai:** stovimas darbas, elektrinis aktyvumas, elektromiografija, RULA (greitas viršutinių galūnių vertinimas).

## Išvadas

Dažniausia kaulų ir raumenų sistemos pažeidimų priežastis – krovinių kėlimas rankomis, dažnas lankstymasis ir sukiojimas, sunkus fizinis darbas, skausminga arba varginanti kūno padėtis, vis dažnesnis mašinų bei kompiuterių naudojimas. Šių pažeidimų riziką gali didinti didelis darbo tempas, griežti darbo atlikimo terminai, menkas pasitenkinimas darbu bei didelė įtampa.

Intensyvus fizinis darbas laikomas pirminiu rizikos veiksniu raumenų ir skeleto sistemos sutrikimams (Fallentin, 2003). Dirbant nepatogioje kūno padėtyje, tam pačiam darbui atlikti sunaudojama daugiau energijos, todėl greičiau atsiranda nuovargis, raumenų skausmingumas, diskomfortas, padidėja traumų ir susižalojimų rizika.

Moksliniais tyrimais nustatyta, kad tiek fiziniai, tiek psichosocialiniai profesinės rizikos veiksniai yra susiję su raumenų ir skeleto sistemos sutrikimais (David, 2005). Dirbant statinėje padėtyje dalyvauja liemens, kaklo ir kojų raumenys. Statinės įtampos metu pablogėja kraujotaka, greičiau atsiranda skausmas ir nuovargis, o dėl ilgalaikio statinio krūvio atsiranda klubų, kelių ir stuburo sąnarių traumos, dėl ko išsivysto reumatinės ligos (Kliučininkas, 2000).

Atlikti tyrimai rodo, kad labai pavojingi yra ir pasikartojantys judesiai. Dėl užspaustų kraujagyslių sutrinka audinių mityba, gali prasidėti išemija, nekrozė. Nuolatinė trintis sausgyslėms gali iššaukti uždegiminius procesus – tendovaginitus (Fabrizio, 2009).

Krovinių kėlimas rankomis yra dažniausia priežastis, sukelianti nugaros skausmą ir traumas darbe. Tokiu atveju dirba ne tik pečių lanko, bet ir nugaros, kojų, pilvo raumenys, o jei keliama sunkiai ir netaisyklingai, didėja rizika pažeisti juosmens raumenis bei stuburą juosmeninėje dalyje. Nustatyta, kad energijos sąnaudos konkrečiam darbui atlikti priklauso nuo darbo pozos. Daugiausiai energijos reikalauja drabas pasilenkus (Lehman et al., 2005).

Darbo pozos ergonوميškumo tyrimams pasaulyje plačiausiai naudojami anketinės apklausos, greitas viršutinių galūnių vertinimo (RULA) bei greitas viso kūno vertinimo (REBA) metodai (Ansari et al., 2014). Visais atvejais nustatytas glaudus ryšys tarp RULA ar REBA vertinimo metodų lyginant juos su anketinės apklausos būdu gautais rezultatais. Visi šie metodai suteikia galimybę gauti greitą rezultatą, tačiau objektyviam rezultatų interpretavimui ir analizei reikalinga eksperimentinė įranga.

Raumenų elektrinis aktyvumas, nustatytas elektromiografijos metodu, suteikia galimybę objektyviai vertinti darbo pozos poveikį fiziniams negalavimams (Tatsuhiko et al., 2014). Sveikų žmonių raumenų elektrinis aktyvumas, lyginant jį su pacientų, besiskundžiančių nugaros skausmais, raumenų elektriniu aktyvumu, skyrėsi (Marras et al., 2001). Pacientų, besiskundžiančių nugaros apatinės dalies skausmais, dauginiai raumenys buvo mažesni, lyginant juos su sveikų žmonių dauginiais raumenimis, bei pastebėtas dauginio raumens atrofijos asimetriškumas (Baranauskienė ir kt., 2012; Heydari et al., 2010).

Lietuvoje ergonominį rizikos veiksnių vertinimo metodų taikymo praktika dar nėra plačiai paplitusi. Valstybinės darbo inspekcijos duomenimis, Lietuvoje per pastaruosius metus 58,65 % profesinių ligų sudaro jungiamojo audinio, raumenų bei skeleto ligos. Higienos instituto duomenimis (2018), dažniausiai profesines ligas sukelia fizikiniai ir ergonominiai veiksniai, kurie yra priežastimi net 94,51 % visų ligų.

Pagrindinis teisinis dokumentas, reglamentuojantis ergonominių rizikos veiksnių vertinimą yra Ergonominių rizikos veiksnių tyrimo metodiniai nurodymai (2005), kuriuose nustatyta ergonominių rizikos veiksnių vertinimo įmonėje tvarka ir nurodytos bendros prevencinės priemonės dėl darbuotojų apsaugos nuo rizikos jų saugai ir sveikatai. Lietuvoje pagal Darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymą (2003) darbdavys privalo užtikrinti saugias ir sveikas darbo sąlygas bei palaikyti Darbo kodekse (2002) reglamentuojamą darbo ir poilsio režimą.

**Tyrimo objektas** – anketinės apklausos, greitas viršutinių galūnių vertinimo (RULA) bei elektromiografijos metodai.

**Tyrimo tikslas** – pagal sudarytą darbo pozų tyrimo metodiką ištirti fizinį darbą dirbančių darbuotojų darbo pozos poveikį juosmens raumenų elektriniam aktyvumui bei pateikti rekomendacijas juosmens raumenų apkrovų sumažinimui.

**Tyrimo uždaviniai:**

- Atlikti darbo pozos poveikio fiziniams negalavimams tyrimo ir vertinimo metodų teorinę analizę;
- Sudaryti darbo pozų tyrimo metodiką;
- Nustatyti fizinių negalavimų priežastis anketinės apklausos būdu;
- Nustatyti fizinių negalavimų priežastis RULA metodu;
- Nustatyti ir įvertinti darbo pozos poveikį juosmens raumenų elektriniam aktyvumui;
- Pateikti rekomendacijas juosmens raumenų apkrovų sumažinimui.

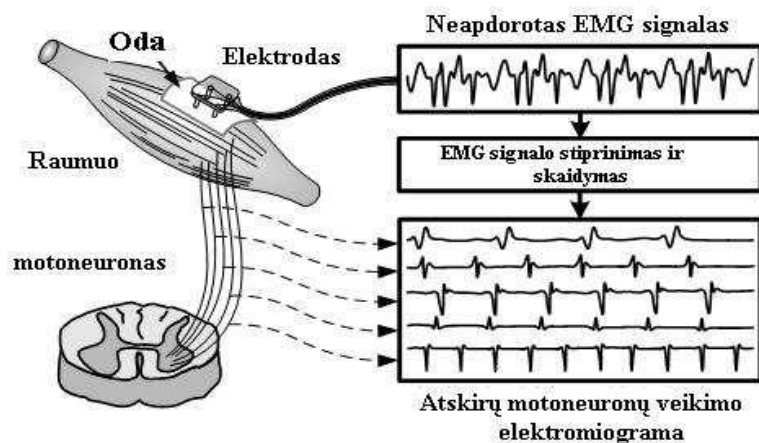
**Fizinio krūvio tyrimo ir vertinimo metodai**

Darbuotojų fizinio krūvio analizei naudoti trys tyrimo ir vertinimo metodai: anketinės apklausos, greitas viršutinių galūnių vertinimo (RULA) ir elektromiografijos metodai.

Tiriamųjų apklausai naudota anoniminė apklausos anketa, kuri parengta pagal Europos saugos ir sveikatos darbe agentūros darbo vietos vertinimo klausimyną (European Agency for Safety and Health at Work, 2017) ir Tarptautiniu fizinio aktyvumo klausimyną (2009).

RULA (angl. Rapid Upper Limb Assessment) – greitas viršutinių galūnių vertinimas. Tai vienas iš greičiausių, todėl labiausiai paplitusių ergonomiškumo vertinimo metodų pasaulyje. Šio metodo pagalba siekiama sumažinti susižalojimų riziką dėl fizinių apkrovų. Jį taikant nėra reikalingi jokie fizikiniai matavimai. Šio metodo pagalba galima įvertinti žmogaus padėtį/laikyseną, atsižvelgiant į kaklo ir viršutinių galūnių apkrovimus. RULA vertina biomechaninį kūno padėties apkrovimą. Laikysenos ergonomiškumo analizė atliekama pagal surinktų balų skaičių.

Elektromiografija (EMG) – tai raumenų elektrinių potencialų registravimas. Raumenų susitraukimą centrinė nervų sistema reguliuoja per mažiausius judesio valdyje dalyvaujančius funkcinis darinius – motorinius vienetus. Motorinius vienetus sudaro nugaros smegenyse esantis motoneuronas ir prie jo ilgosios ataugos terminalų prisijungusios raumenų skaidulos. Veikiamos nervinio impulso, sukkelto veikimo potencialo, raumenų skaidulos susitraukia. Šiuo metodu gali būti registruojamas tiek atskiros raumens skaidulos, tiek ir viso raumens elektrinis aktyvumas. Elektrinis atskirų raumens skaidulų aktyvumas dažniausiai registruojamas adatiniais arba vieliniais elektrodais, kurie yra įleidžiami į raumens vidų, arba labai mažais ant raumens paviršiaus uždedamais elektrodais. Visam raumens elektriniam aktyvumui, kurį formuoja daugelio motorinių vienetų veikimo potencialai, registruoti naudojami įvairių tipų, dydžio ir formos paviršiniai elektrodai. Paviršiniai elektrodai yra neinvazinis būdas raumenyje sklindančio biosignalo registravimui (1 pav.).



**1 pav.** Elektromiograma

Šaltinis: pagal Tatsuhiro et al., 2014

## Tyrimų metodika

Anketinės apklausos tyrime dalyvavo 110 automechaniko darbą dirbančių darbuotojų. Trys anketos atmetos kaip sugadintos, septynios atmetos atsitiktinai. Anketa sudarė 21 klausimas, kur kiekvienas jų turėjo po kelis atsakymus. Anketa sudarė stratifikaciniai klausimai apie amžių, lytį, išsilavinimą, taip pat klausimai susiję su darbo ir poilsio režimu bei klausimai apie keliamo krovinio masę, darbo pozas ir nuovargį nugaros juosmeninėje dalyje. Darbuotojai galėjo pasirinkti iš kelių jiems pateiktų atsakymų vieną arba pateikti savo.

RULA metodas suteikia galimybę įvertinti nepatogias bei diskomfortą sukeliančias kūno padėtis. Tyrimas RULA metodu buvo atliktas darbuotojams dirbant savo darbo vietoje. Duomenys surinkti stebėjimo būdu, o apdoroti ir įvertinti virtualios RULA skaičiuoklės pagalba. Vertinimo balų skalė pateikta 1 lentelėje. Gauta balų suma nurodo prevencijos priemonių būtinumą.

1 lentelė

RULA metodo vertinimo skalė

| Suminis balas | Prevencijos priemonių būtinumas                                                               |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1÷2           | Laikysena yra priimtina, išskyrus, jei ji nėra pastovi ar besikartojanti ilgais laiko tarpais |
| 3÷4           | Reikalingas tolimesnis pozos tyrimas su galimais pakeitimais                                  |
| 5÷6           | Artimiausiu metu reikalingas tolimesnis pozos tyrimas bei pakeitimai                          |
| 7             | Nedelsiant reikalingas tolimesnis pozos tyrimas bei pakeitimai                                |

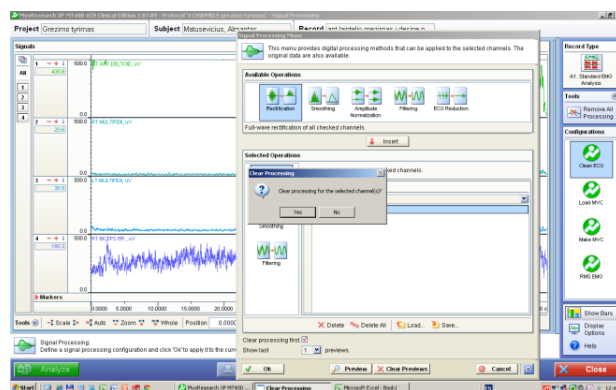
Šaltinis: pagal Ansari et al., 2014

Raumenų elektriniam aktyvumui tirti buvo naudojamas elektromiografas Myo Trace 400 (2 pav.). Myo Trace 400 sistemą prijungus prie kompiuterio buvo operuojama keturiais kanalais, t.y. buvo galima tirti ne daugiau kaip keturis raumenis. Tyrimui naudoti paviršiniai elektrodai, kurie tiriamiesiems buvo užklijuoti ant švarios ir dezinfekuotos odos. Jutikliai buvo tvirtai užklijuoti ant raumens pilvelio, o vienu jutikliu sistema buvo įžeminta. Elektrodas tvirtintas ant raumens pilvelio išilgai raumens skaidulų, t.y. ant dauginio raumens (lot. m. multifidus) ir juosmens (lot. lumbar). Įžeminimui skirtas viengubas elektrodas buvo tvirtintas geriausiai jaučiamo kaulinio audinio vietoje.

Elektromiografu gauti duomenys buvo apdoroti Myo Research XP MT400 4ch Clinical Edition 1.07.09 programa (3 pav.).



2 pav. Elektromiografas Myo Trace 400 ir paviršiniai elektrodai  
Šaltinis: sudaryta autorių



3 pav. Elektromiografijos programos langas  
Šaltinis: sudaryta autorių

Kiekvienas tiriamasis turėjo atlikti po tris darbus trijose skirtingose pozose. Atliekant nurodytus darbus buvo registruojamas dauginio ir juosmens raumenų elektrinis aktyvumas. Pagal EMG duomenis kiekvienas darbas buvo suskirstytas į dvi fazes: 1 fazė – tai smulkus statinėje padėtyje atliekamas darbas, pvz., filtro atsukimas, 2 fazė – darbuotojo judėjimas siekiant pakelti, nunešti ar padėti tam tikrą daiktą. Paskaičiuoti EMG signalų vidurkiai, didžiausios vertės bei vidutinis standartinis nuokrypis. Darbo pozų analizei papildomai buvo naudotas fotoaparatas.

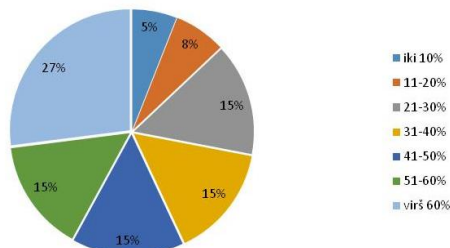
## Tyrimų rezultatai

Anketinės apklausos tyrimų metu nustatyta, kad pagal amžių respondentai pasiskirstė taip: 62 % darbuotojų buvo nuo 34 iki 39 metų amžiaus, jaunesni, t. y. nuo 24 iki 29 metų amžiaus, sudarė 38 %. Poilsio pertraukėles darbo metu daro net 97 % apklaustųjų ir tik 3 % jų nedaro. Vyraujanti poilsio pertraukėlių trukmė tokia: 56 % apklaustųjų daro 3÷5 min. trukmės poilsio pertraukėles, 42 % – 5÷7 min. trukmės, o 2 %

apklaustųjų pertraukėlių trukmė iki 1 min.. Pasiteiravus apie pertraukėlių dažnumą, net 50 % darbuotojų nurodė, kad ilsisi kas 1÷2 val., 25 % – kas 2÷4 val., 15 % – kas 30 min. ir 10 % – kas 4 val. ir daugiau. Siekiant nustatyti, kaip pasikartojantys judesiai mažina darbo našumą, net 56 % respondentų nurodė, kad tai našumo nemažina, 32 % – visiškai nemažina, 8 % – truputį mažina ir 4 % – labai mažina.

Pasiteiravus apie keliamo krovinio masę, 29 % apklaustųjų nurodė, kad keliamo krovinio masė yra iki 5 kg, 24 % – iki 25 kg, 20 % – virš 35 kg, 18 % – iki 15 kg ir 9 % – iki 35 kg. Į klausimą apie sveikatos būklę 39 % darbuotojų atsakė, kad ji yra labai gera, 36 % – gera ir 25 % – vidutinė. 70 % darbuotojų nurodė pavargstantys negreitai, 18 % – visiškai nepavargstantys ir 12 % – pavargstantys greitai.

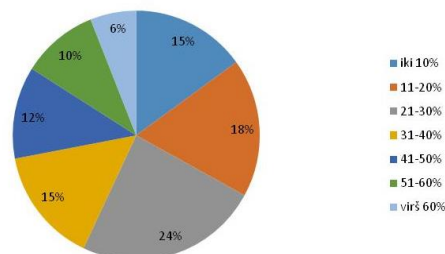
Toliau buvo siekiama nustatyti, kiek darbo laiko darbuotojai praleidžia stovėdami ištisę nugarą. Taigi, 27 % darbuotojų nurodė, kad stovėdami ištisę nugarą praleidžia virš 60 % savo darbo laiko, nuo 51 % iki 60 % savo darbo laiko ištisę nugarą praleidžia 15 % darbuotojų, nuo 21 % iki 50 % savo darbo laiko ištisę nugarą praleidžia 45 % darbuotojų, iki 20 % darbo laiko atitinkamai – 8 % darbuotojų ir iki 10 % darbo laiko atitinkamai – 5 % darbuotojų (4 pav.).



**4 pav.** Procentinis darbuotojų pasiskirstymas pagal praleidžiamą darbe laiką stovint ištisus nugarą  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

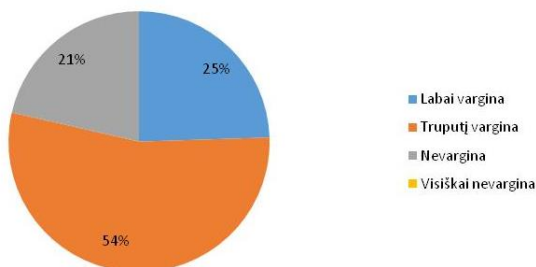
Siekiant nustatyti, ar vargina darbas stovimoje padėtyje išsitiesus, net 55 % darbuotojų atsakė, kad truputį vargina, 36 % – nevargina, 9 % – labai vargina.

Tęsiant tyrimą paaiškėjo, kad 24 % darbuotojų stovint pasilenkę praleidžia 21÷30 % darbo laiko, 15 % nurodė, kad dirba pasilenkę iki 31÷40 % darbo laiko, 12 % – pasilenkę praleidžia 41÷50 % darbo laiko ir 10 % nurodė, kad dirba pasilenkę 51÷60 % darbo laiko (5 pav.).



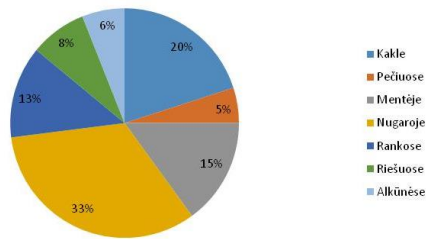
**5 pav.** Procentinis darbuotojų pasiskirstymas pagal praleidžiamą darbe laiką stovint pasilenkus  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Fizinių nusiskundimų dėl darbo pasilenkus turėjo net 53 % visų apklaustųjų, kur 54 % jų nurodė, kad darbas pasilenkus vargina tik truputį, 25 % – labai vargina ir 21 % nurodė, kad darbas pasilenkus nevargina (6 pav.).



**6 pav.** Procentinis darbuotojų pasiskirstymas pagal nuovargį dėl darbo pasilenkus  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Kalbant apie diskomfortą įvairiose kūno srityse, darbuotojai pasiskirstė taip: 33 % darbuotojų nurodė, kad diskomfortą jaučia nugaros srityje, 20 % – kaklo srityje, 15 % – mentėse, 13 % – rankose, 8 % – riešuose, 6 % – alkūnėse bei 5 % – pečiuose (7 pav.).



**7 pav.** Procentinis darbuotojų pasiskirstymas pagal diskomfortą įvairiose kūno srityse  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Taigi, anketinės apklausos būdu nustatyta, kad darbo poza turi tiesioginę įtaką fiziniams negalavimams. Dauguma darbuotojų jaučia skausmą juosmeninėje dalyje tiek dirbdami stovėdami ištiesę nugarą, tiek dirbdami pasilenkę. Platesniam rezultatų interpretavimui buvo atliktas greitas viršutinių galūnių vertinimas RULA metodu.

Vertinimui RULA metodu tiriamieji turėjo atlikti po tris skirtingas užduotis: akumulatoriaus išėmimas, tepalo filtro keitimas, rato atsukimas bei nuėmimas. Kiekvieną užduotį atliko dvejomis skirtingomis pozomis: stovint tiesiai ir pasilenkus. Akumulatoriaus išėmimo atveju stovint tiesiai gautų balų suma buvo 4, dirbant pasilenkus – 5. Abiem atvejais reikalingas tolimesnis pozos tyrimas bei jos keitimas. Filtro keitimo atveju gauta balų suma skirtingoms pozoms buvo po 7. Tai reiškia, kad nedelsiant reikalingas tolimesnis darbo pozos tyrimas bei jos keitimas kita poza. Rato nuėmimo atveju gauta balų suma buvo ne mažesnė nei atliekant akumulatoriaus išėmimą, todėl galima teigti, kad darbas yra rizikingas ir pavojingas sveikatai: nedelsiant reikia ieškoti alternatyvų, kaip patobulinti darbo vietą, kad riziką pašalinti arba sumažinti iki minimumo.

Tiek anketinės apklausos, tiek RULA vertinimo metodai yra labai subjektyvūs, todėl objektyviam rezultatų vertinimui ir interpretavimui naudotas eksperimentinis elektromiografijos metodas. Elektrinis raumenų aktyvumas buvo registruojamas darbuotojams atliekant skirtingas užduotis darbo vietoje. Elektromiografijos metodu gauti duomenys buvo palyginti su RULA metodu gautais duomenimis bei nustatytas darbo pozų ergonomiškumas.

EMG metodu nustatyta, kad, akumulatoriaus išėmimo atveju stovint tiesiai (8 pav., 1 poza), didžiausias raumenų elektrinis aktyvumas gautas antroje (kėlimo) fazėje. Labiausiai apkrautas buvo kairės pusės juosmens raumuo (34,0 mV) bei dešinės pusės dauginis raumuo (33,4 mV). Išimant akumuliatorių pasilenkus (8 pav., 2 poza), didžiausi raumenų impulsai fiksuoti taip pat antroje (kėlimo) fazėje. Labiausiai apkrautas buvo kairės pusės juosmens raumuo (27,0 mV) bei dešinės pusės dauginis raumuo (30,7 mV). Lyginant abi pozas tarpusavyje reikšminių skirtumų tarp tų pačių raumenų impulsų nepastebėta.



**8 pav.** Akumulatoriaus išėmimas: 1 poza stovint tiesiai, 2 poza pasilenkus  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Penkiems tiriamiesiems akumulatoriaus išėmimo metu stovint tiesiai (1 poza) gautas mažesnis raumenų elektrinis aktyvumas nei jį išimant pasilenkus (2 poza), kitiems trims – atvirkščiai. Taigi, ergonomiškesnė darbo poza yra pirma. Lyginant rezultatus su RULA metodu gautais rezultatais, nustatyta, kad gauti duomenys glaudžiai koreliuoja tarpusavyje, tad akumulatoriaus keitimas stovint tiesiai kelia mažiau rizikos nei jį keičiant pasilenkus.

Atliekant filtro keitimo darbus stovint tiesiai pakėlus rankas (9 pav., 1 poza), didžiausias raumenų elektrinis aktyvumas gautas antroje fazėje, kur dešinės pusės dauginio raumens elektrinis aktyvumas siekė 8,5 mV. Dirbant pasilenkus (9 pav., 2 poza), didžiausias raumenų elektrinis aktyvumas gautas taip pat antroje fazėje, kur kairės pusės dauginio raumens elektrinis aktyvumas siekė 60,9 mV.



**9 pav.** Filtro keitimas: 1 poza stovint tiesiai pakėlus rankas, 2 poza pasilenkus  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Tepalo filtro keitimo atveju visiems be išimties tiriamiesiems žymiai mažesnis raumenų elektrinis aktyvumas gautas dirbant tiesiai pakėlus rankas (1 poza). Pasitelkus RULA vertinimo metodiką, nustatyta, kad abi darbo pozos yra neergonomiškos (suminis balas 7), o tai reiškia, kad nedelsiant reikalingi pakeitimai.

Rato nuėmimo atveju (10 pav.) nustatyta, jog pirmoje pozoje didžiausias raumenų elektrinis aktyvumas gautas antroje fazėje, kur kairės pusės dauginio raumens elektrinis aktyvumas siekė 188,7 mV. Antroje pozoje didžiausias raumenų elektrinis aktyvumas gautas taip pat antroje fazėje, kur kairės pusės dauginio raumens elektrinis aktyvumas siekė 214,6 mV.



**10 pav.** Rato nuėmimas: 1 poza stovint tiesiai pakėlus rankas, 2 poza stovint tiesiai, rankos alkūnių lygyje  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Rato nuėmimo atveju abejose pozose buvo po tris tiriamuosius, kuriems buvo fiksuoti mažesni raumenų impulsai lyginant juos su kitoje pozoje gautais raumenų impulsais, o dviem tiriamiesiems raumenų impulsai buvo praktiškai identiški abejose pozose, tad kuri poza yra ergonomiškesnė sunku spręsti. Pagal RULA vertinimo metodiką nustatyta, kad antra poza yra ergonomiškesnė (stovint tiesiai, rankas laikant alkūnių lygyje), tačiau elektromiografijos būdu gauti duomenys to nepatvirtina.

Galime teigti, kad pagal atskirų raumenų elektrinį aktyvumą galima spręsti, kurie raumenys yra labiausiai apkrauti ir patiria didžiausią įtampą. Elektromiografijos metodas yra patikimas būdas pagal raumenų elektrinį aktyvumą nustatyti, kuri darbo poza sukelia mažesnę raumenų įtampą, kad būtų galima parinkti kuo tinkamesnę ir ergonomiškesnę darbo pozą, siekiant išvengti susirgimų rizikos ar ją sumažinti iki minimumo. Tokie subjektyvūs metodai kaip anketinė apklausa ar RULA vertinimo metodas yra pigūs ir greiti, tačiau patikimiems rezultatams gauti reikalinga didelė respondentų imtis, o eksperimentinis elektromiografijos metodas suteikia galimybę gauti tikslus rezultatus, kurie, kaip nustatyta, ne visada patvirtina RULA metodu gautus rezultatus.

**Rekomendacijos.** Pasirinkti taisyklingą laikyseną: stovimam darbui išlaikyti taisyklingą S raidės stuburo formą. Tinkamai reguliuoti keltuvų aukštį, kad darbus atlikti alkūnių lygyje. Darbo įrankius laikyti optimalioje, lengvai pasiekiamoje vietoje. Dažnai keisti darbo padėtį. Siekiant sumažinti nugaros apkrovą, ant grindų patiesti guminių kilimėlių. Naudoti pėdų atramas: dirbant vieną pėdą pastatyti ant aukštesnės atramos, nugaros raumenys nebus tokie įsitempę (pėdas kaitalioti kas 20 min.).

## Išvados

1. Atlikus darbo pozos poveikio fiziniams negalavimams tyrimo ir vertinimo metodų teorinę analizę, nustatyta, kad tokie metodai kaip anketinė apklausa ir RULA vertinimo metodas yra pakankamai tikslūs, tačiau imlūs laikui dėl didelės respondentų imties patikimiems rezultatams užtikrinti.
2. Sudaryta darbo pozų tyrimo ir vertinimo metodika, apimanti anketinės apklausos, greitą viršutinių galūnių vertinimo (RULA) bei elektromiografijos metodus.
3. Anketinės apklausos būdu nustatyta, kad pagrindinė fizinių negalavimų priežastis yra ilgalaikis stovimas darbas, o nugaros skausmą jaučia net 33 % dirbančiųjų.
4. Ergonominis darbo pozų vertinimas RULA metodu, parodė, kad būtina atlikti detalesnį visų darbo pozų vertinimo tyrimą. Ypatingai tepalo filtro keitimo darbai pagal RULA vertinimo metodiką ergonomiškumu nepasižymi: tiek darbas stovint tiesiai pakėlus rankas, tiek darbas pasilenkus kelia didelę riziką (gautas suminis balas 7).
5. Nustatyta, kad juosmens raumenų elektrinis aktyvumas yra tuo didesnis, kuo didesnė raumenų apkrova, todėl darbo poza turi tiesioginę įtaką nugaros raumenų elektriniam aktyvumui. Filtro keitimo atveju nustatyta, kad stovint tiesiai pakėlus rankas (1 poza) dešinės pusės dauginio raumens elektrinis aktyvumas buvo 8,5 mV, o pasilenkus (2 poza) siekė 60,9 mV.
6. Elektromiografijos metodas yra patikimas būdas pagal raumenų elektrinį aktyvumą nustatyti, kuri darbo poza sukelia mažesnę raumenų įtampą, kad būtų galima parinkti kuo tinkamesnę ir ergonomiškesnę darbo pozą, siekiant išvengti susirgimų rizikos ar ją sumažinti iki minimumo.
7. Nustatyta, kad elektromiografijos metodu gauti rezultatai ne visada patvirtina subjektyviu RULA metodu gautus rezultatus, todėl, siekiant atlikti išsamų darbo pozos vertinimą, rekomenduojama atlikti papildomus eksperimentinius tyrimus, pavyzdžiui, pasitelkiant elektromiografijos metodą.
8. Pasiūlytos prevencinės priemonės – rekomendacijos juosmens raumenų apkrovų sumažinimui.

## Literatūra

1. Ansari, N. A., Sheikh, M. J. Evaluation of Work Posture by RULA and REBA: A Case Study. Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), ISSN: 2320-334X, 2014, 11 (4): p. 18-23.
2. Baranauskienė, N., Stasiulė, L., Raubaitė, S., Stasiulis, A. The Residual Effect of Prior Drop Jumps on EMG Parameters of Thigh Muscles during Moderate and Heavy Cycling. Ugdymas-kūno-kultūra-sportas, 2012, 2 (85), p. 3-9.
3. David, G. C. Ergonomic Methods for Assessing Exposure to Risk Factors for Work-Related Musculoskeletal Disorders. Occupational Medicine, 2005, 55 (3): p. 190–199.
4. Darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas. Valstybės žinios, 2003, Nr. 70-3170.
5. Darbo kodeksas. Valstybės žinios, 2002, Nr. 64-2569.
6. Ergonominė rizikos veiksnių tyrimo metodiniai nurodymai. Valstybės žinios, 2005, Nr. 95-3536.
7. European Agency for Safety and Health at Work [interaktyvus]. Office Ergonomics. 2007 (a) [žiūrėta 2017.05.10], prieiga per internetą: <http://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/efact13>.
8. Fallentin, N. Regulatory Action to Prevent Work-Related Musculoskeletal Disorders. Work Environ Health, 2003, 29 (4): p. 247–250.
9. Fabrizio, P. Ergonomic Intervention in the Treatment of a Patient with Upper Extremity and Neck Pain. Physical Therapy, 2009, 20080209v-1-0.
10. Heydari Abbas, Antoni V. F. Nargol, Anthony P. C. Jones, Anthony R. Humphrey and Charles G. Greenough. EMG Analysis of Lumbar Paraspinal Muscles as a Predictor of the Risk of Low-Back Pain. Eur Spine J. 2010, 19 (7): p. 1145-1152.
11. Higienos institutas. Profesinių ligų statistika Lietuvoje. [Žiūrėta 2018-10-18]. Prieiga per internetą: [http://www.hi.lt/content/prof\\_lig\\_stat.html](http://www.hi.lt/content/prof_lig_stat.html).
12. Kliučininkas, A. J. Ergonomika. Technologija, 2000, 9986-13-759-4.
13. Lehman, G. J., Story, S., Mabce, R. Influence of Static Lumbar Flexion on the Trunk Muscles Response to Sudden Arm Movements. Chiropractic & Osteopathy, 2005, 13: p. 1140–1151.
14. Marras, W., Davis, K., Ferguson, S., Lucas, B., Gupta, P. Spine Loading Characteristics of Patients with Low back Pain Compared with Asymptomatic Individuals. Spine, 2001, 26 (23): p. 2566-2574.
15. Tatsuhiro Miura and Keishoku Sakuraba. Properties of Force Output and Spectral EMG in Young Patients with Nonspecific Low Back Pain during Isometric Trunk Extension. Journal of Physical Therapy and Science, 2014, 26 (3): p. 323–329.
16. Tarptautinis fizinio aktyvumo klausimynas [interaktyvus], [žiūrėta 2017.10.14], prieiga per internetą: <https://innovations.ahrq.gov/qualitytools/international-physical-activity-questionnaires-ipaq>.

# ANALYSIS AND EVALUATION OF THE EFFECT OF THE WORK POSTURE ON THE SPINAL MUSCLES ELECTRICAL ACTIVITY

## Summary

The paper analyzes the workload of employees at work in a standing position. It was determined the effect of the work posture on the spinal muscle electrical activity. A methodology for the investigation of work postures has been prepared and recommendations for lowering the loads on spinal muscles are given. Three methods were used for the evaluation of occupational ergonomics and physical ailments: electromyography, RULA (Rapid Upper Limb Assessment) and questionnaire survey.

In order to evaluate the occupational ergonomics a questionnaire survey was performed and physical ailments were determined. A questionnaire survey revealed that over 60 % of working time employees working in a standing position. Work in standing position is inconvenient. Besides, about 21÷30 % of working time employees working in a bending position. Work in a bending position is inconvenient too. The highest ailments were found on the lumbar spine – 33 %, while working in a bending position (29 %) and lifting heavy loads (26 %). The ergonomic evaluation using the RULA method was performed and the physical ailments of employee's were determined. The electrical activity of employee's spinal muscles was determined during standing and bending work.

**Key words:** work in a standing position, electrical activity, electromyography, RULA (Rapid Upper Limb Assessment).

## AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Loreta Valatkienė.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** daktaras, lektorė.

**Darbo vieta ir pozicija:** Kauno technologijos universiteto, Elektros ir elektronikos fakulteto, Elektros energetikos sistemų katedros lektorė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** gamybos technologijos, medžiagų technologijos, sumamos medžiagos, ergonomika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 684 80288, [loreta.valatkienė@ktu.lt](mailto:loreta.valatkienė@ktu.lt).

**Autoriaus vardas, pavardė:** Donata Putnaitė.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** daktaras, lektorė.

**Darbo vietą ir poziciją:** Kauno technologijos universiteto, Elektros ir elektronikos fakulteto, Elektros energetikos sistemų katedros lektorė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** gamybos technologijos, medžiagų technologijos, inžinerinių tyrimų metodologija, ergonomika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 687 97379, [donata.putnaitė@ktu.lt](mailto:donata.putnaitė@ktu.lt).

**Autoriaus vardas, pavardė:** Andrius Kozlovas.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** magistras, lektorius.

**Darbo vietą ir poziciją:** Kauno technikos kolegijos, Transporto ir mechanikos inžinerijos krypties studijų programų departamentas, lektorius.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** gamybos technologijos, medžiagų technologijos, inžinerinių tyrimų metodologija.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 611 58048, [andrius.kozlovas@edu.ktk.lt](mailto:andrius.kozlovas@edu.ktk.lt).

**Autoriaus vardas, pavardė:** Giedrė Adomavičienė

**Mokslų laipsnis ir vardas:** daktaras, docentė.

**Darbo vietą ir poziciją:** Kauno technikos kolegijos, Transporto ir mechanikos inžinerijos krypties studijų programų departamentas, docentė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** inžinerinių tyrimų metodologija.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 611 57620, [giedrė.adomaviciene@edu.ktk.lt](mailto:giedrė.adomaviciene@edu.ktk.lt).

## A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Loreta Valatkienė.

**Science degree and name:** doctor, lecturer.

**Workplace and position:** Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, lecturer of Department of Electrical Power Systems.

**Author's research interests:** manufacturing technologies, material technologies, smart materials, ergonomics.

**Telephone and e-mail address:** 8 684 80288, [loreta.valatkienė@ktu.lt](mailto:loreta.valatkienė@ktu.lt).

**Author name, surname:** Donata Putnaitė.

**Science degree and name:** doctor, lecturer.

**Workplace and position:** Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, lecturer of Department of Electrical Power Systems.

**Author's research interests:** manufacturing technologies, material technologies, methodology of engineering sciences, ergonomics.

**Telephone and e-mail address:** 8 687 97379, [donata.putnaitė@ktu.lt](mailto:donata.putnaitė@ktu.lt).

**Autoriaus vardas, pavardė:** Andrius Kozlovas.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** magistras, lektorius.

**Darbo vietą ir poziciją:** Kauno technikos kolegijos, Transporto ir mechanikos inžinerijos krypties studijų programų departamentas, lektorius.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** gamybos technologijos, medžiagų technologijos, inžinerinių tyrimų metodologija.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 611 58048, [andrius.kozlovas@edu.ktk.lt](mailto:andrius.kozlovas@edu.ktk.lt).

**Author name, surname:** Giedrė Adomavičienė.

**Science degree and name:** doctor.

**Workplace and position:** Kaunas Technical college, lecture

**Author's research interests:** methodology of engineering sciences

**Telephone and e-mail address:** 8 61157620, [giedrė.adomaviciene@edu.ktk.lt](mailto:giedrė.adomaviciene@edu.ktk.lt).

# AUKŠTŲJŲ MOKYKLŲ IR PILIETINĖS VISUOMENĖS ORGANIZACIJŲ BENDRADARBIAVIMO GALIMYBĖS

Gražina Strazdienė, Ana Aleknavičienė

*Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija*

## Anotacija

Straipsnyje analizuojamas pilietinės visuomenės organizacijų poreikis atlikti visuomenės interesą atliepiančius tyrimus ir atskleidžiamos bendradarbiavimo galimybės tarp aukštųjų mokyklų ir pilietinės visuomenės organizacijų sprendžiant visuomenės problemas ir skatinant žinių perteikimą bendruomenei, atsakant į konkrečius mokslinių tyrimų poreikius ir įtraukiant studentus į visuomeninį tyrimą. Atliktas kiekybinis tyrimas, kurio metu atskleistas pilietinės visuomenės organizacijos poreikis vykdyti tyrimus, nustatyta tyrimų tematika ir aukštųjų mokyklų studentų ir dėstytojų galimybė atlikti visuomenės interesą atliepiančius tyrimus.

**Reikšminiai žodžiai.** Pilietinės visuomenės organizacija, mokslo dirbtuvės, bendradarbiavimas.

## Įvadas

Pilietinės visuomenės organizacijoms (PVO), kaip strategiškai svarbiems visuomenės vystymosi dalyviams, numatytas svarbus vaidmuo gerinant valdymą ir reguliavimą, didinant skaidrumą ir įtraukiant visuomenę į problemų sprendimą (Ghaus-Pasha, 2004). Tačiau stokodamos žmogiškųjų ir finansinių išteklių pilietinės visuomenės organizacijos ne visada gali atliepti visuomenės interesus. Aukštosios mokyklos turi dalyvauti moksliniuose tyrimuose įtraukdamos studentus ir dėstytojus į visuomenės problemų sprendimą ir padėti pilietinės visuomenės organizacijoms spręsti visuomenės problemas.

Siekiant išanalizuoti pilietinės visuomenės organizacijų poreikį vykdyti visuomenės interesą atliepiančius tyrimus, kuriuos galėtų atlikti aukštosios mokyklos, suformuodamos studentų ir dėstytojų daugiadalykes komandas, sudaryta tyrimo anketa (remtasi atliktomis studijomis, PVO veiklą reglamentuojančiais dokumentais ir mokslinės literatūros analize).

**Tyrimo tikslas** išanalizuoti pilietinės visuomenės organizacijų poreikį visuomenės interesą atliepiančiams tyrimams atlikti ir atskleisti aukštųjų mokyklų studentų ir dėstytojų įsitraukimo į tyrimų atlikimą, galimybę.

## Tyrimo uždaviniai:

- išanalizuoti pilietinės visuomenės organizacijų raiškos bruožus Lietuvoje;
- atskleisti pilietinės visuomenės organizacijų poreikį visuomenės interesą atliepiantiems tyrimams atlikti, nustatyti mokslinių tyrimų, kuriems vykdyti reikalinga aukštųjų mokyklų parama, tematiką;
- nustatyti aukštųjų mokyklų studentų ir dėstytojų įsitraukimo galimybę į visuomenės interesą atliepiančių tyrimų atlikimą.

## Pilietinės visuomenės organizacijos Lietuvoje

Pilietinės visuomenės organizacijų raiškos formos gali būti įvairios, jos veikia kaip visuomeninės, nevyriausybinės organizacijos, asociacijos, labdaros ir paramos fondai, įvairių sričių aktyvistų grupės, viešosios įstaigos ir kt.

EUR-Lex pateikia tokių pilietinės visuomenės organizacijų sąrašą:

- socialiniai partneriai (profesinės sąjungos ir darbdavių grupės);
- nevyriausybines organizacijos (pvz., besirūpinančios aplinkos ir vartotojų apsauga);
- visuomeninės organizacijos (pvz., jaunimo ir šeimos grupės) (Europa - EUR-Lex, 2017).

Visuomeninių organizacijų veikla Lietuvoje turi senas tradicijas. 1918 m. Lietuvoje buvo įregistruota skautų organizacija, 1924 m. – Lietuvos vaiko draugija ir daug kitų organizacijų. Šių visuomeninių organizacijų tikslai buvo švietimo ir ugdymo veikla, tautinio atgimimo, kultūros skatinimas, socialinė globa ir parama. Lietuvoje atkūrus nepriklausomybę suaktyvėjo įvairių organizacijų steigimas, savo veiklą tęsė sovietmečiu įkurtos organizacijos, kai kurios tarpukario Lietuvoje veikusios organizacijos (Baršauskienė, Butkevičienė, Vaidelytė, 2008: 20).

Pagal Lietuvos Respublikos Nevyriausybinių organizacijų plėtros įstatyme nurodytus požymius, prie nevyriausybinių organizacijų (NVO) galima priskirti įstatyme NVO sąvoką atitinkančias asociacijas, labdaros paramos fondus bei daugumą viešųjų įstaigų, išskyrus politines partijas, profesines sąjungas, darbdavių organizacijas [ir kt.](#) (Lietuvos Respublikos Seimas, 2013).

Įvairūs šaltiniai nurodo skirtingą nevyriausybinių organizacijų skaičių Lietuvoje. Pasak A. Šapkauskienės (2017) „realus NVO skaičius Lietuvoje nėra žinomas“.

Lietuvoje pradėjo veikti Nevyriausybinių organizacijų informacijos ir paramos centras, kurio misija – vienyti nevyriausybines organizacijas, taip pat sudarytas savanoriškas nevyriausybinių organizacijų registras „NVO atlasas“, kuriame jau įregistruota 2004 NVO (Transparency International Lietuvos skyrius, 2018).

Siekdama reglamentuoti visuomenės iniciatyvą bendriems visuomenės interesams tenkinti ir plėtoti bendradarbiavimą tarp nevyriausybinių organizacijų ir valstybės institucijų patvirtinta Nevyriausybinių organizacijų plėtros koncepcija (Lietuvos Respublikos Vyriausybė, 2010).

Kiek vėliau nevyriausybinių organizacijų atstovai aptarė NVO plėtros įstatymo naujos redakcijos projektą, kuriame numatyta įkurti NVO fondą bei sukurti viešai ir neatlygintinai prieinamą NVO duomenų bazę (Nevyriausybinių organizacijų informacijos ir paramos centras, 2017). Parengti kiti Lietuvai svarbūs strateginiai dokumentai: „Lietuvos pažangos strategija „Lietuva 2030“ (Lietuvos Respublikos Seimas, 2012), Viešojo valdymo tobulinimo programa (Lietuvos respublikos vyriausybė, 2012) ir 2014–2020 metų Nacionalinės pažangos programa (Lietuvos respublikos vyriausybė, 2012), kuriais pripažįstama aktyvaus pilietiškumo ir piliečių įsitraukimo į politikos formavimą bei paslaugų teikimo didinimą svarba. Lietuva ėmėsi svarbių žingsnių tobulinti teisinę ir politinę sistemą, siekdama modernizuoti viešąjį administravimą, didinti efektyvumą bei našumą ir palaikyti atskaitomybę bei skaidrumą, kuriant kontekstą, kuriame piliečiai įsitrauktų į viešojo politikos formavimo procesą (OECD, 2015).

### **Mokslo dirbtuvių modelio ypatumai**

Skatinant pilietinės visuomenės organizacijas įsitraukti į visuomenės problemų sprendimą Lietuvoje, reikalingi inovatyvūs modeliai, kurie suartintų aukštąsias mokyklas ir pilietinės visuomenės organizacijas, turinčias bendrą tikslą – remiantis tyrimais padėti išspręsti iškilusias problemas. Siekiant šio tikslo pasitelkta „Science Shop“ (liet. k. – mokslo krautuvė, mokslo dirbtuvės) idėja. Pirmoji mokslo krautuvė (angl. „Science Shop“), Lietuvoje įkurta Socialinių inovacijų institute, veikia nuo 2013 metų. „Science shop“ idėja – mokslininkų, studentų, praktikantų jėgomis padėti nevyriausybiniams organizacijoms ir bendruomenėms, neturinčioms lėšų tyrimams, atlikti tyrimus, padedančius jiems tikslingai tobulinti savo veiklą ir suprasti, kuria kryptimi sėkmingai ją nukreipti (15 min., 2017). Visuomenės poreikių atliepimas – svarbiausias dalykas, išskiriantis „Science Shop“ iniciatyvą iš kitų žinių perdavimo būdų. Šios iniciatyvos tikslas – sukurti sąlygas mokslui, žinioms ir technologijoms plisti ne tik akademinėse bendruomenėse, bet ir visuomenėje (Living Knowledge, 2016).

Kita „Science Shop“ iniciatyva – mokslo dirbtuvės pradėjo veikti Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijoje nuo 2016 m. dalyvaujant Europos Sąjungos projekte EnRRICH („Enhancing Responsible Research and Innovation through Curricula in Higher Education“), šiuo metu – Entrance („Engaged Research connecting Community with higher Education“) projekte. Entrance projektas vienija Belgijos, Nyderlandų, Suomijos, Portugalijos ir Lietuvos aukštąsias mokyklas (ENtRANCE project proposal, 2017) bendram tikslui – išplėsti bendradarbiavimą nacionaliniu lygiu tarp aukštųjų mokyklų (studentų, dėstytojų, tyrėjų) ir pilietinės visuomenės organizacijų visuomenės interesą atliepiančių tyrimų vykdymo kryptyje.

„Science Shop“ modelio diegimas prasidėjo Nyderlanduose 1970 (Fisher, 2004). Per keletą dešimtmečių „Science Shop“ modelis sėkmingai veikia, įtraukdamas studentus, mokslininkus ir pilietinę visuomenę į realių klausimų sprendimą tiek vietos, tiek regioniniu lygiu.

Europoje ir už Europos ribų veikiančių mokslo dirbtuvių praktika labai įvairi – pavyzdžiui, Olandijoje dirbama tik su nevyriausybiniomis organizacijomis, Airijoje daug dėmesio skiriama socialinę atskirtį patiriančioms bendruomenėms, tačiau kai kurios mokslo dirbtuvės dirba ir su savivaldos atstovais. Kolegijoje dėstytojų grupė, pradėjusi įgyvendinti mokslo dirbtuvių projektus, daug diskutavo dėl mokslo dirbtuvių objekto ir užsakovų. Nutarta, kad mokslo dirbtuvių projekto užsakovais gali būti ne tik nevyriausybinių organizacijos, asociacijos, bendruomenės, pavieniai asmenys, bet ir valdžios, savivaldos institucijos, o išskirtiniais atvejais – net verslo organizacijos. Svarbiausias požymis, pagal kurį tyrimas ar projektas laikomas mokslo dirbtuvių objektu, – projekto atitiktis visuomenės interesams. Jeigu tyrimo objektas aktualus tik konkrečiai organizacijai, toks projektas priskiriamas užsakomųjų tyrimų grupei, jeigu atsakymas į iškeltą problemą padėtų spręsti visuomenei aktualius klausimus, tai yra mokslo dirbtuvių projektas.

### **Tyrimo rezultatai**

Tyrimas atliktas Lietuvoje 2018 m. Kvietimai dalyvauti tyrime buvo siunčiami įvairioms pilietinės visuomenės organizacijoms – asociacijoms, bendruomeninėms grupėms, fondams, nevyriausybiniams, savanoriškoms organizacijoms. Siekiant atskleisti pilietinės visuomenės organizacijų poreikį visuomenės

interesą atliepiantiems tyrimams atlikti, kvietimai dalyvauti tyrime buvo išsiųsti 77 pilietinės visuomenės organizacijoms..

Siekiant išsiaiškinti pilietinės visuomenės organizacijų poreikį tyrimams atlikti ir nustatyti, kokius tyrimus galėtų atlikti aukštųjų mokyklų studentai, buvo naudojamas kiekybinis tyrimo instrumentas – klausimynas. Anketoje pateikti uždari ir atviri, tiesioginiai ir netiesioginiai klausimai, suskirstyti į 3 grupes, tokias kaip „Pilietinės visuomenės organizacijos poveikslas“, „Visuomenės problemų sprendimo būdai“, „Bendradarbiavimas su aukštosiomis mokyklomis vykdant visuomenei aktualius tyrimus“.

### **Pilietinės visuomenės organizacijos poveikslas**

Tyrimas atskleidė pilietinės visuomenės organizacijos poveikslą Lietuvoje. Apklausoje dalyvavo 52 proc. nevyriausybinų organizacijų ir 44 proc. asociacijų. Tarp respondentų buvo viena bendruomenės grupė. Tyrime nedalyvavo respondentai iš naujai įsteigtų (dirbančių trumpiau nei 1 metai) įmonių, tačiau dalyvavo nedidelė dalis (10 procentų) jaunų organizacijų, veikiančių mažiau nei 3 metai. Nustatyta, kad dauguma PVO (90 procentų) veikia ilgiau nei 3 metai ir yra mažos organizacijos, kuriose dirba mažiau nei 5 darbuotojai ir savanoriai.

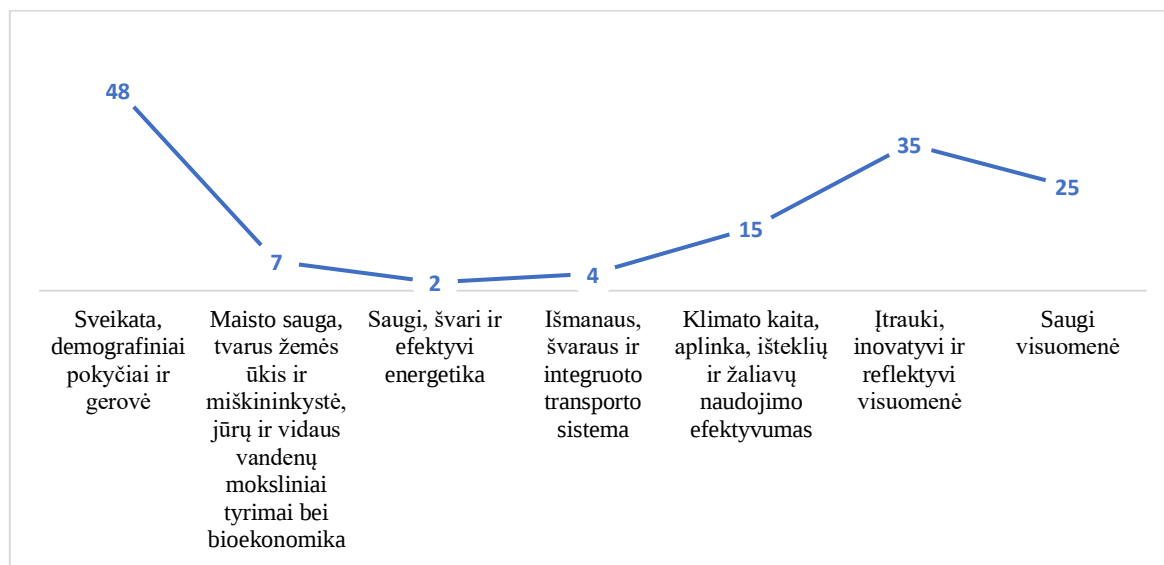
Europos komisija išskyrė 7 prioritetinius socialinius iššūkius, į kuriuos nukreiptos inovacijos ir moksliniai tyrimai suteiktų visuomenei realią naudą („Europa 2020“ strategija). Tyrimu siekta išsiaiškinti, ar pilietinės visuomenės organizacijos sprendžia problemas, apimančias socialinius iššūkius, atliepiančius „Europa 2020“ strategiją. Nustatyta, kad dauguma PVO Lietuvoje susiduria su socialiniais iššūkiais, pavaizduotais 1 pav., ir sprendžia šias visuomenės problemas: „Sveikata, demografiniai pokyčiai ir gerovė“ (48 PVO), „Įtrauki, inovatyvi ir reflektvyvi visuomenė“ (35 PVO), „Saugi visuomenė“ (25 PVO), „Klimato kaita, aplinka, išteklių ir žaliavų naudojimo efektyvumas“ (15 PVO). Mažiausiai susiduriama su „Saugios, švarios ir efektyvios energetikos“ problemomis.

Tyrimu nustatyta, kad dauguma PVO Lietuvoje kelia tokius tikslus: informavimas, švietimas ir rekomendacijų teikimas. Tik keli respondentai nurodė, kad jų tikslas – protestavimas ir lobizmas. Tarp kitų tikslų buvo paminėta profesinė konsolidacija, rehabilitacija ir reintegracija, gyvūnų gerovė, menininkų atstovavimas, didėjantis pilietinis dalyvavimas, įtraukianti bendruomenė.

### **Visuomenės problemų sprendimo būdai**

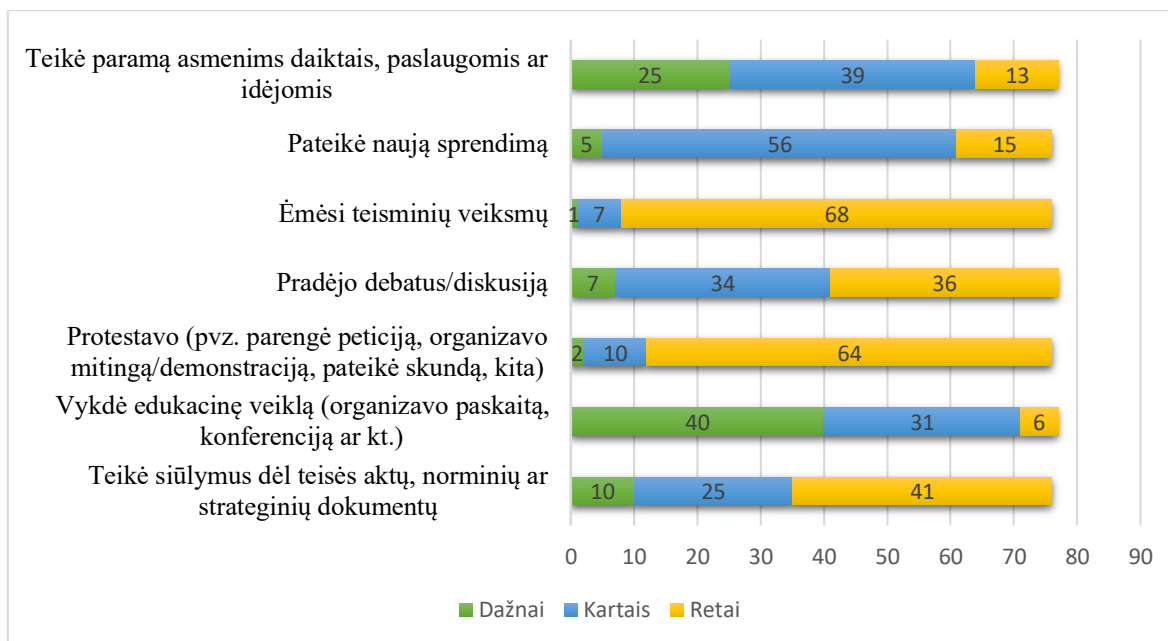
Analizuojant, ar pilietinės visuomenės organizacijoms reikalingi moksliniai tyrimai ir su kokiomis mokslinių tyrimų problemomis jie dažniausiai susiduria, nustatyta, kad 52 proc. respondentų reikalingi tyrimai, kuriais sprendžiamos socialinės problemos. Tie respondentai, kuriems reikia tyrimų, susiduria su sveikatos ir gerovės visuomeniniais (60 proc.), reflektvyvos visuomenės (15 proc.) iššūkiais.

Tyrimas atskleidė, kokių priemonių ėmėsi PVO spręsdamos visuomenės problemas (2 pav.). Nustatyta, kad dažniausiai buvo vykdoma edukacinė veikla, teikiama parama daiktais, paslaugomis ir idėjomis. Rečiausiai buvo imtasi teisminių veiksmų ir teikiami siūlymai dėl teisės aktų, norminių ar strateginių dokumentų.



**1 pav.** Socialiniai iššūkiai su kuriais susiduria pilietinės visuomenės organizacijos Lietuvoje

*Šaltinis: sudaryta autorių*



**2 pav.** Priemonės problemoms spręsti

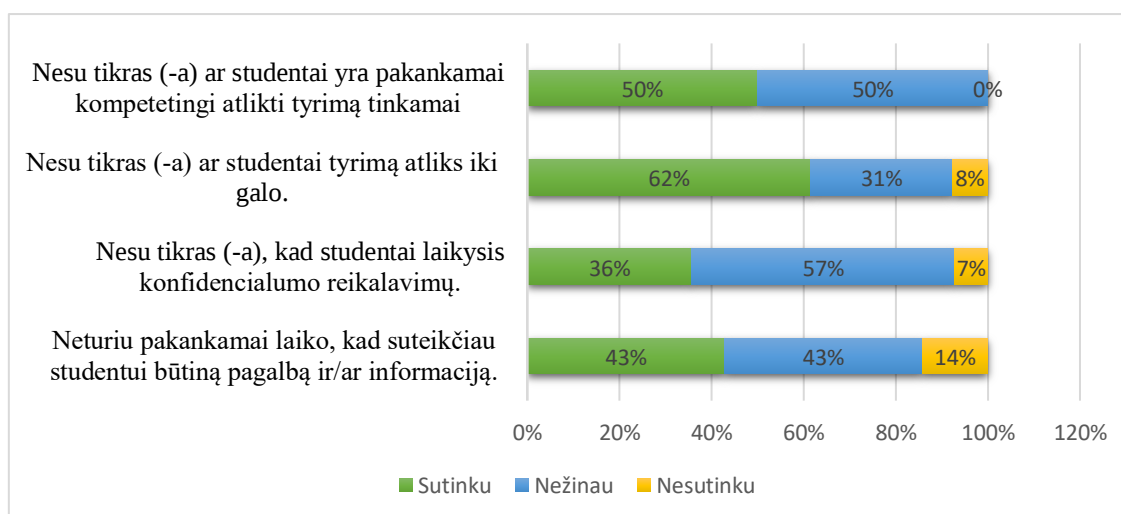
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Atskleista, kad PVO susiduria su įvairių mokslinių tyrimų problemomis, kurioms spręsti reikalingos žinios. Nustatyta, kad daugeliu atvejų PVO susidūrė su paprastomis problemomis, reikalaujančiomis vieno akademinio dalyko (45 proc.) žinių. Kartais kyla iš dalies sudėtingesnės problemos, kurioms reikia dviejų ar daugiau akademinų dalykų žinių (46 proc.) arba būtina kompleksiskai taikyti daugelio akademinų dalykų žinias ir įžvalgas apie visuomenėje vykstančius procesus. Su labai sudėtingomis problemomis susiduriama retai (31 proc.). Taigi, galima daryti prielaidą, kad aukštųjų mokyklų studentai galėtų prisidėti prie tyrimų ir padėtų spręsti problemas.

### **Bendradarbiavimas su aukštosiomis mokyklomis atliekant visuomenei aktualius tyrimus**

Tyrimu nustatyta, kad pusė apklaustųjų (47,5 proc.), kuriems reikalingi tyrimai, nežino, ar norėtų bendradarbiauti su aukštosiomis mokyklomis. Argumentas tas, kad jie neturi tokio bendradarbiavimo patirties ir todėl abejoja, ar mokslinių tyrimų rezultatai būtų patikimi.

35 proc. respondentų nurodė, kad nėra tikri, ar studentai galės išspręsti PVO mokslinių tyrimų problemas, jie abejojo studentų gebėjimu atlikti darbą sutartu laiku ir laikytis konfidencialumo reikalavimų. Respondentai išsakė abejones ir dėl studentų kompetencijų baigti tyrimą. Daroma prielaida, kad, siekiant garantuoti sklandžią veiklą, grįstą pasitikėjimu, būtina aiškinti studentams, kaip jie turėtų bendradarbiauti su PVO, aptarti komunikavimo, laiko valdymo ir etikos reikalavimus.

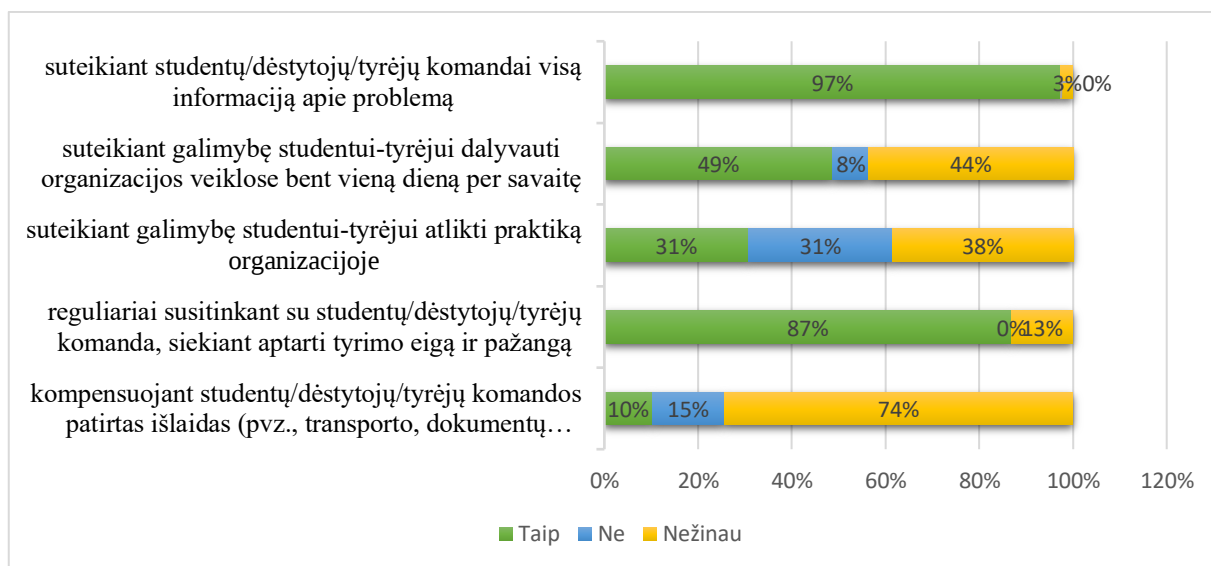


**3 pav.** Respondentų nuomonė apie tyrimų atlikimą

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Pilietinės visuomenės organizacijų manymu, dėl laiko stokos respondentai negalėtų padėti studentams (43 proc.) (3 pav.). PVO nuomone, tyrimams atlikti optimalus laikas būtų 3 mėnesiai, o laikotarpis, ilgesnis nei 6 mėnesiai, apskritai nepriimtinas. Taigi, galima teigti, kad pilietinės visuomenės organizacijos dėl žmogiškųjų išteklių stokos turi nedaug laiko tyrimui atlikti ir siekia greito rezultato.

Tyrimu siekta išsiaiškinti, kaip PVO galėtų prisidėti prie atliekamo tyrimo (4 pav.). Nustatyta, kad didžioji dauguma (87 proc.) PVO buvo pasirengę reguliariai susitikti su studentų, dėstytojų, tyrėjų komanda, kad aptartų tyrimo eigą ir pažangą, o 97 proc. suteiktų studentų ir tyrėjų komandai informaciją. PVO taip pat suteiktų galimybę studentui ir tyrėjui dalyvauti organizacijos veikloje vieną dieną per savaitę (49 proc.) ir tai skatintų glaudesnį bendradarbiavimą, 31 proc. respondentų teigė, kad pakviestų į stažuotę jų organizacijoje, tačiau tik 10 proc. PVO ketino kompensuoti mokslinių tyrimų komandos patirtas išlaidas (transporto, dokumentų spausdinimo), kiti 74 proc. nežino, ar tai darytų. PVO finansiniai gebėjimai yra labai riboti. Pusė respondentų negalėtų finansuoti tyrimų išlaidų, o 37 proc. kompensuotų išlaidas iki 100 eurų.



**4 pav.** Nuomonė dėl tyrimo rėmimo

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Analizuojant visuomenines problemas, kurias PVO siūlymu galėtų išspręsti studentų ir tyrėjų komandos, nustatyta, kad 12,5 proc. PVO pateiktos tyrimų temos susijusios su visuomenės sveikatos, demografinių pokyčių ir gerovės bei inovatyvios ir reflektvyvos visuomenės sritimi. PVO pasiūlė visuomenei aktualias temas, kurias galėtų išnagrinėti studentų ir tyrėjų komanda:

- Miesto erdvių kultūrinio potencialo tyrimai ir jų kūrybiniai panaudojimo būdai.
- NVO tvarumas – socialinio verslo modelis Lietuvoje.
- Žemdirbių savivaldos savifinansavimo modelio sukūrimo galimybės.
- Socialinių pedagogų indėlis sprendžiant socioeducacines problemas.
- Žmonių, sergančių lėtinėmis ligomis, psichosocialiniai poreikiai.
- Daugiakalbės kompetencijos ugdymo poreikis ir galimybės.

Kai kurie tyrimai jau atliekami, studentų bei dėstytojų komanda kartu su pilietinės visuomenės organizacijomis sprendžia esamas problemas.

### Išvados

1. Pusė pilietinės visuomenės organizacijų nurodo, kad nagrinėja mokslinius tyrimus, skirtus visuomenės poreikių analizei, ir nori bendradarbiauti su aukštosiomis mokyklomis mokslinių tyrimų srityje, pusė respondentų abejoja tokio bendradarbiavimo galimybe. Atsižvelgiant į tai, kad kai kurios pilietinės visuomenės organizacijos mano, kad moksliniai tyrimai nesusiję su jų veikla ir trūksta bendradarbiavimo patirties, aukštosios mokyklos turėtų būti proaktyviomis ir turėtų inicijuoti bendradarbiavimą.

2. Analizuojant tyrimo turinį išaiškėjo, kad PVO tikisi ne tik tam tikro tyrimo, bet ir konkrečios problemos sprendimo – pasiūlymo dėl naujo modelio, kūrybiško požiūrio, projekcinio darbo analizės ir t. t. Vadinasi, aukštosios mokyklos turėtų taikyti pažangius švietimo modelius,

suteikiančius galimybę derinti mokslinius tyrimus ir priemones, įtraukiančias studentus į socialinių problemų sprendimą.

3. Bendradarbiavimas tarp aukštosios mokyklos ir pilietinės visuomenės organizacijų galėtų būti skatinamas naudojant šiuolaikinius modelius, išbandytus Europos šalyse. Viena iš tokių modelių yra „Science Shop“ modelis, kuris turėtų būti įdiegtas į aukštosios mokyklos studijų programas.

4. PVO nurodė, kad joms reikalingi moksliniai tyrimai, susiję su šiomis sritimis: „Sveikata, demografiniai pokyčiai ir gerovė“ bei „Įtrauki, inovatyvi ir reflektvyvi visuomenė“. Šiuo metu PVO siekia informuoti, šviesti, patarti ir remti žmones.

5. Didžioji dauguma PVO mano negalintys skirti finansinių lėšų mokslinių tyrimų grupės išlaidoms padengti, tačiau dauguma Lietuvos pilietinės visuomenės organizacijų norėtų, kad moksliniai tyrimai būtų baigti per tris mėnesius.

### Literatūra

1. Baršauskienė, V.; Butkevičienė, E.; Vaidelytė, E. (2008). *Nevyriausybinių organizacijų samprata. Nevyriausybinių organizacijų veikla*. Kaunas: Technologija, 20 p.
2. ENtRANCE project proposal (2017). Prieiga per internetą: <http://www.vub.ac.be/profiel/liesbeth-donder>.
3. Europos komisija 2020 m. Europa. Pažangaus, tvaraus ir integracinio augimo strategija. (2010). Prieiga per internetą: <https://www.ldb.lt/Informacija/Veikla/Documents/Europa%202020.pdf>.
4. Fisher, C., Leydesdorff, L., Schophaus, M. (2004). Science shops in Europe: the public as stakeholder. *Science and Public Policy*, Vol. 31, No. 3, 199-211.
5. Ghaus-Pasha, A. (2004). *Role of civil society organizations in governance*. Prieiga per internetą: <http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/un/unpan019594.pdf>.
6. Lietuvos Respublikos Seimas. (2012). *Valstybės pažangos strategijos „Lietuvos pažangos strategija „Lietuva 2030“*. (2012-05-15). Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.425517>.
7. Lietuvos Respublikos Seimas. (2013). *Lietuvos Respublikos nevyriausybinių organizacijų plėtros įstatymas Nr. XII-717*. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/d1e6be90747611e3b675ad30753d4b1b>.
8. Lietuvos Respublikos Vyriausybė. (2010). *Nevyriausybinių organizacijų plėtros koncepcija Nr. 85*. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.DF72CDC57E53>.
9. Lietuvos Respublikos Vyriausybė (a). (2012). *Viešojo valdymo tobulinimo programa*. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.418407>.
10. Lietuvos Respublikos Vyriausybė (b). (2012). *2014–2020 metų Nacionalinės pažangos programa Nr. 1482*. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.31A566B1512D>.
11. Living Knowledge: The International Science Shop Network. *Basic Concept*, Prieiga per internetą: [http://www.livingknowledge.org/fileadmin/Dateien-Living-knowledge/Dokumente\\_Dateien/Living\\_Knowledge\\_Basic\\_Concept\\_July\\_2016.pdf](http://www.livingknowledge.org/fileadmin/Dateien-Living-knowledge/Dokumente_Dateien/Living_Knowledge_Basic_Concept_July_2016.pdf).
12. Nevvyriausybinių organizacijų informacijos ir paramos centras. (2017). Prieiga per internetą: <http://www.3sektorius.lt/>.
13. Transparency International Lietuvos skyrius. *NVO atlasas* (2018). Prieiga per internetą: <https://nvoatlasas.lt/>
14. OECD. (2015). *Lietuva: atviro ir įtraukiančio politikos formavimo skatinimas. Pagrindiniai rezultatai ir rekomendacijos Lietuvai*. Prieiga per internetą: [http://www.3sektorius.lt/docs/OECD\\_rekomendacijos\\_LT\\_2015\\_2015-10-12\\_15:16:30.pdf](http://www.3sektorius.lt/docs/OECD_rekomendacijos_LT_2015_2015-10-12_15:16:30.pdf).
15. Europa - EUR-Lex. Pilietinės visuomenės organizacija. Prieiga per internetą: [https://eur-lex.europa.eu/summary/glossary/civil\\_society\\_organisation.html?locale=lt](https://eur-lex.europa.eu/summary/glossary/civil_society_organisation.html?locale=lt).
16. Šapkauskienė, A. (2017). Nevvyriausybinių organizacijos (NVO) Lietuvoje: kas slepiasi po šia santrumpa. Prieiga per internetą: <http://mokslolietuva.lt/2017/08/nevyriausybines-organizacijos-nvo-lietuvoje-kas-slepiasi-po-sia-santrumpa/>.
17. 15 min. (2017). *Mokslo krautuvė – mokslo ir visuomenės draugystę skatinanti iniciatyva*. Prieiga per internetą: <https://www.15min.lt/mokslasit/straipsnis/laboratorija/mokslo-krautuve-mokslo-ir-visuomenes-draugyste-skatinanti-iniciatyva-650-787718>.

## OPPORTUNITIES FOR COOPERATION BETWEEN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS AND CIVIL SOCIETY ORGANIZATIONS

### Summary

Civil Society Organizations have a need to carry out research that is in the public interest and sees opportunities for cooperation with Higher Education Institutions in addressing societal challenges and communicating knowledge to the community. However, in order to increase the involvement of Civil Society Organizations in solving societal problems in Lithuania, innovative models are needed that bring together Higher Education Institutions and Civil Society Organizations to the common goal of helping to solve problems based on research. Based on the experience of European countries, it is proposed to use an innovative Science Shop model to involve Civil Society Organizations and Higher

Education Institutions in solving societal problems based on research. The results of the study show that Civil Society Organizations expect a solution to a specific problem in their cooperation with Higher Education Institutions, i.e. a proposal for a new model, a creative solution, an analysis of design work, etc.

**Key words:** Civil Society Organizations, Science Shops, collaboration.

#### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Gražina Strazdienė.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktarė, docentė.

**Darbo vietą ir poziciją:** VšĮVilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto Mechanikos inžinerijos katedros docentė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** socialinių ir inžinerinių tyrimų metodologija.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 64052928, [g.strazdiene@vtdko.lt](mailto:g.strazdiene@vtdko.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Ana Aleknavičienė.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** magistrė, lektorė.

**Darbo vietą ir poziciją:** VšĮVilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Strateginės plėtros skyriaus vadovė, lektorė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** socialinių tyrimų metodologija.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 68220798, [a.aleknaviciene@vtdko.lt](mailto:a.aleknaviciene@vtdko.lt)

#### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Grazina Strazdiene.

**Science degree and name:** PhD, associated professor

**Workplace and position:** Vilnius College of Technologies and Design, Technical faculty, Mechanical Engineering department associated professor.

**Author's research interests:** methodology of social and engineering research.

**Telephone and e – mail address:** 8 64052928, [g.strazdiene@vtdko.lt](mailto:g.strazdiene@vtdko.lt)

**Author name, surname** Ana Aleknaviciene.

**Science degree and name:** master degree, lecturer.

**Workplace and position:** Vilnius College of Technologies and Design, Head of Strategic Development Department, lecturer.

**Author's research interests:** methodology of social research.

**Telephone and e – mail address:** 8 68220798, [a.aleknaviciene@vtdko.lt](mailto:a.aleknaviciene@vtdko.lt)

# LIETUVIŲ KALBOS KAIP SVETIMOSIOS MOKYMO/SI METODIKOS DIEGIMAS KAUNO TECHNIKOS KOLEGIJOJE

Sonata Paulauskienė, Judita Štreimikienė  
*Kauno technikos kolegija*

## Anotacija

Lietuvių kalba kaip svetimoji – tai gana naujas lietuvių kalbos mokymo/si patirties terminas. Lietuvių kalbos kaip svetimiosios mokymas/is reikalauja naujai pažvelgti į mokymo/si procesą, metodus ir mokymo būdus, kurie buvo taikomi klasikinėms ir kitoms didžiosioms kalboms mokytis. Problema - kaip įdiegti lietuvių kalbos kaip svetimiosios mokymą/si metodiką, ugdant nerašytinius komunikacinius gebėjimus, supažindinant su tautos kultūra ir sociokultūrine specifika, veikiant kultūrinei aplinkai.

**REIKŠMINIAI ŽODŽIAI.** Lietuvių kalbos mokymas, metodika, komunikaciniai gebėjimai

## Įvadas

Tiek pagal tarptautines studentų mainų programas, tiek nuolatinėms studijoms į Lietuvos aukštąsias mokyklas kiekvienais metais atvyksta vis daugiau studentų, kuriems Lietuvoje turėtų būti sudarytos galimybės įgauti geriausios kultūrinės, švietėjiškos ir kalbinės patirties. Atvykusieji nekalba lietuviškai, todėl vienu iš pasirinktų studijuoti dalykų nurodo lietuvių kalbos studijas. Atvykę studentai užsieniečiai kaip motyvą, kodėl jie pasirinko studijas Lietuvoje, nurodo turį akademinių tikslų, norį europietiškos patirties ir siekią naujos kultūros pažinimo.

Iškyla problema, kaip organizuoti lietuvių kalbos studijas atvykusiems, kad jiems šios studijos būtų įdomios, naudingos ir įsimintinos. Aukštosiose mokyklose studentams užsieniečiams pagal mainų programas organizuojami intensyvūs lietuvių kalbos ir kultūros kursai. Tačiau prieš pradedant organizuoti lietuvių kalbos kaip svetimiosios mokymą, iškyla tokių problemų:

- Lietuvių kalbos kaip svetimiosios dėstymo patirties sklaidos nebuvimas;
- Lietuvių kalbos kaip svetimiosios didaktinės medžiagos ir mokymo tikslų neatitikimas;
- Lietuvių kalbos kaip svetimiosios mokymui būtinų naujų metodų ir mokymo būdų trūkumas.

Sprendžiant šias problemas svarbu išanalizuoti lietuvių kalbos kaip svetimiosios mokymo/si metodiką, atsižvelgiant į Lietuvos sociokultūrinį kontekstą, ypatumus ir sužinoti, kaip atvykę studijuoti į Lietuvą ir studijavę lietuvių kalbą, vertina šias studijas, ko jie iš šio kurso tikisi ir kaip aukštosiose mokyklose stengiamasi jų lūkesčius tenkinti.

## Lietuvių kalbos kaip svetimiosios kalbos mokymas

Lietuvių kalba kaip svetimoji – tai gana naujas lietuvių kalbos mokymo/si patirties terminas. Lietuvių kalbos kaip svetimiosios mokymas/is reikalauja naujai pažvelgti į mokymo/si procesą, metodus ir mokymo būdus, kurie buvo taikomi klasikinėms ir kitoms didžiosioms (anglų, vokiečių, rusų, prancūzų) kalboms mokytis. Lietuvių kalbos kaip svetimiosios mokymas neturi senų tradicijų, todėl vadovėlių pasirinkimas taip pat nėra labai didelis. Kyla klausimas, kiek lietuvių kalbos žinių reikia studijuojantiems užsieniečiams aukštosiose mokyklose? Ar tokiems studentams svarbiausia yra mokytis lietuvių kalbos rašybos, gramatikos, skyrybos? Ar reikalinga tokia gausa žodžių ir gramatikos, kokia pateikiama lietuvių kalbos vadovėliuose? Kyla problema, kaip įdiegti lietuvių kalbos kaip svetimiosios mokymo/si metodiką, ugdant nerašytinius komunikacinius gebėjimus, supažindinant su tautos kultūra ir sociokultūrine specifika, veikiant kultūrinei aplinkai.

Lietuvių kalbai, kaip vienai iš Europos kalbų, atsirado lygios galimybės Europos mastu būti tyrimo, plėtojimo ir sklaidos objektu. Teigiama, kad Europos vienijimosi ir plėtros projektas gali būti sėkmingai įgyvendintas tik tuomet, jei bus išsaugota ir puoselėjama Europos kalbų įvairovė (Grumadienė, 2004). Be kita ko, lietuvių kalba, kaip geriausiai išlaikiusi indoeuropiečių prokalbės ypatumus (Palionis, 1999) kalba, garsėja visame pasaulyje, tačiau ar lietuvių kalbos dėstymo metodai atitinka jos, kaip svetimiosios kalbos statusą? Pastaruoju metu itin pabrėžiama kalbos mokymo/si komunikacinė paskirtis, t. y. akcentuojama, kad kalbos mokymas/is turi būti orientuotas į bendravimą, atsižvelgiant į realią padėtį, kuri atitinka besimokančiojo poreikius (Sheilsas, 1995). Be to, atsiranda teiginių (Feldmanaitė, 2004), jog antrosios (galbūt ir trečiosios) užsienio kalbos mokymo/si metodika turėtų būti kitokia, nei pirmosios, atsižvelgiant į besimokančio amžių ir mokymosi patirtį, atsiradusią įsisaugojus pirmąją užsienio kalbą.

Kalbant apie lietuvių kalbos mokymą aukštosios mokyklos sąlygomis, mokymo problema siejama pirmiausia su kalbos pratybomis ir kalbine veikla pratybų metu. Lietuvių kalbos pratybų paskirtis yra ugdyti

adekvačius gebėjimus ir įgūdžius, skatinančius išmokus kalbos dalykus aktualinti realizuojant verbalinius poelgius (Velička, 2004). Pagrindine priemone ugdant gebėjimus ir įgūdžius laikytini kalbos pratimai.

Mokant atvykusius pagal besimokančiųjų kalbos mokėjimo lygį siūloma modifikuoti mokymo/si metodiką, kalbos pratybų pagalba ugdyti profesinio bendravimo lietuvių kalba gebėjimus, suteikti galimybę mokytis nuotoliniu būdu, naudotis sukaupta ir parengta metodine medžiaga: vadovėliais, moksline bei grožine literatūra, garso, vaizdo įrašais ir kompiuterių klasiėmis. Svarbu formuoti praktinius gebėjimus įvertinti techninius sprendimus etiniu požiūriu, įtvirtinti perkeliamuosius gebėjimus techninės žodinės ir nerašytinės lietuvių kalbos vartojimo ir bendravimo profesinėje ir mokslinėje aplinkoje gebėjimus, suteikiant gimtosios kalbos ir profesinio etiketo žinių techninės profesijos tikslams pasiekti, erudicijai ugdyti. Be dalykinių žinių, akcentuoti profesinio bendravimo, etiketo bei verslo derybų akcentai.

Lietuvių kalbos kaip svetimšios mokymo/si metodikos diegimas pradėtas įgyvendinti ir Kauno technikos kolegijoje. Rengiant lietuvių kalbos specialistus turėtų būti atsižvelgiama ir į tai, jog būtini specialistai, kurie specializuojasi lietuvių kalbos, kaip antros užsienio kalbos mokymo srityje. Todėl metodikos įgyvendinimui reikia kompetentingų specialistų, kurių kvalifikacija bei darbo patirtis būtų naudinga jos įgyvendinimui.

Lietuvių kalbos, kaip svetimšios mokymas /sis turi tikslą ne tik išmokyti bendrauti lietuvių kalba kasdienėse situacijose, bet ir susipažinti su lietuvių kultūra, tradicijomis ir papročiais, kadangi net ir laikinai gyvendami Lietuvoje, atvykusieji nuolat susiduria su įvairiais juos stebinančiais kultūriniais skirtumais. Ypač svarbūs tampa nerašytiniai komunikaciniai įgūdžiai, kurie yra būtini kasdienėse situacijose (parduotuvėje, mieste, kavinėje, stotyje, verslo susitikimuose, svečiuose ir pan.). Todėl labai svarbu diegti lietuvių kalbos kaip svetimšios mokymo/si metodiką aukštesiose mokyklose, ugdant komunikacinius įgūdžius ir įvertinant Lietuvos sociokultūrinį kontekstą, t. y. supažindinant su tautos kultūra ir jos sociokultūrinės aplinkos sąlygomis. Tai patvirtina ir žymaus kalbotyros specialisto D. Crystal teiginys, kad „kiekviena kalba yra unikali žinių apie žmogaus būtį sandara, patvirtinta istorijos ir tapatybės“ (Crystal 2005).

Kalbos mokymas/is yra akivaizdžiausia komunikacinės raiškos priemonė, kuri neatsiejama nuo studijuojamos kalbos sociokultūrinės aplinkos. Atvykusiems į Lietuvą kalbos mokymas (-iš) tampa vienu iš būdų pažinti šalį, jos kultūrą ir vertybes, taigi sociokultūrinio konteksto suvokimas tampa būdu mokytis kalbos. Be abejo, turi skatinti ir mokymui/si parenkamos temos, kurios iš esmės turėtų būti susijusios su lietuvių kultūra ir galėtų suteikti žinių apie Lietuvą, diskutuoti ir būti pagrindu tarpkultūriniais skirtumams suvokti.

Lietuvių kalbos kaip svetimšios mokymo/si metodika sutampa su moksline veikla, patirtimi, kompetencija ir tarnaus besimokančiųjų tikslams, efektyviai tenkins jų poreikius ir lūkesčius. Modifikuojant esamą mokymo/si procesą daugiau dėmesio skirti ne gramatikai mokyti, o pažintiniams tikslams ir sociokultūrinei kompetencijai ugdyti. Galėtų būti parengtas specialus vadovėlis, kuriuo būtų siekiama ne iš pagrindų išmokyti atvykusius studentus lietuvių kalbos, bet tik suteikti pažintinių kalbos pradmenų, atskleistų per lietuvių folklorą, literatūrą ir socialinę - kultūrinę aplinką.

Lietuvių kalbos kaip svetimšios mokymo/si metodikos sėkmę, deramą kalbinės kompetencijos ugdymą gali laiduoti tik mokomasis metodinis kompleksas, kuris skatintų atsižvelgti į pasitaikančius mokymo trūkumus ir juos šalinti.

### **Išvados**

Lietuvių kalbos kaip svetimšios mokymas/is turėtų tapti būdu pažinti šalį, suvokti jos kultūrą ir vertybes, o kultūros pažinimas turėtų tapti būdu mokytis kalbos, todėl lietuvių kalbos kaip svetimšios studijos - tai žmonių elgesio ir tarpusavio santykių stebėjimo ir supratimo studijos, tai aplinkinio gyvenimo išraiškos įsisąmoninimas: lietuviškos reklamos laikraščiuose, kavinių meniu, miesto žemėlapis ir autobusų grafikas, koncertų ir teatrų afišos, programėlės ir repertuarai - visa tai galėtų būti panaudota kaip lietuvių kalbos mokymo priemonės per paskaitas. Kalbos mokymas/is yra akivaizdžiausia komunikacinės raiškos priemonė, kuri neatsiejama nuo studijuojamos kalbos sociokultūrinės aplinkos. Atvykusiems į Lietuvą studentams kalbos mokymas/is tampa vienu iš būdų pažinti tą šalį, jos kultūrą ir vertybes, taigi sociokultūrinio konteksto suvokimas tampa būdu mokytis kalbos. Be abejo, turi skatinti ir mokymui/si parenkamos temos, kurios iš esmės turėtų būti susijusios su lietuvių kultūra (pvz., maistas ir su tuo susijusios mįslės, patarlės, liaudies dainos) ir galėtų suteikti žinių apie Lietuvą, leisti diskutuoti ir būti pagrindu tarpkultūriniais skirtumams suvokti.

Atsiranda galimybė generuoti naujas kūrybines idėjas modifikuojant, ugdymo sistemos turinį, mokant atvykusius lietuvių kalbos aukštesiose mokyklose.

1. Mokant užsienio kalbų jau keletą dešimtmečių taikomas komunikacinis kalbų mokymo metodas, tačiau mokant lietuvių kalbos kaip svetimšios šis metodas dar tik pradedamas naudoti.

2. Modifikuojant mokymo/si procesą daugiau dėmesio turėtų būti skiriama ne gramatikai mokyti, o pažintiniams tikslams, sociokultūrinei ir kalbinei kompetencijai ugdyti.

3. Atvykusiems studijuoti į aukštąsias mokyklas, būtina parengti vadovėlį, kuriuo būtų siekiama ne iš pagrindų išmokyti atvykusius studentus lietuvių kalbos, bet tik suteikti pažintinių kalbos pradmenų, atskleistų per lietuvių folklorą, literatūrą ir socialinę-kultūrinę aplinką.

4. Kalbos mokymas - tai būdas pažinti šalį ir jos kultūrą, o kultūros pažinimas yra būdas mokytis kalbos, todėl mokant lietuvių kalbos kaip svetimšios būtina refleksyviai atsižvelgti ne tik į dėstymo patirtį, bet ir studentų lūkesčius, iš kurių akivaizdžiai matyti, kad daugiau dėmesio mokymo procese turėtų būti skiriama tautos kultūrinėms vertybėms propaguoti ir įvairioms sociokultūrinėms temoms nagrinėti.

## Literatūra

1. Crystal, D. (2005). *Kalbos mirtis*. Vilnius: Tyto alba.
2. Feldmanaitė, N. (2004). „Vokiečių kalbos kaip antrosios užsienio kalbos (po anglų) mokymas sugestopedijos metodu“, iš *Kalbų mokymas integracijos į Europos Sąjungą kontekste*. Vilnius: Technika, 22–24.
3. Grumadienė, L. (2004). „Kalbos politika Lietuvai integruojantis į Europos Sąjungą“, iš *Tauta ir kalba: šiuolaikiniai sociolingvistinio ugdymo aspektai*. Kaunas: Technologija, 68-73.
4. Janiūnaitė, B. (2004). Edukacinės novacijos ir jų diegimas. Kaunas: Technologija.
5. Palionis, J. (1999). *Kalbos mokslo pradmenys*. Vilnius: Jandrija.
6. Sheilsas, J. (1995). *Komunikacija kalbos pamokoje*. Vilnius. Alma littera.
7. Velička, A. (2004). „Kalbinė veikla – kaip kalbos mokymo objektas“, *Filologija* 12:34-43.
8. [https://www.researchgate.net/publication/270981036\\_Informaciniu\\_tehnologiju\\_panaudojimas\\_mokant\\_VGTU\\_students\\_uzsieniecius\\_lietuviu\\_kalbos\\_kaip\\_svetimosios](https://www.researchgate.net/publication/270981036_Informaciniu_tehnologiju_panaudojimas_mokant_VGTU_students_uzsieniecius_lietuviu_kalbos_kaip_svetimosios)

## IMPLEMENTATION OF LITHUANIAN AS A FOREIGN LANGUAGE TEACHING METHODOLOGY AT KAUNAS TECHNICAL COLLEGE

### Summary

Lithuanian language as a foreign language is a relatively new term in the field of Lithuanian language teaching. It requires to revise the learning process itself, the methods and strategies used that were applied for classical and other most spoken languages. The problem is how to implement the methodology for Lithuanian as a foreign language teaching and learning, developing verbal communication skills, introducing the culture and socio-cultural specifics of the nation, acting in a cultural environment.

**KEYWORDS.** Lithuanian language teaching, methodology, communication skills

### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Sonata Paulauskienė

**Mokslo laipsnis ir vardas:** magistras

**Darbo vietą ir poziciją:** VšĮ Kauno technikos kolegija, Inžinerijos mokslų fakulteto lektorė

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** humanitariniai mokslai, filologija.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 686 23244, [sonata.paulauskiene@edu.ktk.lt](mailto:sonata.paulauskiene@edu.ktk.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Judita Štreimikienė

**Mokslo laipsnis ir vardas:** magistras

**Darbo vietą ir poziciją:** VšĮ Kauno technikos kolegija, Inžinerijos mokslų fakulteto lektorė

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** humanitariniai mokslai, filologija.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 618 18803, [judita.streimikiene@edu.ktk.lt](mailto:judita.streimikiene@edu.ktk.lt)

### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Sonata Paulauskienė

**Science degree and name:** Master

**Workplace and position:** Kaunas University Of Applied Engineering Sciences, Engineering Science faculty, lecturer

**Author's research interests:** humanitarian sciences, philology

**Telephone and e-mail address:** 8 686 23244, [sonata.paulauskiene@edu.ktk.lt](mailto:sonata.paulauskiene@edu.ktk.lt)

**Author name, surname:** Judita Štreimikienė

**Science degree and name:** Master

**Workplace and position:** Kaunas University Of Applied Engineering Sciences, Engineering Science faculty, lecturer

**Author's research interests:** humanitarian sciences, philology

**Telephone and e-mail address:** 8 618 18803, [judita.streimikiene@edu.ktk.lt](mailto:judita.streimikiene@edu.ktk.lt)

# STATISTICAL ANALYSIS OF STRUCTURAL TYPES OF TERMS OF CONSTRUCTION

Daiva Zavistanavičienė

Kaunas University of Applied Engineering Sciences

## Abstract

A growth and change of globalised world have had an immense impact on the language and term coinage of various fields. Due to these changes, terminologists and translators have little time to match a term with the concept, translate it and fit it into a new terminological system. Term coinage has become a very important issue for specialists of various fields. Term translation and the most appropriate equivalents in English and Lithuanian languages are the most relevant topics that linguists and translators are involved in. The aim of this article is to analyse and compare Lithuanian compound terms of construction and their English equivalents, their differences and similarities with regard to the aspect of term formation and their structure. The research material is taken from 'The Dictionary of Construction', scientific editor Acad. A. Kudzys.

**Key words:** term composition, compound terms, composition models, structural types.

## Introduction

Language is the most important tool of human communication. Nowadays the rapid developments in science and technology have created many professional communication difficulties all over the world. Language precision, clearness and comprehensibility became critical factors in communication. It is well-known that scientific and technical terms have their own specific features [Riley, 2010: 420]. Synonymy, polysemy, and metaphoricity of terms came into the realm of linguistic research. No longer are terms understood as words and word combinations, they are of special purpose and have one single meaning.

**The aim** of the article is the structural classification of compound terms of construction referring to form, and the identification of the most productive structural types.

**The objective** of the paper is to explore the peculiarities of the structure of compound terms of construction in English and Lithuanian and define the most frequently used structural types.

**The methods** of the study are review of the theoretical background and statistical analysis of English and Lithuanian compound terms of construction.

## Literature review

Advancement in science and technology contributes to the need to name new concepts. Thus, a number of terms which '*designate concepts specific to subject fields*' [Dubuc 1997: 38] have to be coined. According to Gaivenis, 'term is not some kind of special word or fixed word combination, but a nominative language unit, the content of which is revealed by definition of terminological meaning. It implies concept having special meaning for some thing of science' [Gaivenis, 2002: 13]. Dubuc [1997] claims that terms are 'the items which are characterized by special reference within a discipline and collectively they form terminology; those which function in general lexicon over a variety of codes we simply call words and their totality - the vocabulary'. However, Keinys [1980: 14] states that 'terms are not some kind of special words, as it is sometimes said and written, but words of certain defined area and meaning'. In accordance with Oxford dictionary, term is 'a word or phrase used to describe a thing or to express a concept, especially in a particular kind of language or branch of study' [<http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/term>] [Accessed on 02 03]. Therefore, terms are words or phrases related to specific field. Also, term can be perceived as a name, expression, or word used for some particular thing, especially in a specialized field of knowledge [<http://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/term>] [Accessed on 02 03]. Routledge Encyclopaedia of Translation Studies [2001: 261] provides with a very precise and long definition of a term: 'Terms differ from words in that they are endowed with a special form of reference, namely that they refer to discrete conceptual entities, properties, activities or relations which constitute the knowledge space of a particular subject field. In order to differentiate between general and special reference in linguistic parlance, a distinction is established between terms which have special reference within a particular discipline, and words which function in general reference over a variety of subject fields'.

Terms are differentiated according to various criteria, including contents, form, functions, etc. Referring to their form, terms are usually divided into simple (one-word) and complex (multi-word) terms. One of the famous Lithuanian researchers Keinys [1980] agrees with the fact that terms should be precise and convenient; syntactically, semantically and morphologically correct as well as they should be harmonized with other terms. In accordance with the afore-mentioned researcher, most of compound terms are two-word combinations, but a small part incorporates several words (more often three). Consequently, compound terms are also classified

into two-word, three-word and multi-word terms.

It is essential to mention that linguistic sources present three term coinage techniques: terminologisation of current words, word composition applying word building techniques (prefixes, suffixes, compounds), and term borrowing [Gaivenis 2002: 53]. Coinage of new terms has to follow certain criteria. It is recommended to use simple or compound terms which are as short as possible. One-word terms are more appropriate to denote related concepts, whereas two-word terms are used to name specific concepts. Accordingly, a syntactic term formation method prevails in modern term systems. In case one-word term is not sufficient to express a complex concept then the concept has to be specified and expanded with more components. Researchers [Gaivenis 2002:17; Salager 1983: 31] claim that current science vocabulary is characterised by compound terms. The structure of compound terms is based on interrelatedness of the main word and the dependent words, also on their place in a term. The modifiers of the main word can be in preposition, postposition of the main word or in the middle of a three-word term [Džežulskienė 2010: 7–21].

As it was mentioned before, scientific and technological progress promotes the necessity to coin new terms in various spheres, including construction. Not only does this field determine the development of production, transport, energy or water management but it evidently enhances the quality and cultural conditions of people's lives. The most contemporary methods of science, technology and machinery, the newest equipment, materials and technologies are employed in construction of modern structures of industry, energy, and transport. It includes a multitude of terms of architecture, physics, mechanics, geotechnics, geodesy, transport, energy, and material science, mechanical and chemical technology as well as terms of planning, organizing, and financing. Recently, the number of terms of construction and the related areas of technics and scientific fields has increased as new terms of building materials, constructions, equipment and technologies were coined. They have been previously researched from the point of view of polysemy and homonymy [Rutkienė, 2018, Stunžinas, 2017], their metaphoricity [Stunžinas, 2006]. However, structural analysis of compound terms has not been widely analysed. Therefore, this is the objective to analyse the peculiarities of compound term coinage.

### Analysis

The research studies Lithuanian three-word compound terms of construction in particular and their English equivalents. The research material is taken from 'The Dictionary of Construction', scientific editor Acad. A. Kudzys. It contains 23, 000 terms in Lithuanian, English, German, French and Russian languages. The nucleus of the term presented in this dictionary is always a one-word term and its compounds are presented below it. The sample of analysis consists of 2471 Lithuanian three-word terms. Comparison of three-word terms of construction revealed the following results:

1. Lithuanian three-word terms are translated into English one-word terms, 106 cases were found, e.g.: *Lith. povandeninis krantų apdaras* / *Eng. apron* (STŽ 26), *Lith. statybinių dažų dažalas* / *Eng. pigment* (STŽ 109), *Lith. parengiamasis matmenų nustatymas* / *Eng. pre-dimensioning* (STŽ 370), *Lith. apatinis pagrindo sluoksnis* / *Eng. subbase* (STŽ 551), *Lith. pamatų sustiprinimas atramomis* / *Eng. underpinning* (STŽ 581), *Lith. matomoji sankryžos zona* / *Eng. splay* (STŽ 720).

2. The study showed that there were 1101 English two-word terms corresponding to Lithuanian three-word terms, e.g.: *Lith. techninė-ekonominė analizė* / *Eng. incremental analysis* (STŽ 21), *Lith. atstumas tarp plyšių* / *Eng. crack spacing* (STŽ 57), *Lith. santykinė skersinė deformacija* / *Eng. lateral strain* (STŽ 112), *Lith. dujų nuotėkio indikatorius* / *Eng. gas detector* (STŽ 194), *Lith. procentinis užstatomasis plotas* / *Eng. building percentage* (STŽ 430), *Lith. avarinės signalizacijos sistema* / *Eng. warning system* (STŽ 517).

3. There were 100 English two-word terms with prepositions found corresponding to Lithuanian three-word terms, e.g.: *Lith. žemės darbų atlikimas* / *Eng. execution of earthwork* (STŽ 50), *Lith. dažymas aliejiniais dažais* / *Eng. painting by oils* (STŽ 109), *Lith. nuostolių atlyginimo garantija* / *Eng. guaranty against loss* (STŽ 161), *Lith. gedimo kartojimosi periodas* / *Eng. time between faults* (STŽ 403), *Lith. alternatyvinės techninės sąlygos* / *Eng. specifications with alternates* (STŽ 490), *Lith. akumuliacinė šildymo sistema* / *Eng. hold-over system* (STŽ 516).

4. The next group into which Lithuanian three-word terms are classified was English three-word terms, 1116 terms were found, e.g. *Lith. oro konvekcijos aušintuvas* / *Eng. air conditioning convector* (STŽ 62), *Lith. hidraulinis grunto gabenimas* / *Eng. hydraulic soil transportation* (STŽ 156), *Lith. grybiškosios perdangos kontrolė* / *Eng. mushroom-head control* (STŽ 269), *Lith. kietų nešmenų modulis* / *Eng. specific solid discharge* (STŽ 344), *Lith. varžto įtempiamoji poveržlė* / *Eng. load indicating washer* (STŽ 441), *Lith. statiškai išsprendžiamas rėmas* / *Eng. statically determinate frame* (STŽ 475).

5. 145 English three-word terms with a preposition were identified among Lithuanian three-word terms, e.g.: *Lith. laisvųjų virpesių amplitudė* / *Eng. amplitude of free oscillations* (STŽ 19), *Lith. stačių plytų*

*eilė* / Eng. *laid-on-edge course* (STŽ 137), *Lith. plastinės zonos įtempis* / Eng. *stress in the plastic range* (STŽ 217), *Lith. gniuždomojo tamprumo modulis* / Eng. *modulus of elasticity in compression* (STŽ 344), *Lith. pamatų sėdimo įvertinimas* / Eng. *assessment of settling of foundations* (STŽ 220), *Lith. įlinkio kreivės spindulys* / Eng. *radius of curvature of deflection* (STŽ 560).

6. One more group that Lithuanian three-word terms are classified into was English multi-word terms, this group consists of 148 English multi-word terms, e.g.: *Lith. leistinoji kavitacinė atsarga* / Eng. *net positive suction head* (STŽ 53), *Lith. lengvasis konstrukcinis betonas* / Eng. *light-weight structural concrete* (STŽ 75), *Lith. šaltojo asfaltbetonio dangą* / Eng. *cold-laid asphalt surfacing* (STŽ 100), *Lith. asfaltbetonio mišinio įrenginys* / Eng. *asphalt concrete mixing plant* (STŽ 202), *Lith. lietaus vandens išleistuvas* / Eng. *storm water outlet works* (STŽ 209), *Lith. aukštybinis prieduriamasis kranas* / Eng. *high tied static crane* (STŽ 284).

7. The last group of terms the research identified was English multi-word terms with prepositions, 35 cases were found. For instance, *Lith. išorinių jėgų darbas* / Eng. *work done by external forces* (STŽ 105), *Lith. lenkimo momentų gaubtinė* / Eng. *envelope of maximum bending moments* (STŽ 163), *Lith. grunto laikomoji geba* / Eng. *load-supporting ability of ground* (STŽ 164), *Lith. gniuždomojo tamprumo modulis* / Eng. *modulus of elasticity in compression* (STŽ 344), *Lith. efektyviai apšiltintas pastatas* / Eng. *building of high insulation standard* (STŽ 390), *Lith. drėgmės srauto tankis* / Eng. *density of moisture flow rate* (STŽ 626).

In conformity with the performed structural analysis, it is obvious that Lithuanian three-word terms correspond to English three-word and English two-word terms, i.e. 1101 two-word terms and 1116 three-word terms. The other equivalents are not so abundant and form a lesser part of the translations.

Structural types of compound terms of construction were determined with regard to certain criteria. One of them is the interrelation between the components of the main and dependent words and their arrangement in the group. Defining the expression of the terms of construction the following symbols are referred to: **N** – Noun, **Adj** – adjective, **Adv** – adverb, **Conj** – conjunction [Džežulskienė 2010: 7–21]. According to Džežulskienė, another factor is the nature and place of the nucleus and modifiers. Modifiers can be located in preposition (before the main word), postposition (after the main word) or they are arranged in both preposition and postposition (the main word occurs in the middle of a three-word combination) [Džežulskienė 2010: 7–21].

Having analysed English two-word, three-word and multi-word terms of construction, the following structural models as the most productive were determined among English two-word terms (1101):

1. **Adj + N (38%)**, e.g.: *alternating load* (STŽ 31), *attracting groyne* (STŽ 99), *main runner* (STŽ 191), *aerostatic force* (STŽ 223), *acoustical fiberboard* (STŽ 243), *bearing part* (STŽ 186).

2. **N + N (55%)**, e.g.: *corrosion test* (STŽ 66), *rubble groyne* (STŽ 99), *pillar drain* (STŽ 127), *sun effect* (STŽ 164), *block floor* (STŽ 178), *utility core* (STŽ 85).

3. **N + prep + N (10%)**, e.g.: *modulus of resistance* (STŽ 105), *velocity of groundwater* (STŽ 174), *yield of concrete* (STŽ 203), *constituent of concrete* (STŽ 272), *build-up membrane* (STŽ 382), *ply of laminate* (STŽ 552).

The following structural types were the most frequent among English three-word terms (1116):

1. **N + N + N (31%)**, e.g.: *strain-energy equation* (STŽ 312), *rock-product industry* (STŽ 444), *gypsum-alumina cement* (STŽ 90), *bed-load trap* (STŽ 163), *stream center line* (STŽ 314), *gas-arc cutting* (STŽ 411).

2. **Adj + N + N (34%)**, e.g.: *protective concrete coating* (STŽ 100), *full-face tunneling* (STŽ 244), *mean square deviation* (STŽ 362), *adjusted net fill* (STŽ 491), *differential pressure controller* (STŽ 470), *electric heating system* (STŽ 521).

3. **N + Adj + N (11%)**, e.g.: *fire retardant material* (STŽ 333), *plant-mixed concrete* (STŽ 342), *boiler evaporating surface* (STŽ 397), *moisture resistant paper* (STŽ 436), *heat-resistant steel* (STŽ 420), *jackknife drilling mast* (STŽ 578).

4. **3-word with preposition (12%)**, e.g.: *maximum size of aggregate* (STŽ 326), *statical moment of area* (STŽ 346), *elimination of collapse hazard* (STŽ 393), *increase of living area* (STŽ 445), *variation of price contract* (STŽ 495), *quality size for water* (STŽ 570).

5. **Adj + Adj + N (8%)**, e.g.: *horizontal pivoting window* (STŽ 302), *new residential district* (STŽ 466), *mechanical refrigerating system* (STŽ 519), *vibrating circular pipeline* (STŽ 688), *domestic hot water* (STŽ 694), *hot-rolled wire* (STŽ 709).

6. **Adv + Adj/N + N (2%)**, e.g.: *doubly reinforced concrete* (STŽ 166), *centrically compression column* (STŽ 268), *statically determinate truss* (STŽ 500), *statically indeterminate beam* (STŽ 514), *centrically loaded bar* (STŽ 588), *continuously graded aggregate* (STŽ 677).

The most productive structural types of English multi-word terms (148) are as follow:

1. **N + N + N + N (18%)**, e.g.: *belt-type concrete placer* (STŽ 261), *spray-type air cooler* (STŽ 62), *light-gauge steel framework* (STŽ 242), *steel-crossing construction joint* (STŽ 413), *storey-height wall panel* (STŽ 427), *sewage water treatment plant* (STŽ 587).

2. **N + Adj + N + N (10%)**, e.g.: *ball joined rocker bearing* (STŽ 52), *water-filled steel framework* (STŽ 242), *year-round air conditioning* (STŽ 273), *alkali-resistant glass fiber* (STŽ 431), *membrane-forming type bond breaker* (STŽ 420), *gas-control automatic variator* (STŽ 469).

3. **Adj + Adj + N + N (8%)**, e.g.: *forced hot water system* (STŽ 518), *read-mixed concrete plant* (STŽ 160), *self-cleaning air filter* (STŽ 151), *cold-laid asphalt surfacing* (STŽ 100), *net positive suction head* (STŽ 60), *direct hot water system* (STŽ 520).

4. **Adj + N + N + N (20%)**, e.g.: *horizontal-axis wind turbine* (STŽ 665), *single-leaf bascule bridge* (STŽ 647), *prefabricated window-wall unit* (STŽ 427), *lower-chord panel point* (STŽ 328), *double post roof truss* (STŽ 499), *open-web steel joist* (STŽ 191).

5. **Multi-word with conj AND (11%)**, e.g.: *shell and coil condenser* (STŽ 273), *shaft-and-tunnel spillway* (STŽ 369), *fin-and-tube radiator* (STŽ 466), *forming-and-reinforcing system* (STŽ 589), *tongue and groove joint* (STŽ 595), *spring-and-ball valve* (STŽ 718).

6. **Multi-word with PREPOSITIONS (24%)**, e.g.: *conformity with the design dimensions* (STŽ 49), *envelope of maximum bending moments* (STŽ 163), *method of non-destructive testing* (STŽ 337), *modulus of elasticity in compression* (STŽ 344), *volume ratio of mix ingredients* (STŽ 498), *air-to-water heat exchanger* (STŽ 613).

There were other structural types found but they did not have a significant impact on the research.

## Conclusion

The process of globalisation and the development of science, technology and equipment in the area of construction were the basic factors influencing the occurrence of new terms. They have to be coined according to certain criteria, i.e. the new terms should be short, comprehensible and accurate. The study revealed that Lithuanian three-word terms mostly correspond to English three-word and two-word terms. The other groups of the classification are not so numerous.

The most productive structural type among English two-word terms is N + N whereas Adj + N + N is the most frequent among English three-word terms. The majority of English multi-word terms are composed of Adj + N + N + N and multi-words with prepositions.

**Source.** *Statybos terminų žodynas* (Dictionary of Construction), Vilnius, Lietuvos mokslas, 2003, 877p.

## References

1. Collins Dictionary.com, available at: <http://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/term> [Accessed: March, 2019].
2. Dubuc, R., 1997. Terminology: A Practical Approach, adapted by Elaine Kennedy. Quebec: Linguatex.
3. Džežulskienė, J., 2010. Prepozicinė ir postpozicinė modifikacija: trižodžių angliškų ir lietuviškų terminų gretinamoji analizė. Kalbotyra.
4. Gaivenis, K., 2002. Lietuvių terminologija: teorijos ir tvarkybos metmenys. Vilnius.
5. Keinys, S., 1980. Terminologijos abėcėlė. Vilnius. Mokslas.
6. Oxford Dictionaries: English Dictionary, Thesaurus, & Grammar help, available at: <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/term> [Accessed: March, 2019].
7. Riley, R., 2010. Machine translation and global English, in M. Baker (Ed.). Critical readings in translation studies. Routledge.
8. Routledge Encyclopaedia of Translation Studies, 2001. London.
9. Rutkienė, L., 2018. Statybos terminijos dūrinių klasifikacija pagal sintaksinius-semantinius sandų santykius. Terminologija (24). Lietuvių kalbos institutas.
10. Salager, F., 1983. Compound nominal phrases in scientific-technical literature – proportion and rationale. Reading for Professional Purposes: Studies and Practices in Native and Foreign Languages. A. J. Pugh & J. M. Ulijn (eds.). London: Heinemann.
11. Stundžinas, R., 2006. Lietuviški metaforiniai statybos terminai. In Terminologija (13). Vilnius: Lietuvių kalbos institutas.
12. Stunžinas, R., 2017. Daugiarikiškiai ir homoniminiai statybos liaudies terminai. In Terminologija (16). Vilnius: Lietuvių kalbos institutas.

## STATYBOS TERMINŲ STRUKTŪRINIŲ TIPŲ STATISTINĖ ANALIZĖ

### Santrauka

Globalizacijos plėtra ir kaita turi ypač didelę įtaką kalbai ir įvairių sričių terminų kūrimui. Dėl šių pokyčių terminologai ir vertėjai nespėja sukurti terminų naujoms sąvokoms įvardinti, jų išversti ir pritaikyti naujai terminologijos sistemai. Terminų kūrimas, jo išraiška, supratimas, ir suvienodinimas tapo itin svarbiais iššūkiais įvairių sričių specialistams. Terminų vertimas ir tiksliausių atitikmenų pritaikymas anglų ir lietuvių kalbose yra vienos iš aktualiausių temų, kurias tiria ir analizuoja lingvistai bei vertėjai. Šio straipsnio tikslas yra išanalizuoti ir palyginti lietuviškus sudėtinius statybos terminus ir jų atitikmenis anglų kalboje, jų skirtybes ir bendrybes, atsižvelgiant į terminų darybos ir struktūros aspektus. Tyriamoji medžiaga rinkta iš „Statybos terminų žodyno“, moksl. redaktorius akad. A. Kudzyš.

Tyrimo rezultatai parodė, kad trižodžiai lietuvių kalbos terminai dažniausiai verčiami į anglų kalbą trižodžiais ir dvižodžiais terminais. Tyrime buvo nustatyta, kad vyraujantys anglų kalbos dvižodžių terminų struktūriniai tipai yra daiktavardis + daiktavardis, trižodžių terminų - būdvardis + daiktavardis + daiktavardis, o daugiažodžių terminų - būdvardis + daiktavardis + daiktavardis ir daugiažodis terminas su prielinksniais.

#### **AUTORĖS LYDRAŠTIS**

**Autoriaus vardas, pavardė:** Daiva Zavistanavičienė

**Mokslo laisnis ir vardas:** Magistrė, lektorė

**Darbo vieta ir pozicija:** Kauno technikos kolegijos Inžinerijos mokslų fakulteto, Statybos inžinerijos krypties kelių inžinerijos programos lektorė; Kauno technologijos universitetas, Socialinių, humanitarinių mokslų ir menų fakulteto lektorė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** vertimas, kalbų dėstymo metodikos, ELT, ESP.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 607 80971, [daiva\\_birute.zavistanaviciene@edu.ktk.lt](mailto:daiva_birute.zavistanaviciene@edu.ktk.lt)

#### **A COVER LETTER OF THE AUTHOR**

**Author name, surname:** Daiva Zavistanavičienė

**Science degree and name:** Master Degree, lecturer

**Workplace and position:** Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Civil Engineering Field, Road Study programme, lecturer; Kaunas University of Technology, Faculty of Social Sciences, Arts and Humanities, lecturer.

**Author's research interests:** science of education, ELT, ESP, translation.

**Telephone and e-mail address:** 8 607 80971, [daiva\\_birute.zavistanaviciene@edu.ktk.lt](mailto:daiva_birute.zavistanaviciene@edu.ktk.lt)

# AKADEMINIS SĄŽININGUMAS AUKŠTOJOJE MOKYKLOJE: KAUNO TECHNIKOS KOLEGIJOS ATVEJO ANALIZĖ

Kęstutis Vitkauskas, Jolita Bučelienė  
*Kauno technikos kolegija*

## Anotacija.

Šiame straipsnyje analizuojama akademinio sąžiningumo samprata, nuobaudų už akademinės etikos pažeidimus sistema, įtvirtinta nacionaliniuose teisės aktuose ir Kauno technikos kolegijoje, taip pat nuobaudų sistemos santykis su akademinio (ne)sąžiningumo apimtimi.

Straipsnyje, remiantis sociologinės apklausos duomenimis, nagrinėjamas akademinio sąžiningumo principo taikymas aukštojoje mokykloje, analizuojamas nuobaudų sistemos atitikimas bendruomenės poreikiams ir įgyvendinimui. Tyrimo daroma išvada, kad dabartiniu metu akademinio sąžiningumo principas Kolegijos dar nėra pilnai įgyvendintas, todėl mokymo įstaigoje pasitaiko šio principo pažeidimų, slėpimo atvejų.

Straipsnyje pateikiami pasiūlymai kaip gerinti akademinio sąžiningumo principo įgyvendinimą Kolegijoje.

**Reikšminiai žodžiai:** akademinis sąžiningumas, akademinis sąžiningumo principas, akademinė bendruomenė.

**Key words:** principle of academic honesty, academic community, university.

## Įvadas

Visuotinai pripažįstama, kad sąžiningumas akademinėje bendruomenėje turėtų būti pamatinė visų narių vertybė, vienaip ar kitaip įtvirtinta pagrindiniuose mokymo įstaigų dokumentuose, formuojančiuose jų politiką ir procedūras, gebančias užtikrinti, kad būtų išnagrinėti visi akademinio nesąžiningumo ir plagijavimo atvejai ir taip užtikrinama aukštosios mokyklos veiklos kokybė.

Gretindami ir vertindami Lietuvos aukštųjų mokyklų (universitetų, kolegijų) akademinę etiką reglamentuojančius dokumentus ir užsienio mokymo įstaigų etinių dokumentų nuostatas bei deklaruojamus strateginius tikslus (misijas), matome jog iš esmės jie sutampa: normatyvines nuostatas Lietuvos aukštosios mokyklos visiškai perėmė. Tačiau tyrinėjami vertybinių nuostatų įgyvendinimo Lietuvos aukštosiose mokyklose praktiką, galime pastebėti akademinio sąžiningumo principo realizavimo ir akademinės bendruomenės narių vertybinių nuostatų atsilikimą. Pavyzdžiui, 2015 metais Lietuvos aukštosiose mokyklose buvo nustatyta 218 akademinės etikos pažeidimų [12]. Apklausoje apie studentų nesąžiningumą Lietuvoje tik apie ketvirtadalis studentų teigia, kad akademinis nesąžiningumas jų aplinkoje visai nepaplitęs. Lietuvos studentų sąjungos 2017 m. atlikto tyrimo duomenimis „du iš penkių studentų teigia, kad jų fakultete paplitęs ar greičiau paplitęs nesavarankiškas individualios užduoties atlikimas“ [17]. Po rezonansinių įvykių, susijusių su akademinės etikos pažeidimais, kuriais buvo kaltinamas vieno universiteto rektorius, Lietuvos akademinėje bendruomenėje pagausėjo diskusijų apie akademinės etikos sampratą, jos principų (sąžiningumo, lojalumo ir kitų) interpretavimą bei sankcijų už šiuos pažeidimus paskirtį. Akademinio sąžiningumo problemas Lietuvoje nagrinėjo N. Vasiljevienė, Johanas Baltrimas, R. Bikulčiūtė [19;3;4] ir kiti autoriai, kurie tyrė akademinio sąžiningumo vertybinius aspektus, teisinio reguliavimo ypatumus bei akademinio sąžiningumo principo įgyvendinimą lygino su užsienio šalių aukštųjų mokyklų praktika. Tačiau jų darbuose nebuvo analizuojama vienos aukštosios mokyklos praktika, remiantis sociologinės apklausos rezultatais.

**Tyrimo tikslas** – remiantis teisės aktų, reglamentuojančių akademinės etikos taikymą aukštojo mokslo įstaigose analize bei sociologinės apklausos duomenimis, įvertinti akademinio sąžiningumo principo įgyvendinimą konkrečioje aukštojoje mokykloje. Tikslui pasiekti keliami uždaviniai:

- 1) atskleisti akademinio sąžiningumo principo apibrėžimą nacionaliniuose teisės aktuose ir vidiniuose mokymo įstaigos dokumentuose;
- 2) aptarti nuobaudų už akademinio sąžiningumo pažeidimą sistemą ir reglamentavimą vidiniuose mokymo įstaigos dokumentuose;
- 3) išanalizuoti akademinio sąžiningumo principo taikymą Kauno technikos kolegijoje (toliau – Kolegija) ir pateikti siūlymus jo įgyvendinimo gerinimui.

**Tyrimo naudojami metodai ir priemonės:** mokslinės literatūros, teisės aktų analizė bei Kolegijos akademinės bendruomenės sociologinės apklausos rezultatai. Kolegijos dėstytojams ir studentams pateikta autorių standartizuota anketa, kuri buvo patalpinta tinklalapyje [www.apklausa.lt](http://www.apklausa.lt). Respondentų atsakymų duomenys apdoroti MS Excel 2016 programa. Grįžtamas ryšys dėstytojų 80 proc. visų dirbančių Kolegijoje, studentų - 16 proc. visų Kolegijos studentų.

### **Akademinių sąžiningumo principo apibrėžimas teisės aktuose**

Akademinių sąžiningumas yra vienas iš svarbiausių akademinių etikos principų, sąlygojančių mokymo įstaigos kultūros lygį. Nors principo turinys gali kisti priklausomai nuo konkrečios akademinių bendruomenės požiūrio į jį, tačiau dažniausiai šis principas siejamas su reikalavimu sąžiningai vykdyti akademinę veiklą, laikantis numatytų bendrųjų etikos ir moralės standartų (užkirsti kelią sukčiavimui, plagijavimui ir pan.). Bendriausia prasme akademinių sąžiningumą galima apibrėžti kaip principingumą ir teisingumą, garbingumą atliekant aukštosios mokyklos nustatytas akademines užduotis. Akademinių sąžiningumas remiasi dviem pamatinėmis vertybėmis – pagarba mokslinei tiesai ir etikai bei siekiu atskleisti savo meistriškumą [1]. Šis principo vertybinis aspektas turi būti aktualus visiems akademinių bendruomenės nariams, tad kiekvienos aukštosios mokyklos akademinių etikos politika turi apimti visas akademinių bendruomenės grupes.

Tiesiogiai akademinių sąžiningumo principo sąvoka teisės aktuose nėra apibrėžta, todėl ji išvedama iš įvairių etinių santykių reglamentuojančių dokumentų. Atskiri akademinių sąžiningumo principai yra išdėstyti Europos Komisijos 2005 m. kovo 11 d. rekomendacijoje „*Dėl Europos mokslininkų chartijos ir dėl Mokslininkų priėmimo į darbą elgesio kodekso*“, kurioje įtvirtintas bet kokios rūšies plagijavimo vykdant mokslinius tyrimus draudimas bei reikalavimas laikytis intelektualinės nuosavybės principo [7].

Mokslą ir studijas nacionaliniu lygmeniu reglamentuojančiame *Lietuvos Respublikos mokslo ir studijų įstatyme* įtvirtinti akademinių etikos, sąžiningos konkurencijos, mokslinių tyrimų rezultatų viešumo, įsipareigojimo ugdyti akademinių bendruomenės narių visuomeninį atsakingumą ir kiti mokslo ir studijų kokybės užtikrinimo principai [14]. Įstatyme numatyta, kad akademinė bendruomenė naudojasi akademinėmis laisvėmis ir vadovaujasi Akademinių etikos kodeksu, kurį, atsižvelgdamos į akademinių etikos ir procedūrų kontrolieriaus rekomendacijas, parengia ir tvirtina mokslo bei studijų institucijos (60 str.4 d.). Nors akademinių sąžiningumo principo turinys įstatyme nedetalizuojamas, tačiau yra numatyti atsakingi už principo laikymąsi subjektai – akademinių etikos ir procedūrų kontrolierius bei pačios mokslo ir studijų institucijos, tai darydami jie turi vadovautis Akademinių etikos kodeksu.

*Mokslo ir studijų institucijų akademinių etikos kodeksų priėmimo, įgyvendinimo ir priežiūros rekomendacijose* (toliau – *Rekomendacijos*) [2], patvirtintose Lietuvos akademinių etikos ir procedūrų kontrolieriaus, pateiktas akademinių etikos sąvokos apibrėžimas<sup>1</sup>. Šiame dokumente akademinė etika skirstoma į bendrąsias normas, pedagoginės veiklos etiką, mokslinės veiklos etiką bei studentų ir klausytojų etiką. Bendrosios etikos normos įtvirtina pamatinius – sąžiningumo, geranoriškumo, nešališkumo ir kt. - principus, įpareigoja vengti interesų konflikto, pranešti apie galimą su korupcija susijusius atvejus. Pedagoginės - apima dėstytojo santykį su studentais ir daugiausia orientuotos į tinkamą studento žinių vertinimą. Studentams skirtose etikos normose keliama įsipareigojimai veikti sąžiningai žinių vertinimo metu: nenusirašinėti, neteikti svetimų rašto darbų kaip savo, nesinaudoti kitų asmenų darbu ar jų rezultatais atsiskaitymo metu, pakartotinai neteikti to paties rašto darbo atsiskaitant už kelis kursus ir pan. [3] Pastebėtina, kad visos Lietuvos aukštosios mokyklos, nustatydamos etinių santykių teisinį reglamentavimą vidiniuose dokumentuose, laikosi Rekomendacijose siūlomos pavyzdinės akademinių etikos norminimo struktūros, kas formaliojo požiūriu Lietuvos aukštojo mokslo sistemos norminę akademinę etikos tvarką daro panašią. Skirtumai išryškėja šių normų turiniuose ir atsakomybės už jų pažeidimą formose.

Vakarų teisės doktrinoje etika priskiriama ne teisės, bet filosofijos mokslo sričiai, todėl įstatymų leidėjas paprastai įtvirtina tik bendruosius akademinių etikos principus, o aukštosios mokyklos pačios apibrėžia etikos normų turinį ir nustato atsakomybės taikymo rūšis. Vidiniuose teisės aktuose akademinių sąžiningumo principas paprastai atskleidžiamas pateikiant nesąžiningomis laikomų veikų sąrašą. Dažniausiai išskiriami tokie akademinių nesąžiningumo komponentai: pažodinis plagiatas, mozaikinis plagiatas, netinkamas perfrazavimas, kito asmens parengto darbo pristatymas, autoplgiatas, sukčiavimas, netinkamas bendradarbiavimas, konsultuojančio asmens nenurodymas, klastojimas, neleistinas padėjimas, konfidencialios informacijos atskleidimas ir kt. [6] Tokia situacija dažnai sąlygoja akademinių etikos principo sampratos bei turinio apibrėžimo problemą, nes ne visada aišku, kokios konkrečiai veikos laikytinos šio principo pažeidimu, kokias skirti nuobaudas už atskirus nusižengimus, kokia turi būti palikta etikos komisijai ar dėstytojui diskrecija interpretuoti nustatytą reguliavimą vadovaujantis vidiniais įsitikinimais ir kt.

<sup>1</sup> **akademinė etika** - visuotinai akademinių bendruomenės pripažintos ir įtvirtintos mokslo ir studijų institucijų etikos kodeksuose akademinių vertybės, užtikrinančios mokslo ir studijų proceso skaidrumą, akademinių bendruomenės narių akademinių sąžiningumą, tarpusavio pasitikėjimą, pagarbą, lygybę, teisingumą, nediskriminavimą, atsakingumą, tausų išteklių vartojimą, akademinę laisvę, mokslo ir studijų darbų vertinimo nešališkumą ir intelektualinės nuosavybės apsaugą (3.2 punktas).

### Akademiniis sąžiningumas aukštųjų mokyklų dokumentuose

Kalbant apie akademinio sąžiningumo politikos įgyvendinimą atskirose aukštosiose mokyklose, pirmiausiai reikėtų atkreipti dėmesį į jų statutuose ar kituose pagrindiniuose dokumentuose deklaruojamą veiklos kryptį, prioritetinius tikslus bei vertybinę sistemą, kurie turėtų tapti akademinio sąžiningumo principo apibrėžimo ir jo taikymo metodologiniu atskaitos tašku įstaigoje. Pastebėtina, kad Lietuvos aukštosiose mokyklose, skirtingai nei užsienio, nėra vieningos praktikos akademinio sąžiningumo principą įtvirtinti pagrindiniuose įstaigų dokumentuose - statutuose. Pavyzdžiui, Vilniaus universiteto statute, kaip vienas iš tikslų, numatyta – puoselėti tradicines akademines vertybes, mokslo, meno, dėstyto, mokslo [...] ir kitose srityse, universiteto veiklą grįsti nešališkumo, sąžiningumo, tarptautinio bendruomeniškumo ir kitais visuotinai pripažintais garbingos ir etiškos akademinės ir su ja susijusios veiklos principais [20]. Tuo tarpu Vytauto Didžiojo universiteto statute, atskirai neįvardijant akademinio sąžiningumo principo, viename iš strateginių tikslų numatyta: „sudaryti sąlygas asmeniui įgyti studijų, mokslo, meno ir humanistinės kultūros vienove bei *artes liberales* principu grindžiamą aukštąjį universitetinį išsilavinimą“ [22]. *Kauno technikos kolegijos statute* akademinio sąžiningumo principas, kaip viena iš pagrindinių įstaigos veiklos vertybių, taip pat neišskiriamas. Statute deklaruojama, kad įgyvendinama savo veiklos tikslus - vykdyti studijas, teikiančias asmenims aukštąjį koleginių išsilavinimą ir aukštojo mokslo kvalifikaciją bei plėtoti regionui reikalingus taikomuosius mokslinius tyrimus - Kolegija vadovaujasi Mokslo ir studijų įstatyme nustatytais principais (12,15 punktai) [8]. Manytina, kad akademinio sąžiningumo principo, kaip vykdomų veiklų metodologinio pagrindo, įtraukimas į statutą leistų akademinėi bendruomenei aiškiai suvokti įstaigos politikos vertybinę paskirtį.

Vienas plačiausiai naudojamų būdų įgyvendinti statutuose įtvirtintus principus ir plėtoti akademinę kultūrą aukštosiose mokyklose yra akademinės etikos kodekso (toliau – Etikos kodeksas) priėmimas ir jo normų realizavimas. Mokslininkų nuomone, kodekso reikšmė apibūdinama šiais aspektais: pirma, kodekse apibrėžiamas įstaigai aktualus etinių vertybių turinys, sudarantis prielaidas formuoti akademinės bendruomenės etinius standartus, antra, efektyvus jo normų taikymas gali tapti pagrindine akademinio nesąžiningumo prevencijos priemone [4]. Šiame kontekste tikslinga trumpai apžvelgti aukštosios mokyklos etinių nuostatų reglamentavimą.

Akademinio sąžiningumo sąvoka Kolegijos *Etikos kodekse* tiesiogiai neįvardyta, tačiau praktiškai šio principo prasmė atskleidžiama per kodekso 3.3 punkte apibrėžtą akademinės etikos turinį, kuriame akademinė etika siejama su vertybėmis, užtikrinančiomis mokslo ir studijų skaidrumą, akademinį sąžiningumą, tarpusavio pasitikėjimą ir kt. Taip pat principo turinys netiesiogiai atskleidžiamas aprašant su juo siejamas veiklas pedagoginėje, mokslinėje ir studijų srityse [9].

*Etikos kodekse* įtvirtinti bendrojo pobūdžio įpareigojimai visiems akademinės bendruomenės nariams, atsižvelgiant į Kolegijos interesus (misiją ir tikslus) laikytis akademinio sąžiningumo ir aktyviai skleisti jo principus įvairiose kolegijos veiklose (6 punktas). Šiame punkte nurodyti ir su sąžiningumo principu siejami pageidaujami bendruomenės narių *aktyvūs* veiksmai (teisės laikymasis). Tuo tarpu *Etikos kodekso* 7 punkte išvardytos Kolegijoje netoleruojamos akademiniam nesąžiningumui priskirtos veiklos:

- *vertinimas, pagrįstas asmeniniu ar ideologiniu santykiu, o ne pateikto darbo kokybe ir pretendento profesinėmis savybėmis; nesąžininga profesinė konkurencija tarp kolegų, konfliktų bei intrigų eskalavimas; dalyvavimas neteisėtuose, negarbinguose sandoriuose; visiems skirtos informacijos nuslėpimas; plagijavimas (saviplagijavimas), papirkinėjimas, sukčiavimas, darbų pirkimas ir pardavimas, kitų autorių darbų pateikimas kaip savo, svetimo darbo pateikimas be autoriaus sutikimo, nepagrįsta bendraautorystė, nusirašinėjimas egzaminų metu ir kitas nesąžiningas elgesys; korupcija ar korupcijos toleravimas, apimantis, bet neapsiribojantis tik kyšininkavimu, papirkinėjimu ar kitokiu atlygiu už suklastotus mokslo ar studijų rezultatus.*

Mokslinėje veikloje su akademinio sąžiningumu nesuderinamos laikomos tokios dėstytojų ir studentų veikos: padirbinėjimas, klastojimas arba manipuliavimas; nurodytas nesamas šaltinis ar klaidingas jo puslapis, tinklalapio lankymo data arba kitas šaltinio aprašo duomuo; tyrimo išvadų nutylėjimas ar iškraipymas; neteisingas bendraautorystės nurodymas, primetimas studentams, kolegoms, pavaldiniams ar vadovams ir kt. (19 punktas).

Kolegijoje iš dėstytojų reikalaujama studentų teorines žinias ir praktinius įgūdžius vertinti teisingai, objektyviai ir sąžiningai (16 punktas), principingai reaguoti ir pranešti etikos komitetui apie studentų akademinio nesąžiningumo atvejus (16.1 punktas), mažinti akademinio nesąžiningumo galimybes atsiskaitymų metu (16.2 punktas).

Kolegijos studentai studijų metu įpareigoti laikytis akademinio sąžiningumo bei sąžiningos konkurencijos principais (21 punktas). Šiame punkte pateiktas veikų, laikomų prieštaraujančių minėtiems principams, sąrašas:

- nusirašinėjimas arba leidimas kitam nusirašyti; nepranešimas apie pastebėtus kitų akademinės bendruomenės narių akademinio nesąžiningumo atvejus; pasakinėjimas, paruoštųjų naudojimas, elektroninių ar virtualiojo ryšio priemonių, kitų technologijų naudojimas, siekiant nepelnyto vertinimo rezultato, egzaminatoriaus nurodymų dėl vertinimo tvarkos nepaisymas; naudojimas kitų studijuojančiųjų darbais arba jų rezultatais; plagijavimas, t. y. svetimo darbo pateikimas kaip savo; to paties darbo pateikimas atsiskaitant už kelis kursus ar dalykus; atsiskaitymas už kitą asmenį; studijų darbų įvertinimo ištaisyimas, skirtų užduočių (savarankiškų darbų, tarpinių atsiskaitymų) rezultatų padirbimas; neteisėto atlygio už akademines ir kitas paslaugas siūlymas tiesiogiai ar per kitus asmenis; pagalbos kitiems asmenims, pažeidžiantiems akademinį nesąžiningumą teikimas.

Apibendrinant vertinant Etikos kodekse įtvirtintas etines nuostatas, galima sakyti, kad Kolegijoje visiems akademinės bendruomenės nariams nustatytos dvejopo pobūdžio vertybinės prievolės: patiems laikytis etikos kodekso nuostatų ir pranešti apie pastebėtus etikos normų pažeidimus. Vertybine prasme šios prievolės traktuojamos kaip lygiavertės, todėl atitinkamai turėtų būti suvokiamas ir atsakomybės už jų nesilaikymą taikymas.

Etikos kodekse įtvirtintas pamatinės etines vertybes ir principus konkretizuoja ir realizuoti padeda kiti Kolegijos teisės aktai: *Kauno technikos kolegijos studijų reglamentas* (toliau – Studijų reglamentas), *Baigiamojo darbo rengimo, gynimo ir vertinimo tvarkos aprašas* (toliau – Aprašas), *Studijų sutartis*. Etikos normų veiksmingumo požiūriu svarbu, kad šių dokumentų nuostatos derėtų tarpusavyje ir neprieštarautų Etikos kodekse įtvirtintoms sąvokoms. Tačiau Etikos kodekso ir Studijų reglamento normų palyginimas atskleidė kai kuriuos etinio pobūdžio santykių reglamentavimo skirtumus, kurių nepašalinus, gali kilti problemų įgyvendinant kai kurias šių dokumentų normas.

Pirmiausiai, Etikos kodekse (3.3 punktas) ir Studijų reglamente (2.3 punktas) apibrėžtos akademinės etikos formuluotės skiriasi. Reglamente etikos turinį sudarančios vertybės nesiejamos su akademinio sąžiningumo principo užtikrinimu institucijoje (akcentuojamas ne akademinis sąžiningumas, bet studijų proceso sąžiningumas). Atsižvelgiant į teisės aktų rengimo rekomendacijas, kad viename teisės akte apibrėžta sąvoka neturi būti apibrėžiama kituose teisės aktuose (nebent specialiajame dokumente pateikta sąvokos apibrėžtis yra būdinga tik tam tikrai santykių sričiai), siūlytina panaikinti Studijų reglamento 2.3 punktą ir vadovautis Etikos kodekse pateikta sąvoka.

Nagrinėjamos temos kontekste reikšminga, jog Studijų reglamento nustatytame studentų teisių ir pareigų sąrašą nėra reikalavimo laikytis akademinio sąžiningumo principo: studentai įpareigoti laikytis akademinės drausmės (107.3 p.) bei bendrųjų moralės ir etikos normų (107.11 p.), nors Kolegijos dokumentuose šios sąvokos nėra apibrėžtos. Kita vertus, Studijų reglamente numatytos studentams nuobaudos už akademinio sąžiningumo pažeidimą. Atsižvelgiant į tai, siūlytina Reglamente 2.3 punkte vietoje akademinės etikos sampratos apibrėžti akademinio sąžiningumo principo sąvoką.

Tam tikrų abejonių kelia Studijų reglamento 107 ir 109 punktų loginis ryšys. Dokumento 107 punkte nustatyti reikalavimai, ką studentai *privalo* daryti, o 109 punkte – ką studentai *įsipareigoja* daryti. Lingvistiniu požiūriu sąvokos „privalo“ ir „įsipareigoja“ turi skirtingas prasmes, tačiau praktiškai abiejuose punktuose išdėstytos identiškos nuostatos (taigi, pagal 107 punktą studentą Reglamentas įpareigoja laikytis tam tikrų taisyklių, o pagal 109 punktą – tų pačių normų jis įsipareigoja laikytis pats). Jeigu tai ne techninė klaida, lieka neaišku, kokio tikslo rašydami minėtus punktus siekė dokumento rengėjai. Tikslinga būtų, įvertinus minėtų punktų paskirtį ir tarpusavio ryšį, atlikti atitinkamus redakcinio pobūdžio pakeitimus.

Vertinant Kolegijos akademinį sąžiningumą reglamentuojančius dokumentus bei strategines institucijos gaires, galima teigti, kad etinės normatyvinės nuostatos Kolegijoje įtvirtintos tinkamai ir jos atitinka formalius šios srities tiesinio reglamentavimo reikalavimus. Šio principo samprata aukštosios mokyklos dokumentuose atskleidžiama plačiai, principo turinio komponentus siejant ne tik su įprastai jam priskiriamomis veiklomis, bet ir su kitais neetiško elgesio reiškiniais: informacijos slėpimu, negarbingų sandorių sudarymu, korupcija ir kt. Greta to, pažymėtina, jog Kolegijos statute akademinis sąžiningumas, kaip vykdomos akademinės veiklos metodologinis pagrindas, neišskiriamas. Atsižvelgiant į tai, rekomenduotina šį principą įtvirtinti ne tik Etikos kodekse, bet ir kituose svarbiausiuose institucijos politiką formuojančiuose teisės aktuose.

### **Nuobaudų už akademinio sąžiningumo pažeidimą sistema ir reglamentavimas**

Už aukštosiose mokyklose įtvirtintų akademinės etikos nuostatų pažeidimus gali būti taikoma drausminė atsakomybė, kurios taikymo procese įstatymas įgalioja dalyvauti du subjektus: 1) konkrečių mokymo įstaigų vidaus organus (etikos komitetai, administracija, studentų atstovybės ir kt.) ir 2) išorinius subjektus – Lietuvos mokslo tarybos mokslinės veiklos etikos komisiją bei Akademinės etikos ir procedūrų kontrolierius (toliau – Kontrolierius) [3]. Komisija tyrimą atlieka pagal gautus skundus ir, jeigu nustato etinio pobūdžio pažeidimą, skelbia argumentuotą išvadą Lietuvos mokslo tarybos interneto svetainėje [15]. Kontrolierius nagrinėja skundus, pranešimus taip pat ir savo iniciatyva atlieka tyrimus dėl įtariamų akademinės etikos ir procedūrų,

įtvirtintų mokymo įstaigų vidaus teisės aktuose, pažeidimų. Pažymėtina, kad Kontrolieriaus veikloje akademinio sąžiningumo turinys kildinamas iš tos mokymo įstaigos, kurioje įtariamas etinio pobūdžio pažeidimas, akademinės etikos kodekso bei kitų akademinę etiką reglamentuojančių teisės aktų [3]. Taigi, įstatymų leidėjo palikta diskrecija pačioms įstaigoms nusistatyti atsakomybės taikymo sistemą ir tuo pačiu įgaliojimų suteikimas išoriniam subjektui prižiūrėti kaip įstaigos laikosi savo pačių priimtų teisės aktų reikalavimų, skatina atidžiau įvertinti mokymo įstaigose įtvirtintą atsakomybės už akademinio sąžiningumo pažeidimus institutą ir jo taikymo efektyvumą.

Praktiškai kiekvienoje aukštojoje mokykloje yra numatytas procesas, skirtas akademinės etikos pažeidimams nagrinėti, ir už šiuos pažeidimus nustatytos atitinkamos nuobaudos. Tačiau kiekvienoje įstaigoje šis procesas skiriasi priklausomai nuo joje susiklosčiusios bendrosios akademinės etikos tradicijos, institucijos kultūros ir vidaus administravimo stiliaus. Atsižvelgiant į tai, reikėtų analizuoti subjektų, nagrinėjančių etikos pažeidimus, struktūrą, kompetenciją, sankcijų rūšis ir pan.

Kolegijoje atsakomybę už akademinio pobūdžio normų pažeidimus reglamentuoja du vidaus teisės aktai: *Etikos kodeksas* ir *Studijų reglamentas*.

*Etikos kodekso* 35 ir 36 punktuose nustatyta atsakomybės taikymo už etikos normų pažeidimus sistema realizuojama nustatant atitinkamas bausmes ir jas skiriančius subjektus. Etikos komitetas – vienintelis *Etikos kodekso* priežiūrą vykdančio Kolegijoje subjektas - nustatęs etikos normų pažeidimą ir atsižvelgdamas į jo sunkumą, gali priimti vieną iš kodekse numatytų sprendimų: 1) raštu įspėti bendruomenės narį ir apie tai paskelbti nuasmenintą informaciją Kolegijos interneto svetainėje; 2) rekomenduoti Kolegijos direktoriui paskirti vieną ar kelias sankcijas, numatytas teisės aktuose. Kolegijos direktorius, atsižvelgęs į Etikos komiteto rekomendacijas, gali taikyti vieną iš numatytų poveikio priemonių: 1) pareikšti asmeninį įspėjimą (viešai neatskleidžiant informacijos apie pažeidimą); 2) pareikšti viešą įspėjimą (viešai atskleidžiant informaciją apie pažeidimą); 3) skirti drausminę nuobaudą pagal LR Darbo kodekso arba *Studijų Reglamento* nuostatas.

Pagal *Studijų reglamentą* studentams, pažeidusiems bet kurio Kolegijos teisės akto normas, gali būti skiriamos nuobaudos: pastaba, papeikimas, griežtas papeikimas, šalinimas iš Kolegijos su teise tęsti studijas (arba be teisės jas tęsti), kitos nuobaudos ir poveikio priemonės, numatytos Kolegijos teisės aktuose (114 p.). Tai reiškia, kad studentams formaliai šios nuobaudos direktoriaus įsakymu gali būti taikomos ir už *Etikos kodekso* nuostatų nesilaikymą. Papildomai *Studijų reglamento* 115 punkte išskiriamos nuobaudos konkrečiai už akademinio sąžiningumo principo pažeidimą: nusirašinėjimą, plagijavimą bei apgaulinėjimą ar paašikėjus kitokiam akademinio nesąžiningumo atvejui ruošiant savarankiškas užduotis ar atsiskaitymų metu. Už šiuos pažeidimus studentui gali būti: 1) neleidžiama perlaikyti egzamino/įskaitos per pakartotiną atsiskaitymų laikotarpį, 2) fiksuojama akademinė skola ir skiriamas dalyko kartojimas, 3) atskirais atvejais toks studentas gali būti braukiamas iš studentų sąrašų. Vertinant šį teisinį reglamentavimą, išskirtini keli diskutuoti aspektai.

Pirma, esamas teisinis reglamentavimas neleidžia vienareikšmiai įvardyti subjektų, turinčių teisę skirti nuobaudas, skaičių. Pagal *Etikos kodekso* 35.1 punktą Etikos komitetui suteikt diskrecija skirti nuobaudą – įspėjimą su nuasmenintos informacijos paskelbimu Kolegijos interneto svetainėje. Atsižvelgiant į tai, kad įspėjimą Etikos komitetas gali skirti tik po to, kai nustato etikos normų pažeidimą, įspėjimo veiksmo, kitaip kaip nuobauda, laikyti negalima. Taigi išeitų, kad už etinio pobūdžio pažeidimus Kolegijoje turi teisę nuobaudas skirti du subjektai: Etikos komitetas ir Kolegijos direktorius. Tačiau *Kolegijos Etikos komiteto veiklos nuostatuose* tokia teisė Etikos komitetui nesuteikta. Nuostatų 34 punkte pažymėta, kad Etikos komitetas turi teisę teikti tik *rekomendacinio* pobūdžio sprendimus Kolegijos direktoriui dėl drausminių nuobaudų skyrimo ar kitokių poveikio priemonių taikymo [11]. Klausimo, kas gali skirti nuobaudas už akademinį nesąžiningumą, aktualumą paryškina faktas, jog net 14,3 proc. Kolegijos dėstytojų pripažino asmeniškai baudę studentus už akademinį nesąžiningumą. Taigi, išeitų, kad taikančių nuobaudas subjektų yra daugiau, nei jų numatyta Kolegijos teisės aktuose ir tai laikytina įstaigos normatyvinės tvarkos pažeidimu. Tai gali apsunkinti konkrečių situacijų vertinimą arba sudaryti prielaidas išvengti atsakomybės už padarytą nusižengimą. Susidariusi kolizija sprendina suvienodinant šio instituto teisinį reguliavimą. Taip pat įvertinus užsienio šalių praktiką, kai teisė bausti atitinkamiems subjektams priskiriama atsižvelgiant į pažeidimo sunkumą ar bausmės griežtumą, šią problemą galima spręsti, suteikiant dėstytojams teisę taikyti tam tikras bausmes už atskirus nusižengimus. Pavyzdžiui, dėstytojas, pastebėjęs sukčiaujančią studentą, gali nuspręsti ar leisti perdaryti užduotį, parašyti neigiamą įvertinimą arba pašalinti studentą iš tyrimo. Tiesa, šis procesas turėtų būti aiškiai reglamentuotas ir griežtai kontroliuojamas, tarkim, kiekvienu atveju pritaikius sankciją, dėstytojas privalėtų užpildyti reikiamus nesąžiningumo atvejui nustatyti dokumentus [5; 6].

Antra, pagal *Studijų reglamente* nustatyta nuobaudų skyrimo tvarką, nelabai aišku, kuo turėtų vadovautis etikos komiteto nariai, priimdami sprendimą dėl akademinio nusižengimo, pavyzdžiui, už plagijavimą taikyti tik 115 punkte nustatytas nuobaudas, ar galima taikyti ir 114 punkto nuostatas.

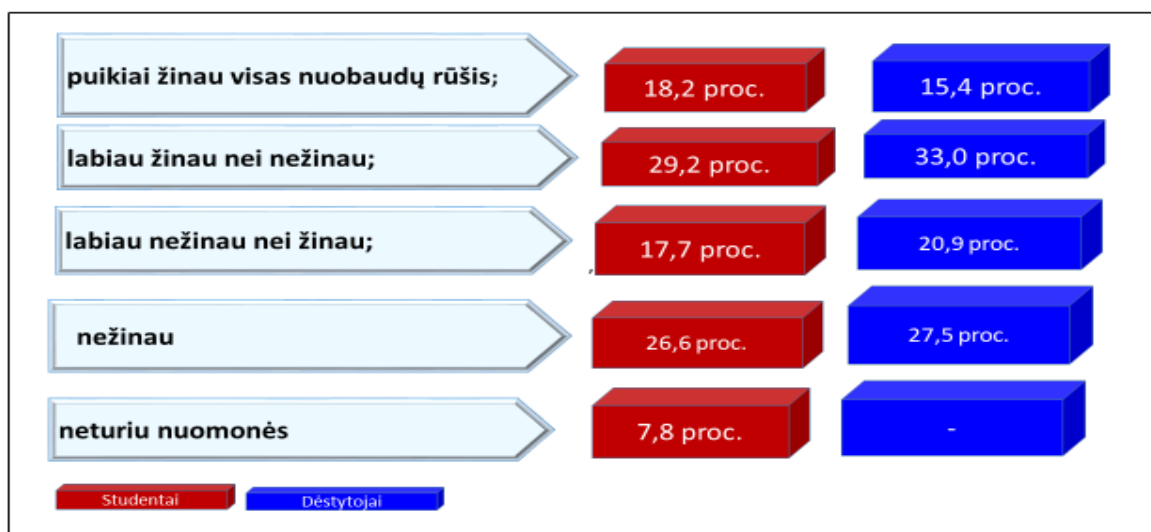
Trečia, Etikos komitetas priima sprendimą dėl padaryto etikos pažeidimo, „atsižvelgęs į jo sunkumą“ (35 punktas), tačiau vertinamieji kriterijai, leidžiantys identifikuoti pažeidimo sunkumo laipsnį ir padedantys priimti atitinkamą sprendimą, Kolegijos dokumentuose nenustatyti. Pavyzdžiui, priimti sprendimą vadovaujantis *Reglamento* 115 p. nuostata „atskirais atvejais toks studentas gali būti braukiamas iš studentų sąrašų“, gali būti sunku, nes neaišku kokios aplinkybės priskirtinos „atskiriems atvejams“. Siūlytina keisti šios taisyklės turinį, suformuluojant ją taip: „Studentas pakartotinai pažeidęs akademinio sąžiningumo principą, gali būti braukiamas iš studentų sąrašų“.

Ketvirta, atsižvelgiant į užsienio aukštųjų mokyklų praktiką, *Reglamento* 115 punkte nustatytas nuobaudų sąrašas galėtų būti praplėstas papildomomis nuobaudomis: įspėjimu, rašytiniu papeikimu, netinkamu darbo perrašymu (dėstytojui leidus), dalyko įvertinimo sumažinimu ar darbo neįskaitymu, galimybės naudotis tam tikromis kolegijos paslaugomis apribojimu, laikinu pašalinimu iš Kolegijos ir kt. Manytina, tai leistų objektyviau įvertinti pažeidimo pobūdį ir lanksčiau individualizuoti nuobaudą.

Apibendrinant aptarto norminio reguliavimo ypatumus, tikėtina, jog atlikus atitinkamą korekciją, Kolegijoje nustatyta atsakomybės už akademinį nesąžiningumą taikymo norminė tvarka taps aiškesnė ir lengviau įgyvendinama.

Nuobaudų sistemos veiksmingumo kontekste išskirtini du svarbūs aspektai: 1) kaip institucijoje nustatyta nuobaudų sistema suvokiama (priimama) akademinės bendruomenės ir 2) kokių tikslų siekiama įgyvendinant konkrečią bausmių sistemą organizacijoje. Padėti rasti atsakymus į šiuos klausimus gali akademinės bendruomenės požiūrio į įtvirtintą bausmių sistemą tyrimas.

Kolegijos akademinės bendruomenės anketinės apklausos metu paaiškėjo, kad 47,4 proc. studentų ir 48,4 proc. dėstytojų yra puikiai arba pakankamai susipažinę su nustatyta bausmių už akademinį nesąžiningumą sistema (1 pav.).

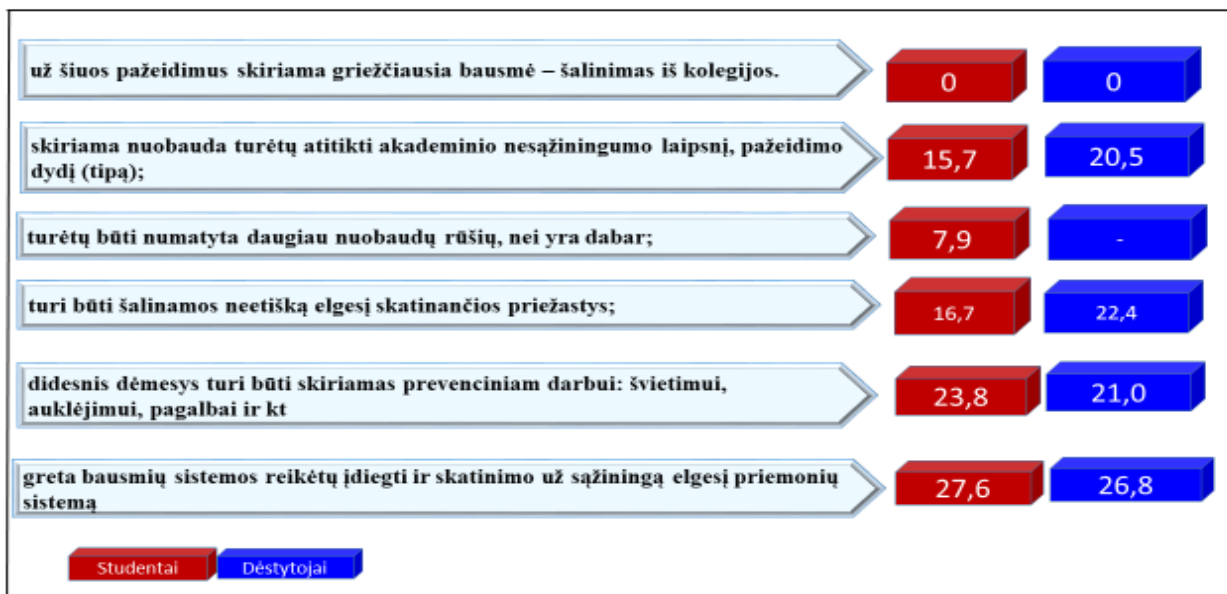


**1 pav.** Atsakymas į klausimą ar žinote, kokios nuobaudos numatytos už akademinio sąžiningumo nesilaikymą Kolegijos Etikos kodekse ir Studijų reglamente.

*Šaltinis: Sudaryta autorių pagal sociologinio tyrimo rezultatus*

Tai, kad dalis akademinės bendruomenės (ypač dėstytojų) nesusipažinusi su oficialiu Kolegijos požiūriu į akademinį nesąžiningumą, leidžia galvoti apie atskirų bendruomenės narių nepakankamą etikos normų vertybinį įsisąmoninimą bei iš to kylančias tam tikras norminės tvarkos ignoravimo apraiškas, kurios sudaro prielaidas etikos normų nepaisymui. Ši situacija turėtų tapti rimtu signalu organizacijai ir paskatinti ją ieškoti būdu kaip savalaikiai ir veiksmingai perteikti akademinės bendruomenės nariams norminės tvarkos ir vertybinių nuostatų turinį.

Atsakomybės už etinius pažeidimus sistemos efektyvumą lemia ir žinios apie nustatytas sankcijas, ir nuobaudų sistemos pripažinimas teisinga ir veiksminga, t.y. ar esama norminė tvarka atitinka bendruomenės narių lūkesčius. Akademinės bendruomenės pageidaujama nuobaudų sistemą iš dalies atskleidžia jos nuomonė, apie galimus būdus kovojant su nesąžiningumo apraiškomis (2 pav.).



**2 pav.** Atsakymas į klausimą, kokie galėtų būti veiksmingi būdai kovojant su akademinio nesąžiningumu.

*Šaltinis: Sudaryta autorių pagal sociologinio tyrimo rezultatus*

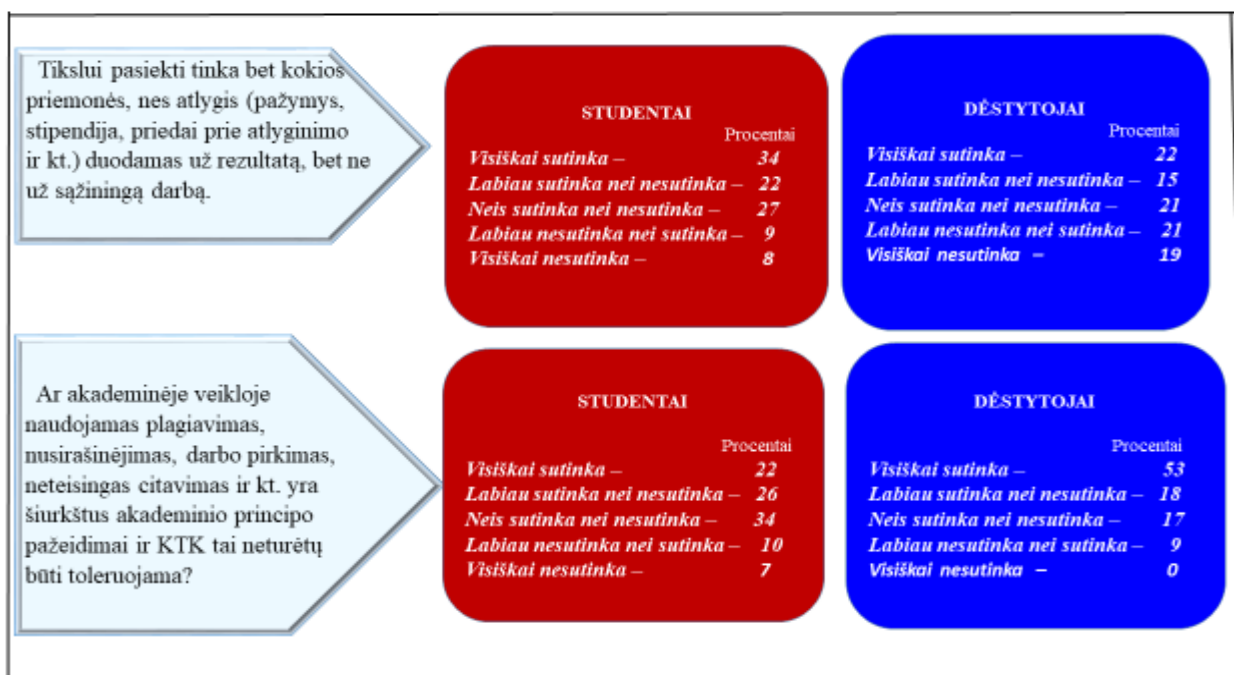
Atkreiptinas dėmesys, kad Kolegijoje nepritariama braukimui iš studentų sąrašų už akademinį nesąžiningumą kai tuo tarpu kitose aukštosiose mokyklose palankiai tokią bausmę vertina dalis studentų ir dėstytojų [21]. Įdomu, jog 7,9 proc. studentų norėtų matyti platesnį nuobaudų sąrašą, kai dėstytojai šios galimybės iš viso nevertina. Tačiau reikšmingiausia tai, kad apie trečdalis studentų ir dėstytojų etinių vertybių formavimą mato per pozityvių priemonių plėtimą: prevencinio – šviečiamojo darbo bei skatinamųjų priemonių už sąžiningą elgesį diegimą. Tokia pozicija artima daugelyje užsienio aukštųjų mokyklų vykdomai akademinės kultūros įgyvendinimo politikai.

Formuojant bausmių už akademinį nesąžiningumą politiką, svarbu išsiaiškinti, kokiais principais vadovaujamasi nustatant nuobaudas. Teisės doktrinoje dažniausiai minimos šios bausmių teorijos: atpildo, nusikaltimo prevencijos, rehabilitacijos ir kt. Pavyzdžiui, atpildo teorija orientuota į tokią bausmių sistemą, kurios pagrindinis tikslas - prasižengusį asmenį nubausti. Nusikaltimų prevencijos teorija – į bendrąją ir individualiąją prevenciją (asmens skatinimas sulaikyti nuo pažeidimų darymo ateityje, t. y. asmenų įspėjimas, bauginimas, kad jie žinotų, kas jų laukia, ir nenorėtų pažeisti teisės normų). Rehabilitacijos teorija – skelbia, jog bausmės tikslas yra „pataisyti“ asmenį. Tenka pripažinti, kad Kolegijos norminėje baudų sistemoje šiandien dar sunku įžvelgti aiškų siekį reabilituoti prasižengusį asmenį. Akademinė bendruomenė galėtų permąstyti atsakomybės už etinius nusizengimus taikymo tikslų prioritetus ir labiau susikonscentruoti ne vien į akademinės pražangas, bet ir į pozityvistinę darbo tvarką, įtraukiant į ją naujų, pozityvų elgesį skatinančių priemonių.

### **Akademinio sąžiningumo principo įgyvendinimas Kauno technikos kolegijoje**

Akademinę etiką apibrėžiančių dokumentų priėmimas Kolegijoje vertintinas teigiamai, t. y. prielaida kurti sąžiningumo principu besivadovaujančią akademinę bendruomenę, tačiau, vien norminės tvarkos sukūrimo ir formalųjų reikalavimų įgyvendinimo nepakanka. Akademinio sąžiningumo grindžiamos įstaigos kultūros sukūrimas įmanomas tik jeigu šio principo vertybinė plotmė apima visas aukštosios mokyklos veiklos sritis ir tampa kiekvieno akademinės bendruomenės nario pripažįstama ir saugoma vertybe.

Tyrinėjant akademinio sąžiningumo suvokimo akademinėje bendruomenėje pažangą, tikslinga nustatyti dominuojančias organizacijoje pamatines etines vertybes, kurių pagrindu formuojasi įsitikinimai, pažiūros bei įsitvirtina atitinkamas elgesys konkrečiose situacijose. Tuo tikslu Kolegijos studentams ir dėstytojams buvo pateikti du klausimai: 1) *Tikslui pasiekti tinka bet kokios priemonės, nes atlygis (pažymys, stipendija, priedai prie atlyginimo ir kt.) duodamas už rezultatą, bet ne už sąžiningą darbą;* 2) *Ar akademinėje veikloje naudojamas plagjavimas, nusirašinėjimas, darbo pirkimas, neteisingas citavimas ir kt. yra šiurkštus akademinio principo pažeidimai ir KTK tai neturėtų būti toleruojama?* (3 pav.).



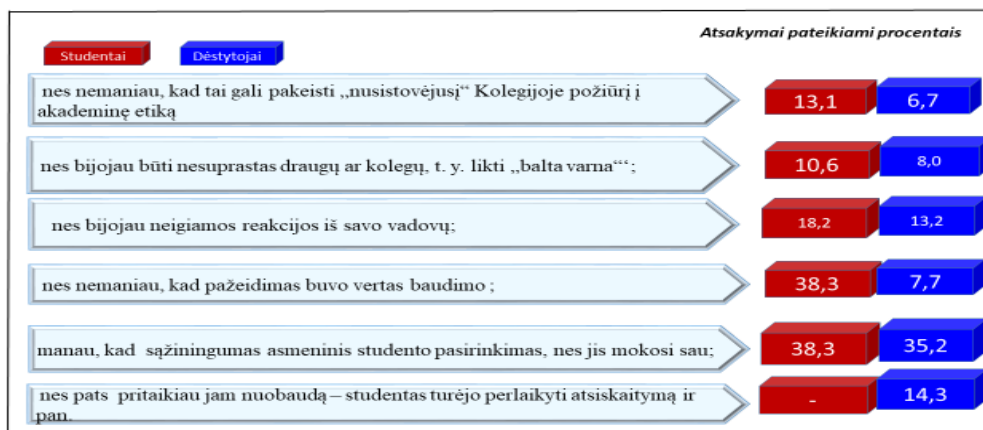
**3 pav.** Kolegijos akademinės bendruomenės požiūris į akademinį sąžiningumą  
Šaltinis: Sudaryta autorių pagal sociologinio tyrimo rezultatus

Tyrimas parodė, jog daugiau kaip trečdalis studentų ir penktadalis dėstytojų sąžiningumu grįstą tikslo siekimą nelaiko prioritetiniu. Tikėtina, kad toks sąžiningumo, kaip pamatinės etinės vertybės, suvokimas sąlygoja ir akademinio sąžiningumo vertinimą akademinėje veikloje. Pastebėtina, kad dėstytojų ir studentų požiūris į akademinio sąžiningumo komponentus skiriasi: dėstytojai labiau linkę pripažinti šio principo svarbą studijų procese nei studentai, tačiau reikšminga tai, jog daugiau kaip pusė studentų ir penktadalis dėstytojų neturi aiškiai išreikšto neigiamo požiūrio į plagijavimą ar kitus nesąžiningos veiklos būdus.

Akademinės bendruomenės požiūrį į sąžiningumo principą patvirtina ir respondentų atsakymai į klausimą: *Ar studijų (darbo) metu esate pažeidęs akademinio sąžiningumo principą: nusirašinėjęs, plagijavęs, naudojęs neleistinas priemones, pvz. mobilų telefoną paskaitų ar kontrolinių metu ir kt.?* Daugiau kaip pusė respondentų (55,2 proc. studentų ir 52,7 proc. dėstytojų) pripažįsta kad atskirais atvejais yra pažeidę akademinį sąžiningumą. Beje, 6,6 proc. studentų neslepia, jog pasitaikius progai visada taip elgiasi. Dėstytojų gretose tokių nėra nė vieno. Įdomu, kad daugiau kaip trečdalis studentų (33,3 proc.) ir 45,1 proc. dėstytojų tvirtina niekada nepažeidę akademinio sąžiningumo principo. Tai vertintina teigiamai. Kita vertus, palyginus šiuos atsakymus su išsakytu požiūriu į akademinį sąžiningumą, tikėtina, kad dalis respondentų galimai nėra aiškiai įsisąmoninę šio principo turinio, todėl tokie veiksmai kaip telefono naudojimas, perfravavimas kitų minčių, pasakinėjimas draugui per paskaitą ar nutylėjimas matant neetišką kolegą elgesį gali net būti netraktuojami kaip nusižengimas.

Atsakydami į klausimą, *ar kolegijoje esate pastebėjęs ar įtaręs akademinio sąžiningumo principo pažeidimų atvejų?*, net 14,1 proc. studentų ir 13,2 proc. dėstytojų teigė, niekada nebuvo to pastebėję ar įtarę. Tačiau 62 proc. studentų ir 60,5 proc. dėstytojų teigia tokių pažeidimų pastebėję. Vertinant atsakymus į šį klausimą, darytina prielaida, kad akademinio nesąžiningumo apraiškų kolegijoje pasitaiko ir apie tai jos nariai žino. Kita vertus, respondentai, neigiantys etinio pobūdžio nusižengimų pastebėjimą, galimai patvirtina nuomonę, kad dalis dėstytojų ir studentų dar nėra pilnai suvokę šio principo vertybinių nuostatų prasmės arba jai yra abejingi.

*Etikos kodekso 6.3 punkte* įtvirtinta bendruomenės nariui pareiga pranešti etikos komitetui apie atvejus susijusius su korupcija ar mėginimu daryti neteisėtą poveikį Kolegijos bendruomenės nariui, tiek studentui, tiek ir dėstytojui sukuria dvi viena prieš kitą kylančios pareigas: pačiam laikytis akademinio sąžiningumo principo ir pareiga pranešti apie pastebėtą ar įtariamą akademinį nusižengimą atitinkamiems organams. Siekiant išsiaiškinti netolerancijos etiniams pažeidimams lygį ir pasyvumo (nenoro informuoti apie pastebėtus pažeidimus) priežastis reikšminga studentų ir dėstytojų nuomonė, kodėl jie nepraneša apie pastebėtus etikos normų pažeidimus (4 pav.).

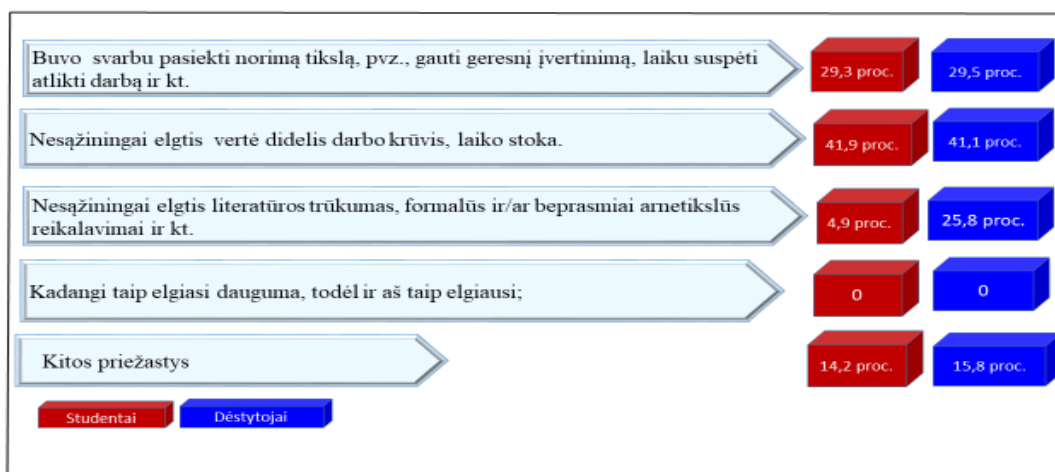


**4 pav.** Atsakymas į klausimą Jei este pastebėję ar įtarę apie akademinės etikos pažeidimą ir apie tai nepranešę dėstytojui, KTK administracijai ar KTK akademinės etikos komitetui, kodėl pasirinkote taip elgtis?

*Šaltinis: Sudaryta autorių pagal sociologinio tyrimo rezultatus*

Atsakymai rodo, kad dėstytojų ir studentų motyvai neraguoti į pažeidimus skiriasi, tačiau dažniausiai nepranešama dėl netinkamo situacijos įvertinimo (pvz., pažeidimas nebuvo vertas baudimo arba sąžiningumas – kiekvieno asmeninis reikalas) ir baimės likti nesuprastam arba pasmerktam. Detalesniam šio reiškinio priežasčių nagrinėjimui tikslinga atlikti papildomus tyrimus. Siekiant numatyti priemones, padedančias šalinti šias neigiamas apraiškas, pirmiausiai tikslinga nustatyti šio reiškinio priežastis. Tuo tikslu naudinga būtų Kolegijoje atlikti specialius tyrimus organizacijos klimatui, darbuotojų motyvacijai, vidiniams komunikaciniams procesams iširti.

Bendruomenės narių motyvų, skatinančių nesilaikyti akademinio sąžiningumo, atskleidimas ir priežasčių, sąlygojančių neetišką elgesį, šalinimas taip pat gali pasitarnauti akademinės kultūros plėtrai Kolegijoje. Įvardindami nesąžiningo elgesio priežastis, didžioji dalis studentų ir dėstytojų teigia, kad taip juos pasielgti verčia atsiradę įvairūs trikdžiai, ar aplinkybės (5 pav.). Tokius atsakymus galima vertinti dvejopai kaip: 1) kaip savikritiškumo stoką, kai nesėkmės ar smerktinas elgesys teisinamas labiau išorinėmis aplinkybėmis nei asmeninėmis savybėmis; 2) kaip nepalankų organizacijos klimatą, motyvacinės sistemos nepakankamą lygį, netinkamą darbo krūvio planavimą ir kai kuriuos kitus organizacijos veiklos vadybos trūkumus.



**5 pav.** Atsakymas į klausimą, jeigu esate pažeidęs akademinio sąžiningumo principą, kokios priežastys skatino Jus taip elgtis?

*Šaltinis: Sudaryta autorių pagal sociologinio tyrimo rezultatus*

Sociologinių apklausų rezultatai prasmę įgyja ne tuomet, kai yra paviešinami, bet kai juos kritiškai įvertinus pradedamos konstruoti gairės situacijai gerinti. Siekiant plėtoti organizacijos veiklos politiką, grindžiamą etinėmis vertybėmis, reikėtų siekti, kad akademinės etikos sistema taptų pripažįstama ir gerbiama visų akademinės bendruomenės narių, priešingu atveju ji nebus efektyvi ir veiksminga. Atsižvelgiant į tai, kiekvienai akademinės bendruomenės grupei, priklausomai nuo jų atliekamų funkcijų ir pareigų, reikia

prisiimti atitinkamas pareigas įgyvendinant šį principą praktikoje. Pavyzdžiui, akademinio personalo pareigos užtikrinant akademinį sąžiningumą yra susijusios su jo funkcija perduoti studijų dalykų žinias ir vertybes, taigi akademinis personalas turėtų prisiimti pareigas: 1) *Supažindinti studentus su akademinės etikos reikalavimais*. Tai reiškia, kad organizacijoje turi vyrauti požiūris, jog etinės vertybės vien jų sunorminimu bendruomenėje nesiformuoja, reikalingas jų ugdymas. Tuo tikslu galima organizuoti mokymus, pokalbius, teikti gerosios praktikos pavyzdžius ir kt.; Dėstytojai turėtų supažindinti studentus su etikos reikalavimais savo dalykuose ir savo pavyzdžiu demonstruoti akademinį sąžiningumą; 2) *Surinkti įrodymus apie akademinio pažeidimo faktą* – organizuoti prevencinio pobūdžio priemones, reguliariai, kartu su studentų atstovybe, atlikti tyrimus, padedančius nustatyti realią padėtį organizacijoje, sukurti saugią etikos normų pranešimo sistemą ir kt. Galima būtų šalia Etikos komiteto, įsteigti tik iš studentų formuojamą komisiją studentų akademinės etikos pažeidimams svarstyti. Taip pat įsteigti atskirą padalinį, atsakingą už akademinę pagalbą arba šią funkciją deleguoti jau egzistuojančiam administraciniam padaliniui ar padaliniams.

Moralinę motyvaciją organizacijoje stiprina darbuotojų ir studentų pasitenkinimas, kylantis iš aukštų įsipareigojimų ir gebėjimo atitinkamai elgtis. Todėl diegiant akademinį sąžiningumą grįstą įstaigos kultūrą, svarbu visas veiklas vykdyti taip, kad formuotųsi pagarbos ir pasididžiavimo darbo vietoje jausmas, kuris savo ruožtu stiprins profesinius įsipareigojimus ir lojalumą [19]. Organizacijoje svarbu kurti mechanizmus, pajėgiančius tiek „moraliai“, tiek „materialiai“ skatinti deklaruojamų vertybių ir realių darbų vientisumą. Akademinio sąžiningumo ugdymui gali būti pasitelkti įvairūs „minkštosios vadybos“ įrankiai, pavyzdžiui, tokiu vadybos pavyzdžiu galėtų tapti Kolegijoje diegiama darbuotojų veiklos vertinimo metodika, pagal kurią dėstytojas būtų skatinamas svarstyti ne tik savo formalius veiklos rezultatus, bet ir moralinio pasirinkimo pasekmes. Mokslininkų pripažinta, kad orientuojantis į etiškos organizacijos kultūros formavimą, svarbu nesusikoncentruoti vien į akademines pražangas, o sutelkti dėmesį į pozityvesnę darbo tvarką, normas ir vertybes, susijusias su realiai įvykdomais pareigų krūviais, kurių vykdymas skatintų formuoti tik etišką praktiką. Pavyzdžiui, kai kuriuose užsienio aukštosiose mokyklose dėstytojų darbo krūviai, studentų darbams taisyti skirtas laikas ir kitos veiklos nustatomi įvertinant, ar nustatyti darbo krūviai neskaitins formalaus požiūrio į darbą, pavyzdžiui, siaurinant užduočių apimtį, konsultacijų laiko trumpinimo ir pan. [5]

### **Išvados ir pasiūlymai**

1. Kolegijoje akademinio sąžiningumo principas įtvirtintas Etikos kodekse ir užtikrinamas formaliosiomis pažeidimų nagrinėjimo procedūromis. Atsižvelgiant į galimybes, šios aukštosios mokyklos akademinė bendruomenė galėtų apsibrėžti pagrindinius akademinio sąžiningumo sistemos tikslus bei jos vaidmenį kasdienėje institucijos veikloje. Aiškus šios srities politikos suformulavimas ir įtvirtinimas Kolegijos statute padėtų pagrindą akademinio sąžiningumo kultūros formavimuisi įstaigoje bei skatintų bendrą visų akademinės bendruomenės narių akademinio sąžiningumo supratimą.

2. Vertinant esamą situaciją atrodo, kad Kolegijoje nuobaudų sistema ne visiškai atitinka akademinės bendruomenės poreikius ir įsitikinimus, todėl nepadeda efektyviai užtikrinti akademinio sąžiningumo principo įgyvendinimo. Tai patvirtina apklausos duomenys. Dabar galiojančių Kolegijos aktų normos, reguliuojančios nuobaudų skyrimą už akademinį nesąžiningumą, ne visiškai dera tarpusavyje ir kelia tam tikrų abejonių dėl jų interpretavimo įgyvendinimo.

3. Sociologinio tyrimo duomenimis dabartiniu metu akademinio sąžiningumo principas kolegijos akademinės bendruomenės narių dar nėra pilnai įsisąmonintas, todėl mokymo įstaigoje pasitaiko šio principo pažeidimų, ne viešinimo atvejų, abejingumo etinėms vertybėms.

4. Siekiant diegti akademinio sąžiningumo principą į visas akademinės bendruomenės veiklos sritis siūloma: šalia esančio Etikos komiteto įsteigti tik iš studentų formuojamą komisiją studentų akademinės etikos pažeidimams svarstyti; detalizuoti veikas, kurios laikomos ne tik šiurkščiu akademinio nesąžiningumu, ir trumpai aprašyti šių veikų turinį dokumentuose, vadovuose, patarimuose; plėsti sankcijų už akademinės etikos pažeidimus sąrašą; sukurti pranešimo apie nusižengimus mechanizmą, kuris būtų aiškus, skaidrus, efektyvus ir veiksmingas; bendradarbiaujant su studentų taryba periodiškai atlikti tyrimus apie akademinės etikos sistemos veiksmingumą, vertinti akademinio nesąžiningumo atvejų statistiką

### **Literatūra**

1. Academic Honesty & Plagiarism. University of Melbourne. [interaktyvus], 2001, [žiūrėta 2019.04.12]. Prieiga per internetą: <http://academichonesty.unimelb.edu.au/advice.htm>
2. Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus 2015 m. kovo 31 d. įsakymu Nr. V-16 patvirtintos Mokslo ir studijų institucijų akademinės etikos kodeksų priėmimo, įgyvendinimo ir priežiūros rekomendacijos [interaktyvus], 2001, [žiūrėta: 2019.04.13]. Prieiga per internetą <http://www.etika.gov.lt/wpcontent/uploads/2015/04/Rekomendacijos.pdf>

3. Baltrimas J.. *Teisinė atsakomybė už akademinės etikos pažeidimus*. *Teisės problemos* Nr. 1 (95), [interaktyvus], 2018, [žiūrėta 2019.04.13] Prieiga per internetą: [http://teise.org/wp-content/uploads/2018/02/Baltrimas-2018\\_1.pdf](http://teise.org/wp-content/uploads/2018/02/Baltrimas-2018_1.pdf)
4. Bikulčiūtė R. *Akademinių nesąžiningumo problema aukštajame moksle: užsienio patirtis sprendimams Lietuvoje. Apžvalga*. [interaktyvus], 2015, [žiūrėta 2019.04.08]. Prieiga per internetą: [https://vusa.lt/uploads/user/files/naujienuoms/akademini\\_saziningumas\\_uzsienio\\_patirtis](https://vusa.lt/uploads/user/files/naujienuoms/akademini_saziningumas_uzsienio_patirtis)
5. California Institute of Technology Honor Code Handbook. [interaktyvus], 2001, [žiūrėta:2019.03.15]. Prieiga per internetą: [http://www.its.caltech.edu/~survey/docs/Honor\\_Code.pdf](http://www.its.caltech.edu/~survey/docs/Honor_Code.pdf)
6. Current Students: Plagiarism. UCL. [Žiūrėta 2013-08-30] Prieiga per internetą: <http://www.ucl.ac.uk/current-students/guidelines/plagiarism/#whatis>.
7. Europos Komisijos 2005 m. kovo 11 d. rekomendacija (2005/251/EB) „Dėl Europos mokslininkų chartijos ir dėl Mokslininkų priėmimo į darbą elgesio kodekso“ patvirtinta Europos mokslininkų chartija, [interaktyvus], 2005, [žiūrėta: 2019.04.13]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32005H0251&from=EN>
8. Kauno technikos kolegijos statutas, patvirtintas LR Vyriausybės 2012 m. liepos 18 d. nutarimu Nr. 951.
9. Kauno technikos kolegijos akademinės etikos kodeksas, patvirtintas KTK direktoriaus 2016 m. lapkričio 23 d. įsakymu Nr. VI-13
10. Kauno technikos kolegijos studijų reglamentas, patvirtintas KTK Akademinės tarybos nutarimu 2018 m. vasario 13 d. protokolas Nr. V18-20.
11. Kauno technikos kolegijos Etikos komiteto veiklos nuostatai, patvirtinti Kauno technikos kolegijos direktoriaus 2017 m. gegužės 9 d. įsakymu Nr. VI-47[ interaktyvus], 2017, [žiūrėta:2019.04.11]. Prieiga per internetą: <http://www.ktk.lt/assets/Uploads/KTK-Etikos-komiteto-veiklos-nuostatai.pdf>
12. Lietuvos Respublikos akademinės etikos kontrolierius. Apklausa apie mokslo ir studijų institucijose nustatytus akademinės etikos ir procedūrų pažeidimus, 2017, [žiūrėta 2018.11.26 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.etika.gov.lt/wp-content/uploads/2016/02/Tyrimas-del-2015-m.-MSIpažeidimu-statistiniu-duomenu.pdf>
13. Lietuvos Respublikos aukštojo mokslo įstatymas. Valstybės žinios, 2013, Nr. 47-2058.
14. Lietuvos Respublikos mokslo ir studijų įstatymas, *Nauja redakcija nuo 2017-01-01: Nr. XII-2534*, 2016-06-29, paskelbta TAR 2016-07-14, i. k. 2016-20555.
15. Lietuvos mokslo tarybos pirmininko 2012 m. gruodžio 17 d. nutarimas Nr. VII-126 „Dėl Pranešimų, susijusių su tyrėjų mokslinės veiklos etikos pažeidimais, nagrinėjimo Lietuvos mokslo taryboje tvarkos aprašo patvirtinimo“ // Valstybės žinios, 2012, Nr. 151-7761.
16. Lietuvos Respublikos Seimo nutarimas „Dėl Lietuvos Respublikos akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybos įsteigimo ir Lietuvos Respublikos akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybos nuostatų patvirtinimo“. Valstybės žinios, 2011, Nr. 1155389.
17. Lietuvos studentų sąjungos tyrimas „Akademinių sąžiningumo indeksas 2017“ [interaktyvus], 2017, [žiūrėta, 2019.04.12].Prieiga per internetą: [http://www.lss.lt/wp-content/uploads/2013/01/ASI\\_Apra%C5%A1ymas\\_2017.pdf](http://www.lss.lt/wp-content/uploads/2013/01/ASI_Apra%C5%A1ymas_2017.pdf)
18. REN, K. Fighting against Academic Corruption: A Critique of Recent Policy Developments in China. *Higher Education Policy*, 25(1), 19-38. [interaktyvus], 2003, [žiūrėta 2018-02-21]. Prieiga per internetą: [https://link-springer-com.proxy.ub.umu.se/article/10.1057/hep.2011.20](https://link.springer-com.proxy.ub.umu.se/article/10.1057/hep.2011.20) .
19. Vasiljevičienė, N. Akademinis integralumas: nuo abstraktaus kalbėjimo apie akademinį sąžiningumą – prie jo vadybos, p. 536, 547 [interaktyvus], 2015, [žiūrėta 2018-02-19]. Prieiga per internetą: <https://www3.mruni.eu/ojs/societal-studies/article/view/4055> .
20. Lietuvos Respublikos Vilniaus universiteto statuto patvirtinimo įstatymas. Valstybės žinios, 1990, Nr. 18-468.
21. Viliūnas, G. Kodėl svarbi mokslinė etika? [interaktyvus, žiūrėta 2018-02-19]. Prieiga per internetą: <https://www.delfi.lt/news/daily/education/g-viliunas-kodel-svarbi-mokslineetika.d?id=76030131>
22. Vytauto Didžiojo universiteto statutas, patvirtintas Lietuvos Respublikos Seimo 2018 m. birželio 5 d. nutarimu Nr. XIII-1229. [interaktyvus], 2018, [žiūrėta 2019.05.03] Prieiga per internetą: [https://www.vdu.lt/wp-content/uploads/2019/01/Statutas\\_2018\\_VDU.pdf](https://www.vdu.lt/wp-content/uploads/2019/01/Statutas_2018_VDU.pdf)

## ACADEMIC HONESTY IN UNIVERSITY: CASE STUDY OF KAUNAS UNIVERSITY OF APPLIED ENGINEERING SCIENCES

### Summary

Article analyzes concept of academic honesty, system of penalties for violations of academic ethics, which is established in national legislation and Kaunas University of Applied Engineering Sciences, as well as relation between penalty system and extent of academic (dis)honesty.

Based on data collected by social research, article analyzes application of the principle of academic honesty in the University. Study concludes that penalty system of the University does not fully meet needs and beliefs of academic community, therefore, does not effectively support the implementation of principle of academic honesty. Currently,

principle of academic honesty is not fully realized in the University, therefore, violations of this principle and cases of concealment occur in the educational institution.

Article presents suggestions on how to improve the implementation of the principle of academic honesty in the University.

#### **AUTORĖS LYDRAŠTIS**

**Autoriaus vardas, pavardė:** Kęstutis Vitkauskas

**Mokslų laisnis ir vardas:** humanitarinių mokslų daktaras.

**Darbo vieta ir pozicija:** Kauno technikos kolegijos Kelių inžinerijos studijų programos docentas

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:**

**Telefonas ir el. pašto adresas:** [kestutis.vitkauskas@edu.ktk.lt](mailto:kestutis.vitkauskas@edu.ktk.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Jolita Bučelienė

**Mokslų laisnis ir vardas:**

**Darbo vieta ir pozicija:** Kauno technikos kolegijos Orlaivių mechanizmų techninio eksploatavimo studijų programos lektorė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** edukologiniai tyrimai.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 610 26927, [jolita.buceliene@edu.ktk.lt](mailto:jolita.buceliene@edu.ktk.lt)

#### **A COVER LETTER OF THE AUTHOR**

**Author name, surname:** Kęstutis Vitkauskas

**Science degree and name:** Doctor of Humanities,

**Workplace and position:** Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Road Engineering study programme, Associate Professor

**Author's research interests:**

**Telephone and e-mail address:** [kestutis.vitkauskas@edu.ktk.lt](mailto:kestutis.vitkauskas@edu.ktk.lt)

**Author name, surname:** Jolita Bučelienė

**Science degree and name:**

**Workplace and position:** Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Aircraft Mechanics Technical Operation study programme, Lecturer

**Author's research interests:** Research in Education.

**Telephone and e-mail address:** +370 610 26927, [jolita.buceliene@edu.ktk.lt](mailto:jolita.buceliene@edu.ktk.lt)

# EKSPERIMENTINIAI STIKLO PAKETŲ GARSO SLOPINIMO TYRIMAI

**Audrius Čereška, Darius Jakovickis**  
*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

## Anotacija

Triukšmas neatskiriama gyvenimo dalis, kuri neigiamai veikia žmogaus organizmą ir gyvenimo kokybę. Plečiantis autotransporto srautams miestuose ir didėjant bendrai akustinei taršai, ieškoma vis geresnių garso izoliacinių savybių turinčių statybinių ir apdailos medžiagų. Triukšmo sklaidimą į patalpas sulaiko langai, durys ir t.t. Straipsnyje pateikti tiriamų langų su stiklo paketais garso – triukšmo pralaidumas ir garso izoliacinės savybės. Tyrimai vykdyti triukšmo dažnių diapazone nuo 100 Hz iki 8000 Hz. Vizualiai pateikti gauti tyrimo rezultatai ir lyginti su skirtingų stiklo paketų tyrimų rezultatais.

**Reikšminiai žodžiai:** langas, garso laidumas, triukšmo laidumas, triukšmo slopinimas, stiklo paketas.

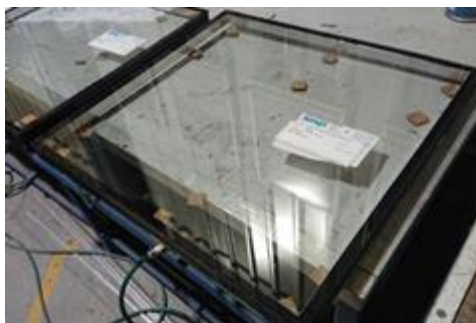
## Įvadas

Viena didžiausių šių laikų visuomenės problemų, su kuriomis šiuolaikinis žmogus susiduria kas dieną yra akustinis triukšmas [1]. Didėjant miestams bei plečiantis industrinėms zonoms miestuose, gausėja įvairių rūšių transporto priemonių srautai keliuose. Tai yra viena iš didėjančios akustinės taršos zonų plitimo priežasčių [2]. Autotransporto keliamas triukšmas yra gana sunkiai sprendžiama problema miestuose kuriuose labai svarbus estetiškas vaizdas ir turi būti išlaikytos kultūrinio paveldo zonos. Visoje Europoje ši problema plinta didindama gyventojų diskomforto zonas ir kelia visų į šias triukšmo zonas patenkančių žmonių nepasitenkinimą. Gyvenamuosiuose rajonuose, kurie nėra nutolę nuo automobilių magistralių traukinių judėjimo zonų ir lėktuvų kelių, diskomforto lygis ypač didelis [3]. Normalus reglamentuojamas akustinis triukšmas miestų ir gyvenamųjų rajonų teritorijose dienos metu yra 65 dB, tačiau remiantis Vilniaus aplinkosaugos informacijos tyrimų duomenimis [4], kai kurių rajonų esančių šalia pagrindinių kelių akustinio triukšmo lygis viršija 75dB.

Lietuvoje kaip ir kitose Europos šalyse, griežtėjant akustiniams reikalavimams žmogaus aplinkoje, daugiau dėmesio skiriama triukšmo poveikio mažinimui [5]. Naudojamos įvairios triukšmą izoliuojančios arba slopinančios konstrukcijos, iš kurių efektyviausios - apsauginės sienos, akustiniai ekranai ir geresnių garso izoliavimo savybių pastatų sienos bei langai [6]. Norint pagerinti įprasto gyvenamojo pastato akustines savybes svarbu tinkamai parinkti konstrukcijų medžiagas. Parenkant pastato konstrukcijas būtina įvertinti gamybai naudojamų medžiagų akustines savybes, sienų bei langų plotą, formą bei padėtį triukšmo šaltinio ar klausytojo atžvilgiu. Dėl šios priežasties tikslinga tirti langų (stiklo paketų) akustinio triukšmo izoliavimo savybių priklausomybę nuo triukšmo dažnio ir stiklo paketo tipo [7, 8]. Darbo tikslas – įvertinti stiklo paketo triukšmo slopinimo efektyvumą.

## Tyrimų objektas

Tyrimų objektas – stiklo paketas, sudarytas iš kelių stiklų ir tarpų tarp jų užpildytų argono dujomis. Bandinių gabaritai: parenkami 400 x 400mm, skirtingų kombinacijų 4, 6, 8 mm storio stiklais su 16 mm termo rėmeliais iš aliuminio ir drėgmės absorbentu. Stiklo paketo nuotrauka pateikta (1 pav.).



**1 pav.** Tyrimų objekto nuotrauka

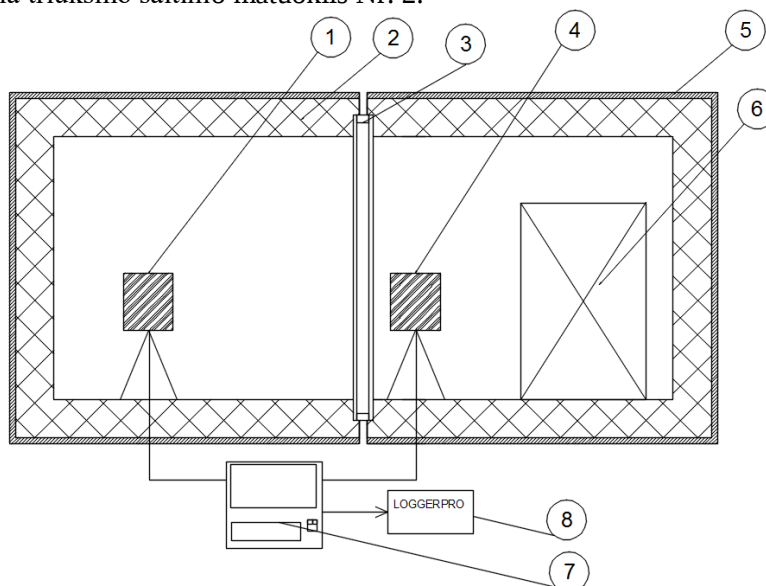
Tirti keturi bandiniai: B1, B2, B3, B4. Bandiniai:  $B1 = (4 - 16 + \text{Arg.} - 6)$ ;  $B2 = (6 - 16 + \text{Arg.} - 4)$ ;  $B3 = (4 - 16 + \text{Arg.} - 8)$ ;  $B4 = (8 - 16 + \text{Arg.} - 4)$ .

## Tyrimų įranga ir metodika

Tyrimams su stiklo paketais atlikti naudotas eksperimentinis stendas, kurio schema pateikta 2 pav. Stendą sudaro dvi dalys, kiekvienos gabaritai: aukštis (400 mm), plotis (400 mm) ir ilgis (400 mm). Stendo

sienos iš 8 milimetrų storio „Equatone“ plokštės (cemento ir medžio plaušo plokštė) ir mineralinės vatos „ISOVER KL35“, 100 mm storio lakštų užpildas kuris izoluoja triukšmo matavimo prietaisus nuo pašalinio aplinkos triukšmo. Vata klijuota tiesiogiai prie plokštės vidinės dalies su „Soudal Easyfix“ klijais skirtais izoliacinių plokščių klijavimui prie įvairaus paviršiaus.

Stendo abi dalis skiria bandiniai. Vienoje kameros dalyje įdėtas matavimo prietaisas Nr.1 (už bandinio), o kitoje kameroje šalia triukšmo šaltinio matuoklis Nr. 2.



**2 pav.** Tyrimų stendas: 1 - matuoklis Nr.1; 2 - vidaus garso izoliacija, 3 - bandinys, 4 - matuoklis Nr.2; 5 - stendo sienos plokštė; 6 - garso šaltinis; 7 – kompiuteris; 8 - duomenų analizės programa

Triukšmo šaltinis, JBL XTREME (3 pav.): matmenys (ilgis 281,94 mm, plotis 121 mm, aukštis 127 mm); svoris 2,11 kg; stiprintuvo galia (20W) + High (20W); Bluetooth 4.1; Dažnių diapazonas 70 - 20000 Hz; Nominalus garso slėgis – 80 dB.



**3 pav.** Triukšmo šaltinis

Triukšmo matuoklis UYIAGO UA961 (4 pav.): korpuso matmenys 144 x 56 x 30,5 (mm); Svoris ~70g; garso matavimo režiai 35-135 db; dažnio matavimo režiai 31,5 Hz – 8 kHz; veikimo temperatūra -20°C - +70°C; matavimo paklaida ± 2 dB.



**4 pav.** Triukšmo matuoklis

Tyrimai buvo atlikti su keturiais stiklo paketais specialiaame garso slopinimo stende (2 pav.). Patalpos kurioje sumontuotas stendas pradinės sąlygos: temperatūra ir drėgnumas buvo pastovūs (temperatūra – 23 °C, drėgnumas – 40 %).

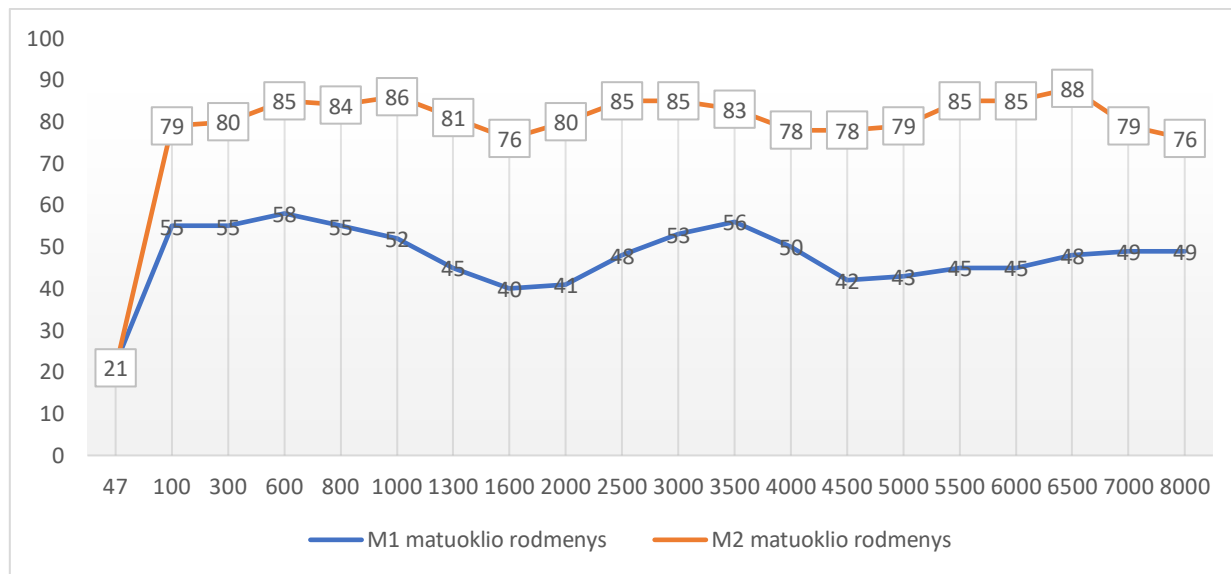
Tyrimai atlikti vadovaujantis specialiai sudaryta metodika. Bandinys, matuokliai ir garso šaltinis sumontuoti stende kuriame sumontuoti triukšmo šaltinis ir triukšmo matuoklis.

Tyrimai atlikti su kiekvienu bandiniu (B1, B2, B3, B4). Pirmasis tiriamas bandinys B1, bandymai daromi nuo 100 Hz iki 8000 Hz. Įstatomas bandinys į jam skirtą vietą ir užsandinamos kameros. Triukšmo šaltinis valdomas telefono pagalba bluetooth ryšiu.

Matavimo metu triukšmas skleidžiamas po 5 minutes ir užfiksuotas vidutinis rezultatas.

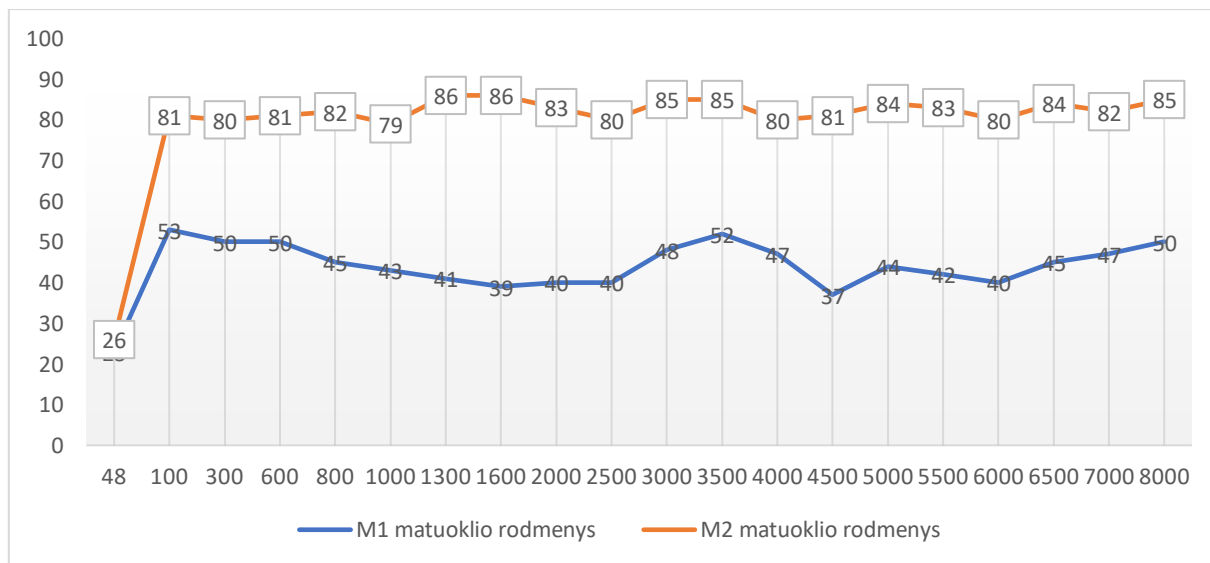
### Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Rezultatai gauti matuojant stiklo paketų triukšmo slopinimo tyrimų stende pateikti grafiškai, 5-9 pav.



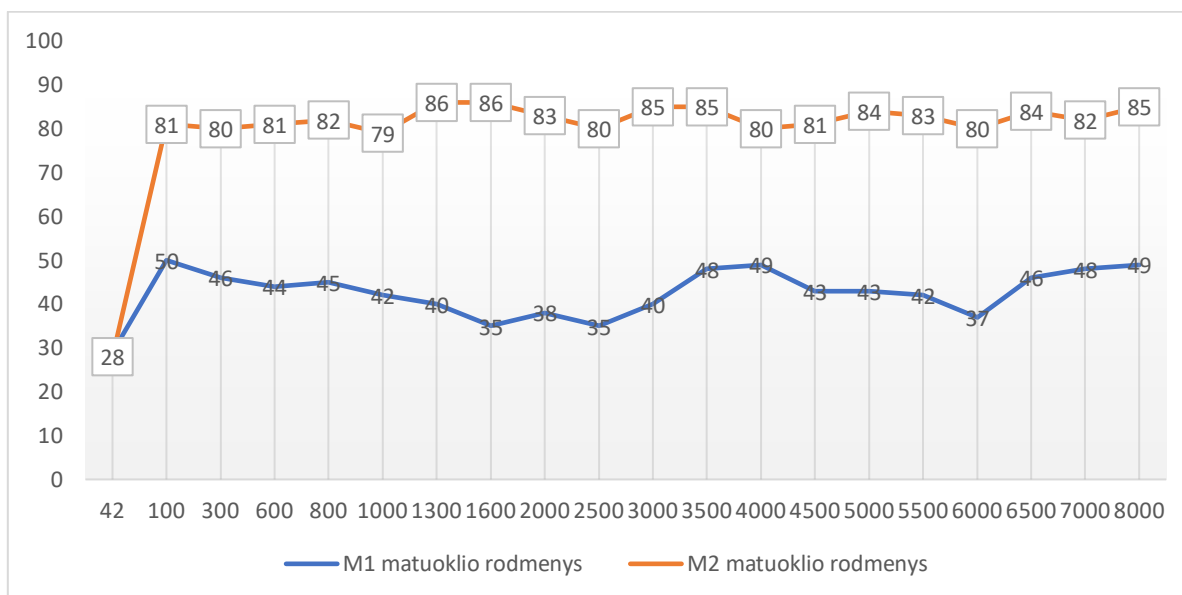
5 pav. Bandinio B1 matavimo rezultatai

Atlikus stiklo paketų garso laidumo tyrimą matoma, kad B1 stiklo paketo (5 pav.):  $(4 - 16 + \text{Arg.} - 6)$  stiklo garso slopinimo savybės gerėja, didėjant garso dažniui nuo 100 Hz iki ~ 2200 Hz. Dažniui didėjant nuo 2200 Hz iki 3500 Hz matomas garso slopinimo blogėjimas. Dažnį didinant virš 3500 Hz stiklo paketo triukšmo slopinimo rezultatai gerėja, ir pasiekus 4500 Hz dažnį, garso slopinimas – 36 dB. Dažniui esant virš 6500 Hz garso slopinimo savybės blogėja.



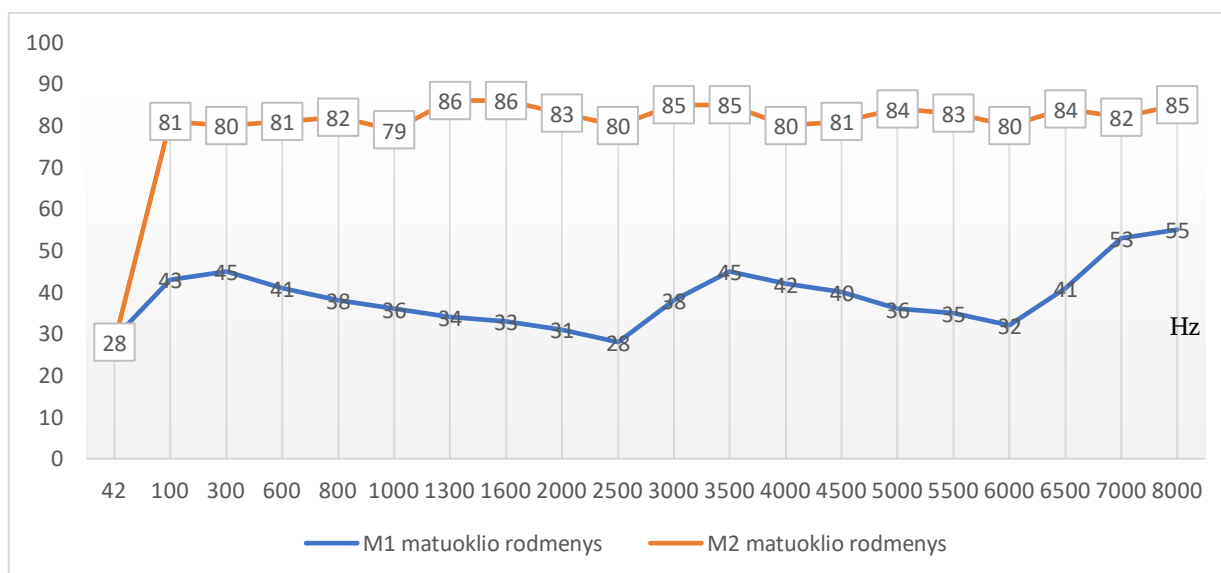
6 pav. Bandinio B2 matavimo rezultatai

Ištirus B2 stiklo paketo (6 pav.):  $(6 - 16 + \text{Arg.} - 4)$  stiklo garso slopinimo savybes matoma, kad šio stiklo paketo garso slopinimas didėja garso dažniui didėjant nuo 100 Hz iki 1600 Hz ir pasiekus 1600 Hz šio paketo garso slopinimas lygus 47 dB. Didinant dažnį nuo 1600 Hz iki 4000 Hz, matoma, kad garso slopinimas blogėja ir lygus 33 dB garso slopinimo savybių ribą. Toliau didinant dažnį nuo 4000 Hz iki 6500 Hz dažnį, garso slopinimas tolygiai gerėja. Virš 6500 Hz dažnio, slopinimo savybės blogėja.



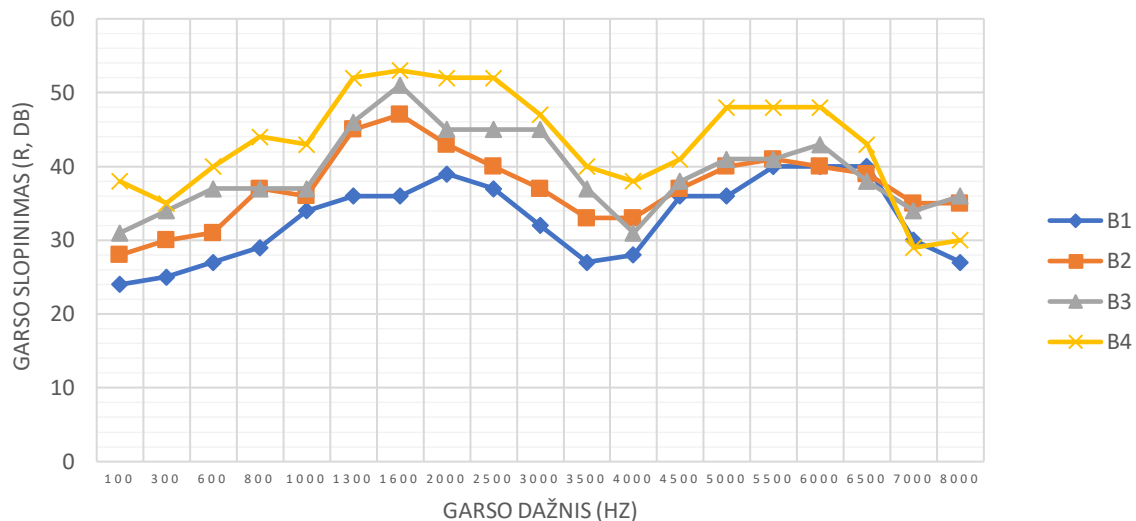
7 pav. Bandinio B3 matavimo rezultatai

Tiriant B3 stiklo paketo (7 pav.):  $(4 - 16 + \text{Arg.} - 8)$  stiklo garso slopinimo savybes matoma, kad šio stiklo paketo garso slopinimas gerėja garso dažniui didėjant nuo 100 Hz iki 1600 Hz. Pasiekus 1600 Hz stiklo paketo garso slopinimas padidėja iki 51 dB. Didinant dažnį nuo 1600 Hz iki 4000 Hz, garso slopinimas sparčiai blogėja ir ties 4000 Hz lygus 31 dB garso slopinimo savybių ribą. Toliau didinant dažnį nuo 4000 Hz iki 6000 Hz dažnį, garso slopinimas tolygiai gerėja iki 43 dB. Virš 6500 Hz dažnio, slopinimo savybės blogėja.



8 pav. Bandinio B4 matavimo rezultatai

Tiriant B4 stiklo paketo (8 pav.):  $(8 - 16 + \text{Arg.} - 4)$  stiklo garso slopinimo savybes matoma, kad šio stiklo paketo garso slopinimas didėja garso dažniui didėjant nuo 100 Hz iki 1600 Hz. Esant 1600 Hz dažniui stiklo paketo garso slopinimas padidėja iki 53 dB. Didinant dažnį nuo 1600 Hz iki 4000 Hz, garso slopinimas sparčiai blogėja ir ties 4000 Hz pasiekia 38 dB garso slopinimo savybių ribą. Toliau didinant dažnį nuo 4000 Hz iki 5000 Hz, garso slopinimas tolygiai didėja iki 48 dB, o virš 6000 Hz dažnio slopinimo savybės blogėja.



**9 pav.** Visų bandinių (B1, B2, B3, B4) garso slopinimo tyrimų rezultatai

Lyginant tyrimų rezultatus (9 pav.) matomos dvi dažnių zonos kuriose visų tyrimų objektų garso slopinimas mažėja ir vėl kyla. Šis diapazonas yra nuo apytiksliai nuo 2500 Hz iki 4500 Hz ir nuo 6000 Hz iki 8000 Hz dažnio.

### Išvados

Ištyrus stiklo paketų garso laidumo savybes, galima teigti, jog stiklo paketo garso laidumas priklauso nuo pirmojo (išorinio) stiklo storio. Vidutinis garso slopinimo koeficientas lyginant B1 ir B2 stiklo paketus, storesnis stiklas lemia vidutiniškai 11% geresnes stiklo paketo garso slopinimo savybes, o lyginant B3 ir B4 bandinius, storesnis stiklas lemia 9% geresnę vidutinį garso slopinimą.

Bandinys B1 savo maksimalią slopinimo ribą 40 dB pasiekia ties 5500 Hz dažniu, o žemiausią ribą ties 100 Hz dažniu (24 dB). Bandinys B2 maksimalią ribą 47 dB pasiekia ties 1600 Hz dažniu, o minimalią ties 100 Hz dažniu (28 dB). Bandinys B3 maksimalią garso slopinimo ribą pasiekia ties 1600 Hz (51 dB), o minimalią (31 dB) ties 100 Hz dažniu. Bandinys B4 maksimalią garso slopinimo ribą 53 dB pasiekia ties 1600 Hz riba o minimalią 29 dB ties 7000 Hz dažniu.

Lyginant visus 4 bandinius, geriausi rezultatai iki 7000 Hz dažnio gauti bandinio B4. Tačiau ties 7000 Hz ir 8000 Hz dažniais bandinį B4 lenkia bandiniai B2 ir B3.

Tyrimais nustatytas geriausias garso izoliaciją turintis stiklo paketas yra  $(8 - 16 + \text{Arg.} - 4)$ , bandinys B4.

### Literatūra

1. Baltrėnas P., Butkus D., Nainys V., Grubliauskas R., Gudaitytė J. Triukšmo slopinimo sienelės efektyvumo įvertinimas. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 2007, 3(15), 125-174 p.
2. Bračkus V., Gužas D. Miesto triukšmo šaltinių klasifikacija ir jų charakteristikų nustatymas. *Jaunųjų mokslininkų darbai*, 2007, 2(13): 84-88 p.
3. Baltrėnas P., Butkus D., Grubliauskas R. Triukšmą slopinančios kameros ir jų panaudojimas. *Mokslas ir Technika*, 2009, 9, 34-37 p.
4. Vilniaus miesto savivaldybės administracijos miesto ūkio ir transporto departamentas. (2016). Prieiga per internetą: <https://aplinka.vilnius.lt/wp-content/uploads/2017/12/TRIUKSMAS-2016-KELIU-LD.jpg> [žiūrėta: 2019-05-22].
5. Baltrėnas P., Petraitis E., Januševičius T. Noise level study and assessment in the southern part of Panevėžys. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 2010, 18(4): 271-280 p.
6. Takahashi, D., Sawaki, S., Mu R.L. Improvement of sound insulation performance of double-glazed windows by using viscoelastic connectors. *Journal of Sound and Vibration*, 2016, 371, 56-66 p.
7. Miskinis K., Dikavicius V., Bliudžius R., Banionis K. Comparison of sound insulation of windows with double glass units *Applied Acoustics*, 2015, 92, 42-46 p.
8. Blasco M., Belis J., De Bleecker H. Acoustic failure analysis of windows in buildings. *Engineering Failure Analysis*, 2011, 18, 1761-1774 p.

# EXPERIMENTAL RESEARCH OF GLASS PACKAGE SOUND CONDUCTIVITY

## Summary

Noise is an integral part of life that adversely affects the human body and quality of life. As urban traffic increases and the overall acoustic pollution increases, building and finishing materials with better sound insulation properties are being sought. The spreading of noise into the premises is blocked by windows, doors and so on. The tests were carried out in the frequency range from 100 Hz to 8000 Hz. Visually presented test results and comparison with the results of different glass packages.

**Keywords:** window, sound conductivity, noise conduction, noise suppression, glass package.

## AUTORIAUS LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Audrius, Čereška

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, profesorius

**Darbo vietą ir poziciją:** Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos fakulteto, Mechanikos ir medžiagų inžinerijos katedros profesorius

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** mechaninių statinių ir dinaminių sistemų diagnostika ir monitoringas

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 606 90514, [audrius.cereska@vgtu.lt](mailto:audrius.cereska@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Darius Jakovickis

**Mokslo laipsnis ir vardas:** magistras

**Darbo vietą ir poziciją:** Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos fakulteto, Mechanikos ir medžiagų inžinerijos katedros studentas

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** statinių sistemų diagnostika

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 683 15300, [darius.jakovickis@stud.vgtu.lt](mailto:darius.jakovickis@stud.vgtu.lt)

## A COVER LETTER OF AUTHOR

**Author name, surname:** Audrius, Čereška

**Science degree and name:** doctor, professor

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Mechanics faculty, Mechanical and material engineering department professor

**Author's research interests:** diagnostics and monitoring of static and dynamic mechanical systems

**Telephone and e-mail address:** +370 606 90514, [audrius.cereska@vgtu.lt](mailto:audrius.cereska@vgtu.lt)

**Author name, surname:** Darius Jakovickis

**Science degree and name:** master

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Mechanics faculty, Mechanical and material engineering department student

**Author's research interests:** diagnostics of static systems

**Telephone and e-mail address:** +370 683 15300, [darius.jakovickis@stud.vgtu.lt](mailto:darius.jakovickis@stud.vgtu.lt)

# BIODEGALŲ IŠ MIKRODUMBLIŲ AUGINIMO, PERDIRBIMO IR PANAUDOJIMO TECHNOLOGIJŲ APŽVALGA TRANSPORTO SEKTORIUJE

Mantas Felneris, Alfredas Rimkus, Saugirdas Pukalskas  
*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

## Anotacija

Transporto sektorius yra itin priklausomas nuo iškastinio kuro, kurio atsargos per artimiausius dešimtmečius bus galutinai išseikvotos. Mokslininkai ir tyrėjai susidomėjo alternatyviais degalais nuo tada, kai buvo išrastas vidaus degimo variklis (VDV). Politinis ir verslo interesas labai priklauso nuo naftos, taršos leidimų kainos ir t.t. Šiuo metu pasaulyje yra sprendžiamos globalios problemos dėl spartaus klimato atšilimo, kas paskatino didelį susidomėjimą alternatyviais energijos šaltiniais. Transporto sektorius – vienas daugiausiai prisidedantis prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) išsiskyrimo. Europos Sąjunga griežtina reikalavimus ŠESD susidarymui, skatina biodegalų gamybą ir VDV kaip atsvarą iškastiniam kurui. Mikrodumbliai – trečios kartos biodegalai iš kurių biomasės išgautas aliejus gali būti sėkmingai perdirbamas į biodegalus, gaminami šalutiniai produktai (kuras, pašarai ir t.t.), atsižvelgiant į auginimo technologiją sparčiai mažinamas anglies dioksido kiekis ( $\text{CO}_2$ ) atmosferoje. Mikrodumблиų kultūros auginimas taip pat sėkmingai integruojamas į kogeneracinės elektrinės energijos gamybos ciklą, kurios metu absorbuoja išmetamuosiuose dūmuose esantį  $\text{CO}_2$ , o dumблиų biomasę perdirbama į biodegalus. Straipsnyje apžvelgtos mikrodumблиų auginimo, aliejaus perdirbimo į biodegalus technologijos ir panaudojimo VDV galimybės, įskaitant gryną aliejų.

**REIKŠMINIAI ŽODŽIAI.** Mikrodumbliai, vidaus degimo variklis, biodegalai, ŠESD, transportas.

## Įvadas

Nuolat didėjanti energijos paklausa, ypač transporto sektoriuje, privertė suinteresuotas šalis susimastyti dėl iškastinio kuro spartaus mažėjimo ir visiško išseikvojimo galimai 2050 metais. Prognozuojamas degalų kainos augimas ir vis didėjanti aplinkos tarša privertė valstybių vadovus, mokslininkus, transporto priemonių gamintojus, degalų perdirbėjus ir kitas suinteresuotas šalis, pradėti atsinaujinančių energijos šaltinių paiešką ir alternatyvą dabar plačiai naudojamiems iškastiniams degalams. Pasaulinė krizė susijusi su energetikos, klimato kaitos, maisto ir kt. klausimais pritraukė mokslininkų suinteresuotumą surasti tinkamą sprendimo būdą.

Biodegalai – viena alternatyvų iškastiniam kurui, kurie skirstomi į pirmos, antros ir trečios kartos. Pirmos kartos biodegalai gaminami iš maistinių kultūrų, turinčių daug aliejaus, cukraus, krakmolo (rapsų, saulėgrąžų sėklos ir t.t.), bet neišsprendžia visų su pasaulinėmis krizėmis susijusių problemų bei prisidėtų prie augančių maisto kainų ar net jo stygiaus. Antros kartos biodegalai gaminami iš lignoceliuliozės turinčios biomasės (medienos ir žemės ūkio atliekos, energetiniai augalai – soros). Nors antros kartos biodegalai tiesiogiai nekonkuruoja su maisto produktų gamybai skirtais augalais, tačiau energinių augalų auginimas konkuruoja su maisto kultūromis dėl naudingų žemės plotų. Trečios kartos biodegalai siejami su dumbliais ir gaminami iš jų biomasės. Įprastai dumbliai skirstomi į makro ir mikro dumblis, kurių pasaulyje aptinkama iki 100 tūkst. rūšių. Dumbliai auga natūralioje aplinkoje, geba absorbuoti anglies dioksidą, o dumблиų biomasės auginimas biodegalų gamybai nesudaro konkurencijos maistinėms kultūroms kaip pirmos ar antros kartos biodegalai.

## Iškastinio kuro naudojimas transporto sektoriuje Lietuvoje

Transporto priemonės sunaudoja didelius kiekius iškastinių degalų, o didžiausia dalimi prie to prisideda kelių transportas. Lietuvoje pagrinde yra naudojami dyzelinas, benzinas ir suskystintos naftos dujos (SND), kitų rūšių degalai yra naudojami ženkliai mažesniais kiekiais. Detali degalų suvartojimo statistika transporto sektoriuje per 2012-2017 metus Lietuvoje pateikta 1 lentelėje.

Iš 1 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad benzino ir SND naudojimas transporto sektoriuje tendencingai mažėjo, o aviacinio benzino sunaudojimas išliko nepakitęs per paskutinius 6 metus. Tuo tarpu kitų degalų rūšių suvartojimas didėjo, ypač ženkli dyzelino paklausa (Lietuvos statistikos metraštis 2018). Keleivių ir krovinių transportavimas keliais numatomas kaip vienas pagrindinių pervežimo būdų Lietuvoje. Beveik visas keleivinis ir krovininis transportas Lietuvoje naudoja benziną, dyzeliną ar SND (UNFCCC 2010). Remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis užfiksuota, kad per 2017 m. kelių transporte buvo sunaudota daugiau nei 1,8 mln. tonų degalų, dyzelinas sudarė didžiausią dalį – 82,3 %, benzinas – 11,8 % ir SND – 5,9 % bendrai sunaudojamų degalų kiekio kelių transporte. Dyzelino populiarumas kelių transporte pradėjo augti nuo 1995 m. Tuo tarpu sunkusis transportas (autobusai ir sunkvežimiai) dyzeliną naudojo kur kas anksčiau kaip pagrindinius degalus dėl ilgesnio variklio eksploatacijos laiko, mažesnių degalų sąnaudų ir kainos.

1 lentelė

**Pagrindinių degalų sunaudojimas transporto sektoriuje per 2012-2017 metus Lietuvoje**

| Degalų rūšis (tūkst. t)           | 2012  | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   |
|-----------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Kelių transporto dyzelinas        | 992,6 | 1023,0 | 1186,0 | 1292,4 | 1398,0 | 1495,3 |
| Automobilių benzinas              | 229,1 | 205,8  | 200,1  | 204,2  | 215,0  | 214,8  |
| Kūrenimui skirti ir kiti gazoliai | 82,4  | 71,3   | 68,6   | 97,2   | 122,0  | 133,4  |
| Suskystintos naftos dujos (SND)   | 137,8 | 132,4  | 128,5  | 121,8  | 114,8  | 106,5  |
| Žibaliniai reaktyviniai degalai   | 64    | 73,4   | 86,5   | 90,7   | 100,7  | 110,9  |
| Skystasis kuras (mazutas)         | 105,1 | 76,6   | 3,3    | 37,3   | 98,9   | 105,5  |
| Aviacinis benzinas                | 0,4   | 0,4    | 0,4    | 0,4    | 0,4    | 0,4    |

Šaltinis: Lietuvos statistikos metraštis (2018), Transportas ir ryšiai (2017)

**Biodegalų gamybos apimtys ir perspektyvos Lietuvoje**

Transporto biodegalų gamyba ir plėtra Lietuvoje gali būti analizuojama nuo 2004 m., kai Europos Sąjungos Komisija inicijavo direktyvą 2003/30/EB, raginančią pakeisti 5,75 % įprastų degalų biodegalais iki 2010 m. 2009 m. pristatyta nauja ES direktyva – 2009/30/EB, kuri skatina atsinaujinančių išteklių energijos naudojimą, aktualų biodegalų gamintojų atveju, prisidėsianti prie ŠESD išmetamų emisijų kiekio mažinimo iki 2 % – 2014 m., 4 % iki 2017 m., 6 % iki 2020 m. (Gocsik, 2010).

Skystieji biodegalai Lietuvoje pagrįste yra gaminami iš maistinių kultūrų (rapsų ir kvietrugių) panaudojant jų aliejų arba fermentuojant krakmolą (2 lentelė). Biodyzelinas ir bioetanolis gaminami iš augalinio aliejaus ir grūdų yra dažnai priskiriami prie pirmos kartos biodegalų, o patobulinti biodegalai kaip antros kartos biodegalai.

2 lentelė

**Energinės kultūros auginimas biodegalų gamybai Lietuvoje**

| Kultūra                      | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Rapsų sėklos (tūkst. t)      | 320  | 280  | 250  | 330  | 360  | 371  | 370  | 320  |
| Kvietrugių grūdai (tūkst. t) | 85   | 135  | 70   | 80   | 80   | 52   | 52   | 50   |

Šaltinis: Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerijos statistiniai duomenys (2019). Prieiga per internetą: <<https://zum.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/zemes-ir-maisto-ukis/bioenergetika>>

Biodegalai iš esmės gali būti pagaminti iš įvairių biologinės kilmės medžiagų. Nepaisant to, rinkos plėtros strategija ir toliau auganti ekonomika reikalauja pažangių technologijų komercializavimo, tai hibridinių sintetinių dujų gamyba (Fišerio-Tropšo biodyzelinas, bio-DME (di-metil-eteris), biometanolis), Koch biodyzelino gamyba iš organinių atliekų, biodyzelino iš dumblių, vandenilio gamybos proceso iš biomasės, celiuliozės perdirbimo ir t.t.

**Mikrodumbliai kaip potencialus biodegalų šaltinis transporto ir energetikos sektoriuose**

Mikrodumbliais buvo susidomėta jau 1942 metais, kai Harder ir von Witsch pasiūlė juos naudoti aliejaus gavybai. Dar anksčiau nei 1942 m. nustatyta, kad azotas kaip maisto šaltinis nulemia lipidų skaičių dumbliuose. Po antrojo pasaulinio karo mikrodumbliais susidomėjo tyrėjai iš JAV, Anglijos ir Vokietijos. 1990 m. buvo paskelbtas vienas pirmųjų pranešimų apie biodegalus perdirbtus iš *Chaetoceros muelleri* lipidų. Biomasė gali būti išgaunama iš įvairių rūšių mikrodumblių, kurių asortimentas yra didesnis nei 50 tūkstančių. Ši biodegalų žaliava yra plačiai nagrinėjama moksle (3 lentelė) ir tampa vis įdomesnė verslui kaip ateities biodegalų šaltinis (Demirbas, 2009).

Skystieji ar kietieji biodegalai iš dumblių gali tapti komerciškai prieinami ne anksčiau kaip per 2020 – 2025 m. Mikrodumblių pritaikymas biodegalų gamybai ir panaudojimui yra skatinamas visame pasaulyje dėl aukšto mikrodumblių našumo, didelės aliejaus koncentracijos, mažo žemės poreikio auginimui, didelio rūšių

pasirinkimo ir pritaikymo pramonės sektoriuose. Produkto savikaina taip pat labai jautri mikrodumblių rūšiai, pasirinktam kultivavimo metodui, apimtims, klimatinėms sąlygoms ir daugeliui kitų faktorių. Naftos kaina turi didelės įtakos biodegalų iš mikrodumblių populiarumui, auganti naftos kaina skatina susidomėjimą dumbliais kaip tinkama alternatyva iškastiniam kurui. Suprasdami šią problemą daugelio pasaulio šalių vyriausybės ėmė griežtinti aplinkosauginius reikalavimus transporto ir energetikos sektoriams, tai palaipsniui užtikrindamos tvarų perėjimą prie biologinės kilmės degalų.

**3 lentelė**

**Moksliniuose tyrimuose dažniausiai naudojamos mikrodumblių rūšys**

| Mikrodumblių rūšis        | Aliejaus koncentracija (%) |
|---------------------------|----------------------------|
| Botryococcus braunii      | 25 – 80                    |
| Chlorella protothecoides  | 23 – 30                    |
| Chlorella vulgaris        | 14 – 40                    |
| Cryptocodinium cohnii     | 20                         |
| Cylindrotheca sp.         | 16 – 37                    |
| Dunaliella salina         | 14 – 20                    |
| Neochloris oleoabundans   | 35 – 65                    |
| Nitzschia sp.             | 45 – 47                    |
| Phaeodactylum tricornutum | 20 – 30                    |
| Schizochytrium sp.        | 50 – 77                    |
| Spirulina maxima          | 4 – 9                      |
| Tetraselmis suecia        | 15 – 23                    |

*Šaltinis: Demirbas (2009)*

**Mikrodumblių auginimo technologijos**

Sėkmingam biodegalų vystymui ir gamybai iš dumblių bei jos komercializavimui yra būtina veikti kompleksiskai, sukuriant ir pritaikant tam reikalingą infrastruktūrą. Pirmojo etapo metu būtina įvertinti kokio tipo dumblių auginimo technologija yra potencialiai naudinga (4 lentelė).

**4 lentelė**

**Dumblių auginimui naudojamos technologijos, jų privalumai ir trūkumai**

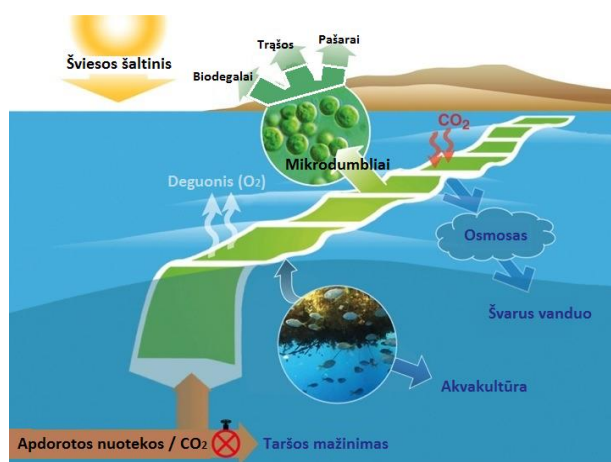
| Dumblių auginimo technologija      | Privalumai                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Trūkumai                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Atviro tipo baseinas               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Santykinai pigi,</li> <li>• lengvai valoma,</li> <li>• gali būti įrengiama ne žemės ūkio paskirties plotuose,</li> <li>• mažos energijos sąnaudos,</li> <li>• paprasta priežiūra.</li> </ul>                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mažas biomasės produktyvumas,</li> <li>• reikalingas didelis žemės plotas,</li> <li>• mažas auginamų dumblių rūšių pasirinkimas,</li> <li>• prasta vandens cirkuliacija („raceway“ tipo sistemoje dalinai išspręsta problema),</li> <li>• mažas šviesos intensyvumas,</li> <li>• prastas CO<sub>2</sub> įsisavinimas,</li> <li>• mikrodumbliai gali būti lengvai užteršiami.</li> </ul> |
| Fotobioreaktorius                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Išauginami dideli biomasės kiekiai,</li> <li>• gali toleruoti ekstremalias aplinkos sąlygas,</li> <li>• didelė CO<sub>2</sub> koncentracija,</li> <li>• efektyvi apšvietimo, temperatūros, pH ir CO<sub>2</sub> kontrolė,</li> <li>• geras sumaišymas,</li> <li>• mažas biomasės užterštumo lygis.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brangus įrengimas,</li> <li>• brangi priežiūra,</li> <li>• didelė išaugintos biomasės savikaina.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Biologinė CO <sub>2</sub> gaudyklė | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Didelio efektyvumo CO<sub>2</sub> kontrolė,</li> <li>• greitas biomasės prieaugis.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ekonomiškai brangi technologija,</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Lygiagrečiai pasirenkama dumblių rūšis, atsižvelgiant į klimatinės sąlygas, auginimo technologiją, biomasės išeigą, energijos sąnaudas ir t.t. Antrojo etapo metu įvertinti pagaminto produkto – biodegalų paklausą, savikainą, panaudojimo VDV galimybes, atlikti eksperimentinius tyrimus ir t.t. Trečiojo etapo metu išsiaiškinti papildomas mikrodumblių auginimo teikiamas finansines naudas, tai dalinis investicijų subsidijavimas, prekyba taršos leidimais, biodyzelino gamyba, biomasės išspaudų kaip kietojo kuro šilumos ir

elektros gamybai, pašarams, mažo potencialo energijos panaudojimas, pramoninių ir buitinių nuotekų valymas ir t.t.

Tikėtina, kad vis tobulėjančios technologijos prisidės prie efektyvesnio biodegalų iš dumblių vystymosi, o šiai dienai kaina ir toliau išliks stipriai priklausoma nuo iškastinio kuro kainos pasaulinėje naftos rinkoje. Tačiau didėjantis susirūpinimas ŠESD didina dumblių potencialą bei praplečia panaudojimo galimybes. 2005 m. Europos Bendrijos iniciatyva buvo suburta koalicija – Europos technologinė nulinės emisijos iškastinio kuro elektrinių platforma, kurios tikslas – kaupti ir saugoti CO<sub>2</sub>, kaip ypatingai svarbų cheminių junginių kovojant su klimato kaita (European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants). CO<sub>2</sub> surinkimas ir saugojimas gali būti techniškai įgyvendinamas pvz. jau naudojamose kogeneracinėse jėgainėse, pritaikius mikrodumblius kaip biologines CO<sub>2</sub> gaudyklas (4 lentelė). Komerciniam mikrodumblių auginimui kaip vieną iš tinkamiausių pavyzdžių, galima panaudoti kogeneracinę jėgainę, kurioje yra gaminama tiek elektros tiek šiluminė energija, dažniausiai naudojant iškastinį kurą, kuris ženkliai prisideda prie ŠESD didėjimo. Išmetamieji dūmai yra nukreipiami į mikrodumblių auginimo sistemą, kur akumuliuojami dideli anglies dioksido kiekiai. Siekiant padidinti biomasės prieaugį ir augimo greitį, papildomai tiekama žemo energetinio potencialo energija – pramoninės nuotekos, susidariusios elektros ir šiluminės energijos gamybos metu. Didelio potencialo kogeneracinėse jėgainėse ES pagaminta apie 11 % elektros energijos.

Siekiant efektyvinti mikrodumblių auginimą biodegalų gamybai, sumažinti investicinius kaštus bei padidinti projekto rentabilumą Nacionalinės aeronautikos ir kosmoso administracijos (NASA) mokslininkai sukūrė „OMEGA“ projektą (1 pav.), kurio tikslas – dumblių biomasės auginimas, nuotekų valymas ir anglies dioksido surinkimas. Mikrodumbliai auginami vandenyje plūduriuojančiuose fotobioreaktoriuose, kurie užpildomi biomasės augimui reikalingomis maistinėmis medžiagomis – nuotekomis ir CO<sub>2</sub>. Reikia pažymėti, kad mikrodumblių biomasės auginimui nėra keliami aukšti vandens parametrų reikalavimai, galima naudoti užterštą (pvz. pramoninių nuotekų) vandenį, kuris galėtų pasitarnauti kaip organinių medžiagų šaltinis. Žinant, kad energetikos pramonė prisideda prie aplinkos taršos dėl sukuriama didelio ŠESD kiekio bei nutekamųjų vandenų, galima teigti, kad mikrodumbliai pasitarnautų kaip biokatalizatoriai, atsakingi už biochemines reakcijas, kurių metu vykdoma CO<sub>2</sub> konversija į fotosintetinius metabolinius produktus.



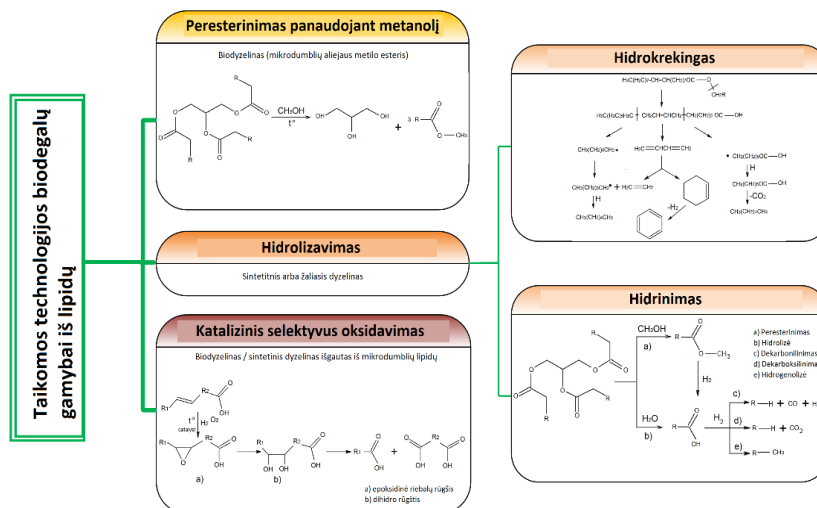
1 pav. Būtiniosios sąlygos mikrodumblių auginimui  
Šaltinis: Trent (2012)

### Mikrodumblių biomasės perdirbimui į biodegalus taikomos technologijos

Atlikus išsamią kitų projektų analizę buvo prieita prie išvados, kad pačios pažangiausios biodegalų gamybos technologijos iš lipidų yra pateiktos 2 paveiksle: 1) peresterinimas metanoliu; 2) Hidrolizavimas (įskaitant hidrokrekingą ir hidrinimą); 3) Katalizinis selektyvus oksidavimas.

Iš mikrodumblių išgautas aliejus ir krakmolai gali būti sėkmingai panaudoti kaip energijos šaltinis transporto sektoriuje, pritaikius tinkamą apdorojimo metodą. Minėti produktai ganėtinai lengvai gali būti perdirbami į biodyzeliną arba bioetanolį. Mikrodumbliuose esantys trigliceridai konversijos proceso metu, peresterinimo būdu, panaudojus šarminį katalizatorių gali būti perdirbami į biodyzeliną, o selektyvus katalizinis oksidatorius mononesočiųjų riebalų rūgščių olefino jungties skilimui, pasiūlytas kaip vienas iš kompleksinių mikrodumblių apdorojimo etapų. Didelis mononesočiųjų riebalų rūgščių kiekis mikrodumbliuose yra palankus kataliziškai selektyviam olefino jungties oksidaciniam skilimui, naudojant aplinkai nekenksmingus oksidatorius (Trusov *et al.*, 2013). Dumblių aliejaus perdirbimo procesas (žiūr.

2 pav.), kai dumblių aliejus transformuojamas į biodegalus hidrokrekingo proceso būdu, didelės molekulės vandenilio pagalba yra suskaldomos į mažesnes, o hidrinimo proceso metu vandenilis yra įterpiamas į molekules. Mikrodumblių aliejaus perdirbimas į biodyzeliną dažniausiai reikalauja dviejų pakopų proceso. Pirmosios pakopos metu pašalinamas deguonis, azotas ir siera, iš mikrodumblių aliejaus riebalų rūgšties susidaro tiesių grandinių alkanai. Antrosios pakopos proceso metu dėl (n-) alkanų krekingo ir izomerizavimo susidaro labai šakotų (iso-) alkanų mišinys (Raslavičius *et al.*, 2014).



2 pav. Pažangiausios technologijos, taikomos biodyzelino gamybai iš lipidų.  
Šaltinis: Raslavičius *et al.* (2013)

Kai kurie didesnės molekulinės masės parafinai gali būti suskaldomi į mažesnės molekulinės masės parafinus. Tokiu būdu galima pasiekti lankstumą rinkoje atsižvelgiant į reaktyvinių degalų ir dyzelino kainas (Lupton, 2012). Viena iš novatoriškų sinerginių biodyzelino gamybos technologijų, tai magnetinio impulso kavitacijos reaktoriai, kurie gali būti pritaikyti tiek mobilios tiek stacionarios gamybos atvejais, pastarosios kontekste pasiektos 500 litrų per valandą biodyzelino gamybos apimtys ir 0,002 kW valanda / litrai efektyvumas (Raslavičius *et al.*, 2013). Mikrodumblių biomasės perdirbimui į biodegalus reikalingas didelis energijos kiekis dėl poreikio sudžiovinti biomasę. Panaudojus hidroterminį suskystinimo procesą galima dirbti su dar šlapia biomase (80–90 % bendro svorio sudaro vanduo) bei nėra reikalingas sudėtingas aliejaus atskyrimo procesas panaudojant tirpiklius (heksaną ar kt.). Mikrodumbliai yra apdirbami aukštame slėgyje, panaudojant karštą vandenį, tokiu būdu atskiriant reikalingą aliejų biodegalų gamybai (Elliott *et al.*, 2013).

### Biodegalų iš mikrodumblių panaudojimas transporto sektoriuje.

Mikrodumblių pritaikymas transporto sektoriuje leistų užkirsti kelią didėjančiam ŠESD, įvertinus biomasės auginimą, derliaus nuėmimą, aliejaus išgavimą, perdirbimą į biodyzeliną ir žinoma, pritaikymą – sudegimą VDV. Įvertinus biodyzelino iš mikrodumblių išgavimo kelią ir pritaikymą VDV išsiskiria išmetamieji dūmai, tačiau galutiniame produkte yra sukuriamas neigiamas ŠESD. Tai leidžia manyti, kad tiesioginis aliejaus pritaikymas transporto sektoriuje jo neperdirbant į biodyzeliną (2 pav.), sumažintų energijos sąnaudas ir ženkliai padidintų neigiamą ŠESD. Iš mikrodumblių biomasės išgauto aliejaus perdirbimas į biodyzeliną reikalauja papildomų kaštų tiek energijos prasme tiek finansų – infrastruktūros-perdirbimo technologijos sukūrimui, chemikalų įsigijimui ir t.t. Būtų tikslinga atlikti VDV eksperimentinius tyrimus panaudojant gryną mikrodumblių aliejų.

Tiesioginis aliejaus panaudojimas VDV leidžia galvoti apie sėkmingą mikrodumblių biomasės tolimesnį vystymą ir auginimą. Aliejus galėtų būti išgaunamas, nenaudojant papildomų chemikalų. Toks gyno aliejaus ar jį maišant su mineraliniu dyzelinu panaudojimas, galėtų būti rentabilus. Visgi didžioji dalis transporto priemonių yra varomos įprastu mineraliniu dyzelinu, kuris negali būti lengvai pakeičiamas aliejumi.

Reikėtų pažymėti, kad dar XIX a. pabaigoje sukurti dyzeliniai VDV naudojo augalinius aliejus (Hebbal *et al.*, 2006). Antro pasaulinio karo metu aliejai naudoti karinėms dyzelinėms transporto priemonėms užmaitinti ypač aktualu izoliuotuose regionuose, kur degalų pristatymas nebuvo galimas arba sudėtingas. Vėliau augaliniai aliejai buvo naudojami ekstremaliomis karo ir stichinių nelaimių sąlygomis. Aliejai yra patys efektyviausi skystieji degalai pagal energijos sąnaudų ir išeigos santykį, kurie gali būti sėkmingai panaudoti vidaus degimo dyzeliniuose varikliuose tiesiogiai ar maišant su mineraliniu dyzelinu. Iš mikrodumblių išgauto aliejaus pritaikymas VDV pasižymi „CO<sub>2</sub> neutralumu“ (angl. Zero CO<sub>2</sub>) bei nesukelia neigiamo poveikio

vandens telkinių taršai. Reikia pažymėti, kad mikrodumblių aliejaus gamybai nereikia jokių toksinių ar chemiškai agresyvių medžiagų (metanolis, esterinimo proceso priedai), o technologinio proceso metu gautos atliekos gali būti sėkmingai panaudotos. Aliejus yra lengvai ir saugiai transportuojamas, o avarijos atveju nesukelia taršos aplinkai pavojaus.

Aliejus išgautas iš mikrodumblių pasižymi pakankamai aukštu žemutiniu šilumingumu, cetaniniu skaičiumi, tačiau kaip ir visiems aliejams jam būdinga didelė klampa, dėl ko tiesioginis panaudojimas šiuolaikiniuose VDV yra sudėtingas. Didelės klampos aliejų pritaikymas moderniuose VDV gali sukelti degalų purkštukų ir degalų tiekimo linijos atgalinio slėgio problemas (Nettles-Anderson *et al.*, 2009). Susidaro palankios sąlygos degalų purkštukų koksavimui, lemiančiam netinkamą degalų mišinio susidarymą ir aliejaus išpurškimą. Išpurkšta degalų čiurkšlė atsimuša į cilindro sienelę ir susidaro netinkamos degimo ir polimerizacijos sąlygos (Gao *et al.*, 2009). Nepilnai sudegę degalai gali patekti į variklio tepimo sistemą ir sukelti variklio gedimą dėl netinkamo variklio judančių dalių tepimo. Prastos degimo sąlygos atitinkamai prisideda prie didėjančių emisijų HC, CO, NO<sub>x</sub> ir kietųjų dalelių (Nettles-Anderson *et al.*, 2009). Reikėtų paminėti, kad nemodifikuotam dyzeliniam varikliui dirbant su mažesne negu 50 % (kai variklis apkrautas nominalios galios) apkrova, degimo kameroje vyrauja kiek žemesnė nei 200 °C temperatūra, o aliejaus užsiliepsnojimo temperatūra priklausomai nuo aliejaus rūšies, dažnai viršija šią ribą. Tokiu atveju iš degalų purkštuko išpurškiami aliejaus lašeliai neišgaruoja, o atsimuša į cilindro sienelę, dalis prilimpa ir pavirsta derva (Sidibe *et al.*, 2010). Siekiant užtikrinti sklandų VDV veikimą (degalų purkštukų, stūmoklio žiedų, tepimo ir kt.) ir aliejų pasirinkus už degimo produktą, svarbu, kad šie skystieji degalai atitiktų aukščiausią kokybės standartą. Lietuvoje toks standartas nėra patvirtintas, todėl galima pasinaudoti vieninteliu šiuo metu turimu ir Vokietijoje patvirtintu standartu DIN 51 605 (Ruyck *et al.*, 2006). Lyginant aliejaus ir biodyzelino savybes galima išskirti tai jog aliejus praktiškai neturi agresyvaus neigiamo poveikio variklio guminėms detalėms, sandarikliams bei pasižymi mažu koroziniu aktyvumu. Reikėtų pažymėti, kad dėl didelės aliejaus klampos ilgalaikis naudojimas gali visiškai užkimšti degalų filtrą (Ramadhas *et al.*, 2005).

### Išvados

Atliktus transporto sektoriaus apžvalgą Lietuvoje, užfiksuotas iškastinio kuro produktų, ypač dyzelino naudojimo augimas. Griežtėjantys ES reikalavimai aplinkos taršos klausimu, didina suinteresuotumą biodegalų gamyboje, didėja pagaminamos produkcijos kiekis, o ateityje tempas tik didės, atitinkamai auga biodegalų suvartojimas transporte. Biodegalų gamyba turi būti rentabili, todėl pasiūlyta mikrodumblių auginimo perspektyvos ir auginimo technologijos, kurios leis įvertinti galimybes. Pasiūlytas efektyvus mikrodumblių auginimo būdas – integruoti į kogeneracinę jėgainę. Toks integravimas leistų sumažinti mikrodumblių biomasės auginimo kaštus panaudojant mažo potencialo šilumos energiją (išsiskiriančią su išmetamaisiais dūmais ir elektros gamybos metu), panaudoti mikrodumbliams reikalingas maistines medžiagas, esančias išmetamuosiuose dūmuose (CO<sub>2</sub>) ir pramoninėse nuotekose, įskaitant jų valymą, sumažinti ar visiškai panaikinti jėgainei skirtą taršos mokestį, vykdyti prekybą taršos leidimais, gauti dalinį investicijų subsidijavimą, pradėti efektyvią biodegalų gamybą, biomasės išspaudas panaudoti kaip kietąjį kurą šilumos ir elektros gamybai, išspaudų panaudojimas pašarams ar kitiems produktams ir t.t.

Biodegalų gamyba reikalauja papildomo aliejaus perdirbimo, straipsnyje pateikta pažangiausia biodyzelino gamybai iš lipidų taikoma technologija: 1) peresterinimas metanolio; 2) hidrolizavimas (įskaitant hidrokrekingą ir hidrinimą); 3) katalizinis selektyvus oksidavimas.

Galimi keli mikrodumblių aliejaus ir biodyzelino panaudojimo VDV scenarijai: a) biodyzelino tiesioginis panaudojimas, b) biodyzelino maišymas su mineraliniu dyzelinu įvairiais santykiais, c) tiesioginis aliejaus panaudojimas ir d) aliejaus su mineraliniu dyzelinu sumaišymas ir pritaikymas. Tiesioginis aliejaus naudojimas leistų išvengti papildomų perdirbimo procedūrų, tačiau reikėtų įvertinti daugumą aspektų, kurie galėtų turėti neigiamos įtakos VDV veikimui dėl aliejui būdingos didelės klampos.

### Literatūra

1. Demirbas, A. 2009. Political, economic and environmental impacts of biofuels: A re-view. *Applied Energy* 86: 108–117
2. Elliott, D.C.; Hart, T.R.; Schmidt, A.J.; Neuenschwander., G.G.; Rotness, L.J.; Olarte, M.V.; et al. 2013. Process development for hydrothermal liquefaction of algae feedstocks in a continuous-flow reactor. *Algal Research* (2): 445–454.
3. European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants. Prieiga per internetą: <<http://www.zeroemissionsplatform.eu/>>
4. Gao, J.; Hao, X.; Thelen, K.D. and Robertson, G.P. 2009. Agronomic Management System and Precipitation Effect on Soybean Oil and Fatty Acid Profiles. *Crop Science*, 49, 1049-1057.

5. Gocsik, E. 2010. The expected effects of new EU legislation on commodity and biofuel trade flows. *M.SC thesis: BEC-80433*. Wageningen University, The Netherlands.
6. Hebbal, O.D.; Reddy, K.V.; Rajagopal, K. 2006. Performance characteristics of a diesel engine with deccan hemp oil. *Fuel* 85:2187–94.
7. Lietuvos Respublikos žemės ūkio ministerijos statistiniai duomenys 2019. Prieiga per internetą: <<https://zum.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/zemes-ir-maisto-ukis/bioenergetika>>.
8. Lietuvos statistikos metraštis. 2018. Vilnius 442 p. ISSN 2029-3631.
9. Lithuania's Fifth National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). 2010. 135 pp.
10. Lupton, S. 2012. The refining of algal oils into fungible transportation fuels. *Biomass Magazine*. Prieiga per internetą: <<http://biomassmagazine.com>>.
11. Nettles-Anderson, S.L. and Olsen, D.B. 2009. Survey of Straight Vegetable Oil Composition Impact on Combustion. Properties. *SAE Technical Paper* 2009-01-0487.
12. Ramadhas, A.S.; Jayaraj, S.; Muraleedharan, C. 2005. Characterization and effect of using rubber seed oil as fuel in the compression ignition engines. *Renewable Energy* 30:795–803.
13. Raslavičius, L.; Semenov, V.G.; Chernova, N.I.; Keršys, A.; Kopeyka, A.K. 2013. The promise and challenges of algae for transportation biofuels. *Proceedings of 17th International Conference Transport Means*. Kaunas: 83–86.
14. Raslavičius, L.; Semenov, V.G.; Chernova, N.I.; Keršys, A.; Kopeyka, A.K. 2014. Producing transportation fuels from algae: In search of synergy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 40: 133–142.
15. Ruyck, J.D.; Jossart, J.M.; Palmers, G.; Lavric, D.; Bram, S.; Novak, A. et al. 2006. Project CP/53, Liquid biofuels in Belgium in a global bio-energy context. Belgium: *Belgian Science Policy*.
16. Sidibe, S.S.; Blin, J.; Vaitilingom, G.; Azoumah, Y. 2010. Use of crude filtered vegetable oil as a fuel in diesel engines state of the art: literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14:2748–59.
17. Transportas ir ryšiai 2017. 2018. Vilnius: Lietuvos statistikos departamentas. 117 p.
18. Trent, J. 2012. Offshore Membrane Enclosures for Growing Algae (OMEGA): A Feasibility Study for Wastewater to Biofuels. *Energy Research and Development Division Final Project Report*.

## OVERVIEW OF BIOFUEL FROM MICROALGAE CULTIVATION, CONVERSION AND APPLICATION TECHNOLOGIES IN TRANSPORT SECTOR

### Summary

The transport sector is highly dependent on fossil fuels, which is going to be depleted in the coming decades. Researchers have been interested in alternative fuels since the invention of the internal combustion engine (ICE). Political and business interests were decisively dependent on the price of oil, emissions allowances and etc. Global problems are currently being solved due to the rapid warming of the climate, which has led to great interest in alternative energy sources. The transport sector is one of the main contributors to greenhouse gas (GHG) emissions. The European Union has been tightened the requirements for GHG generation, promoting the production and adaptation of biofuels in internal combustion engines as a counterweight to fossil fuels. Micro-algae – third generation biofuels, from which biomass the oil is extracted can be successfully processed into biofuels, produced by-products (solid fuel, feed, etc.), according to the technology of cultivation CO<sub>2</sub> is rapidly reduced in the atmosphere. The cultivation of micro-algae is also successfully integrated into the cogeneration power plant's cycle, which absorbs CO<sub>2</sub> from the exhaust fumes and the algae biomass is processed into biofuels. The article reviews the possibilities of micro-algae cultivation, oil processing into biofuel technology and utilization of internal combustion engine, including pure oil.

**Key words:** Microalgae, Internal Combustion Engine, Biofuel, GHG, Transport.

#### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Mantas Felneris.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** doktorantas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto, Automobilių inžinerijos katedros doktorantas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** biodegalai, alternatyvioji energetika, vidaus degimo varikliai.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 671 01376, [mantas.felneris@vgtu.lt](mailto:mantas.felneris@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Alfredas Rimkus.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto, Automobilių inžinerijos katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 615 71161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Saugirdas Pukalskas.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto, Automobilių transporto katedros profesorius.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika, alternatyvieji automobiliai.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 655 29573, [saugirdas.pukalskas@vgtu.lt](mailto:saugirdas.pukalskas@vgtu.lt)

## A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Mantas Felneris.

**Science degree and name:** doktorantas.

**Workplace and position:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto, Automobilių inžinerijos katedros doktorantas.

**Author's research interests:** biodegalai, alternatyvioji energetika, vidaus degimo varikliai.

**Telephone and e-mail address:** +370 671 01376, [mantas.felneris@vgtu.lt](mailto:mantas.felneris@vgtu.lt)

**Author name, surname:** Alfredas Rimkus.

**Science degree and name:** associated professor.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Engineering department associated professor.

**Author's research interests:** Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.

**Telephone and e-mail address:** +370 615 71161, [alfredas.rimkus@vgtu.lt](mailto:alfredas.rimkus@vgtu.lt)

**Author name, surname:** Saugirdas Pukalskas.

**Science degree and name:** PhD, associated professor.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty, Automobile Transport department professor.

**Author's research interests:** Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy, alternative fuel vehicles.

**Telephone and e-mail address:** +370 655 29573, [saugirdas.pukalskas@vgtu.lt](mailto:saugirdas.pukalskas@vgtu.lt)

# LENGVŲJŲ PRESTIŽINIŲ AUTOMOBILIŲ KONSTRUKCINIŲ ELEMENTŲ PATIKIMUMO TYRIMAS

Justas Jonauskas, Saulius Nagurnas, Robertas Pečeliūnas  
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

## Anotacija

Straipsnyje pateikiamas lengvųjų prestižinių automobilių konstrukcinių elementų patikimumo tyrimas. Šiuo tyrimu siekiama įvertinti dažniausiai pasitaikančius gedimus, kurie fiksuojami garantiniu automobilių eksploatacijos laikotarpiu. Šiam tikslui pasiekti, remiantis surinktais eksperimentiniais duomenimis apie gedimus, yra atlikta matematinė statistinė analizė, kuria buvo nustatomi konkrečių automobilio konstrukcinių elementų patikimumo rodikliai. Remiantis gautais rezultatais nustatytas nagrinėtų automobilių konstrukcinių elementų patikimumas, vidutinis resursas, pateikti šių elementų gedimų prognozės modeliai.

**REIKŠMINIAI ŽODŽIAI:** prestižinis lengvasis automobilis, matematinės statistikos modeliai, patikimumas, gedimo tikimybė.

## Ivadas

Šiuolaikiniuose automobiliuose, tobulėjant gamybos technologijoms, sudėtingesniais tampa konstrukciniai elementai. Dažniausiai gamintojai tobulina įrenginių darbo efektyvumą siekiant atitikti keliamus saugumo, aplinkos taršos ir kitus reikalavimus. Nepaisant to, gamintojai nėra linkę nurodyti tam tikrų konstrukcinių elementų patikimumo rodiklius (pvz., garantinį resursą), remiantis konkrečių elementų gedimų eksperimentiniais duomenimis. Todėl šiame tyrime, naudojantis matematinės statistikos metodais, vertinami prestižinių lengvųjų automobilių konkrečių elementų patikimumo rodikliai.

**Tyrimo objektas** – prestižinių lengvųjų automobilių konstrukcinių elementų patikimumo tyrimas.

**Tyrimo tikslas** – remiantis matematinės statistikos modeliais išanalizuoti eksperimentinių tyrimų duomenis ir įvertinti konkrečių konstrukcinių elementų patikimumo rodiklius.

## Tikslui pasiekti iškelti uždaviniai:

1. Išanalizuoti mokslinės literatūros šaltinius, kuriuose nagrinėjami lengvųjų automobilių konstrukcinių elementų patikimumo rodikliai bei jų tyrimo metodika.
2. Sudaryti konkrečių elementų gedimų registravimo metodiką, kuria remiantis būtų sudaroma patikimumo duomenų visuma reikalinga tolimesnei analizei.
3. Remiantis susistemintais duomenimis bei panaudojant matematinės statistikos modelius, įvertinti nagrinėjamų konstrukcinių elementų patikimumo rodiklius.

## Naudojami metodai:

Mokslinės literatūros analizė, eksperimentiniai tyrimai, matematinės statistikos metodai.

**Straipsnio struktūra.** Pateikiama atliktų mokslinių darbų, nagrinėjančių automobilių tam tikrų konstrukcinių elementų patikimumą, analizė, prestižinių automobilių konstrukcinių elementų gedimų duomenų surinkimo ir apdorojimo metodika, matematinės statistikos modelių sudarymo metodika ir gauti patikimumo rodikliai.

**Lengvųjų automobilių konstrukcinių elementų patikimumo tyrimų apžvalga.** Mokslinėje literatūroje yra aprašomi įvairių automobilio mazgų patikimumo tyrimai. Viena iš jų (Upadhyay, 2013) yra nagrinėjama alyvos įtaka variklio nusidėvėjimui, kada tyrimui buvo naudota 15W40 variklinė alyva. Alyva buvo stebima naudojant bichromatinį mikroskopą. Atlikus bandymus buvo pastebėta, kad remiantis naudotos alyvos analize pagal joje esančių trinties produktų (metalų dalelių, abrazyvų) kiekį galima efektyviai stebėti variklio būklės pokyčius. Pagal nagrinėjamoje alyvoje esančias daleles, jų formą, dydį, koncentraciją galima įvertinti besitrinančių variklio komponentų būklę.

Kitame straipsnyje (Zadorozhnaya et al, 2017) nagrinėjami vidaus degimo variklių alkūninio veleno guolių patikimumo rodikliai, remiantis hidromechaninių skaičiavimų charakteristikomis, kai varikliai dirba trumpalaikiais režimais. Varikliui dirbant tokiu režimu yra susiduriama su terminėmis bei mechaninėmis apkrovomis, galios bei degalų ekonomiško, resurso mažėjimu. Atlikus skaičiavimus, remiantis eksperimentiniais duomenimis, buvo nustatyta, kad akceleratoriaus metu mažiausias alyvos sluoksnio storis padidėja ir plotmės ilgis, kurioje mažiausias alyvos sluoksnio storis yra mažesnis nei kritinė vertė, sumažėja.

Konstrukcinių elementų mazgų ilgaamžiškumui įtakos gali turėti ne tik jų pačių konstrukcinės savybės, bet ir pagalbinių elementų būklė. Mokslininkai (Toma et al, 2015) aprašo tyrimus, kurių tikslas

nustatyti oro filtrų tinkamumą naudoti, kai jie yra keičiami numatytų techninės priežiūros darbų periodo pabaigoje arba kai jų keitimas vykdomas anksčiau, nei numatytas techninės priežiūros laikas. Šiuo tyrimu nustatyta, kad oro filtrų pralaidumo savybės nėra tiesiogiai priklausomos nuo automobilių ridos, kadangi dauguma to paties įdirbio oro filtrų buvo skirtingai užsiteršę. Taip galėjo nutikti dėl automobilių eksploatavimo skirtingomis aplinkos ir oro užterštumo sąlygomis, todėl autoriai rekomenduoja oro filtrus keisti atsižvelgiant ne į techninės priežiūros numatytą periodiškumą, bet į jų pačių būklę, kuomet oro pralaidumo vertė yra arti kritinės.

Dažname moksliniame darbe (taip pat ir aukščiau minėtuose) pateikiami atlikti eksperimentiniai tyrimai. Tačiau nemažiau svarbi yra tyrimų duomenų analizė, naudojant matematinės statistikos modelius. Remiantis matematinės statistikos modeliais tikslinga sudaryti nagrinėjamų konstrukcinių elementų patikimumo rodiklių prognozes. Tai atliekama šiame tyrime.

**Lengvųjų prestižinių automobilių konstrukcinių elementų patikimumo duomenų registravimo metodika.** Eksperimentiniai gedimų duomenys buvo fiksuojami viename Vilniaus prestižinių automobilių gamintojo autorizotame servise. Šiame tyrime buvo fiksuojamos ridos iki gedimų. Fiksuoti duomenys buvo tik tų automobilių, kuriems gedimai buvo šalinami garantiniu laikotarpiu. Tiriamųjų automobilių garantinis periodas yra apribojamas pagal ridą (iki 200 000 km) arba pagal eksploatacijos trukmę (iki 5-ių metų, skaičiuojant šį laikotarpį nuo pirmosios automobilio registracijos datos).

Šio tyrimo metu buvo fiksuojami dviejų konkrečių konstrukcinių elementų gedimai:

1. Dizelinių variklių EGR (išmetamųjų dujų recirkuliacijos) vožtuvo gedimai, kai minėtasis vožtuvas yra nepataisomas ir jį reikia keisti nauju.
2. NO<sub>x</sub> junginių išmetamosiose dujose jutiklio gedimas, kai šis jutiklis yra nebepataisomas ir jis turi būti pakeistas nauju.

Šių konstrukcinių elementų sutrikimus mechanikai tikrina specializuota diagnostine aparatūra, kurios programinė įranga gali pateikti nuorodas, kokius agregatus ir jų parametrus reikia tikrinti, esant tam tikriems variklio darbo sutrikimams ar fiksuotoms klaidoms variklio valdymo bloke. Užfiksuoti konstrukcinių elementų sutrikimai būna tikrinami toliau atliekant vadinamuosius „test-blokus“, kai yra tikrinami konstrukcinių elementų darbo parametrai. Po atlikto „test-bloko“ yra nustatomi tam tikri parametrai, dėl kurių reikia keisti konstrukcinį elementą. Taip fiksuojamas gedimas ir nustatyta rida įtraukiama į tyrimų sudarytą registrą.

Surinktos automobilių įdirbių iki gedimo vertės (ridos pavidalu) yra sugrupuojamos didėjimo tvarka (sudaromos EGR vožtuvų gedimų bei NO<sub>x</sub> jutiklių gedimų variacinės eilutės). Toliau duomenys apdorojami taikant matematinės statistikos metodus.

**Eksperimentiniams gedimų duomenims analizuoti taikomų matematinės statistikos modelių sudarymo metodika.** Bendruoju atveju atsitiktiniai dydžiai (transporto priemonių gedimai) dažniausiai pasiskirsto pagal normalųjį (Gauso) arba Veibulo skirstinį (Bertsche, 2008). Prieš iškeliant hipotezę, pagal kokį skirstinį yra išsidėstę atsitiktiniai dydžiai, šio tyrimo atveju, juos pirmiausia reikia atitinkamai susisteminti (Bertsche, 2008; DeCoursey, 2003).

Pirmiausia, kaip buvo minėta anksčiau, duomenys sugrupuojami reikšmių didėjimo tvarka. Po to duomenys skirstomi į skaičiuojamuosius intervalus. Tam pirmiausia reikia nustatyti intervalo imties dydį pagal formulę:

$$h = \frac{\Delta L}{1 + 3,3 \lg N} \quad (1)$$

čia  $\Delta L = t_{\max} - t_{\min}$ , km – skirtumas tarp didžiausio ir mažiausio įdirbio iki gedimo,  $N$  – visų atsitiktinių dydžių (gedimų) skaičius.

Nustatomas skaičiuojamųjų intervalų skaičius pagal formulę:

$$n_{\text{int}} = \frac{\Delta L}{h} \quad (2)$$

čia  $h$  – intervalo imties dydis.

Kai atsitiktinių dydžių vertės yra sugrupuojamos į intervalus, toliau apskaičiuojamas vidutinis tiriamojo objekto resursas:

$$\bar{T}_{\text{vid}} = \sum_{i=1}^N T_{v_i} \cdot \frac{m_i}{N} \quad (3)$$

čia  $T_{v_i}$  – vidutinė ridos reikšmė, atitinkanti  $i$ -tojo (nagrinėjamojo) intervalo vidurkį,  $m_i$  – gedimų skaičius intervale.

Vidutinis kvadratinis nuokrypis  $\sigma$  apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (T_{v_i} - \bar{T}_{vid})^2 \cdot \frac{m_i}{N}} \quad (4)$$

Variacijos koeficientas  $v$  apskaičiuojamas pagal formulę:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{T}_{vid}} \quad (5)$$

Atsižvelgiant į gautą variacijos koeficiento vertę, galima iškelti hipotezę dėl tiriamojo objekto atsitiktinių dydžių gedimų pasiskirstymo dėsnio (Bertsche, 2008; DeCoursey, 2003). Jei variacijos koeficiento vertės yra  $0,33 < v$  - tokiu atveju iškeliama hipotezė, kad atsitiktinės gedimų vertės (ridos iki gedimo) yra pasiskirsčiusios pagal Normalųjį (Gauso) pasiskirstymo dėsnį. Jei apskaičiuotasis variacijos koeficientas yra ribose  $0,33 \leq v \leq 1$  - iškeliama hipotezė, kad atsitiktiniai dydžiai pasiskirstę pagal Veibulo dėsnį. Iškeltai hipotezei patvirtinti yra apskaičiuojamas Pirsono patikimumo kriterijus  $\chi_{sk}^2$  (Bertsche, 2008; DeCoursey, 2003):

$$\chi_{sk}^2 = \sum_{i=1}^{n_{int}} \frac{(m_i - N \cdot p_i)^2}{N \cdot p_i} \quad (6)$$

čia  $p_i$  – statistinė tikimybė įvykti gedimui.

Apskaičiuotoji Pirsono koeficiento reikšmė yra lyginama su lenteline koeficiento reikšme. Jei  $\chi_{lent}^2 > \chi_{sk}^2$  - tuomet yra priimama, kad parinktas pasiskirstymo dėsnis yra tinkamas apibūdinti atsitiktinių dydžių pasiskirstymą. Nustačius konkretų atsitiktinių dydžių pasiskirstymo dėsnį galima nustatyti gedimų patikimumo rodiklius ir pateikti patikimumo prognozes.

Kadangi šiame tyrime abiejų konstrukcinių elementų gedimai pasiskirstę pagal Veibulo skirstinį (žr. tolimesnį tyrimo aprašymą) nustatomi šie pagrindiniai patikimumo rodikliai ir braižomos jų charakteristikos (žr. 1 - 6 pav.):

Veibulo skirstinio tankio funkcija  $f(T)$ , atitinkanti tiriamųjų elementų gedimų tikimybių tankio funkciją:

$$f(T) = \left(\frac{m}{\theta}\right) \left(\frac{T}{\theta}\right)^{m-1} \exp\left(-\frac{T}{\theta}\right)^m \quad (7)$$

čia  $m$  – formos parametras;  $\theta$  – mastelio parametras,  $T$  – tam tikra ridos reikšmė gedimo momentu.

Integralinė gedimų pasiskirstymo funkcija  $F(T)$ , atitinkanti gedimo tikimybės kaitą, priklausomai nuo ridos:

$$F(T) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{T}{\theta}\right)^m\right]. \quad (8)$$

Gedimų intensyvumo funkcija  $\lambda(T)$ , rodanti, kokią ridą pasiekus, stebimas žymus tam tikro elemento gedimų skaičiaus padidėjimas:

$$\lambda(T) = \left(\frac{m}{\theta}\right) \left(\frac{T}{\theta}\right)^{m-1}. \quad (9)$$

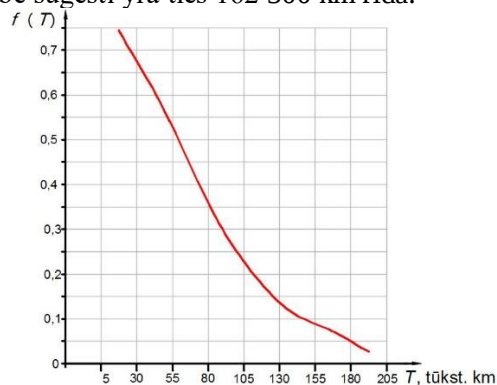
Toliau šiame straipsnyje pateikti sudaryti matematinės statistikos modeliai.

### **Eksperimentinio duomenų (gedimų) tyrimo analizės matematinės statistikos modeliais rezultatai.**

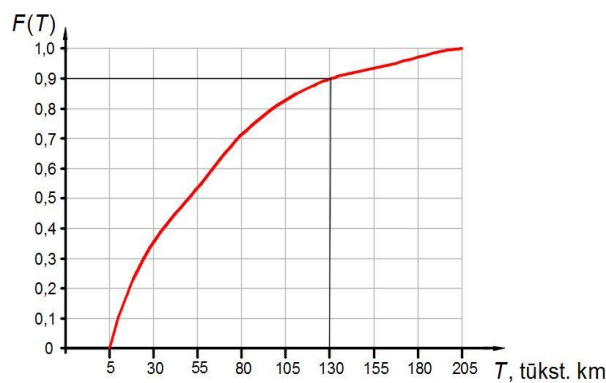
Remiantis EGR vožtuvų gedimų tikimybių tankio funkcija  $f(T)$  (1 pav.) bei  $\chi^2$  kriterijumi buvo priimta hipotezė, kad šio elemento ridos iki gedimo yra pasiskirsčiusios pagal Veibulo skirstinį. Apskaičiuotas vidutinis resursas iki gedimo yra 66 769 km, ją atitinkanti gedimo tikimybė yra  $\approx 0,62$  (2 pav.). Taip pat iš integralinės gedimų pasiskirstymo tankio funkcijos grafiko (2 pav.) matyti, kad 90 % EGR vožtuvų iš 124-ių nagrinėtų, tikimybė sugesti yra ties 130 000 km rida.

Remiantis NO<sub>x</sub> jutiklių gedimų tikimybių tankio funkcija  $f(T)$  (3 pav.) bei  $\chi^2$  kriterijumi buvo priimta hipotezė, kad ridos iki gedimo yra pasiskirsčiusios pagal Veibulo skirstinį. Apskaičiuotasis vidutinis resursas iki NO<sub>x</sub> jutiklio gedimo yra 89 760 km, ją atitinkanti gedimo tikimybė yra  $\approx 0,58$ . Taip pat, integralinės

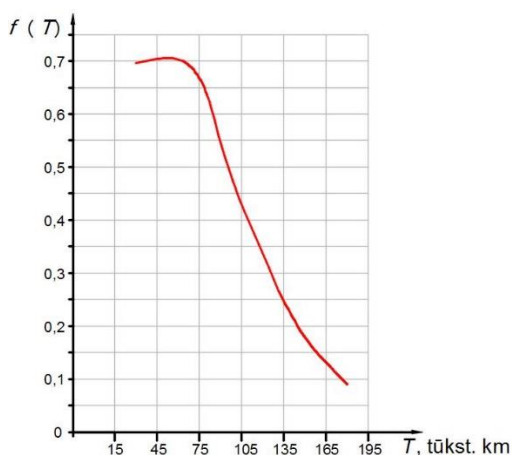
gedimų pasiskirstymo funkcijos grafike (4 pav.) matyti, kad 90 % visų NO<sub>x</sub> jutiklių, iš 35-ių nagrinėtų, tikimybė sugesti yra ties 162 300 km rida.



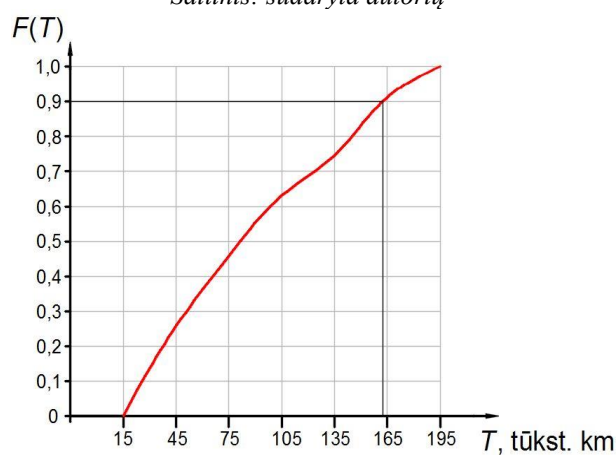
**1 pav.** EGR vožtuvų gedimų tikimybių tankio f-ja  
Šaltinis: sudaryta autorių



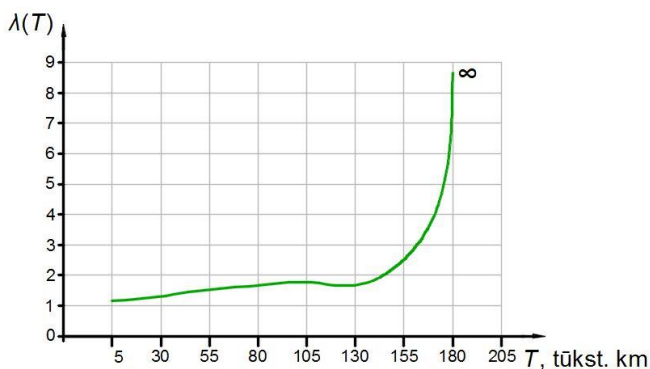
**2 pav.** EGR vožtuvų gedimų integralinė pasiskirstymo funkcija  
Šaltinis: sudaryta autorių



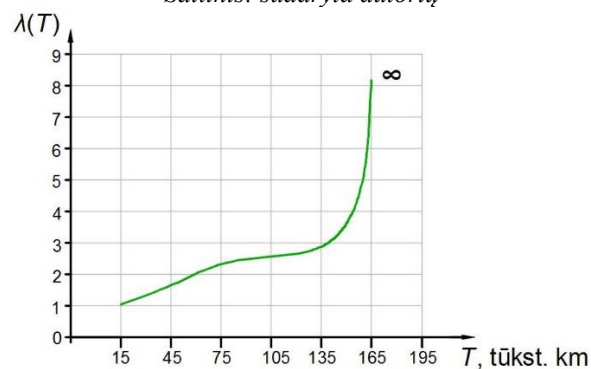
**3 pav.** NO<sub>x</sub> jutiklių gedimų tikimybių tankio funkcija  
Šaltinis: sudaryta autorių



**4 pav.** NO<sub>x</sub> jutiklių gedimų integralinė pasiskirstymo funkcija  
Šaltinis: sudaryta autorių



**5 pav.** EGR vožtuvų gedimų intensyvumo funkcija  
Šaltinis: sudaryta autorių



**6 pav.** NO<sub>x</sub> jutiklių gedimų intensyvumo funkcija  
Šaltinis: sudaryta autorių

Iš gedimų intensyvumo grafikų matyti, kad EGR vožtuvų gedimų intensyvumas (5 pav.) sparčiai didėja nuo 130 000 km ridos įdribio. NO<sub>x</sub> jutiklių gedimų intensyvumas yra sparčiai didėjantis nuo 135 000 km ridos įdribio. Palyginus abiejų nagrinėtų agregatų gedimų intensyvumą matyti, kad NO<sub>x</sub> jutiklių gedimo intensyvumo vidutinė reikšmė (5, 6 pav.) yra apie 1,4 karto didesnė už EGR vožtuvų gedimų intensyvumą.

#### Išvados

1. Remiantis atliktu tyrimu preliminarai galime teigti, kad nagrinėtų prestižinių automobilių konkrečių konstrukcinių elementų gedimai fiksuojami dar garantinio laikotarpio metu, t. y. iki 200 000 km ridos.

2. Gedimų duomenis analizuojant matematinės statistikos modeliais nustatyta, kad:

- EGR vožtuvų ir NO<sub>x</sub> jutiklių gedimai pasiskirstę pagal Veibulo pasiskirstymo dėsnį.
- EGR vožtuvų gedimų skaičius yra vidutiniškai 3,5 karto didesnis už NO<sub>x</sub> jutiklių gedimų skaičių.
- vidutinis įdirbis iki gedimo EGR vožtuvų yra lygus 66 769 km, kai gedimo tikimybė yra apie 0,62.
- NO<sub>x</sub> jutiklio vidutinis įdirbis iki gedimo yra 89 760 km, kai gedimo tikimybė yra apie 0,58.
- palyginus EGR vožtuvų ir NO<sub>x</sub> jutiklių patikimumo rodiklius nustatyta, kad EGR vožtuvų gedimo tikimybė, esant vidutinei ridai 66 769 km, yra didesnė nei NO<sub>x</sub> jutiklių, esant vidutinei ridai 89 760 km.
- vertinant tai, jog prestižinių lengvųjų automobilių gamintojai turi užtikrinti aukštą konstrukcinių elementų patikimumą, galima teigti, jog EGR vožtuvo 0,90 (90 % visų nagrinėtų elementų) tikimybė sugesti ties 130 000 km rida yra vienas iš rodiklių, jog EGR vožtuvų konstrukcinės savybės turi būti tobulinamos.
- vertinant NO<sub>x</sub> jutiklio patikimumą, nustatyta, kad 0,90 (90 % visų nagrinėtų elementų) tikimybė sugesti yra ties 162 300 km rida. Atsižvelgiant į tai, jog garantinis tiriamų automobilių periodas yra apribojamas iki 200 000 km yra rekomenduojama atkreipti dėmesį į šių jutiklių konstrukcines savybes, siekiant sumažinti gamintojo patiriamus nuostolius dėl garantinių remonto darbų.

3. sudaryti matematinės statistikos modeliai gali būti sėkmingai naudojami atliekant automobilių įvairių konstrukcinių elementų patikimumo rodiklių prognozę taip optimizuojant garantinės ir pogarantinės techninės priežiūros darbus.

### Literatūra

1. Bertsche, B. (2008) Reliability in automotive and mechanical engineering. Berlin: Springer-Verlag, 492 p.
2. DeCoursey W. J. (2003) Statistics and Probability for Engineering Applications With Microsoft Excel. USA: Elsevier Science, 396 p.
3. Toma, M.; Fileru, I. (2015) Research on the Air Filters' Maintenance for Diesel Engines. Procedia Technology: 9th International Conference Interdisciplinarity in Engineering. Tirgu-Mures, Romania: Procedia Engineering, p. 969 – 975.
4. Upadhyay, R. K. (2013). Microscopic technique to determine various wear modes of used engine oil. Journal of Microscopy and Ultrastructure, Dhanbad: Elsevier. 1, p. 111 – 114.
5. Zadorozhnaya, E.; Levanov, I; Erkin, V. (2017). Assessing Resource of Internal Combustion Engine Crankshaft Bearing in Consideration of Transient Regime. Procedia Engineering. Chelyabinsk: Elsevier. 206, p. 734 – 738.

## THE RESEARCH OF CONSTRUCTIVE ELEMENTS RELIABILITY IN PREMIUM PASSENGER VEHICLES

### Summary

This article presents a study of constructive elements reliability in premium passenger vehicles. The aim of this study is to evaluate the reliability of the most problematic constructive components in premium class passenger vehicles, which are being repaired during the warranty period. For this purpose, according to collected data, the mathematical statistical analysis were used to achieve indicators of reliability. According to the results of the data analysis the conclusions of constructive elements were given about their reliability, average resource, prediction models of constructive elements failure.

**Keywords:** premium, passenger vehicle, statistical analysis, reliability.

### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Justas Jonauskas

**Mokslų laipsnis ir vardas:** magistrantas

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių inžinerijos katedros magistrantas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** transporto mašinų patikimumas

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 671 58486, [justas.jonauskas@stud.vgtu.lt](mailto:justas.jonauskas@stud.vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Saulius Nagurnas.

**Mokslų laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių inžinerijos katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** automobilių diagnostika, automobilių elektroninės valdymo sistemos, transporto mašinų patikimumas.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 654 02786, [saulius.nagurnas@vgtu.lt](mailto:saulius.nagurnas@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Robertas Pečeliūnas.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas.

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių inžinerijos katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** eismo saugumas, transporto priemonių dinamika.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** (8-5) 274 4790, [robertas.peceliunas@vgtu.lt](mailto:robertas.peceliunas@vgtu.lt)

#### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Justas Jonauskas

**Science degree and name:** postgraduate.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Engineering department postgraduate.

**Author's research interests:** reliability of transport machinery.

**Telephone and e-mail address:** +370 671 58486, [justas.jonauskas@stud.vgtu.lt](mailto:justas.jonauskas@stud.vgtu.lt)

**Author name, surname:** Saulius Nagurnas.

**Science degree and name:** doctor, associated professor.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Engineering department associated professor.

**Author's research interests:** automobile diagnostics, automotive electronic control systems, reliability of transport machinery.

**Telephone and e-mail address:** +370 654 02786, [saulius.nagurnas@vgtu.lt](mailto:saulius.nagurnas@vgtu.lt)

**Author name, surname:** Robertas Pečeliūnas.

**Science degree and name:** doctor, associated professor.

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Engineering department associated professor.

**Author's research interests:** traffic safety, vehicle dynamics.

**Telephone and e-mail address:** (8-5) 274 4790, [robertas.peceliunas@vgtu.lt](mailto:robertas.peceliunas@vgtu.lt)

# DYZELINIO VARIKLIO PARAMETRŲ ANALIZĖ NAUDOJANT ĮVAIRIUS KURO MIŠINIUS

Artūras KILIKEVIČIUS, Jonas MATIJOŠIUS, Karolis GUDONIS, Paulius Svilainis, Povilas Uvarovas, Darius Mikonis

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

## Anotacija

Šiame darbe buvo atliekama dyzelinio variklio parametrų analizė naudojant įvairius kuro mišinius. Tyrime buvo naudojamas 1.9TDI dyzelinis variklis ir jam tiekiamas dyzelinas ir biodyzelinas, kuris buvo maišomas su skirtingais metano kiekiais (0 %, 40 %, 60 %, 80 %). Eksperimentas atliekamas prie skirtingų apkrovų (45 Nm, 60 Nm, 90 Nm), taip pat matuojami variklio virpesiai vertikalia ir horizontalia kryptimi su garso slėgiu. Atlikto eksperimentinio tyrimo rezultatai rodo, jog didinant metano santykį kai naudojamas dyzelinas ir biodyzelinas variklio didžiausias slėgis cilindre krenta, tačiau mažėja ir išmetamosios NOx dujos, o priešingai išmetamųjų dujų temperatūra auga. Taip pat, išsiaiškinta jog variklio virpesiai vertikalia kryptimi dėsningai kinta su didžiausiu slėgiu cilindre, o horizontalia kryptimi su kampu prie didžiausio slėgio.

**Reikšminiai žodžiai:** dyzelinis variklis, variklio parametrai, kuro mišiniai, biodyzelinas, metanas.

## Įvadas

Pramonė ir žmonių išgyvenimas labai priklauso nuo energijos, kuri gaunama iš iškastinio kuro ribotų išteklių, artimoje ateityje, kaip tikėtasi, pasibaigs. Be to, patogaus ir kokybiško energijos šaltinio reikalavimas nuolat auga. Taip pat auga ir taršos emisijų reikalavimai transporto priemonėms. Iškastinio kuro deginimas yra žinoma priežastis, dėl kurios vis didėja visuotinis atšilimas ir kyla emisijos problemos. Degimo reakcijai vykstant neišvengiamai susidaro anglies dioksidas, SOx, NOx, COx, VOCs, kietosios dalelės (PM), gyvsidabris, selenas ir kt. (Jones et al. 2000).

Alternatyvūs degalai, vadinami netradiciniais arba pažangiaisiais degalais, yra bet kokios medžiagos, kurios gali būti naudojamos kaip degalai, išskyrus įprastinius degalus. Kai kurie gerai žinomi alternatyvūs degalai yra biodyzelinas, bioalkoholis (metanolis, etanolis, butanolis), chemiškai saugoma elektra (baterijos ir kuro elementai), vandenilis, nefosilinis metanas, neišskatinės dujos, augalinis aliejus, kiti biomasės šaltiniai ir kt. (Lee et al. 2007).

Pastaruosius kelerius metus intensyvėjo mokslinių tyrimų ir technologijų plėtros alternatyvų kurą deginančiose transporto priemonėse, tačiau jų nepakanka norint išspręsti neatidėliotinas problemas ir reikalavimus. Be to, dauguma paskelbtų straipsnių daugiausia dėmesio skiria alternatyvių degalų šaltinių pateisinimui ir galimam jų prieinamumui, o ne aplinkos ir technikos pasirengimui kurui, kaip pagrindiniam energijos šaltiniui ateities naftos erai (Galle et al. 2000). Variklio parametrų analizė yra esminis metodas, padedantis kurti variklį, naudojant analizuojant ir diagnozuojant variklio našumą ir nustatant galimas problemas. Vibroakustinis stebėjimas ir gedimų diagnozavimas yra vertingas metodų rinkinys, kuris yra plačiai naudojamas siekiant užtikrinti, kad variklis išliktų geros būklės. Kuro purkštukų gedimai sukelia ne tik mažą variklio našumą, bet ir didelį, o kartais ir net nepriimtina nesudegusių angliavandenilių lygį dėl blogo oro ir degalų santykio. Be to, purkštukų gedimai padidina triukšmą ir vibraciją, galinčią pakenkti variklio komponentams. Todėl ankstyvoje stadijoje aptikti purkštukų gedimai ir išlaikytos degimo charakteristikos yra viena iš pagrindinių užduočių, leidžiančių kontroliuoti teršalų išmetimą ne tik jo ankstyvoje eksploatacijoje. Vibroakustinė analizė yra viena iš dažniausiai naudojamų būklės stebėjimo būdų pramonėje. Vibracijos stebėjimo informacija, triukšmo užterštumas ir nestacionariosios vibracijos signalų savybės reikalauja veiksmingo signalų apdorojimo siekiant gauti naudingos informacijos (Jones et al. 2000). Akustinis matavimas šioje srityje gali suteikti papildomos informacijos apie variklio vibracijas. (Raharjo et al. 2012).

Naudojant alternatyvų kurą yra sparčiai augantis sprendimas, pakeičiant iškastinio kuro išekvojimo problemą, teršalų išmetimą, todėl šio tyrimo tikslas išanalizuoti variklio darbą dirbant įvairiais biodyzelinio kuro mišiniais naudojant vibroakustinę analizę, ištirti virpesių ir triukšmo priklausomybę nuo variklio darbo ir nepageidaujamų išmetamųjų dujų kiekio.

## 1. Tyrimų metodika

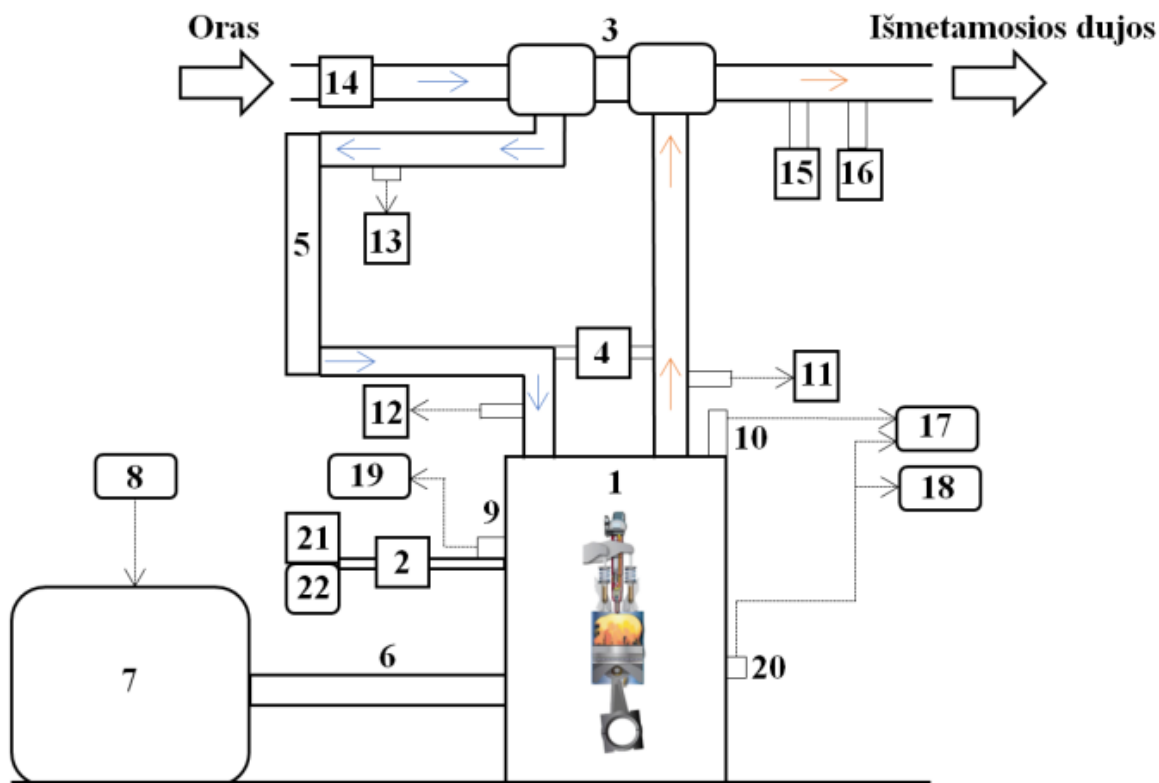
### 1.1. Tyrimų standas ir veikimo principas

Eksperimentinis standas susideda iš dyzelinio variklio, jo valdymo ir matavimo įrangos, vibroakustinių parametrų matavimo įrangos. Eksperimentai atliekami siekiant ištirti dyzelinio variklio darbą su biodyzelinio ir metano mišiniais. Garso slėgis yra stebimas per kiekvieną eksperimentą. Kiekvieno eksperimento metu buvo

matuojama 2 sek., per tą laiką buvo matuojami garso slėgis, variklio virpesiai horizontalioje ir vertikalioje plokštumose, variklio cilindro maksimalus slėgis, kampas prie maksimalaus slėgio, NOx dujos, išmetimo temperatūra.

Siekiant užtikrinti stabilų aerozolių srautą buvo pasiekta darbinė dyzelinio variklio būklė, t.y. bandymų metu buvo palaikomos pastovios sąlygos variklyje, taip pat buvo atlikti matavimai kai variklis buvo ruošiamas bandymams (t. y. variklio pašildymo procesas).

VG TU Mechanikos mokslo instituto ir Automobilių inžinerijos katedros laboratorinės bazės pagrindu, eksperimentiniams tyrimams buvo sukurtas eksperimentinių tyrimų stendas (1 pav.).



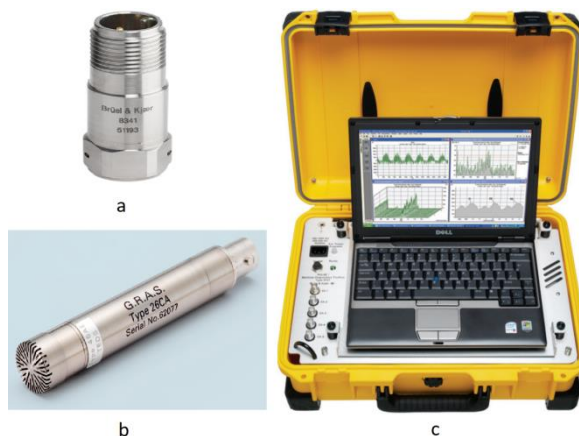
**1 pav.** Eksperimentinio stendo nuotrauka:

1 – 1.9 TDI variklis; 2 – aukšto kuro slėgio pompa; 3 – turbokompresorius; 4 – išmetamųjų dujų recirkuliacijos vožtuvas; 5 – tarpinis suslėgto oro aušintuvas; 6 – jungiamasis velenas; 7 – variklio apkrovos plokštė; 8 – variklio sukimo momento ir sukimosi greičio matavimo įranga; 9 – kuro įpurškimo laiko jutiklis; 10 – cilindro slėgio jutiklis; 11 – išmetamųjų dujų temperatūros jutiklis; 12 – įsiurbiamo oro temperatūros jutiklis; 13 – oro slėgio jutiklis; 14 – oro srauto matuoklė; 15 – išmetamųjų dujų analizatorius; 16 – dūmų analizatorius; 17 – cilindro slėgio įrašymo įranga; 18 – kuro įpurškimo momento valdymo įranga; 19 – kuro įpurškimo momento įrašymo įranga; 20 – alkūninio veleno padėties jutiklis; 21 – kuro bakas; 22 – kuro sąnaudų skaičiavimo įranga.

Bandymui atlikti buvo naudojama „Brüel & Kjær“ gamintojo 8341 tipo pjezoelektriniai (įtampos jautrumas (@ 160Hz) mV/g 100 ±10%) akselerometrai su integruota elektronika. Jie buvo horizontalia ir vertikalioje kryptimi pritvirtinami prie variklio bloko magnetiniais galais (2, a pav.).

Variklio triukšmo lygis matuojamas G.R.A.S laisvosios zonos rankiniu mikrofonu, turinčiu 50 mV/Pa jautrumą, 3,15 Hz-20 kHz dažnių diapazoną ir 17 dB (A) -149 dB dinaminį diapazoną. Mikrofonas pastatomas 1m atstumu nuo variklio bloko paviršiaus (2, b pav.).

Akustiniai ir vibracijų duomenys surenkami naudojant „PULSE™ Machine Diagnostics Toolbox — Type 9727“. Tai ypač reikalingas prietaisas mašinų diagnostikai atlikti, bet kokio tipo mašinoje ar struktūroje. Ją sudaro mašinų diagnostikos įrankių rinkinys 9727 ir universalus "Machine Diagnostics Toolbox" programinės įrangos paketas 7910 (2, c pav.).



**2 pav.** Matavimo įranga:

a - „Brüel & Kjær“ 8341 akselerometras; b - mikrofonas G.R.A.S 26C; c - „PULSE“ diagnostikos įrankių rinkinys Toolbox 9727.

Bandymams buvo naudojamas tiesioginio įpurškimo Audi – VW dyzelinis variklis 1.9 TDI (1Z type) su elektroniniu BOSCH VP37 kuro siurbliu ir turbokompresoriu. Pagrindiniai dyzelinio variklio 1,9 TDI parametrai pateikti 1 lentelėje

**1 lentelė**

**Pagrindiniai dyzelinio variklio Audi - VW 1.9 TDI parametrai**

|                                                                       |                               |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Modelis                                                               | Audi – VW 1Z                  |
| Įpurškimo tipas                                                       | Tiesioginis degalų įpurškimas |
| Variklio tipas                                                        | 4/OHC                         |
| Darbo eiliškumas                                                      | 1–3–4–2                       |
| Nominalus galingumas $P_{e\ nom}$ , kW (AJ)                           | 66 (90)                       |
| Nominalus alkūninio veleno sūkių dažnis $n_{nom}$ , $\text{min}^{-1}$ | 4000                          |
| Maksimalus sukimo momentas $M_{s\ max}$ , Nm / $\text{min}^{-1}$      | 180/2000                      |
| Cilindro skersmuo D, mm                                               | 79,5                          |
| Stūmoklio eiga                                                        | 95,5                          |
| Cilindrų darbo tūris $V_n$ , l                                        | 1,896                         |
| Variklio suspaudimo laipsnis $\epsilon$                               | 19,5                          |

## 1.2. Eksperimentiniai tyrimai

Eksperimentiniai bandymai buvo atlikti esant variklio apsisukimų dažniui  $n = 2000 \text{ rpm}$ . Pasipriešinimo momentas buvo 45 ir 60 ir 90 Nm. Variklio apkrovos stendas KI-5543 buvo naudojamas apkrovai ir alkūninio veleno greičio nustatymui. Sukimo momento matavimo paklaida  $\pm 1.23 \text{ Nm}$ .

Pirmiausia buvo atliekami bandymai su dyzelino (D) ir metano (M) mišiniais pagal 2 lentelėje pateiktą eiliškumą, kiekvienas bandymas buvo kartojamas tris kartus. Visuose bandymuose EGR (Išmetamųjų dujų recirkuliacija) atjungta.

**2 lentelė**

**Dyzelino ir metano mišinių bandymo atlikimo tvarka**

| Bandymo Nr. | Degalai, % | Įpurškimo pradžios kampas | Apkrova |
|-------------|------------|---------------------------|---------|
| 1.1         | D100 M00   | 6° BTDC                   | 45 Nm   |
| 2.1         | D60 M40    |                           |         |
| 3.1         | D40 M60    |                           |         |
| 4.1         | D20 M80    |                           |         |
| 5.1         | D100 M00   | 6° BTDC                   | 60 Nm   |
| 6.1         | D60 M40    |                           |         |
| 7.1         | D40 M60    |                           |         |
| 8.1         | D20 M80    |                           |         |
| 9.1         | D100 M00   | 6° BTDC                   | 90 Nm   |

| Bandymo Nr. | Degalai, % | Įpurškimo pradžios kampas | Apkrova |
|-------------|------------|---------------------------|---------|
| <b>10.1</b> | D60 M40    |                           |         |
| <b>11.1</b> | D40 M60    |                           |         |

BTDC – Before Top Dead Center. Įpurškimo pradžia prieš stūmokliui pasiekiant viršutinį galinį tašką (dar kylant).

Vėliau buvo atliekami bandymai su biodyzelino (HVO, Hydrotreated Vegetable Oil) ir metano (M) mišiniais pagal 3 lentelėje pateiktą eiliškumą, kiekvienas bandymas buvo kartojamas tris kartus.

**3 lentelė**

**Biodyzelino ir metano mišinių bandymo atlikimo tvarka**

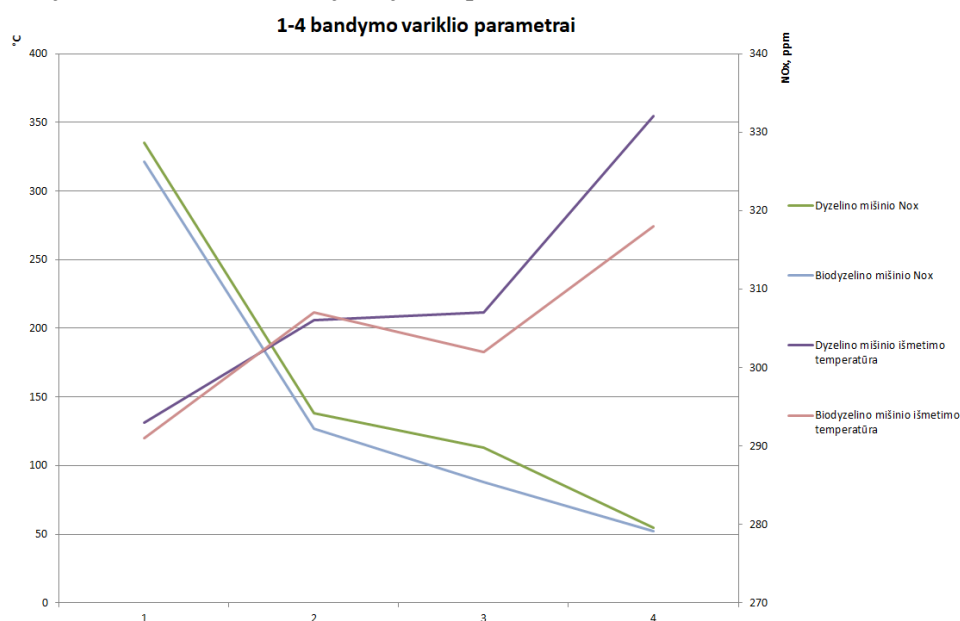
| Bandymo Nr. | Degalai, % | Įpurškimo pradžios kampas | Apkrova |
|-------------|------------|---------------------------|---------|
| <b>1.2</b>  | HVO100 M00 | 6° BTDC                   | 45 Nm   |
| <b>2.2</b>  | HVO60 M40  |                           |         |
| <b>3.2</b>  | HVO40 M60  |                           |         |
| <b>4.2</b>  | HVO20 M80  |                           |         |
| <b>5.2</b>  | HVO100 M00 | 6° BTDC                   | 60 Nm   |
| <b>6.2</b>  | HVO60 M40  |                           |         |
| <b>7.2</b>  | HVO40 M60  |                           |         |
| <b>8.2</b>  | HVO20 M80  |                           |         |
| <b>9.2</b>  | HVO100 M00 | 6° BTDC                   | 90 Nm   |
| <b>10.2</b> | HVO60 M40  |                           |         |
| <b>11.2</b> | HVO40 M60  |                           |         |

Kiekvieno bandymo metu buvo fiksuojami variklio parametrai: didžiausias slėgis cilindre, kampas prie didžiausio slėgio, išmetamosios NOx dujos ir išmetamųjų dujų temperatūra.

## 2. Eksperimentinio tyrimo rezultatai

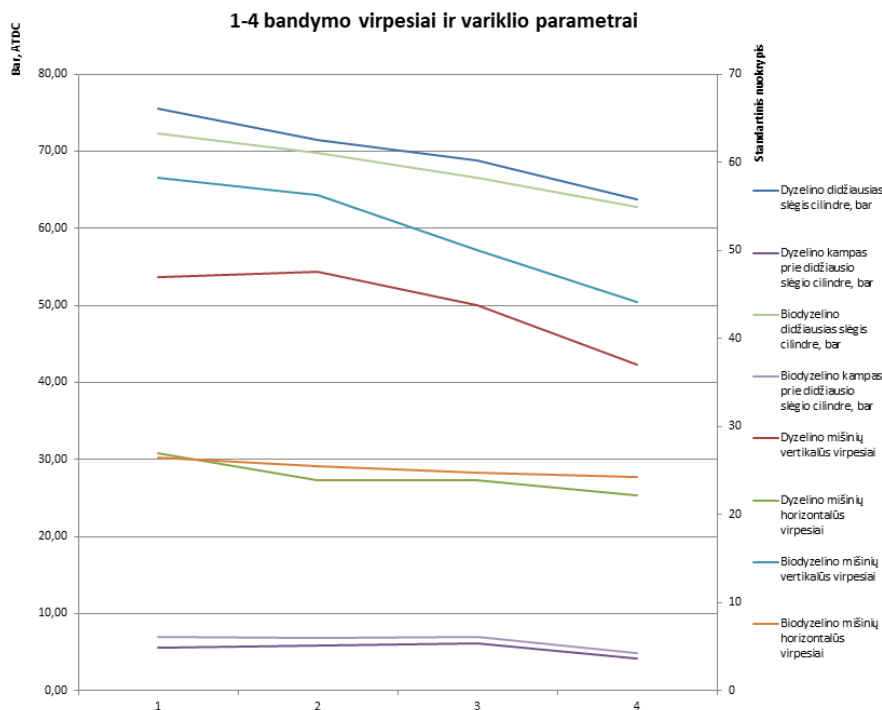
Atlikus eksperimentinį tyrimą pastebėta, jog didinant metano santykį kai naudojamas dyzelinas ir biodyzelinas variklio didžiausias slėgis cilindre krenta, tačiau mažėja ir išmetamosios NOx dujos, o priešingai išmetamųjų dujų temperatūra auga.

Lyginant biodyzelino ir dyzelino rezultatus kai naudojami metano mišiniai, pastebėta, kad su biodyzelino mišiniu variklio virpesiai padidėja 6-21 % ir sumažėja slėgis cilindre iki 4 %, tačiau išmetamosios Nox dujos sumažėja iki 19 %, o išmetamųjų dujų temperatūra iki 4 %.



**3 pav.** 1-4 bandymo NOx ir išmetimo temperatūra;

Taip pat, matuojant virpesius pastebėti dėsniniai su variklio parametrais, dėsniniai pavaizduoti 4 paveiksle.



**4 pav.** 1-4 bandymo virpesių ir variklio parametrų dėsningumai;

Iš diagramos matyti, jog variklio virpesiai vertikalia kryptimi, dėsniai krenta su didžiausiu slėgiu cilindre, o virpesiai horizontalia kryptimi dėsniai kinta su kampu prie didžiausio slėgio.

### Išvados

Atlikus eksperimentinį tyrimą nustatyta, kad kai naudojamas dyzelinas ir biodyzelinas, didžiausias slėgis cilindruose krenta, priklausomai nuo didinamo metano santykio. Didinant metano santykį, taip pat krenta ir išmetamosios dujos NO<sub>x</sub>, 1-4 bandymo metu jos sumažėjo net 6 kartus. Tačiau didėjant metano santykiui išmetamųjų dujų temperatūra kyla, bandymų metu temperatūra pakilo iki 12 %.

Lyginant dyzelino ir biodyzelino mišinius, nustatyta, kad su biodyzelino mišiniais variklio virpesiai padidėja nuo 6 % iki 21 %, nežymiai pamažėja slėgis cilindre. Tačiau išmetamosios dujos sumažėja iki 19 %.

Variklio virpesiai bandymu metu, didėjant metano santykiui tiek vertikalia, tiek horizontalia kryptimi, mažėjo. Taip pat, nustatyti dėsniniai kintamumai vertikalia kryptimi su cilindro slėgiu, bei horizontalūs virpesiai su kampu prie didžiausio slėgio cilindre.

### Literatūra

1. Galle J.; Verhelst S.; Sierens R.; Goyos L.; Castaneda R.; Verhaege M.; Vervaeke L., Bastiaen M. 2012. Failure of fuel injectors in a medium speed diesel engine operating on bio-oil. Elsevier B.V, Biomass and Bioenergy, 05/2012, Volume 40.
2. Jones N. B.; Yu-Hua L. 2000. A Review of Condition Monitoring and Fault Diagnosis for Diesel Engines. Tribotest, Volume 6, Issue 3, Page 267-291.
3. Lee S.; James G. S.; Sudarshan K. L. 2007. Handbook of Alternative Fuel Technologies. CRC, New York, London.
4. Raharjo P.; Tesfa B.; Gu F. and Ball A. D. 2012. A Comparative Study of the Monitoring of a Self Aligning Spherical Journal using Surface Vibration, Airborne Sound and Acoustic Emission. IOP, 05/2012, 1742-6596.

# OPTINIŲ STALŲ PNEUMATINIŲ SLOPINIMO SISTEMŲ TYRIMAI

Edgaras Urbonas, Povilas Uvarovas, Paulius Svilainis, Artūras Kilikevičius, Darius Mikonis, Jonas Matijošius

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

## Anotacija

Šiuolaikinėje mechanikoje tiksliais matavimams atlikti, moksliniams eksperimentams ir tyrimams naudojami optiniai stalai. Pats svarbiausias šio stalo dalykas yra slopinimo sistema. Šios sistemos yra kelių tipų, t.y. pasyvi, pneumatinė, pneumatinė su aktyviu slopinimu. Slopinti vibracijas reikia tam, kad lazerio spindulį galėtume nukreipti tiksliai kur reikia, bet dėl iš aplinkos sukeltų virpesių be optinio stalo to padaryti negalime. Straipsnyje atliekami optinių stalų pneumatinių slopinimo sistemų tyrimai, kurių metu buvo sukurtas tyrimo stendas ir nustatytos atramų dinaminės charakteristikos.

**Reikšminiai žodžiai: slopinimas, perduodamumas, slopinimo sistema.**

## Išvadas

Optiniai stalai su pneumatine slopinimo sistema naudojami lazerių centrums. Norint geresnių rezultatų dirbant su interferometrais ir zondiniais mikroskopais, reikia optinių stalų su pneumatine slopinimo sistema, kuri leistų vibracijoms jautriai įrangai, veikti šurkščiomis sąlygomis ir smarkių virpesių aplinkoje. Todėl reikalingos efektyviai virpesius slopinančios sistemos, pagrįstos mechanikos principais.

Svarbiausias pneumatinių atramų kokybės kriterijus – mechaninių virpesių perdavimo iš pagrindo per atramas į stalviršį charakteristikos. Šioms charakteristikoms nustatyti taikomi įvairūs eksperimentiniai metodai. Konkretus metodas parenkamas atsižvelgiant į daugelį veiksnių, tarp kurių vienas svarbesniųjų yra dominuojančių dažnių diapazonas.

Idealizuota optinių stalų „seisminio“ montavimo sistema – standus stalas, sumontuotas ant masyvaus pamato arba ant virpesius slopinančių atramų. Pasaulinėje praktikoje naudojamos įvairių konstrukcijų virpesių slopinimo atramos su pneumatiniais amortizatoriais. Šios atramos turi užtikrinti stalo stabilumą vertikalia ir horizontalia kryptimis.

Darbe nagrinėjami optinių stalų pneumatinių slopinimo sistemų dinaminių charakteristikų eksperimentiniai tyrimai. Ištirti optinių stalų pneumatinė slopinimo sistema, žadinant pagrindą harmoniniais, impulsyviais ir atsitiktiniais virpesiais. Skyriaus originalumą nusako pneumatinių slopinimo atramų eksperimentinių tyrimų ir dinaminių parametrų nustatymo metodika.

Optinio stalo paskirtis yra kiek įmanoma sumažinti iš aplinkos skleidžiamas vibracijas, kad atliekami eksperimentai ar matavimai būtų tikslesni. Optiniai stalai yra kelių tipų: su magnetiniu paviršium, nemagnetiniu paviršium, lygiu arba perforuotu paviršium su M6 srieginėmis skylėmis kurios išdėstytos 25 mm atstumtais viena nuo kitos. Pats svarbiausias komponentas yra slopinimo sistema. Slopinimo sistemos yra kelių tipų: pasyvios, pneumatinės, pneumatinės su aktyviu slopinimu. Slopinimo sistema susideda iš 4 (gali būti ir daugiau) kojų [7]. Kojų viduje yra pneumatinės pagalvės. Pagal apkrovos dydį į pagalves pripučiamas tam tikras oro slėgis. Atramose yra reguliavimo vožtuvai kurie reguliuoja kad stalo viršus laikytųsi vertikalioje pozicijoje.

**Tyrimai su vienguba slopinimo kamera.** Šio tyrimo metu tyrė vibracijų perduodamumą iš pagrindo į viršutinę dalį (pneumatinės kojos atraminį viršų). Tyrimo metu gautas rezultatas yra 2,8 Hz. Šiame darbe siūloma aktyvioji valdymo metodika, skirta pagerinti pneumatinių slopinimo elementų slopinimą žemo dažnio diapazone. Aptariama uždelsimo kontrolė aktyvia oro slėgio kontrole. Aptiriamos pagrindinės problemos, susijusios su pneumatinės slopinimo sistemos reakcijos greičiu ir tikslumu, ir kaip išspręsti sunkumus naudojant rodmenų ir grįžtamojo ryšio valdymo teoriją. Labai puikus aktyviojo slopinimo elemento vibracijos slopinimo efektyvumas, pritaikantis laiko uždelsimo valdymo metodiką, parodomas per eksperimentus ne tik per pagrindinį dažnių diapazoną, kuris yra mažesnis nei 10 Hz, bet ir didesniame dažnių diapazone iki 100 Hz.[1]

**Tyrimai su dviguba kamera.** Ši sistema skiriasi nuo pirmosios tuo, kad yra dvi slėginės kameros kurios nėra visiškai atskirtos. Šios dvi kameros yra sujungtos tam tikro dydžio vamzdeliu [2]. Tyrimo metu gavo autoriai gavo 2,4 Hz rezultata. Autoriai [2] teigia, kad didinant diafragmos kietumą rezultatas blogėja. Dviejų kamerų pneumatinės vibracijos slopinimo elementai turi platų spektrą vibracijai jautrios įrangos virpesių slopinimui. Šiame straipsnyje aptariamas pneumatinių vibracijos slopinimo elementų efektyvus perduodamumo projektavimo metodas, kuriame naudojamas dvigubos kameros pneumatinės spyruoklės kompleksinis standumo modelis.

Buvo nustatyta, kad trys parametrai: dviejų pneumatinių kamerų tūrio santykis; kapiliarinio vamzdžio geometrija jungianti dvi pneumatines kameras; diafragmos standumas (naudojamas oro nutekėjimui išvengti), yra svarbūs perdavimo modelio veiksniai. Remiantis konstrukcine technika, kuri maksimaliai padidina dvigubos kameros pneumatinės spyruoklės slopinimą, buvo rasti kompromisai tarp rezonansinio perdavimo dažnumo, didžiausio perkeliama ir perdavimo aukšto dažnio diapazone, kurių ankstesniuose tyrimuose niekada nebuvo nurodyta. Be to, šiame tyrime aptariamas neigiamas diafragmos vaidmuo perduodamumo projektavime. Šiame tyrime pasiūlytas projektavimo metodas iliustruoja eksperimentiniais matavimais.[2]

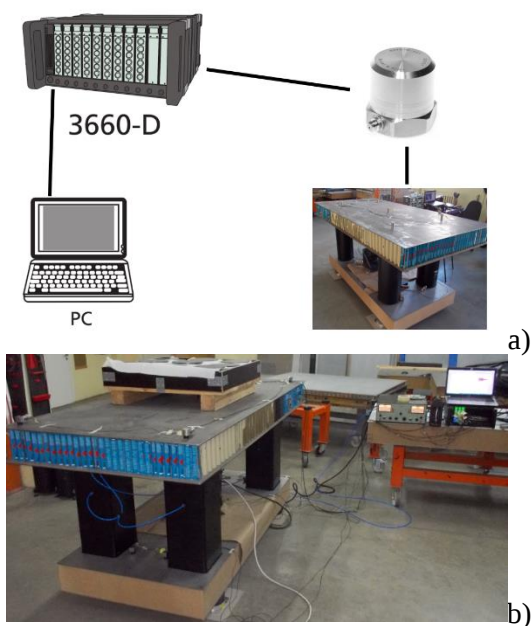
**Tyrimai su dviguba kamera. Kameros sujungtos per išorę vamzdeliu.** Dviejų kamerų pneumatinė spyruoklė su reguliuojamu slopinimu naudoja kintamą ore gustinį mechanizmą, kad gautų reguliuojamas standumo ir slopinimo charakteristikas. Šios reguliuojamos charakteristikos yra skirtos pagerinti pneumatinės vibracijos slopinimo sistemos veikimą. Norint gerai suprasti, kaip reguliuojamas standumo ir slopinimo parametras turi įtakos sistemos veikimui, Modelis yra išvestas analitiniu būdu ir patvirtintas eksperimentiškai, poveikis našumui analizuojamas kiekybiškai. Visi rezultatai rodo, kad slopinimo sistema (atrama) gali keisti sudėtingą standumo pasiskirstymą dažnių srityje. Remiantis šiais rezultatais, pasiūlytas požiūris, optimizuojantis slopinimo sistemos našumą, kuris įgyvendinamas aktyviai reguliuojant perduodamumą. Veikimo eksperimentiniai matavimai slopinimo sistemos dažnių srityje atliekami pagal skirtingą naudingosios apkrovos masę. Matavimo rezultatai patvirtina pasiūlytą metodą, kuris gali optimizuoti sistemos našumą, kai tam tikros taikymo sąlygos skiriasi.[3].

Pagal gautus tyrimo rezultatus sistemos geriausias ir efektyviausias darbas buvo nuo 2.3 Hz iki 27 Hz.

### **Optinio stalo pneumatinės slopinimo sistemos eksperimentinis tyrimas.**

Optinis stalas paprastai montuojamas ant specialių virpesių slopinančių atramų. Šių optinio stalo konstrukcijų atsparumas statiniu ir dinaminį jėgų poveikiui ne tik vertikaliai, bet ir horizontaliai kryptimi laikomi labai svarbiais kokybę apibūdinančiais veiksniais.

Optinio stalo su pneumatiniiais virpesių slopinimo elementais tyrimo stendas parodytas 1 pav.

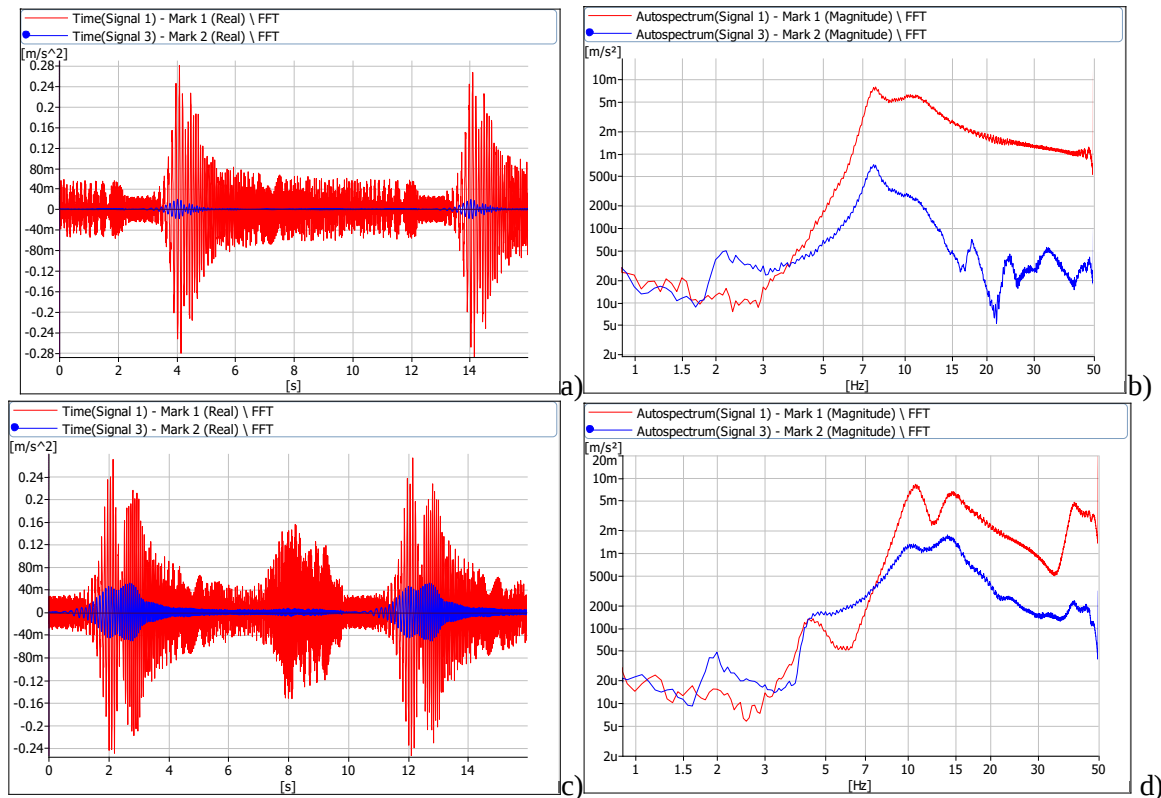


**1 pav.** Optinio stalo dinaminė charakteristikų tyrimo stendas: a – virpesių parametrų matavimo schema; b – virpesių parametrų matavimo stendo bendras vaizdas

Tyrimams naudota virpesių ir kitų dinaminė charakteristikų matavimo bei analizės aparatūra: firmos „Brüel&Kjaer“ kilnojamoji matavimo rezultatų apdorojimo įranga „Machine Diagnostics Toolbox Type 9727“ su kompiuteriu DELL, virpesių jutikliai 8344 ir kt. Virpesių davikliai buvo išdėstyti ant platformos (pagrindo), kuris buvo po pneumatinėmis atramomis. Ant platformos (pagrindo) buvo standžiai pritvirtintas vibratorius, kurio dėka buvo generuojamas priverstinis žadinimas dažnių ruože nuo 0 iki 50 Hz. Ant virpesių slopinimo pneumatinių atramų buvo uždėtas optinis stalas, ant kurio irgi buvo pritvirtinti virpesių matavimo davikliai. Virpesių žadinimo ir matavimo kryptys buvo vertikali ir horizontali.

Pagreičio matavimo rezultatai, kai matuojamas platformos (raudona kreivė) vidurio taško ir ant pneumatinių atramų esančio optinio stalo (mėlyna kreivė) vidurio taško virpesiai, pateikti 2 pav. Atliekant matavimus vibratoriumi buvo generuojamas kintančio dažnio signalai (angl. *swep*) nuo 0 iki 50 Hz.

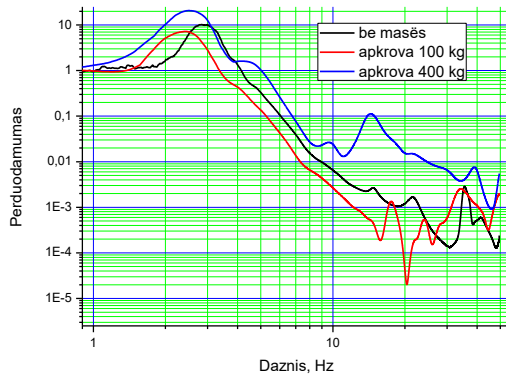
Turint platformos ir optinio stalo rezultatus galima skaičiuoti pneumatinių atramų perduodamumo koeficientą, kai lyginami pagreičių dydžiai atitinkamuose dažniuose. Perduodamumu kreivės pateiktos 3 pav. Perduodamumai buvo vertinami prie skirtingų optinių stalų apkrovų: be apkrovos; kai apkrauta 100 kg; kai apkrauta 400 kg.



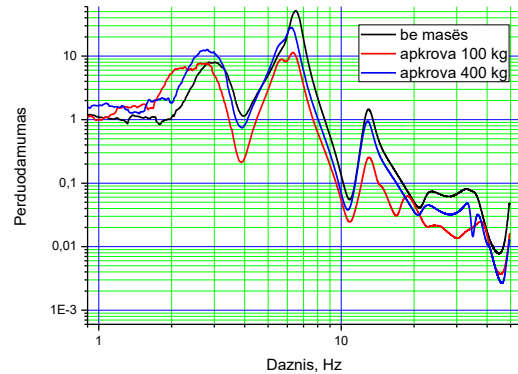
**2 pav.** Platformos (raudona kreivė) ir ant pneumatinių atramų esančio optinio stalo (mėlyna kreivė) vidurio taškų pagreičio laikiniai (a ir c) ir jų spektrinio tankio (b ir d) grafikai, kuriuose pateiktos vertikalios (a ir b) ir horizontalios (c ir d) krypties rezultatai

Analizuojant gautus rezultatus (2 pav.) nustatyta, kad vertikalia kryptimi virpesiai kinta  $0.04 - 0.28 \text{ m/s}^2$  pagreičio ribose, kai vertinami platformos (raudona kreivė) vidurio taško virpesiai, ir  $0.005 - 0.03 \text{ m/s}^2$  pagreičio ribose, kai vertinami ant pneumatinių atramų esančio optinio stalo (mėlyna kreivė) vidurio taško virpesiai. Atitinkamai vertinant horizontalia kryptimi dinamines charakteristikas matyti, kad virpesiai kinta  $0.03 - 0.26 \text{ m/s}^2$  pagreičio ribose, kai vertinami platformos (raudona kreivė) vidurio taško virpesiai, ir  $0.005 - 0.045 \text{ m/s}^2$  pagreičio ribose, kai vertinami ant pneumatinių atramų esančio optinio stalo (mėlyna kreivė) vidurio taško virpesiai.).

a)



b)



**3 pav.** Pneumatinių atramų perduodamumo kreivės prie skirtingų apkrovų (a – vertikali kryptis; b – horizontali kryptis)

Analizuojant gautus rezultatus (3 pav.) nustatyta, kad vertikalia kryptimi tiriamųjų pneumatinių virpesių slopinimo atramų rezonansinis dažnis kinta priklausomai nuo apkrovos dydžio 2-3 Hz dažnių ruože. Atitinkamai vertinant horizontalia kryptimi dinamines charakteristikas matyti, kad rezonansinis dažnis kinta priklausomai nuo apkrovos dydžio 2-3.5 Hz dažnių ruože, bei pasireiškia rezonansinis dažnis 6-7 Hz dažnių ruože (šis dažnis yra po platforma esančių atramų rezonansinis dažnis).

### Išvados

Straipsnyje buvo atlikti optinių stalų pneumatinių slopinimo sistemų tyrimai, kurių metu buvo sukurtas tyrimo stendas ir nustatytos atramų dinaminės charakteristikos, kurios parodo sistemos rezonansinius dažnius.

Nustatyta, kad tiriamųjų pneumatinių virpesių slopinimo atramų rezonansinis dažnis vertikalia kryptimi kinta priklausomai nuo apkrovos dydžio nuo 2 iki 3 Hz dažnių ruože, atitinkamai horizontalia kryptimi nuo 2 iki 3.5 Hz dažnių ruože.

Eksplloatuojant tokio tipo pneumatinių virpesių slopinimo atramas reiktų vengti darbinių režimų galinčių generuoti rezonansinius nagrinėjamos slopinimo sistemos dažnius.

### Literatūra

1. Yun-Ho Shin, Kwang-Joon Kim "Performance enhancement of pneumatic vibration isolation tables in low frequency range by time delay control"
2. Jeung-Hoon Lee, Kwang-Joon Kim "A method of transmissibility design for dual-chamber pneumatic vibration isolator"
3. Huayan Pu, Xin Luo, Xuedong Chen "Modeling and analysis of dual-chamber pneumatic spring with adjustable damping for precision vibration isolation"
4. Pyung-hun Chang, Dong Ki Han, Yun-ho Shin, Kwang-joon Kim "Effective suppression of pneumatic vibration isolators by using input-output linearization and time delay control"
5. Michiel A. Beijen, Robbert Voorhoeve, Marcel F. Heertjes, Tom Oomen "Experimental estimation of transmissibility matrices for industrial multi-axis vibration isolation systems"
6. Peter V. Kosenkov, Georgy M. Makaryants "Control algorithm design of the active pneumatic vibration isolator"
7. Standa.lt .Interaktyvus [žiūrėta 2018-05-20]  
[http://www.standa.lt/products/catalog/optical\\_tables?item=141&prod=optical\\_table\\_supports](http://www.standa.lt/products/catalog/optical_tables?item=141&prod=optical_table_supports) [interaktyvus  
žiūrėta 2017-11-23]
8. Augustaitis V. K. Mechaninių virpesių pagrindai. Vilnius: Žiburio leidykla 2000m.

# GEODEZINĖS MATAVIMO ĮRANGOS PRITAIKYMAS IR GAUTŲ REZULTATŲ VERTINIMAS GELEŽINKELIO INFRASTRUKTŪROS TYRIMUOSE

V. Kriauciūnaitė-Neklejonovienė<sup>1,3</sup>, Donatas Rekus<sup>1,2</sup>, Oleg Kolbovskij

<sup>1</sup> Kauno Technologijos Universitetas; <sup>2</sup> Kauno Kolegija; <sup>3</sup> Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija

## Anotacija

Maksimalaus matavimų tikslumo ir pastovaus objektų būklės stebėjimo reikalauja geležinkelio kelio statyba ir eksploatavimas. Tai susiję su maksimaliais leistiniais traukinių greičiais ir aplinkos, transporto ir žmonių sauga. Atliktas geležinkelio kelio būklės įvertinimas siekiant išryškinti kompleksines geležinkelio kelių eksploatavimo problemas. Išskirtos geležinkelių priežiūros probleminės vietos, kurių monitoringo organizavimą reikalinga tobulinti pritaikant matavimas geodezinę įrangą. Lyginant analoginius matavimus, kurie atlikti naudojant tik kelio matavimo mašiną EM140 su matavimais geodezine įranga, pastebimas geodezinių matavimų pranašumas. Įvertintos matavimų proceso, duomenų kaupimo ir jų apdorojimo techninės spragos. Nustatyta, kad priežiūros ir monitoringo matavimai turi būti atliekami dažniau, naudojant aukšto tikslumo geodezinę įrangą.

**REIKŠMINIAI ŽODŽIAI.** Geležinkeliai, geodeziniai matavimai.

## Išvadas

Geležinkelio kelio trasos reikalauja daug tikslesnės priežiūros ir analizės nei įprasti automobilių keliai. Keliuose defektus galima pastebėti ir užfiksuoti tiesiog apžiūrėjus, nenaudojant specialios įrangos, o tiesiog užfiksavus defektą nuotraukoje. Pasak Š. Prokopimo, (Prokopimas, 2017) kokybės reikalavimai geležinkelių infrastruktūros objektų įrengimui visada įvardinami dar pirminėse projekto užduoties sąlygose ir turi būti išlaikomi leistinų nuokrypių-tolerancijų ribose viso statybos ir eksploatacijos ciklo metu. Didelių pastangų ir tikslumo reikalauja skaldos balasto sutankinimo ir tikslaus pačio geležinkelio kelio pamušimo į projektinę padėtį darbai. Tikslus geležinkelio kelio padėties įrengimas projektinėje padėtyje, darbų atlikimo savalaikiškumas, išlaikant aukštus kokybės rodiklius ir kt. iššaukia šiuolaikinių matavimo ir stebėsenos technologijų, leidžiančių operatyviai ir betarpiškai tikrinti ir kontroliuoti geležinkelio kelio padėtį viso statybos ir eksploatacijos ciklo metu, poreikį. Geodeziniais matavimais ne tik nustatoma objekto buvimo vieta, ar sudaromi topografiniai planai, bet ir analizuojami ir vertinami nauji ir seni inžinieriniai įrenginiai ar atliekama jų stebėseną. Pasak V. Ramūno (Ramūnas, 2013) geležinkelio kokybė priklauso ne tik nuo tinkamų medžiagų naudojimo, bet ir nuo inovatyvių technologijų taikymo. Svarbus momentas yra geležinkelio kelio būklės stebėjimas ir įvertinimas. Dauguma autorių (An, Sun, ir kt., 2018; Audley, Andrews, 2018) vieningai teigia kad, geležinkelio bėgių kelio geometrijos būklė yra pagrindinis veiksnys, turintis įtakos traukinių eismo saugumui ir komfortui, ir geležinkelio bėgių važiavimo ciklų valdymas.

Geležinkelio kelio būklės patikrų ir remontų organizavimo bei optimizavimo tyrimus analizavo A. R. Andrade (Andrade, 2008), S. Jovanovic (Jovanovic, 2004), C. A. Grimes (Grimes, 1995) D. Larson (Larson, 2004), B. Aursudkij, G. R. McDowell, A. C. Collop (Aursudkij, McDowell ir kt., 2009) bei daugybė kitų autorių. I. Gailienė, I. Podagėlis (Gailienė, Podagėlis, 2008) parengė labai svarbius Lietuvos geležinkelio linijų viršutinės konstrukcijos stipruminių charakteristikų nustatymo vertinimus. Labai aktualius ir informatyvius tyrimus atliko J. Lackenby, B. Aursudkij, S. F. Brown, Skrinskas ir kt. (Lackenby, 2006; Aursudkij, 2007; Brown, ir kt., 2004; Skrinskas ir kt., 2010). Šiandieninė geležinkelių infrastruktūros objektų statyba ir eksploatavimas reikalauja maksimalaus matavimų tikslumo, su siekiu būtų galima didinti maksimalius leistinus traukinių greičius. Modernių geležinkelio kelių eksploatavimas reikalauja didesnio darbų atlikimo atsakingumo ir tikslesnio monitoringo. Indraratna, Buddhima ir kt. (Indraratna, Ferreira ir kt. 2018) pažymi, kad atsižvelgiant į nuolatinį greitesnių traukinių poreikį vežti sunkesnius krovinius, įprastiniams balastiniams geležinkeliams reikalingas didelis modernizavimas, siekiant susidoroti su didėjančiais eismo keliama įtempiais. Audley ir Andrews (Audley, Andrews, 2013) atlikto tyrimo rezultatai rodo, kad eismo greitis ir bet kurios linijos techninės priežiūros istorija turi įtakos geometrijos pablogėjimui.

Tyrimo objektas - geometrinių parametrų matavimai geležinkelių infrastruktūros objektuose.

Tyrimo tikslas - įvertinti geodeziniais instrumentais išmatuotų geležinkelio ruožų geometrinius parametrus, matavimo procese atsirandancias paklaidas ir dažniausiai iškylančias problemas.

Tyrimas yra svarbus, siekiant išryškinti kompleksinio geležinkelio kelių eksploatavimo problemas, kurios iki šiol mažai apžvelgtos ir struktūrizuotos. Dauguma ankstesnių matavimų buvo atliekami naudojant kitą matavimų atlikimo technologiją (matavimai buvo atliekami stygų metodu arba naudojant specialius priedus), o tai galbūt ne visada užtikrino maksimalų tikslumą ir neleido kaupti pilnaverčių duomenų (saugomi

nevienodo formato duomenys) ir kt. Tikimasi kad tokio pobūdžio darbai leistų nustatyti optimalų geodezinio kelių priežiūros (geometrijai stebėti) darbų dažnumą ir tinkamą jų atlikimo būdą.

### Metodika

Dokumentas, reglamentuojantis geležinkelių naudojimą 1520 mm pločio vėžės geležinkelių veiklos pagrindus, pagrindinių statinių, įrenginių ir riedmenų matmenis, reikalavimus, priežiūros normas ir traukinių eismo organizavimo bei signalizavimo principus yra Techniniai geležinkelių naudojimo nuostatai.

Matavimai atlikti geležinkelio infrastruktūros ruožuose, I ir II kategorijos keliuose. Šiems keliams taikomi griežti reikalavimai dėl realizuojamų didesnių leistinų maksimalių greičių. Atrinkti tik tarpstočių keliai, nes šių kelių būklę veikia panašesnės sąlygos ir šių kelių ruožai pasižymi didesniais ilgiais. Atrinkti tinkantys objektai aptarti 1 lentelėje.

1 lentelė

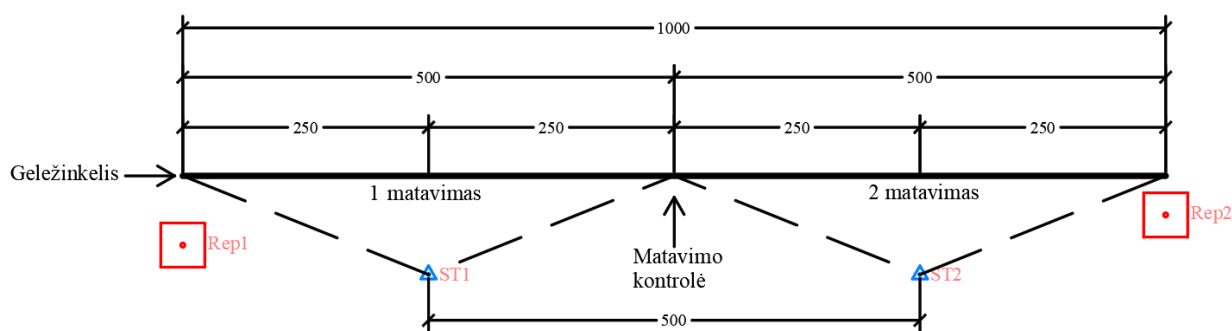
#### Tyrimui atrinktų kelio ruožų bei naudotos įrangos charakteristika

| Objektas           | Atrankos kriterijai                                                                                      | Komentarai ir (ar) kitos sąlygos                                                                                                          |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parenkamas ruožas  | ilgis ne mažesnis nei 1 km;                                                                              | Visi ruožai jau praėję tvarkymo (remonto) procesą                                                                                         |
|                    | Matuotas ne mažiau kaip du kartus                                                                        |                                                                                                                                           |
|                    | Matuotas skirtingu laikotarpiu                                                                           |                                                                                                                                           |
| Duomenys           | Neturi būti atliekami remonto darai tyrimo laikotarpiu, nes sugadintų analizės duomenis.                 | Palyginimams atlikti                                                                                                                      |
|                    | Koordinacijų ir aukščių sistemos turi atitikti                                                           |                                                                                                                                           |
|                    | Išlikę geometrijos ir vertikalaus profilio duomenys                                                      |                                                                                                                                           |
| Naudota įranga     | Išlikę pradiniai projektiniai ir matavimo duomenys                                                       | Būtinai atliekamas pastovus prietaisų koregavimas, ypač žiemos ir vasaros sezonais kai patalpų ir lauko temperatūros skirtumas yra žymus. |
|                    | Vienoda ir sukalibruota. Kalibruojama prieš atliekant geodezinių matavimų darbus.                        |                                                                                                                                           |
|                    | Trimble SPS930<br>     |                                                                                                                                           |
|                    | TopconHiper SR<br>    |                                                                                                                                           |
|                    | Trimble GEDO CE 2<br> |                                                                                                                                           |
| Atrinkti objektai: | GEDO Office, AutoCAD Civil 3D, GeoMAP ir Geosecma.                                                       | Programinė įranga                                                                                                                         |
|                    | 1. 1 km I ir II klasės kelias;                                                                           |                                                                                                                                           |
|                    | 2. 2,8 km II klasės kelias;                                                                              |                                                                                                                                           |
|                    | 3. 1,20 km I klasės kelias;                                                                              |                                                                                                                                           |
|                    | 4. 2,40 km II klasės kelias;                                                                             |                                                                                                                                           |
|                    | 5. 1,30 km II klasės kelias.                                                                             |                                                                                                                                           |

Šaltinis: Sudaryta autorių ir pagal [www.geonovus.lt](http://www.geonovus.lt) ir <http://trimble-railway.com>, pateikiamą informaciją

Kelio kontrolės mašina EM140, važiuojanti geležinkelio keliu nustato ruožų defektus arba įtartinas vietas. Tam tikrose vietose atliekami geodeziniai matavimai ir jie apdorojami. Pasiruošimo etape įrengti laikinieji geodeziniai punktai ir atlikti jų matavimai GPNS imtuvu. Geodeziniai matavimai (žr. 1 pav.) atlikti taip:

- Matavimo stočių (dviejų, pradinių) su GPNS imtuvu ir tacheometru koordinavimas apie 500 metrų atstumu.
- Pastačius tacheometrą stotyje ST1, vizuojama kryptis į ST2 ir matuojama pakartotinai. Taip panaikinama atstumo paklaida, kuri gali būti gauta GPNS imtuvo matavimo metu;
- Matuojamas atstumas iki reperio Rep1 ir atliekamas geležinkelio matavimas - atidedama po 250 metrų į abi puses nuo tacheometro, sudarant 500 metrų geležinkelio matavimo atkarpą. Matavimo metu ne rečiau negu kas 250 metrų (matavimo viduryje prie tacheometro ir matavimo gale kontroliniame taške) tikrinama kryptis, atsukant tacheometrą į išmatuotą ST2, nutolusią apie 500 metrų. Jei kryptis neatitinka, kryptis atstatoma ir matavimai pakartojami;
- Tacheometras pernešamas į ST2. Matuojamas atstumas iki ST1, kryptis ir išmatuojami atstumai iki Rep2 ir ST3. Patikrinimui matavimo sutapimo vietose patikrinamas matavimo reikšmių ( $X, Y, Z$ ) skirtumas;
- Tokiu būdu matavimai tęsiami iki galutinio tikslo.



2 pav. Geodezinių matavimų technologijos schema

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Reperiai išdėstyti kas kilometrą ir tarp jų įrengtos pastovios dvi tacheometro stotys ST1 ir ST2, išimtiniais atvejais, kai labai karšti orai - tarp reperų gali būti palikti mažesni atstumai. Kai orai yra karšti ir matavimo stočių skaičius padidėja – matuoti artimiausi reperiai, esantys greta tacheometro stočių. Išlaikomas apie 500 metrų atstumas tarp reperų. Kelio rekonstrukcijos projektavimas vykdomas su GEOSECMA programine įranga. Tyrime naudoti anksčiau suprojektuoti horizontalūs ir vertikalūs profiliai, įvedant jų duomenis ir lyginant juos su tyrimo metu geodeziniais metodais gautais matavimų duomenimis.

### **Matavimo įrangos, naudojamos geležinkelio geometriniams parametrų nustatyti, ir reikalavimų geležinkelio kelio būklei, jos priežiūrai ir taisymo darbams, aptarimas**

Reikalavimai yra labai griežti, nes krovinių ir žmonių gabenimas yra labai atsakingas procesas. Naujų ir rekonstruojamų geležinkelio stočių projektai rengiami vadovaujantis teritorijų planavimo dokumentais, Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto kodeksu, Techniniais geležinkelių naudojimo nuostatais, statybos techniniais reglamentais, normatyviniais statinio saugos ir paskirties dokumentais, higienos normomis ir kitais teisės aktais. Pagrindinis ir svarbiausias tikslas – geležinkelių kelių tinkama priežiūra ir aptarnavimas. Norint užtikrinti traukinių eismo saugumą, gamtos apsaugą, rizikos faktorių darbuotojams mažinimą, būtinos griežtos taisyklės ir reikalavimai. Geležinkelio stočių projektavimo taisyklės (Geležinkelio..., 2004) nustato reikalavimus, kurių turi būti laikomasi projektuojant naujas ir rekonstruojant esamas 1520 m pločio vėžes geležinkelio stotyse ir geležinkelių linijose, kuriose nustatyti maksimalūs traukinių greičiai: keleivinių – iki 160 km/h, prekinių – iki 120 km/h (tyrime atrinkti būtent tokių charakteristikų ruožai).

Kelio priežiūra atliekama visus metus ir visose keliuose. Vienas iš svarbių ir mažai išanalizuotų geležinkelio priežiūros etapų yra kelio būklės pagal lygį, vėžės plotį ir padėtį plane nustatymas. Ji praktikoje sistemingai tikrinama kelmačiu vagonu (Imonės..., 2011), šifruojant užrašus juostoje ir įvertinant nuokrypius, pagal nustatytas kelio įvertinimo normas. Šis etapas trumpai iliustruotas 3 paveiksle. Tai darbų etapas, kai kelio kontrolės mašina EM140, važiuojanti geležinkelio keliu nustato ruožų defektus arba įtartinas vietas. Kelio kontrolės mašina nekontaktiniu, lazeriniu būdu matuoja geležinkelio kelio geometrinius parametrus, juos

užrašo, analizuoja kelio parametrus, o gautos ataskaitos apie faktinę kelio būklę leidžia priimti skubius sprendimus.



**3 pav. Geležinkelio priežiūros darbų etapai kelio būklei nustatyti**  
Šaltinis: sudaryta autorių

Kelio kontrolės mašina EM140 kaupia duomenis uždaroje duomenų bazėje. Suradus pažeistas kelio geometrijos vietas, atliekami geodeziniai matavimai– tyrimai. Naudojant atliktų geodezinių matavimų rezultatus, projektuojami ir vykdomi taisymo darbai kelio tiesinimo–pamušimo mašinomis (09–32 CSM, 09–16 CSM, UNIMAT 08–475 4S), t.y. priklausomai nuo pažeidimų ir galimybių, taisomas kelias.

**2 lentelė**

**Bėgių kelio vėžės pločio leistinos ribos**

| Nuokrypio laipsnis | Kelio kategorija ir nustatytas greitis esant tokiems kelio nuokrypiams, mm |     |        |     |        |     |       |     |       |      |       |       |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----|--------|-----|--------|-----|-------|-----|-------|------|-------|-------|
|                    | I                                                                          |     | II     |     | III    |     | IV    |     | V     |      | VI    |       |
|                    | 140/90                                                                     |     | 120/80 |     | 100/80 |     | 80/70 |     | 50/40 |      | 25/25 |       |
|                    | +                                                                          | -   | +      | -   | +      | -   | +     | -   | +     | -    | +     | -     |
| I                  | 8                                                                          | 4   | 8      | 4   | 8      | 4   | 8     | 4   | 8     | 4    | 10    | 4     |
| II                 | 14                                                                         | 6   | 14     | 6   | 18     | 6   | 18    | 6   | 20    | 6    | 26    | 6     |
| III                | 16                                                                         | 8   | 16     | 8   | 22     | 8   | 22    | 8   | 26    | 8    | 28    | 8     |
| IV                 | >16                                                                        | < 8 | > 16   | < 8 | >22    | < 8 | >22   | < 8 | >26   | < 10 | > 28* | < 10* |

\* - viršijus leistinas nukrypimų ribas, traukinių eismas toje vėtoje sustabdomas

Šaltinis: (Savaeigio..., 2012)

**3 lentelė**

**Bėgių kelio perkrypų leistinos ribos**

| Nuokrypio laipsnis | Kelio kategorija ir nustatytas greitis esant tokiems kelio nuokrypiams, mm |    |        |    |        |     |       |     |       |     |       |     |         |      |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|----|--------|----|--------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|---------|------|
|                    | I                                                                          |    | II     |    | III    |     | IV    |     | V     |     | VI    |     | 15 km/h |      |
|                    | 140/90                                                                     |    | 120/80 |    | 100/80 |     | 80/70 |     | 50/40 |     | 25/25 |     | 15/15   |      |
|                    | +                                                                          | -  | +      | -  | +      | -   | +     | -   | +     | -   | +     | -   | +       | -    |
| I                  | 4                                                                          | 4  | 4      | 4  | 5      | 5   | 5     | 5   | 6     | 6   | 7     | 7   | 8       | 8    |
| II                 | 6                                                                          | 6  | 6      | 6  | 8      | 8   | 8     | 8   | 10    | 10  | 12    | 12  | 15      | 15   |
| III                | 8                                                                          | 8  | 8      | 8  | 10     | 10  | 10    | 10  | 12    | 12  | 15    | 15  | 25      | 25   |
| IV                 | >8                                                                         | <8 | >8     | <8 | >10    | <10 | >10   | <10 | >12   | <12 | >15   | <15 | >25*    | <25* |

\* - Viršijus leistinus nukrypimus, traukinių eismas nutraukiamas

Šaltinis: (Savaeigio..., 2012)

**4 lentelė**

**Bėgių kelio įdubų leistinos ribos**

| Nuokrypio laipsnis | Kelio kategorija ir nustatytas greitis esant tokiems kelio nuokrypiams, mm |     |        |     |        |     |       |     |       |     |       |     |         |      |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----|--------|-----|--------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|---------|------|
|                    | I                                                                          |     | II     |     | III    |     | IV    |     | V     |     | VI    |     | 15 km/h |      |
|                    | 140/90                                                                     |     | 120/80 |     | 100/80 |     | 80/70 |     | 50/40 |     | 25/25 |     | 15/15   |      |
|                    | +                                                                          | -   | +      | -   | +      | -   | +     | -   | +     | -   | +     | -   | +       | -    |
| I                  | 5                                                                          | 5   | 5      | 5   | 5      | 5   | 5     | 5   | 6     | 6   | 7     | 7   | 9       | 9    |
| II                 | 7                                                                          | 7   | 10     | 10  | 10     | 10  | 10    | 10  | 12    | 12  | 15    | 15  | 17      | 17   |
| III                | 10                                                                         | 10  | 12     | 12  | 12     | 12  | 12    | 12  | 15    | 15  | 17    | 17  | 22      | 22   |
| IV                 | >10                                                                        | <10 | >12    | <12 | >12    | <12 | >12   | <12 | >15   | <15 | >17   | <17 | >22*    | <22* |

\* - Viršijus leistinus nukrypimus, traukinių eismas nutraukiamas

Šaltinis: (Savaeigio..., 2012)

Kelio būklė pagal lygį, vėžės plotį ir padėtį plane sistemingai tikrinama kelmačiu vagonu, šifruojant užrašus juostoje ir įvertinant nukrypimus, remiantis nustatytais kelio įvertinimo normomis (2–10 lentelės). Reikia paminėti, kad visi nuokrypiai vertinami tik 20 metrų atstumu, matuojant per vidurį.

5 lentelė

**Bėgių kelio padėties plane leistinos ribos**

| Nuokrypio laipsnis | Kelio kategorija ir nustatytas greitis esant tokiems kelio nuokrypiams, mm |    |       |    |       |    |       |    |       |    |       |    |         |     |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|---------|-----|
|                    | I                                                                          |    | II    |    | III   |    | IV    |    | V     |    | VI    |    | 15 km/h |     |
|                    | 140/9                                                                      |    | 120/8 |    | 80/70 |    | 50/40 |    | 25/25 |    | 15/15 |    |         |     |
|                    | 0                                                                          |    | 0     |    | 00    | 80 |       |    |       |    |       |    |         |     |
| I                  |                                                                            |    |       |    |       |    |       |    |       |    | 0     | 0  | 2       | 2   |
| II                 |                                                                            |    | 2     | 2  | 2     | 2  | 2     | 2  | 7     | 7  | 0     | 0  | 5       | 5   |
| III                | 2                                                                          | 2  | 7     | 7  | 7     | 7  | 7     | 7  | 0     | 0  | 5     | 5  | 0       | 0   |
| IV                 | 12                                                                         | 12 | 17    | 17 | 17    | 17 | 17    | 17 | 20    | 20 | 25    | 25 | 30*     | 30* |

\* - Viršijus leistinus nukrypimus, traukinių eismas nutraukiamas

Šaltinis: (Savaeigio..., 2012)

6 lentelė

**Traukinių važiavimo greitis, kai kelyje yra bėgių vėžės paplatėjimas**

| Nuokrypio dydis, mm                         | Leistinas, bet ne didesnis traukinių greitis, km/h |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Iki 16, jei bėgių vėžė neplatesnė kaip 1536 | 140/90                                             |
| Iki 22, jei bėgių vėžė neplatesnė kaip 1542 | 100/80                                             |
| Iki 26, jei bėgių vėžė neplatesnė kaip 1546 | 50/40                                              |
| Iki 28, jei bėgių vėžė neplatesnė kaip 1548 | 25/25                                              |
| Jeigu bėgių vėžė platesnė kaip 1548         | Traukinių eismas nutraukiamas                      |

Šaltinis: (Savaeigio..., 2012)

7 lentelė

**Traukinių važiavimo greitis, kai kelyje yra bėgių vėžės susiaurėjimas**

| Nuokrypio dydis, mm                          | Leistinas, bet ne didesnis traukinių greitis, km/h |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Iki 8, jei bėgių vėžė nesiauresnė kaip 1512  | 140/90                                             |
| Iki 10, jei bėgių vėžė nesiauresnė kaip 1510 | 50/40                                              |
| Jeigu bėgių vėžė siauresnė kaip 1510         | Traukinių eismas nutraukiamas                      |

Šaltinis: (Savaeigio..., 2012)

8 lentelė

**Traukinių važiavimo greitis, kai kelyje yra įdubų**

| Nuokrypio dydis, mm                             | Leistinas, bet ne didesnis traukinių greitis, km/h |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Iki 20 imtinai                                  | 140/90                                             |
| Daugiau kaip 20 bet ne daugiau kaip 24 imtinai. | 120/80                                             |
| Daugiau kaip 24 bet ne daugiau kaip 30 imtinai. | 50/40                                              |
| Daugiau kaip 30 bet ne daugiau kaip 34 imtinai. | 25/25                                              |
| Daugiau kaip 34 bet ne daugiau kaip 44 imtinai. | 15/15                                              |
| Daugiau kaip 44                                 | Traukinių eismas nutraukiamas                      |

9 lentelė

**Traukinių važiavimo greitis, kai kelyje yra perkrypų**

| Nuokrypio dydis, mm                             | Leistinas, bet ne didesnis traukinių greitis, km/h |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Iki 16 imtinai                                  | 140/90                                             |
| Daugiau kaip 16 bet ne daugiau kaip 20 imtinai. | 100/80                                             |
| Daugiau kaip 20 bet ne daugiau kaip 24 imtinai. | 50/40                                              |
| Daugiau kaip 24 bet ne daugiau kaip 30 imtinai. | 25/25                                              |
| Daugiau kaip 30 bet ne daugiau kaip 50 imtinai. | 15/15                                              |
| Daugiau kaip 50                                 | Traukinių eismas nutraukiamas                      |

Šaltinis: (Savaeigio..., 2012)

10 lentelė

**Traukinių važiavimo greitis, kai kelyje yra nuokrypių nuo padėties plane**

| <b>Nuokrypio dydis, mm</b>                     | <b>Leistinas, bet ne didesnis traukinių greitis, km/h</b> |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Iki 25 imtinai                                 | 140/90                                                    |
| Daugiau kaip 24 bet nedaugiau kaip 34 imtinai. | 120/80                                                    |
| Daugiau kaip 34 bet nedaugiau kaip 40 imtinai. | 50/40                                                     |
| Daugiau kaip 40 bet nedaugiau kaip 50 imtinai. | 25/25                                                     |
| Daugiau kaip 50 bet nedaugiau kaip 65 imtinai. | 15/15                                                     |
| Daugiau kaip 65                                | Traukinių eismas nutraukiamas                             |

Šaltinis: (Savaeigio..., 2012)

Geodeziniai matavimai pateikia panašius galutinius duomenis kaip ir kelio matavimo mašinos EM140, 09–32 CSM, 09–16 CSM, UNIMAT 08–475 4S, tačiau pastebimai skiriasi matavimų duomenų analizės metodai. Matavimo mašinos atlieka matavimus atsižvelgiant į įrangos galimybes, jos nustato skirtumus ne mažesniu kaip 18 metrų atstumu, tuo tarpu geodezinė analizė nustato skirtumus ne tik dažniau nei kas 18 metrų, bet ir atspindi nuokrypius nuo pradinio projekto ir išsidėstymo erdvėje pasikeitimus. Pagal duomenis, gautus iš kelio matavimo mašinų, akivaizdžiai matyti, kad problematiška vertinti kelio planinius duomenis ir staigesnius nuolydžių pasikeitimus. Geodeziniai matavimai neturi trasos vertinimo apribojimų. Kelio nuokrypių intervalui nustatyti, kelio matavimo mašinos naudoja lazerį arba stigą, kurio matavimo galimybės apibrėžtos konkrečios mašinos konstrukcijos ir matmenų diapazone. Geodezine įranga kelias fiksuojamas taškiniais matavimais, o vertinant jį - naudojami visi matavimų duomenys kaip bendra visuma (tiesės, perėjimo ir kreivių dalys ir kt.), t. y. tiksliau nustatomas viso kelio bendras nuokrypis, ko negali įvertinti kelio matavimo mašinos. Netgi būtent tam skirta kelio matavimo mašina EM140 su deklaruojamu dideliu tikslumu praktiškai gali įvertinti tikrai traukinių pravažiavimo galimybę, bet jokių būdu nenustato bendro kelio nusėdimo ar kelio bendro pasistūmimo.

**Rezultatai**

Tyrimų metu buvo nustatyti kelių nuokrypiai nuo projektinių duomenų prieš atliekant geležinkelio kelio taisymo darbus. Matavimai atlikti skirtingais laiko tarpais ir skirtingais intervalais bet visi jie buvo atlikti prieš atliekant taisymo darbus. Visi keliai po matavimų buvo atstatyti į pradinę projektinę padėtį. Matavimai prieš pataisymą leidžia nustatyti neatitikimą iki projekto ir palyginti skirtumus per skirtingus laiko tarpus. Surinkti duomenys atvaizduoja kiekvieno ruožo maksimalius nuokrypius matavimų metu (11 lentelė).

11 lentelė

**Maksimalūs neatitikimai visuose ruožuose**

| <b>Ruožas</b>           | <b>Matavimo data</b>     | <b>Neatitikimai pradiniam projektui, mm</b>                          |                                                     |                                        |                                          |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
|                         |                          | Horizontalus neatitikimas<br>(- į kairę; + į dešinę) nuo<br>projekto | Vertikalus neatitikimas<br>(+ trūksta nuo projekto) | Vėžės pločio                           | Pakylų                                   |
| 1. 1 km I ir II keliai; | 2016-08-23<br>2016-11-14 | I k II k<br>-1/+1 -2/+2<br>-7/-1 -7/-2                               | I k II k<br>+51 +38<br>+34 +38                      | I k II k<br>-4/+0 -1/+2<br>-3/+2 -0/+4 | I k II k<br>-4/+8 -21/+0<br>-5/+6 -23/+0 |
| 2. 3 km II keliai;      | 2014-09-04<br>2017-07-19 | -167/+73<br>-203/+81                                                 | +113<br>+113                                        | -4/+9<br>-4/+8                         | -8/+10<br>-5/+6                          |
| 3. 1,20 km I keliai;    | 2014-04-03<br>2017-10-02 | -182/+161<br>-183/+161                                               | +144<br>+104                                        | -6/+2<br>-7/+4                         | -5/+4<br>-8/+8                           |
| 4. 2,40 km II keliai;   | 2014-09-17<br>2017-10-26 | -190/+155<br>-95/+182                                                | +91<br>+41                                          | -5/+5<br>-2/+4                         | -5/+9<br>-0/+8                           |
| 5. 2,40 km II keliai;   | 2015-11-25<br>2017-05-25 | -170/+42<br>-150/+73                                                 | +156<br>+110                                        | -9/-2<br>-7/+5                         | -9/+2<br>-8/+11                          |

Horizontalus neatitikimas nusako kiek kelio ašis nukrypo nuo projektinės kelio ašies (pvz. nuokrypis -167 mm reiškia, kad kelią reikia pastumti į dešinę pusę 167 mm, t.y. 83,5 mm, nes šiuo metu matavimo vietoje jis nutolęs į kairę). Vertikalus neatitikimas nusako kiek kelią reikia pakelti (pvz. +51 reiškia, kad išmatuotoje vietoje kelias turi būti keliamas 51mm, nes susiformavo duobė). Vėžės plotis nusako kiek mm neatitinka atstumas tarp dviejų bėgių galvūčių, (turi būti 1520 mm). Pakyla nusako kiek vienas bėgis yra pakilęs aukščiau kito.

Vertinant nustatytus nuokrypius naudotasi kriterijais, nustatomais matavimo mašinai EM-140 (žr. 2-5 lenteles). Pagal šiuos kriterijus nusakomas nuokrypių laipsnis ir maksimali nuokrypių riba iki būtino kelio greičio mažinimo. Jei paklaidų dydis pasekė IV nuokrypių laipsnį, transporto greitis turi būti mažinamas iki mažesnės kategorijos, jei nuokryptai pasiekė IV laipsnį ir kelio greitis mažinamas iki 15 km/h, kelias yra uždaromas (6–10 lentelės).

Šiuo metu pagrindinis naudojamas būdas kelio analizei atlikti yra kelio mašinos matavimas, jis pakankamai tiksliai nustato būtinumą tvarkyti geležinkelio kelią, norint užtikrinti tinkamą traukinių eismą, bet netinkamas vertinti pilnos geležinkelio būklės kaitos ar pastebėti viso kelio vienodą nusėdimą. Dydžiai pateikiami 2–10 lentelėse tinkami naudoti ir vertinti nagrinėjant mažų kelio atkarpų skirtumus, bet netinka vertinant didelių atkarpų kelio nuokrypius.

Pagal atliktų matavimų rezultatus, nustatyti 3 ruožai, turintys I nuokrypio laipsnį ir 2 ruožai, turintys III nuokrypio laipsnį (11 lentelė ir 2–5 lentelės). Vėžės pločio leistinos ribos neviršytos, ir net atsižvelgiant į laiko tarpų skirtumus nesimato tokios tendencijos. Galima teigti, kad 2 ruožai priartėjo tam tikrose vietose prie būtino taisymo stadijos (arba juose turi būti mažinamas maksimalus projektuojamas greitis), tačiau jie išlaiko būtinus kriterijus palaikyti šiuo metu reikalingą maksimalų greitį, gali būti ir toliau eksploatuojami kaip I ir II kategorijos keliai. Vertinant bendrai, panašu kad kelio išsikraipymai priklauso būtent nuo konstrukcijos tikslumo, kuris užtikrinamas gaminant, o ne nuo metų laiko ar laiko tarpo tarp atliekamų kelio taisymų.

Kelio matavimo mašina įvertinamos 18 metrų kelio atkarpos. Tokia analizė užtikrina traukinių pravažiavimą ir kelio greičio atitikimą kriterijams, bet negali tiksliai nustatyti tikslios kelio būsenos atitikimo pradiniam projektui. Kelio matavimo mašinos orientuotos išanalizuoti kelio būseną iš važiuojančio sąstato perspektyvos (nes fiksuojam kelio būklė važiuojant keliu).

Staigių kelio bėgių išmetimų atvejų praktikoje užfiksuojama mažai ir jie aptinkami labiau vasaros periodu. Tuomet kelias uždaromas ir vykdomi skubūs remonto darbai. Visi tirti ir vertinti ruožai neviršijo nustatytų geometrijos reikalavimų atitinkamam greičiui užtikrinti atsižvelgus į traukinių galimybę važiuoti, nes pastebėti bendri kelio geometrijos nuokryptai, o ne vienetinės kelio deformacijos. Geometrijos kaita daugiausia įtakos turi kai vertinamos kreivės, tačiau nė viena iš jų nesumažėjo tiek, kad tektų mažinti traukinio judėjimo greitį. Kita vertus, lyginant atstatytą geometriją su projekto pradiniais duomenimis, pastebimi neatitikimai, šiuo atveju neatitikimų limitas viršytas stipriai. Dėl to ir kyla problema vertinant tokias situacijas: faktinės kelio charakteristikos teigia, kad kelias tinkamas eksploatavimui, bet kelias jau neatitinka pradinių planų geometrijos ir tinkamas naudoti tik dėl projektuojamų papildomų rezervinių atstumų. Vertinant maksimalius neatitikimus projektui matomos reikšmės, viršijančios 150 mm postūmius, kurie atsižvelgiant į mašinos eksploatavimo charakteristikas, praktiškai limituoja galimybę apsieiti tik vienu pramušimu (kelio korekcija). Norint kokybiškai atlikti horizontalaus profilio korekciją, geriausia naudoti postūmius ne viršijančius 100 mm.

Dauguma kelių viršija maksimalias vieno pramušimo praktinės charakteristikas. Keliai po 1,5 metų eksploatacijos reikalauja pakartotino remonto. Kadangi dažniausiai viršijus 1,5 metų laiko tarpą keliai reikalauja remonto, būtiną atlikinėti matavimus dažnesniu nei 1,5 metų intervalu (3 lentelė).

Daugiausia dėmesio sulaukusi analizės dalis susieta būtent su išilginio profilio kaita. Pastebėtos dažnai vėl ir vėl atsirandančios įdubos. Pagal atliktą analizę pastebėta, kad geležinkelio kelio konstrukcija linkusi prasėti tose pačiose vietose su analogiškais parametrais. Dažnai įdubų vietos atitinka profilio nuolydžių susikirtimų vietas (vertikalių kreivių profilio vietas).

Atsižvelgiant į laiko, profilio ir projektavimo tendencijas pastebėta, kad net esant vienodoms eksploatavimo sąlygoms tam tikros vietos turi atitinkamas tendencijas įduboms susidaryti. Situacija įvertinama geriau atliekant geodezinius matavimus, tada pateikiamas situacijos sprendimo būdas, nusakant būtinąjį geležinkelio pramušimo tikslų aukštį ir dažnumą. Geodeziniai matavimai šio atveju ne tik tiksliau nustato įdubos dydį bet ir užtikrina pilną atstatymą. Matavimo ir taisymo mašinos gali užfiksuoti tik didesnes įdubas, nes neturi galimybių jų išmatuoti lazerio ar stygos pagalba. Kai defektus pagal 4 lentelę vertina kelio mašina, nustatomas defektas, kurio matavimo atstumas yra 5,4 metro. Analizuojant apytiksliai 5,4 metro atstumu buvo nustatytos kelių III ir IV laipsnio nuokryptai. Tai reiškia kad keliams, gavusiems IV laipsnio nuokrypį bus sumažintas greitis, o III lygio nuokrypio keliams būtina numatyti remonto darbus. Nors tai nėra gyvybei ar traukiniams pavojinga situacija, bet Lietuvos geležinkeliai į tai žiūri labai rimtai, jei kelio greitis sumažinamas, pagal geležinkelių politiką tokie keliai būtinai remontuojami, bet nenutraukus traukinių eismo. Nagrinėjant bendrą projektinę situaciją, net praėjus tik 2,5 mėnesiams nuo paskutinės kelio korekcijos buvo nustatytas kelio priežiūros būtinumas, o analizuojant kitus ruožus, pastebėta kad po 3 metų laiko tarpo probleminės ruožų vietos vėl pasižymi didžiąja dalimi anksčiau taisytų pažeidimų. Nors geležinkelio kelias dar būna tinkamas eksploatuoti, bet jame ar jo atkarpose jau būtina sumažinti greitį, kas sudaro papildomus rizikos faktorius ir geležinkelio kelias praranda greičio ir stabilumo savybes.

Vertinant kelio būklę pagal pakyls neatitikimą projektui buvo nustatytas vidutiniškai apie 8 mm pakyls neatitikimas, o pagal leistinus normatyvus tiesiuose ruožo intervaluose, jį turi išlikti 6 mm ribose. Atsižvelgiant į bendrą situaciją, didžiausi nuokrypiai įvyksta intervalais ir neturi būdingos priklausomybės visai atkarpai, o pasireiškia išimtinuose vietose. Visi nagrinėti ruožai atsižvelgus į laiko tarpus yra arti ar net truputi viršija IV laipsnio nuokrypio lygį (11 lentelė ir 2–5 lentelės). Atsižvelgus į šiuos duomenis, galima teigti, kad kelio būklę reikia analizuoti dažniau negu kas 1,5 metus. Tyrimai parodo, kad kelio naudojimas be greičio mažinimo vis dar galimas net po 3 metų kelio eksploatacijos neatliekant remonto darbų. Reikia išskirti pirmojo nagrinėto kelio atkarpą, kur II k. net po taisymo per pora mėnesių vėl įgavo avarinės būsenos pakylą, dėl ko buvo būtina atlikti pakartotiną matavimą po pataisymo per artimiausius porą mėnesių. Tokie atvejai yra vienkartiniai ir dažiau priklauso nuo šlaitų būklės arba nuo grunto sutankinimo kokybės.

Pasak Prokomimo (Prokopimas, 2017) „kelio statybos ir priežiūros darbų kokybė, gamybos apimtys bei gebėjimas gamybos darbus organizuoti glaustose eismo pertraukose tiesiogiai priklauso nuo operatyviai atliekamų veiksmų: kelio matavimo, tikslios skaitmeninės informacijos pateikimo ir remonto darbų. Skaitmeniniai projektiniai duomenys ir tiksli esamos padėties geodezinių matavimų informacija geležinkelio statyboje užtikrina, kad kelias pagal geometrijos parametrus ... bus paklotas laikantis statinio tolerancijos ribų bei eismo saugumo reikalavimų“

Apžvelgus gautus duomenis matomas geležinkelio kelių konstrukcijos analizės nepakankamumas. Pastebimas anksčiau nenaudotų ir neturimų analizės duomenų, kuriuos galima naudoti atliekant stebėseną ir priežiūrą, trūkumas. Tokia kelio matavimo įranga, kaip matavimo mašina, gali nustatyti apytikslę kelio būseną ir užtikrinti kelių saugumą, bet negali įvertinti visos kelio būklės. Bendrai kelio būsenos stebėsenai būtini pastovūs matavimo rezultatai. Gautų rezultatų pagrindu galėtų būti nustatomas pastovus geodezinių matavimų priežiūros grafikas. Pagal atliktą analizę galima būtų nustatyti tam tikras vietas, kurias galima būtų matuoti dažniau dėl esančių problemų jei jos nepašalinamos, o kitas vietas matuoti vidutiniškai kas metus. Ryškiausios problemos pasimato ir yra nustatomos po trumpo laiko tarpo.

Šiuo metu geležinkelio keliai prižiūrimi nustatant defektus matavimo mašina ir remiantis gautais duomenimis vėliau atliekami geodeziniai matavimai. Toks sprendimas leidžia užtikrinti minimalią būtiną priežiūrą, bet per mažai suteikia galimybių sudarant geresnes sąlygas taisymo ir analizės sprendimams. Pasitaiko problemų sudarant tinkamus kelio taisymo grafikus, darbai vyksta dažniau skubos tvarka, be planavimo iš anksto. Kiekvieno kelio ruožo būklė yra skirtinga ir kiekvienas ruožo kilometras turi skirtingą nusidėvėjimą. Siūloma kiekvienoje situacijoje taikyti individualų sprendimą, nelaukiant kol kelias pasieks neleistiną nuokrypio laipsnį.

Atsižvelgus į sukaupią medžiagą galima teigti, kad kelių būklė turi tendenciją blogėti su laiku, tačiau neturi tam tikros priklausomybės tik nuo laiko, o labiau priklauso nuo pradinio projekto įrengimo, kelio eksploataavimo ir taisymo darbų kokybės. Norint užtikrinti pilnavertę kelių būklės priežiūrą, būtina atlikti dažnesnius kelių matavimus naudojant geodezinę įrangą, kad galima būtų vertinti ne tik kelio pravažiavimo galimybę, bet ir išsaugoti pradinės kelio charakteristikas ir atkurti jų pradinę vietą, kuri nustatoma matavimo mašina. Geležinkelio ruožų kontrolinių matavimų privalumai:

- Duomenų bazių sudarymas;
- Projektavimo darbų greitėjimas;
- Galimybė sudaryti tikslius tvarkymo grafikus ir apskaičiuoti geležinkelio priežiūros sąnaudas;
- Geležinkelio kelių saugumo užtikrinimas;
- Geležinkelio kelių eksploataavimo trūkumų priežasčių nustatymas;
- Efektyvesnis geležinkelio kelių modernizavimo ir techninių sprendimų, technologijos, taikymas.

Atlikus ir įvertinus tyrimo rezultatus, siūloma atlikti matavimus iškart po tvarkymo darbų. Sekantis matavimas turi būti atliktas ne vėliau kaip po 2–3 mėnesių, kelio būklės kaitos tendencijoms patikrinti (kelio nuokrypiai nuo pradinės būsenos). Tolimesni veiksmai – matuoti kelią ne rečiau nei kartą per metus. Jeigu kelio būklė yra stabili ir nekinta per pradinis mėnesius, galima atlikinėti matavimus ir kasmet. Jei per pradinis mėnesius yra pastebimi didesni nuokrypiai, dažnesni matavimai leistų greičiau ir tiksliau aptikti pažeidimų priežastis bei tvarkyti kelią, kol defektai dar neturi stiprios įtakos kelio eksploatacijai.

## Išvados

1. Mažiausiai besikeičiantis faktorius yra vėžės plotis, kuris išsiskiria retais ir labiau individualiais neilgiais tarpais (-7/+9). Didesnę įtaką turi kelio pakyls keitimas, kurį yra sunkiau nustatyti be specialios įrangos ir kuris atlieka labai svarbų vaidmenį, norint užtikrinti saugumą traukiniams, judantiems dideliais

greičiais, ypač kreivėse. Išimtiniais atvejais pasitaiko didesnis pakylės keitimas, susijęs labiau su sankasos arba pado būkle (-8/+11).

2. Pastovios priežiūros reikalauja kelio planinės trasos ir vertikalios profilio taisymas, jis kinta daugiausiai ir reikalauja 100–200 mm horizontalaus profilio korekcijos, apie 100 mm vertikalios profilio korekcijos, kas viršija įprastos vienkartinės korekcijos ribas.

3. Pagrindinės problemos su kuriomis susiduriama yra: apibrėžtumo, nusakančio tikslus reikalavimus taikomus 1520 vėžės pločio keliams ir reglamentuojančio būtent geodezinių matavimų eigą ir parametrus pagal kurios vertinamas kelias ir veiksmas; ne laiku atliekami geodeziniai matavimai ir įprotis daugumą problemų spręsti tuomet, kai jau viršijamos leistinos paklaidų ir nukrypimų ribos; specialistų trūkumas siauroje specializacijoje; duomenų rinkimo ir saugojimo sąlygų analizėms atlikti trūkumas.

4. Norint užtikrinti pilnavertę kelių būklės priežiūrą, siūloma atlikti dažnesnius geležinkelio matavimus naudojant geodezinę įrangą bei vertinti plačiau, o ne tik kelio pravažiavimo galimybę. Siekiant efektyviai atlikti kelių stebėseną ir priežiūrą, išskirti geležinkelio ruožų kontrolinių matavimų privalumai, kurie palengvintų geležinkelio kontrolinių matavimų technologijos modelio kūrimą.

### Literatūra

1. An, R., Sun, Q.X., Wang, F.T; Bai, W.F., et al. (2018). Improved Railway Track Geometry Degradation Modeling for Tamping Cycle Prediction. *Journal of transportation engineering part a-systems*. No 144 (7). DOI: 10.1061/JTEPBS.0000149.
2. Andrade A. R. (2008). Renewal decisions from a Life-cycle Cost (LCC) perspective in Railway Infrastructure: An in-tegrative approach using separate LCC models for rail and ballast components. Thesis in Civil Engineering, Technical University of Lisbon. Lisbon. 77 p.
3. Audley, M., Andrews, J.D. (2013). The effects of tamping on railway track geometry degradation. *Proceedings of the institution of mechanical engineers part f-journal of rail and rapid transit*. No 227 (4) p. 376-391 DOI: 10.1177/0954409713480439.
4. Aursudkij B. (2007). A Laboratory Study of Railway Ballast Behaviour under Traffic Loading and Tamping Maintenance. PhD thesis. University of Nottingham. p.215.
5. Aursudkij B., McDowell G. R., Collop A. C. (2009) Cyclic loading of railway ballast under triaxial conditions and in a railway test facility. *Granular Matter*. No 11. p. 391–401.
6. Brown S. F., Brodrick B. V., Thom N. H., McDowell G. R. (2007). The Nottingham Railway Test Facility. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Transport*. Volume 160, Issue 2, p.59–65. DOI:10.1680/tran.2007.160.2.59
7. Gailienė I., Podagėlis I. (2008). Evaluation of the track superstructure of Lithuanian railway lines calculating characteristics of strength. *The 7th International Conference "Environmental engineering"*. Selected papers. Vol. 3. Ed. by D. Čygas, K. D. Froehner, May 22–23, 2008 Vilnius, Lithuania. Vilnius: Technika. p. 1146–1153.
8. Geležinkelio kelio priežiūros taisyklės, K/111 (2000). Vilnius: Leidybos centras.
9. Geležinkelio stočių projektavimo taisyklės. (2004). Valstybės žinios, Nr. 103-3800. Nauja redakcija nuo 2015-06-16: Nr. 3-250(1.5E), TAR 2015-06-15, i. k. 2015-09331.
9. Grimes C. A. (1995). Application of genetic techniques to the planning of railway track maintenance work. *Conference on Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications*. GALEZIA. IEE: Sheffield, UK, 414. p. 467–472.
10. Įmonės AB „Lietuvos geležinkeliai“ standartas. (2011) IST 1005384-2:2011 1520 mm vėžės pločio geležinkelio linijos viršutinė kelio konstrukcija, kai keleivinių traukinių važiavimo greitis iki 160 km/h. Techniniai reikalavimai. Leidimas 2. Vilnius: Vilniaus Gedimino technikos universiteto Statinių konstrukcijų ir medžiagų mokslo laboratorija.
11. Indraratna B., Ferreira, F. B., Qi, Y. et al. (2018). Application of geoinclusions for sustainable rail infrastructure under increased axle loads and higher speeds. *Innovative infrastructure solutions*. No 3(1). DOI: 10.1007/s41062-018-0174-z.
12. Jovanovic S. (2004). Railway track quality assessment and related decision making. *The 2004 IEEE international conference on systems, man and cybernetics*. The Hague, The Netherlands Vol. 6. p. 5038–5043.
13. Lackenby J. (2006) Triaxial behavior of ballast and the role of confining pressure under cyclic loading. PhD thesis. University of Wollongong.
14. Prokopimas Š. (2017). Šiuolaikiniai geležkelių matavimo metodai pasitelkus „Trimble GEDO“. <http://www.darnistatya.lt/gelezinkeliu-matavimo-metodai-trimble-gedo-vorsys-iranga/>.
15. Ramūnas V. (2013). Geležinkelio skaldos balasto prizmės funkcijos ir jai keliami reikalavimai. *Jaunųjų mokslininkų darbai*. Nr. 1 (39). p. 168-174.
16. Savaeigio kelio matavimo vagono EM1-140 matuojamų geležinkelio kelio geometrinių parametrų įvertinimo instrukcija K/259 (2012). Patvirtinta AB „Lietuvos geležinkeliai“ generalinio direktoriaus 2012 m. sausio 4 d. įsakyму Nr. Į-10.
17. Skrinskas S., Gasiūnienė V. E., Laurinavičius A., Podagėlis I. (2010). Lithuanian Mineral Resources, Their Reserves and possibilities for Their Usage in Road Building. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. No 5 (4). p. 218–228.

# APPLICATION OF GEODETIC MEASUREMENT EQUIPMENT AND EVALUATION OF THE OBTAINED RESULTS IN RAILWAY INFRASTRUCTURE RESEARCHES

## Summary

Construction of railway roads and their exploitation requires optimal accuracy and monitoring of surveying. It is related to maximum allowed speed of trains, the environment, transport and human safety. The problematic areas of railway maintenance were excluded, which monitoring needs to be improved by applying geodetic devices for surveying. Comparing analogous surveying conducted using road control machine EM140 with that of geodetic equipment, one can see the advantage of geodetic surveying. Technical gaps in the surveying process, data storage and procession were evaluated as well. It was discovered that maintenance and monitoring works should be pursued more frequently using high accuracy geodetic equipment.

## AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Vilma Kriauciūnaitė-Neklejonovienė.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras.

**Darbo vieta ir pozicija:** Kauno technologijos universiteto, Statybos ir architektūros fakulteto lektorė/ VDU Žemės ūkio akademijos, Vandens ūkio ir žemėtvarkos fakulteto, Žemėtvarkos ir geomatikos instituto docentė.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** inžinerinė geodezija, teritorijų planavimas ir tvarkymas.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 682 14923, [vilma.kriaciunaite@ktu.lt](mailto:vilma.kriaciunaite@ktu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Donatas Rekus.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras.

**Darbo vieta ir pozicija:** Kauno technologijos universiteto, Statybos ir architektūros fakulteto docentas/ Kauno kolegijos Aplinkos inžinerijos katedros docentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** geodezinių instrumentų kalibravimas, aukščio matavimai, geodezinė skanavimo įranga.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 659 20814, [donatas.rekus@ktu.lt](mailto:donatas.rekus@ktu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Oleg Kolbovskij.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** magistras.

**Darbo vieta ir pozicija:** Geležinkelių infrastruktūros direkcijos, Diagnostikos departamento, Kelių ir kelio statinių techninės priežiūros laboratorijos Geodezijos grupės vyriausiasis specialistas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** inžineriniai geodeziniai matavimai, matavimų tikslumas.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 677 29365, [olegkolbovskij@gmail.com](mailto:olegkolbovskij@gmail.com).

## A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Vilma Kriauciūnaitė-Neklejonovienė.

**Science degree and name:** Doctor of technology science.

**Workplace and position:** Kaunas University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture, lecturer / Vytautas Magnus University Agriculture Academy, associated professor.

**Author's research interests:** engineering geodetic measurements, land-use planning and management.

**Telephone and e-mail address:** +370 682 14923, [vilma.kriaciunaite@ktu.lt](mailto:vilma.kriaciunaite@ktu.lt)

**Author name, surname:** Donatas Rekus.

**Science degree and name:** Doctor of technology science.

**Workplace and position:** Kaunas University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture, associated professor / Kauno kolegija [University of Applied Sciences], Department of Environmental Engineering, associated professor.

**Author's research interests:** calibration of geodetic instruments, height measurements, geodetic scanning technologies.

**Telephone and e-mail address:** +370 659 20814, [donatas.rekus@ktu.lt](mailto:donatas.rekus@ktu.lt)

**Author name, surname:** Oleg Kolbovskij.

**Science degree and name:** Master of Science.

**Workplace and position:** Diagnostics Centre of the Railway Infrastructure Directorate is a structural unit of the stock company "Lithuanian Railways", senior specialist in geodesy group.

**Author's research interests:** engineering geodetic measurements, accuracy of measurements.

**Telephone and e-mail address:** +370 677 29365, [olegkolbovskij@gmail.com](mailto:olegkolbovskij@gmail.com).

# DVEJOPO KURO VARIKLIO EKSERGIJOS BALANSO PALYGINAMIEJI TYRIMAI

Vygintas Daukšys, Sergėjus Lebedevas  
Klaipėdos universitetas

## Anotacija

Publikacijoje pateikti dyzelinio variklio „4ČN 79,5/95,5“ pervaisto funkcionavimui dvejopu dyzelinas (D) – gamtinės dujos (GD) kuru (D/GD) kogeneracinio ciklo energetinių parametų tyrimų rezultatai. Tyrimų tikslu tapo variklio veikiančio D ir dvejopu (D/GD) kuru kogeneracinio ciklo antrinių energijos šaltinių (išmetamųjų dujų ir aušinančio kontūro vandens) energijos efektyvumo panaudojimo rodiklių palyginamoji analizė. Eksergijos balanso energetinės sudedamosios, ištirtos plačiame apkrovos ( $p_{me} = 1,98 - 5,99$  bar) ir D/GD sudėties (100/0 – 20/80) bei variklio reguliavimo parametų pasikeitimo diapazonuose.

**REIKŠMINIAI ŽODŽIAI.** dyzelinis variklis, dvejopas kuras, kogeneracinis ciklas, šilumos ir eksergijos balansas

## Įvadas

Paskutiniaisiais dešimtmečiais pagrindinėmis ES transporto vystymosi kryptimis tapo energijos panaudojimo efektyvumo didinimas ir aplinkos taršos kenksmingais komponentais, o taip pat šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimų mažinimas (White Paper on transport; DIRECTIVE 2014/94/EU; MARPOL 73/79 VI annex standard). Vienas iš efektyviausių problematikos sprendimo būdų yra plačiai transporto ir mažosios energetikos sektoriuose plačiai paplitusių dyzelinių variklių (DV) konvertavimo veikimui iš dyzelino (D), gamtinėmis dujomis (GD) arba dvejopu: dyzelinas – gamtinės dujos kuru (D/GD) ir antrinių DV energijos šaltinių prarandamų su išmetamosiomis dujomis bei į aušinimo sistemą panaudojimas kogeneraciniame jėgainės cikle (Feidt M., 2012, 3701 - 3722). DV konvertavimo veikimui GD skirta nemažai eksperimentinių, skaitinių ir matematinio modeliavimo tyrimų. Pvz. dviejų degalų mišinio krovinio transporto varikliui tyrimuose (Yusefi A., 2017, 642 – 657) pasiektas  $NO_x$  sumažinimas iki 6 kartų palyginus su dyzeliniu ciklu, anglies monoksido CO - 83%, tuo pat metu sumažinamos degalų sąnaudos 7,5%. Vidutinių apskukų Wartsila firmos 20DF laivo paskirties variklyje be antrinių kenksmingų komponentų valymo technologijų panaudojimo (SCR – Selective Catalytic Reduction technology, kt) jam funkcionuojant GD pasiektas galiojančio Marpol 73/79 VI priedo standarto redakcijos Tier III normatyvų realizavimas (García Valladolid P., 2017, 192-205). Palyginant su naftinės kilmės degalais teoriniu požiūriu GD elementinės cheminės sudėties santykis anglies – vandenilio C/H labiau palankus, mažinant šiltnamio efektą sukeliančių dujų  $CO_2$  emisiją ketvirtadaliu (Papagiannakis R.G., 2010, 1397 – 406; Zhang C., 2016, 578-585).

Tačiau dauguma eksperimentinių ir matematinio modeliavimo tyrimų atvejai paremti tyrimų objektais, kuriuos sudaro šiuolaikiniai DV su (ang. common rail) degalų tiekimo sistema. Ši sistema pasižymi plačiomis kuro įpurškimo parametų reguliavimo ir optimizavimo galimybėmis (Cheng Z., 2016, 67-76). Nepalyginamai mažiau tyrimų yra atlikta su DV turinčiais tradicinę kuro įpurškimo sistemą (ang. convencional fuel injection system), nors jų dalis eksploatuojamame DV parke yra iki šiol gana didelė (EEA, 2017). Taip pat santykinai mažai tyrimų skirta dujinių ar dvejopo kuro variklių kogeneracinio ciklo energetinio efektyvumo rodiklių tyrimams, ypač varikliams su tradicine degalų įpurškimo sistema. (Ramos da Costa Y. J., 2012, 4651-4660).

Klaipėdos ir Vilniaus Gedimino technikos universitetų mokslininkų atlikti kompleksiniai DV „4ČN 79,5/95,5“ su tradicine kuro sistema pervedimo veikimui D/GD kuru eksperimentiniai ir skaitiniai tyrimai, kurių vienu iš pagrindinių aspektų tapo kogeneracinio ciklo energetinio efektyvumo rodiklių palyginamieji tyrimai. Esminiai šių tyrimų fragmentai pateikti šioje publikacijoje.

## Metodologiniai aspektai

Tyrimo objektu tapo DV „4ČN 79,5/95,5“ turinti tradicinę kuro įpurškimo sistemą (1 lentelė).

1 lentelė

Variklio parametrai

|                                           |                        |
|-------------------------------------------|------------------------|
| Modelis                                   | 4ČN79.5/95.5           |
| Darbinis tūris, (cm <sup>3</sup> )        | 1896                   |
| Diametras × Eiga, (mm)                    | 79.5 × 95.5            |
| Maksimali galia, (kW/min <sup>-1</sup> )  | 66/4000                |
| Sukimo momentas, (Nm/ min <sup>-1</sup> ) | 180/2000–2500          |
| Aušinimo tipas                            | Skysčiu aušinamas      |
| Kuro tiekimo sistema                      | Tiesioginis įpurškimas |
| Cilindrų skaičius                         | 4 eilėje               |
| Suspaudimo laipsnis                       | 19.5:1                 |
| Oro tiekimas                              | Turbokompresorius      |

Šaltinis: sudaryta autorių

Eksperimente panaudoto dvejo D/GD kuro komponentų: dyzelino ir gamtinių dujų savybės atitinka EN 590 ir ISO 6976:1995 standartus (2 lentelė).

2 lentelė

| Kuro parametrai                   |                                                                                                               |                                                   |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Kuro tipas                        | Gamtinės dujos                                                                                                | Dyzelinas                                         |
| Tankis (kg/m <sup>3</sup> )       | 0.74                                                                                                          | 829.0                                             |
| Cetatinis skaičius                | -                                                                                                             | 49                                                |
| Žemutinė energetinė vertė (MJ/kg) | 51.7                                                                                                          | 42.8                                              |
| Klampa (cSt 40°C)                 | -                                                                                                             | 1.485                                             |
| H/C santykis                      | -                                                                                                             | 1.907                                             |
| Komponentai (% Vol.)              | Metanas: 91.97<br>Etanas: 5.75<br>Propanas :1.30<br>Butanas: 0.281<br>Azotas: 0.562<br>Anglies dioksidas: 0.0 | Anglis: 86.0<br>Vandenilis: 13.6<br>Deguonis: 0.4 |

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Variklio išorinio šilumos balanso skaičiavimui buvo panaudota originali metodika apjungianti klasikines analitines išraiškas varikliui veikiant skystuoju kuru – degalais ir dujiniu kuru (Handbook of diesel engines, 2016).

Pvz. nustatant šilumą prarandamą su išmetamosiomis dujomis  $Q_{id}$  vieno iš pagrindinio parametro – išmetamųjų dujų molių kiekio  $M_2$  skaičiavimo lygtis susideda iš dviejų skystam ir dujiniam kurui atitinkančių struktūros dalių:

$$\begin{aligned}
 M_2 = & M_2^D \cdot \frac{G_f^D}{(G_f^D + G_f^{DK} \cdot k)} + M_2^{DK} \cdot \frac{G_f^{DK} \cdot k}{(G_f^D + G_f^{DK} \cdot k)} + (\alpha_\Sigma - 1) \cdot L^{D/DK} + \\
 & + 0,79L^{D/DK} + (1-k) \cdot \frac{G_f^{DK}}{(G_f^D + G_f^{DK} \cdot k)} = \frac{C}{12} \cdot \frac{G_f^D}{(G_f^D + G_f^{DK} \cdot k)} \quad , \quad (1) \\
 & + \frac{1}{16} \cdot \frac{G_f^{DK} \cdot k}{(G_f^D + G_f^{DK} \cdot k)} + M_{CO_2} \cdot \frac{G_f^{DK}}{(G_f^D + G_f^{DK} \cdot k)} \cdot \frac{(1-k)}{k} \\
 & + \frac{H}{2} \cdot \frac{G_f^D}{(G_f^D + G_f^{DK} \cdot k)} + \frac{2}{16} \cdot \frac{G_f^{DK} \cdot k}{(G_f^D + G_f^{DK} \cdot k)} + (\alpha_\Sigma - 1) \cdot L^{D/DK} + 0,79L^{D/DK}
 \end{aligned}$$

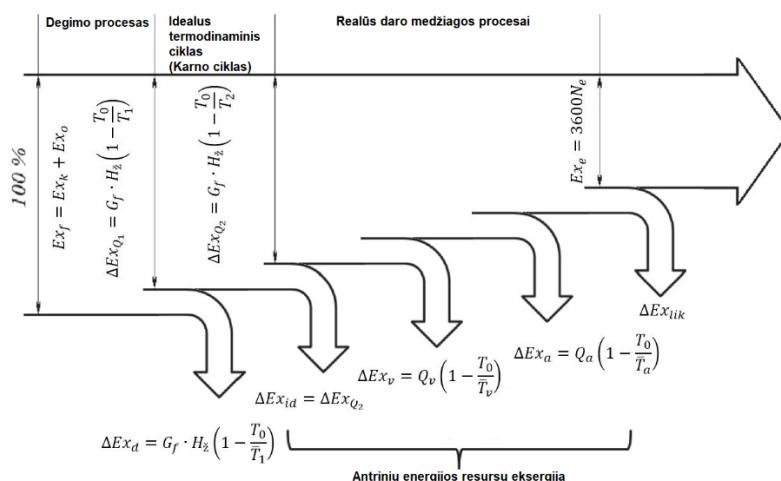
Čia  $M_2^D$  ir  $M_2^{DK}$  - dyzelino ir dujinio kuro išmetamųjų dujų molių skaičius;  $G_f^D$  ir  $G_f^{DK}$  - kuro sunaudojimas kg/h;  $k$  - koeficientas įvertinantis metano dalį dujiniame kure;  $\alpha_\Sigma$  absoliutus oro pertekliaus koeficientas;  $L^{D/DK}$  - stochiometrinė dvejo kuro konstanta;  $M_{CO_2}$  - anglies dioksido molių skaičius.

CO<sub>2</sub> ir H<sub>2</sub>O molių skaičiai nustatomi kaip skystojo ir dujinio kuro degimo produktai:

$$\diamond \quad \frac{C}{12} \cdot \frac{G_f^D}{(G_f^D + G_f^{DK} \cdot k)} + \frac{1}{16} \cdot \frac{G_f^{DK} \cdot k}{(G_f^D + G_f^{DK} \cdot k)} + M_{CO_2} \cdot \frac{G_f^{DK}}{(G_f^D + G_f^{DK} \cdot k)} \cdot \frac{(1-k)}{k}, \quad (2)$$

$$\diamond \quad \frac{H}{2} \cdot \frac{G_f^D}{(G_f^D + G_f^{DK} \cdot k)} + \frac{2}{16} \cdot \frac{G_f^{DK} \cdot k}{(G_f^D + G_f^{DK} \cdot k)}, \quad (3)$$

Eksergijos balanso sudedamosios dalys nustatytos pagal (Erofeev V.L., 2017, 1017-1026) siūlymus, grafiškai pavaizduotos 1 paveiksle, kur:  $Ex_f$  – naudojamo kuro ir oksidatoriaus energija;  $Ex_e$  – mechaninio darbo eksergija;  $Ex_d$  – degimo eksergija;  $Ex_{id}$  – išmetamųjų deginių eksergija;  $Ex_v$  – aušinimo kontūro vandens eksergija;  $Ex_{lik}$  – eksergijos likutis.



1 pav. Eksergijos balanso diagrama

Šaltinis: Erofeev V.L. Energy and exergy approaches to assessment enhance the efficiency of heat engines, Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova 9.5 (2017)

Skirtingai nuo (Erofeev V.L., 2017, 1017-1026) vidinė degimo temperatūra  $\bar{T}_1$  buvo nustatyta iš realaus eksperimento indikatorinių diagramų.

Tyrimai atlikti varikliui funkcionuojant plačiame apkrovos ir ( $p_{me} = 1,98 - 5,99$  bar), naudojamo dvejopo kuro sudėties (D/GD = 100/0; 60/40; 40/60; 20/80), skysto kuro įpurškimo paskubos kampo ( $\varphi_{inj} = -1; -4; -7; -10; -13^\circ$  avpk iki VRT) diapazonuose. Publikacijoje pateikta tik eksperimento diapazono kraštinių rezultatų duomenys ( $\varphi_{inj} = -1 - -13^\circ$  avpk iki VRT), (D/GD = 100/0; 20/80).

## Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

Energijos ir eksergijos balanso vertinimo skaičiavimo rezultatai pateikti (3 lentelė)

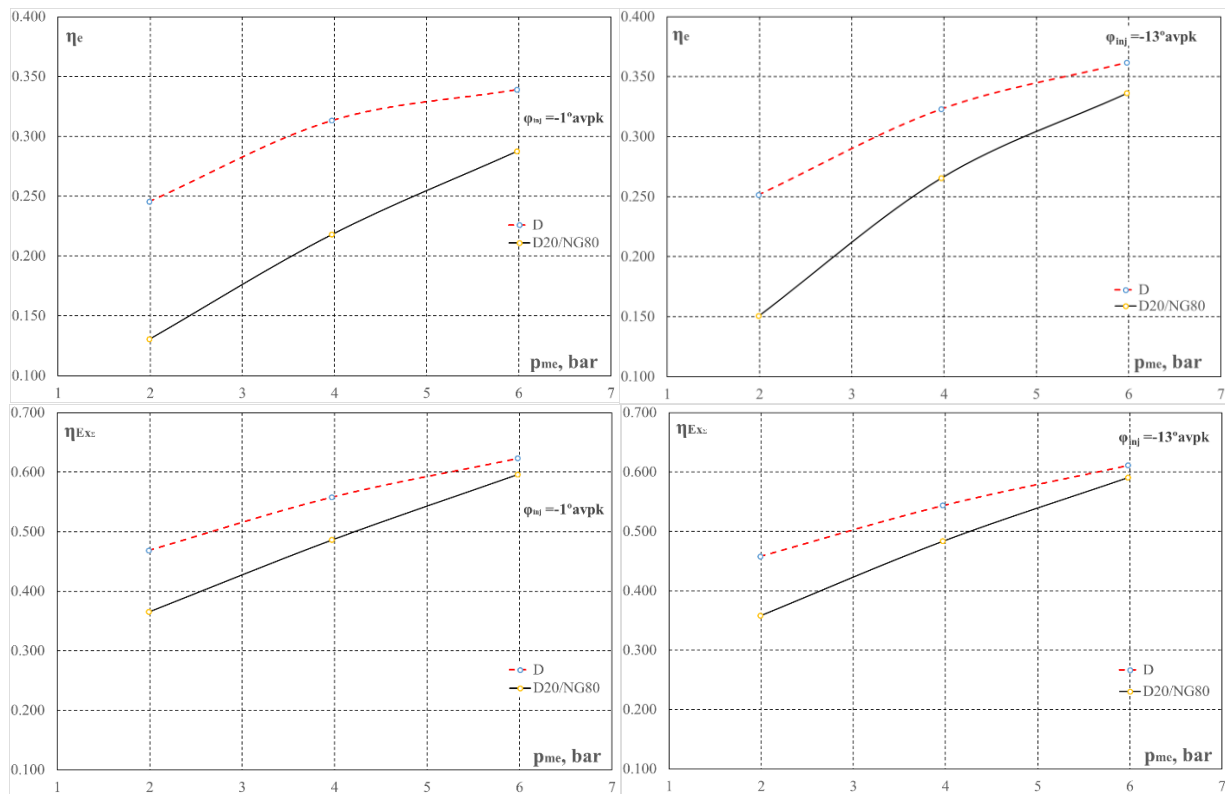
3 lentelė

Energijos ir eksergijos balanso skaičiavimo rezultatai

| Kuras     | $Q_e = E_{xe}$ | $Ex_\Sigma$ | $p_{me}$ | $\eta_{Ex\Sigma}$ | $\varphi_{inj}, ^\circ CA$ | $Ex_{id} + Ex_v$ | $T_t$ | $T_v'$ | $T_v''$ | $Q_f$ | $Ex_{deg}$ | $Q_{id}$ | $Ex_{id}$ | $Q_v$ | $Ex_v$ | $G_f$ | $H_z$   | $\alpha_\Sigma$ | $\eta_e$ |
|-----------|----------------|-------------|----------|-------------------|----------------------------|------------------|-------|--------|---------|-------|------------|----------|-----------|-------|--------|-------|---------|-----------------|----------|
|           | kW             | kW          | bar      |                   |                            | kW               | K     | K      | K       | kW    | kW         | kW       | kW        | kW    | kW     | kg/h  | kJ/kg   |                 |          |
| DYZELINAS | 6.28           | 12.0        | 1.99     | 0.469             | -1                         | 5.7              | 536.5 | 293.0  | 356.5   | 25.67 | 6.7        | 11.83    | 4.40      | 7.56  | 1.3    | 2.15  | 42921.7 | 5.4             | 0.245    |
|           | 12.57          | 22.5        | 3.97     | 0.558             | -1                         | 9.9              | 620.7 | 295.0  | 359.0   | 40.25 | 9.3        | 20.48    | 8.57      | 7.20  | 1.3    | 3.38  | 42921.7 | 3.8             | 0.313    |
|           | 18.85          | 34.8        | 5.98     | 0.623             | -1                         | 15.9             | 703.3 | 296.3  | 366.0   | 55.77 | 11.5       | 33.21    | 15.17     | 3.71  | 0.7    | 4.68  | 42921.7 | 2.9             | 0.339    |
|           | 6.28           | 11.5        | 1.99     | 0.458             | -13                        | 5.2              | 524.0 | 291.3  | 351.7   | 25.06 | 6.1        | 10.44    | 3.80      | 8.34  | 1.4    | 2.10  | 42921.7 | 5.2             | 0.251    |
|           | 12.57          | 21.2        | 3.97     | 0.544             | -13                        | 8.6              | 594.3 | 292.3  | 355.3   | 39.02 | 8.6        | 17.44    | 7.06      | 9.02  | 1.6    | 3.27  | 42921.7 | 3.6             | 0.323    |
|           | 18.85          | 31.9        | 5.98     | 0.611             | -13                        | 13.1             | 658.5 | 295.5  | 365.5   | 52.25 | 10.4       | 27.09    | 11.84     | 6.30  | 1.3    | 4.38  | 42921.7 | 2.9             | 0.362    |
| D20/GD80  | 6.28           | 17.5        | 1.99     | 0.365             | -1                         | 11.2             | 571.3 | 294.0  | 356.5   | 47.9  | 20.4       | 17.7     | 6.95      | 23.9  | 4.3    | 3.50  | 49274.7 | 2.9             | 0.131    |
|           | 12.57          | 27.9        | 3.97     | 0.486             | -1                         | 15.3             | 660.5 | 297.8  | 360.0   | 57.4  | 14.6       | 27.7     | 12.14     | 17.1  | 3.2    | 4.19  | 49276.9 | 2.6             | 0.218    |
|           | 18.85          | 38.8        | 5.98     | 0.596             | -1                         | 20.0             | 750.0 | 300.0  | 367.0   | 65.1  | 14.2       | 38.8     | 18.46     | 7.4   | 1.5    | 4.74  | 49454.0 | 2.3             | 0.288    |
|           | 6.28           | 14.8        | 1.99     | 0.358             | -13                        | 8.6              | 516.5 | 299.0  | 357.5   | 41.5  | 12.4       | 12.3     | 4.44      | 22.8  | 4.1    | 3.01  | 49546.5 | 3.18            | 0.150    |
|           | 12.57          | 22.7        | 3.97     | 0.483             | -13                        | 10.2             | 582.3 | 298.3  | 357.0   | 47.0  | 10.8       | 18.2     | 7.25      | 16.3  | 2.9    | 3.42  | 49488.0 | 2.95            | 0.265    |
|           | 18.85          | 32.9        | 5.98     | 0.591             | -13                        | 14.1             | 675.3 | 301.3  | 366.7   | 55.7  | 10.9       | 27.3     | 12.15     | 9.6   | 1.9    | 4.07  | 49338.4 | 2.54            | 0.336    |

Šaltinis: sudaryta autorių

Šilumos ir eksergijos balanso efektinis naudingo veikimo koeficientas (NVK  $\eta_e = \eta_{Ex}$ ) mažėja didėjant energetiniai GD daliai dvejopame kure, o ypač žemos apkrovos režimuose ( $p_{me} = 1,98$  bar). Pilotinės dyzelino porcijos įpurškimo paskubos kampo paankstinimas nuo  $-1^\circ$  avpk iki  $-13^\circ$  avpk iki VRT ne didele dalimi kompensuoja energetinio efektyvumo rodiklius  $\eta_e = \eta_{Ex}$  rezultatai pateikti (2 pav.).



**2 pav.** efektinio ir suminio eksergijos naudingo veikimo koeficientų palyginimas kogeneracinei jėgainei funkcionuojant dyzelinu ir dvejopu D/GD kuru

Pateikti duomenys leidžia racionaliai derinti dvejopo kuro sudėtį jėgainei funkcionuojant plačiame apkrovos diapazone gaminant elektros energiją esant panašiam efektyvumui jai funkcionuojant D: nominalios galios režimuose naudoti dvejopą kurą su kuo didesne GD dalimi, o mažos apkrovos režimuose – atvirkščiai, pageidautina funkcionuoti grynu dyzelinu arba su minimalia GD dalimi.

Analogiška tendencija būdinga suminės eksergijos NVK ( $\eta_{EX\Sigma}$ ) pasikeitimui.

$$\eta_{EX\Sigma} = \left( \frac{EX_{id} + EX_v + EX_e}{EX_f} \right) \quad (4)$$

Čia:  $EX_f = Q_f$  – visa su kuru ir oksidatoriumi įnešama energija.

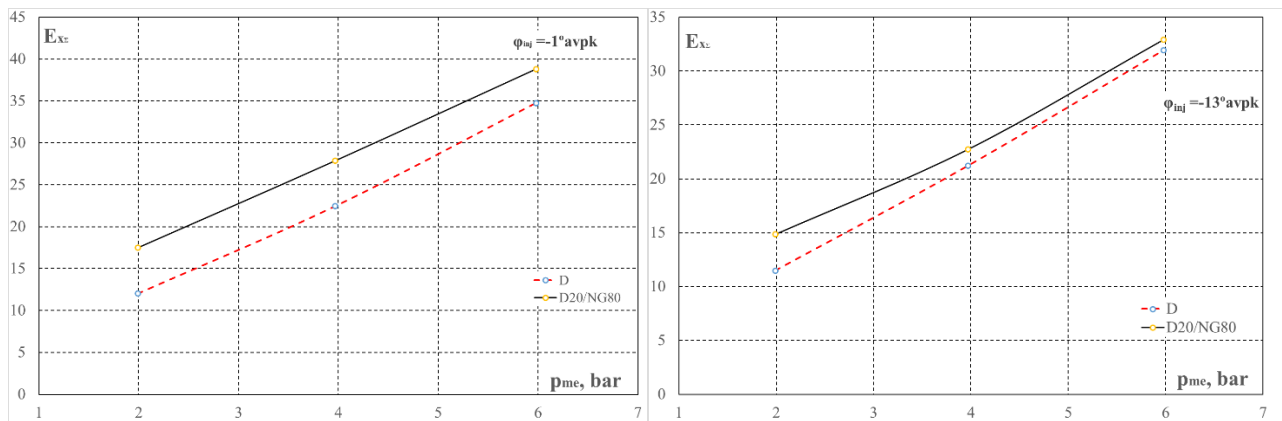
Mažos apkrovos režimuose ( $\eta_{EX\Sigma}$ ) reikšmė veikiant dyzelinu 0,458 – 0,469 yra ~ 22% didesnė nei veikiant dvejopu kuru D/GD (20/80). Tuo metu didelės apkrovos režimuose  $\eta_{EX\Sigma}$  reikšmės ne daug skiriasi: naudojant dyzeliną sudaro 0,611 – 0,623, o D/GD (20/80) - 0,591 – 0,596. Tokiu būdu kogeneracinio ciklo bendras elektros ir šilumos energijos gaminimo efektyvumas veikiant didele GD energetine dalimi dvejopame kure (D/GD (20/80 ir daugiau) aukštos apkrovos režimuose praktiškai nenusileidžia veikimui dyzelinu.

Kita vertus, absoliutus kogeneracinio ciklo efektyvumas, išreikštas suminės eksergijos vienetais ( $EX_e + EX_{id} + EX_v$ ), visame ištirtame apkrovos diapazone yra jaučiamai didesnis varikliui funkcionuojant dvejopu kuru D/GD (20/80) (3a pav.). Lyginant su dyzelino naudojimo atveju didėja energetinis potencialas, išmetamųjų deginių ir aušinimo kontūro vandens, antrinės energijos panaudojimo (3b pav.).

Gautų rezultatų analizė rodo, kad esant mažesnei dinamikai – geresnis Ex efektas, o tai reiškia – gerą efektą praktiniu aspektu, nors  $\eta_e$  ir  $\eta_{EX\Sigma}$  blogesni.

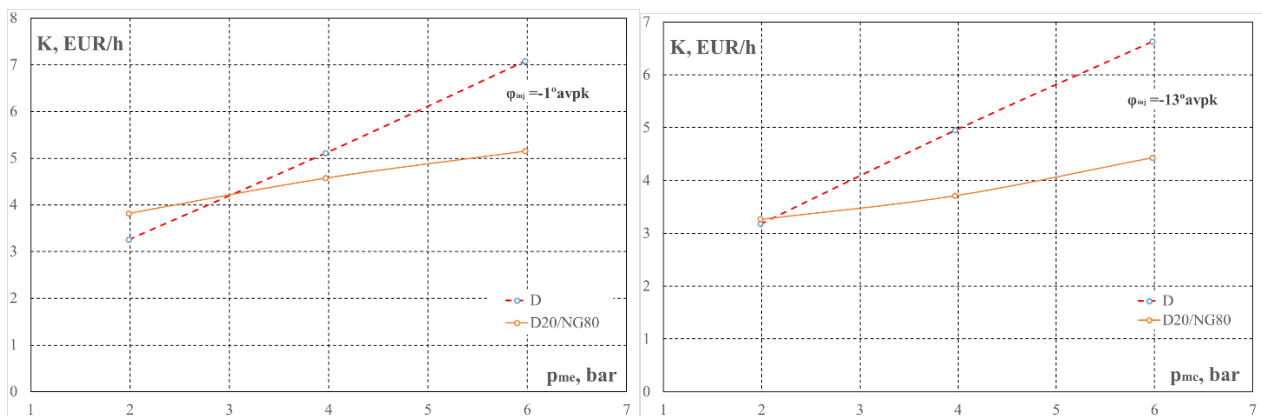
Kadangi  $EX_\Sigma = EX_e + EX_{(id+v)}$ , tai  $EX_\Sigma$  padidėjimo efektas gaunamas dėl  $EX_{(id+v)}$  didėjimo, kas savo ruožtu aktualu šaltuoju metų sezonu.

Turint  $EX_\Sigma$ ,  $\eta_{EX\Sigma}$ ,  $EX_{(id+v)}$  duomenis ( $p_{me} = 1,98 - 5,99$  bar) ir D/GD (20/80) grafiko lauke užtikrinamos plačios galimybės lanksčiam kogeneracinės jėgainės funkcionavimui tiek D, tiek ir D/GD (su konvencine kuro sistema). Pavyzdžiui – šaltuoju metų laikotarpiu, didėjant šilumos energijos suvartojimui patalpų šildymui, racionalu nedidinant jėgainės  $P_e$  (galios elektros energijos gamybai), o ją pervesti funkcionavimui D/GD, nes jėgainei funkcionuojant dvejopu kuru D/GD ženkliai didėja  $EX_{(id+v)}$ , kas sudaro apie 31%.



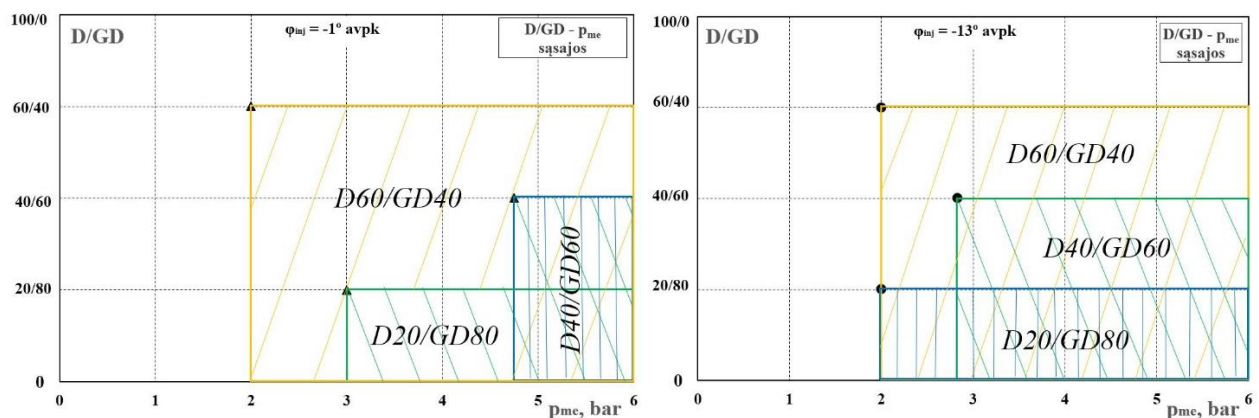
**3 pav.** Suminės eksergijos efektyvumo palyginimas kogeneracinei jėgainei funkcionuojant dyzelinu ir dvejopu D/GD kuru

Kogeneracinės jėgainės ekonominį rentabilumą didžiąją dalimi lemia išlaidos kurui. Šiuo pagrindu jėgainės kogeneraciniame cikle, remiantis nuostata, kai  $p_{me} = idem$  tiek D, tiek D/GD,  $\eta_e$  kitimas yra susijęs su skirtingomis kuro sąnaudomis. Vertinant finansinę išraišką reikia remtis D ir GD kuro kainų skirtumu. Pagal (el. svetainių degalukainos.lt ir SGdujos.lt) duomenis dyzelino ir gamtinių dujų kainos atitinka 1,04 EUR/l ir 0,77 EUR/m<sup>3</sup>, paskaičiuota kogeneracinio ciklo suminės eksergijos ( $Ex_e + Ex_{id} + Ex_v$ ) vieneto kaina (K), EUR/kJ dviem atvejais: funkcionuojant D ir D/GD (20/80) (4 pav.).



**4 pav.** Suminės eksergijos vieneto kaina (K), EUR/kJ dviem atvejais: funkcionuojant D ir D/GD (20/80)

Apibendrinant (K) skaičiavimus plačiai dvejopo kuro sudėčiai (D/GD – 100/0; 60/40; 40/60; 20/80) sudarytas ekonominio efektyvumo lauko grafikas  $p_{me}$  ir D/GD koordinačių sistemoje (5 pav.)



**5 pav.** Suminės eksergijos vieneto kaina (K), EUR/kJ dviem atvejais: funkcionuojant D ir D/GD (20/80)

Paveiksle 5 linijų taškų kombinacijos D/GD –  $p_{me}$  apibūdina dvejopo kuro racionalios sudėties nustatymą, kai pasiekama vienoda kogeneracinio ciklo praktinio panaudojimo suminės eksergijos vieneto

kaina atitinkanti dyzelino naudojimo atvejį. Praktiniam panaudojimui, siekiant sumažinti vartotojams tiekiamos kogeneracinio ciklo energijos savikainą būtina rinktis D/GD –  $p_{me}$  kombinacijas išdėstytas (5 pav.).

### Išvados

Kogeneracinės dyzelinės jėgainės su tradicine kuro tiekimo sistema pervedimas veikimui dvejopu dyzelinas – gamtinės dujos (D/GD) kuru lemia reikšmingus eksergijos balanso pokyčius ir energetinių sudedamųjų, mechaninės ir šiluminės energijos persiskirstymą:

1. ištirtame dvejopo kuro sudėties D/GD = 100/0... 20/80 diapazone eksergijos balanso efektyvus NVK ( $\eta_{Exe}$ ), charakterizuojantis energijos panaudojimo efektyvumą elektros energijos gamybai, mažėja nuo 7 – 15% aukštos apkrovos režimuose, o esant žemai apkrovai mažėja apie 40 – 48% lyginant su D naudojimo atveju;

2. eksergijos balanso suminio nvk ( $\eta_{Ex\Sigma}$ ), įvertinančio elektros ir šiluminės energijos panaudojimo efektyvumą, sumažėjimas neviršija 3 – 4% ir 22% atitinkamai aukštos ir žemos jėgainės apkrovos režimuose;

3. mažėjant eksergijos panaudojimo efektyvumo rodikliams ( $\eta_{Exe}$ ,  $\eta_{Ex\Sigma}$ ) absoliutus eksergijos potencialas praktiniam panaudojimui didėja, šiluminės energijos sudedamosios augimo dėka nuo 3 – 18% aukštos apkrovos režimuose ir iki 14 – 58% žemos apkrovos režimuose.

4. nustatyta, kad santykinai mažesni absoliučių eksergijos balanso rodiklių pasikeitimai būdingi dyzelinėms jėgainėms su didesne indikatorinio proceso dinamika, leidžia teigti apie kogeneracinio ciklo energetinių sudedamųjų gerinimo potencialą, didinant indikatorinio proceso dinaminius rodiklius (pvz.: ankstinant dyzelino įpurškimo paskubos kampą  $\phi_{inj}$ ).

5. dėl dyzelino (D) ir gamtinių dujų (GD) rinkos kainų skirtumo, kogeneracinės jėgainės veikiančios dvejopu D/GD (20/80) kuru praktinio panaudojimo eksergijos savikaina, lyginant su D atveju, mažėja 27% ir 33% jėgainės eksploatacinio režimo diapazone. Praktiniam panaudojimui, siekiant sumažinti eksploatacines išlaidas, kurui sudarytos racionalios dvejopo kuro sudėties parinkimo priklausomai nuo jėgainės darbo režimo diagramos (D/GD -  $p_{me}$ ).

### Literatūra

1. Chen, Z.; Yao, C.; Wang, Q.; Han, G.; Dou, Z.; Wei, H.; Wang, B.; Liu, M.; Wu, T. 2016. Study of Cylinder-to-Cylinder Variation in a Diesel Engine Fueled with Diesel/Methanol Dual Fuel. *Fuel*, 170, 67–76, doi:10.1016/j.fuel.2015.12.019.
2. European Environment Agency, EEA Report No 13/2017, Air quality in Europe — 2017 report, ISSN 1977-8449
3. Erofeev, Valentin L., Vladimir A. Zhukov, and Alexandr S. Pryachin. 2017. Energy and exergy approaches to assessment enhance the efficiency of heat engines. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rečno-go flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.5, 1017–1026. doi: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1017-1026.
4. Feidt, M., Costea, M. 2012. Energy and exergy analysis and optimization of combined heat and power systems. Comparison of various systems, *Energies*, 5, 3701-3722; doi: 10.3390/en5093701
5. García Valladolid, P.; Tunestål, P.; Monsalve-Serrano, J.; García Martínez, A.; Hyvönen, J. 2017. Impact of diesel pilot distribution on the ignition process of a dual fuel medium speed marine engine. *Energy Conversion and Management*. 149:192-205.doi:10.1016/j.enconman.2017.07.023
6. Mollenhauer, K., Tschoeke, H., 2010. Handbook of Diesel Engines, *Springer*, ISBN 978-3-540-89082-9, doi 10.1007/978-3-540-89083-6
7. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships MARPOL 73/78 Annex VI of: Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships
8. Papagiannakis, R.; Rakopoulos, C.; Hountalas, D.; Rakopoulos, D. 2010. Emission Characteristics of High Speed, Dual Fuel, Compression Ignition Engine Operating in a Wide Range of Natural Gas/Diesel Fuel Proportions. *Fuel*, 89, 1397–1406, doi:10.1016/j.fuel.2009.11.001.
9. Ramos da Costa, Y. J., Barbosa de Lima, G. A., Bezerra Filho, C. R., Lima, L. A. 2012. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, Issue 7, September 2012, Pages 4651-4660. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.013>
10. THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. 2014. DIRECTIVE 2014/94/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure. *Official Journal of the European Union* 28.10.2014, L 307/1
11. White Paper on transport. 2011. Roadmap to a single European transport area — towards a competitive and Resource-efficient transport system. ISBN 978-92-79-18270-9, doi: 10.2832/30955
12. Yousefi, A., Birouk, M., & Guo, H. 2017. An experimental and numerical study of the effect of diesel injection timing on natural gas/diesel dual-fuel combustion at low load. *Fuel*, 203, 642–657. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.05.009>
13. Zhang, C.; Song, J. 2016. Experimental Study of Co-Combustion Ratio on Fuel Consumption and Emissions of NG–Diesel Dual-Fuel Heavy-Duty Engine Equipped with a Common Rail Injection System. *J. Energy Inst.*, 89, 578–585, doi:10.1016/j.joei.2015.06.005.

## COMPARATIVE RESEARCH OF THE DUAL-FUEL ENGINE EXERGY BALANCE

### Summary

The publication presents the results of diesel (D) - natural gas (GD) dual-fuel (D / GD) cogeneration cycle energy analysis for the functioning of the diesel engine "4ČN 79,5/95,5". For the purpose of the research, a comparative analysis of the energy efficiency of the dual – fuel (D / GD) fuel-powered cogeneration cycle (exhaust gas and cooling circuit water) was used. Heat and exergy balances have been tested in a wide range of load ( $p_{me} = 1.98 - 5.99$  bar) and D / DG composition (100/0 - 20/80) and engine adjustment parameters. The transfer of a cogeneration diesel power plant with a conventional fuel supply system to dual – fuel diesel - natural gas (D / GD) - is driven by significant changes in exergy balance and energy component, mechanical and thermal energy redistribution. Exergy balance efficiency coefficient ( $\eta_{Exe}$ ), which characterizes the potential for efficiency in electricity production, decreases from 7 to 15% in high load modes, and during low load drops by 40-48% compared to D usage. Absolute exergy potential for practical use increases due to thermal energy component growth from 3 - 18% in high load modes and up to 14 - 58% in low load mode.

### AUTORĖS LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Vygintas Daukšys.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** magistras, asistentas

**Darbo vietą ir poziciją:** Klaipėdos universiteto, Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakulteto jūrų inžinerijos katedros asistentas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** vidaus degimo varikliai, energijos konvertavimo technologijos, alternatyvūs kuras

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 64359320, [vygintasdauksys@gmail.com](mailto:vygintasdauksys@gmail.com)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Sergėjus Lebedevas.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** habil. dr., profesorius

**Darbo vietą ir poziciją:** Klaipėdos universiteto, Jūros technologijų ir gamtos mokslų fakulteto jūrų inžinerijos katedros vedėjas.

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** techninė termodinamika, vidaus degimo varikliai, alternatyvūs kuras

**Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 68692086, [sergejus.lebedevas@ku.lt](mailto:sergejus.lebedevas@ku.lt)

### A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Vygintas Daukšys.

**Science degree and name:** master of science, assistant.

**Workplace and position:** Klaipėda University, faculty of marine technology and natural sciences department of marine engineering assistant.

**Author's research interests:** internal combustion engines, energy conversion technologies, alternative fuels.

**Telephone and e-mail address:** 8 64359320, [vygintasdauksys@gmail.com](mailto:vygintasdauksys@gmail.com)

**Author name, surname:** Sergėjus Lebedevas.

**Science degree and name:** Habil. Dr., Professor.

**Workplace and position:** Klaipėda University, faculty of marine technology and natural sciences department of marine engineering head of department.

**Author's research interests:** technical thermodynamics, internal combustion engines, alternative fuels.

**Telephone and e-mail address:** 8 68692086, [sergejus.lebedevas@ku.lt](mailto:sergejus.lebedevas@ku.lt)

# AUTOMOBILIO PAKABOS CHARAKTERISTIKŲ ĮTAKA VAŽIAVIMO KOMFORUI

Audrius Tuinyla, Robertas Pečeliūnas, Saulius Nagurnas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

## Anotacija

Straipsnyje nagrinėjamos lengvojo automobilio su orine pakaba dinaminės charakteristikos sinusoidinio judėjimo manevro metu. Naudojant automobilio vairo pasukimo robotą užtikrintas sinusoidinis judėjimo manevras, atlikti natūriniai bandymai keičiant automobilio pakabos režimus bei ratų dydžius. Pagal eksperimentinio bandymo metu jutiklio užfiksuotas išilginio ir skersinio pagreičio projekcijas bei sukimąsi apie išilginę automobilio ašį nustatytas komfortiškiausias automobilio pakabos reguliavimo režimas. Pateikiami skaitinius bandymų rezultatus atitinkantys grafikai.

**REIKŠMINIAI ŽODŽIAI.** Važiavimo komfortas, pneumatinė pakaba, vairo pasukimo robotas, automobilio stovumas, sinusoidinis manevras.

## Įvadas

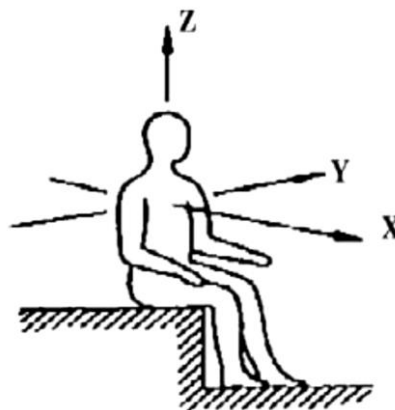
Automobilio komfortas vertinamas įvairiai: pagal sėdynės minkštumą, kėbulo tipą, automatinę arba mechaninę pavarų dėžę, elektronikos prietaisus ir kt. Tačiau pagrindiniai kriterijai, renkantis komfortišką automobilį, turėtų būti kelio nelygumų absorbcija, juntamų vibracijų kiekis bei kėbulo svyravimų juntamumas.

Kiekvienas vairuotojas ar keleivis, važiuodamas automobiliu, nenori jausti jokių papildomų vibracijų, susijusių su kelio nelygumais. Komfortas turi įtakos ir psichologiniam žmogaus mąstymui. Patogiai važiuodamas žmogus nesiblaško, atsipalaiduoja ir tinkamai susikoncentruoja vairuodamas automobilį. Vibracija – tai virpesiai, kurių amplitudė gerokai mažesnė už virpančio objekto geometrinius parametrus. Šis fizikinis reiškinys gali nulemti žmogaus nuotaiką, emocinį protrūkį, todėl šiame darbe vertinama automobilio pakabos charakteristikų įtaka važiavimo komfortui.

## Pakabos įtaka važiavimo komfortui

Automobilio pakaba sumažina kelio dangos nelygumų poveikį, perduodamą automobilio kėbului važiuojant įvairios kokybės keliais. Todėl pakabų amortizavimo ir slopinimo charakteristikos turi užtikrinti saugias ir komfortiškas automobilio keleivių vežimo sąlygas. Analizuojant automobilio pakabos darbą, būtinas tam tikras vertinimo kriterijus, kuris apibūdintų pakabų kokybę ir leistų palyginti įvairius variantus. Kol kas nėra priimtas vieningas parametras, kuris visiškai tiksliai apibūdintų automobilio eigos švelnumą. Kaip vertinimo kriterijai gali būti naudojami: poslinkių greitis, pagreitis, kėbulo svyravimai ir kt. Kriterijaus pasirinkimo problemą lemia tai, kad yra sudėtinga vienu parametru apibūdinti virpesių poveikį žmogaus organizmui (Sayers et al. 2012).

Aprašant žmogaus virpesių šaltinio sąveiką, naudojama koordinačių sistema (ISO 2631), kurios pradžia yra žmogaus širdies zonoje. Koordinatinių ašių kryptys atitinka žmogaus pozą (1 pav.). Tokia koordinačių pradžios taško padėtis gana sunkiai nustatoma, be to, sudėtinga tiksliai apibūdinti vietą, kurioje reikia matuoti virpesius. Tikslėnei analizei vertinami virpesiai, veikiantys pagrindines žmogaus kūno dalis, t. y. nustatomos atskiros koordinačių pradžios pagrindiniuose taškuose tarp virpančio paviršiaus ir atitinkamos kūno dalies. Tokiu atveju sėdinčiam žmogui numatytos šios koordinačių pradžios: ant sėdynės, kojų atramos taške ir nugaros atramos taške (Ikenaga et al. 2006).

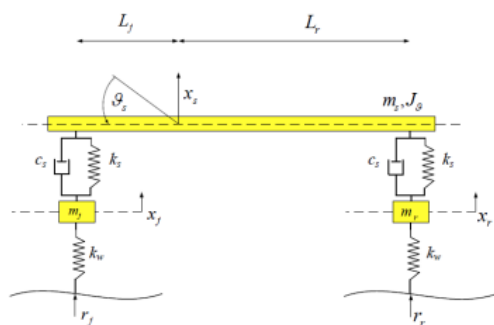


**5 pav.** Koordinatinių sistema, naudojama žmogaus kūną veikiančioms vibracijoms vertinti

Šaltinis: Ikenaga et al. 2012

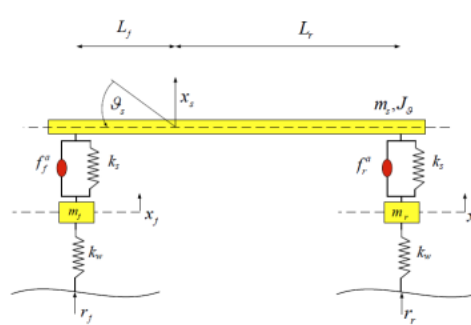
Tamboli et al. (2018) savo darbe nagrinėja: automobilio pakabos reakciją į kelio nelygumus priklausomai nuo automobilio ratų bazės, automobilio greičio kitimą priklausomai nuo kelio paviršiaus, keleivių komfortą esant skirtingoms pakabos virpesių, kylančių dėl kelio nelygumų, standumo ir slopinimo charakteristikoms. Tyrimo atlikimo metodas – nustatomi poslinkių tarp galinės ir priekinės ašių koeficientai bei poslinkių tarp galinės ir priekinės ašių koeficientų vidurkiai. Parenkami kelio profiliai: sinusoidinis, greitkelio ir miesto gatvės. Galinės ir priekinės ašių poslinkių koeficientai ir jų vidurkiai įrašomi į judėjimo lygtis. Pagal gautus poslinkius sudaromos virpesių, pagreičių diagramos. Gauti rezultatai lyginami su ISO 1520 reikalavimų reikšmėmis (Tamboli et al. 2018).

Keleivių komforto problema šiuolaikinėse sedano transporto priemonėse nagrinėjama Dertimanis et al. (2018). Darbe pateikiami pasyvios (2 pav.) bei aktyvios (3 pav.) pakabų sistemų tipai bei jų įtaka važiavimo komfortui.



**6 pav.** Pasyvios pakabos kinematinis modelis

Šaltinis: Dertimanis et al. 2018



**7 pav.** Aktyvios pakabos kinematinis modelis

Šaltinis: Dertimanis et al. 2018

Automobilio važiavimo komfortas su pusiau aktyvia pakaba gali būti nustatomas pagal automatinis pakabos nustatymo variantus tiesiog automobilio viduje. Žuraulis et al. (2014) atliko tyrimus su šiuolaikiniais automobiliais važiuojant „Comfort“ ir „Sport“ pakabos reguliavimo režimais. Straipsnyje analizuojama vairuotojo gaunama nauda, kai automobilyje yra du skirtingi važiavimo režimai. Tyrime dalyvavo E-klasės „Mercedes Benz“ ir „Opel Insignia“. Tai visiškai skirtingo tipo automobiliai. Jais buvo įveikti du skirtingi važiavimo ruožai po 350 m ir važiuota skirtingais greičiais: 30, 50, 70 ir 100 km/h. Eksperimento metu buvo keičiami pakabos nustatymai, o važiuojant skirtingais greičiais ir kelio paviršiais fiksuojamas vertikalus pagreitis, tenkantis keleiviui sėdynės zonoje. Bandymo metu naudotas vienas iš pagrindinių važiavimo komforto nustatymo prietaisų – akcelerometras „Corrsys-Datron DAS-3“. Eksperimento metu išsiaiškinta, kad keičiant pakabos ir visos važiuoklės nustatymus, keleiviui tenkanti vibracija yra mažesnė esant mažiems važiavimo greičiams (30, 50 km/h). Esant didesniems greičiams vibracijos ėmė didėti ir įjungus „Sport“ režimą, vibracijos buvo mažesnės nei „Comfort“ atveju. Važiuojant „Comfort“ režimu automobilio kėbulas yra linkęs daugiau svyruoti (Žuraulis et al. 2014).

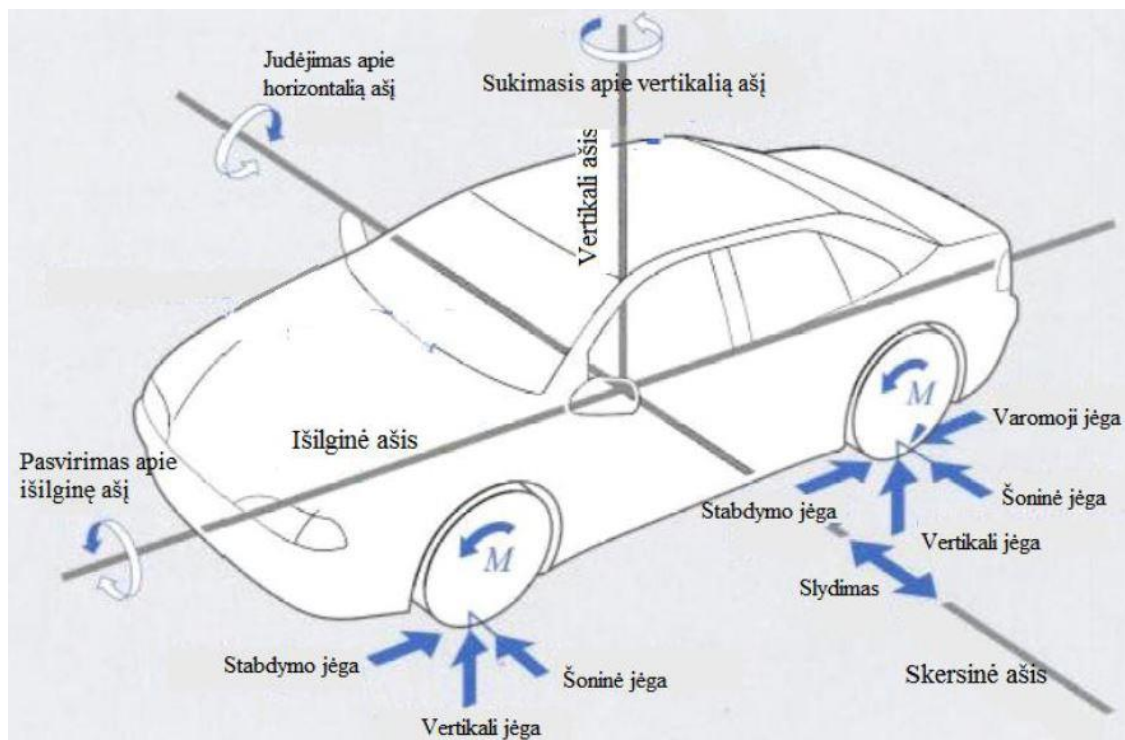
Wang et al. (2018) straipsnyje analizuojamas vienas mechaninis automobilio pakabos elementas – amortizatoriaus viršutinė atrama arba, kitaip vadinamas, smūgio slopintuvas. Mokslininkai iškėlė klausimą, ar maža detalė, kuri skirta sumažinti ir priimti amortizatoriaus smūgius, gali daryti įtaką važiavimo komfortui. Eksperimentai buvo atliekami važiuojant skirtingais kelio nelygumais, tokiais kaip iškiliuos salelės, įdubos ir panašiai. Eksperimento metu įrodyta, kad tai yra svarbu važiavimo komfortui, kadangi kuo daugiau sugerama smūgio į slopintuvą, tuo mažiau vibracijų perduodama į kėbulą. Taip pat važiuojant iškiliais kalneliais parinktos tinkamo aukščio ir minkštai sugeriančios medžiagos. Smūgio slopintuvai tik pakreipia kėbulą į atitinkamą pusę, bet vibracijų ir svyravimų į vairuotojo ir keleivio sėdynes neperduoda.

Stabdant bei įsibėgėjant principas išlieka toks pats kaip ir važiuojant per iškiliuosius kalnelius, t. y. stabdant priekiniai smūgio slopintuvai amortizatorius spaudžia žemyn, įsibėgėjant galiniai smūgio slopintuvai amortizatorius prispaudžia. Mokslininkai šią teoriją išbandė su keletu skirtingų automobilių modelių, tačiau pastebėjo vieną neigiamą faktorių – smūgių slopintuvai daug greičiau dyla, kadangi jie yra minkštesni (Wang et al. 2018).

Pagrindiniai skersinės dinamikos parametrai (Tautkus 2011) yra:

- skersinis pagreitis;
- sukimosi greitis apie išilginę automobilio ašį;
- kėbulo pasvirimo kampas apie išilginę ašį;
- išilginio greičio projekcija;
- skersinio greičio projekcija;

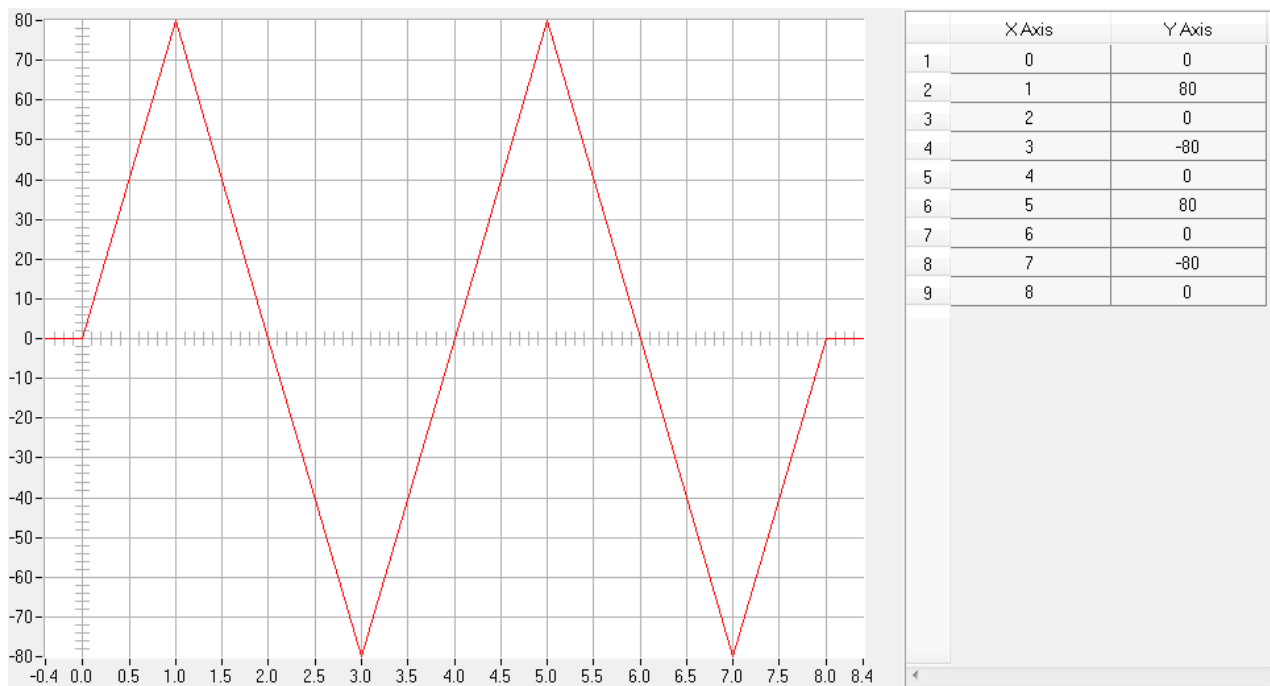
- slydimo (skersridės) kampas;
- sukimosi greitis apie vertikalią automobilio ašį.



**8 pav. Jėgos ir momentai**  
Šaltinis: Tautkus 2011

#### Ekperimentinių tyrimų atlikimo metodika

Ekperimentinio tyrimo metu atliekamas sinusoidinio važiavimo manevras, kurio metu automobiliu važiuojama pastoviu 40 km/h greičiu, o automobilio vairas pasukamas tam tikru metu ir kampu. Manevro tipas ir vairo sukimo kampas pateikiamas 5 paveiksle.



**9 pav. Manevro tipas ir vairo sukimo kampas**  
Šaltinis: sudaryta autorių

Ekperimentinių tyrimų atlikimo sąlygos:

- Tyrimai atliekami automobiliu „Mercedes Benz E“.

- Tiriamajame automobilyje sumontuota įranga, kuri matuoja automobilio kėbulo poslinkius, judėjimo pagreitį skersine bei vertikalia kryptimis.
- Automobilio vairo sukimą valdo sumontuotas robotas, kuris valdomas kompiuterinės programinės įrangos „Arduino“ suprogramuotu valdymo kodu.
- Bandymai atliekami važiuojant asfaltuota danga, važiuojama trimis skirtingais pakabos reguliavimo režimais (I režimas – mažiausias kėbulo aukštis nuo žemės; II režimas – vidutinis kėbulo aukštis nuo žemės; III režimas – aukščiausias kėbulo aukštis nuo žemės (matuojama nuo kelio paviršiaus iki priekinio bei galinio sparno arkos žemiausiojo taško ties rato centru) ir skirtingais ratų dydžiais: 225/55 R16 (toliau – 16") ir 245/45 R17 (toliau – 17"). Skirtingų pakabos režimų įtaka kėbulo atstumui iki kelio paviršiaus pateikiama 3 lentelėje.

1 lentelė

**Automobilio atstumas nuo kelio paviršiaus skirtingais pakabos reguliavimo režimais**

| Ratų dydis | Kėbulo aukščio padėtis |                  |                |
|------------|------------------------|------------------|----------------|
|            | Režimas                | Priekinė ašis, m | Galinė ašis, m |
| 225/55 R16 | I režimas              | 0,677            | 0,685          |
|            | II režimas             | 0,670            | 0,673          |
|            | III režimas            | 0,720            | 0,728          |
| 245/45 R17 | I režimas              | 0,688            | 0,696          |
|            | II režimas             | 0,680            | 0,686          |
|            | III režimas            | 0,731            | 0,740          |

Norint išvengti didelių paklaidų bei žmogiškojo faktoriaus klaidų manevro atlikimo metu ant vairo buvo sumontuotas vairo sukimo robotas (6 pav.). Šis robotas yra valdomas „Arduino“ kompiuterine programa, kurioje robotui valdyti sukurtas programinis kodas.



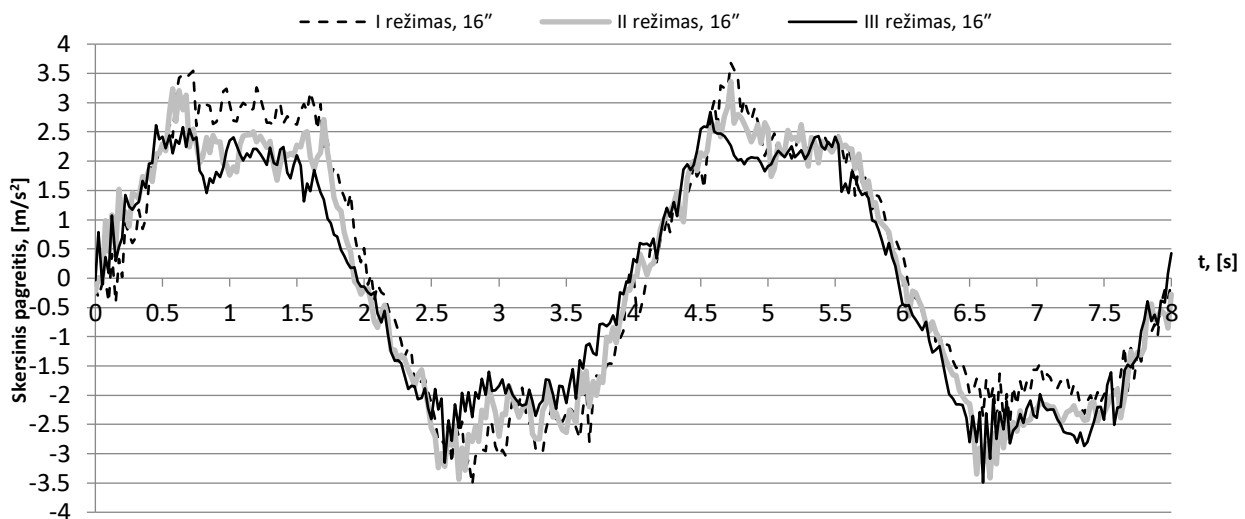
10 pav. Eksperimentinio tyrimo metu naudotas vairo sukimo robotas

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Vairo sukimo robotas valdomas naudojantis programa „Arduino“. Programavimo lange suvedami numatomi automobilio eksperimento metu sinusoidinio judėjimo pagrindiniai parametrai: vairo sukimo kampas  $80^\circ$ , laiko intervalas tarp vairo sukimų 1 sekundė, vairo sukimo greitis  $2\pi/s$ , redukcinės pavaros perdavimų skaičius 3,64, manevro segmentų skaičius 5.

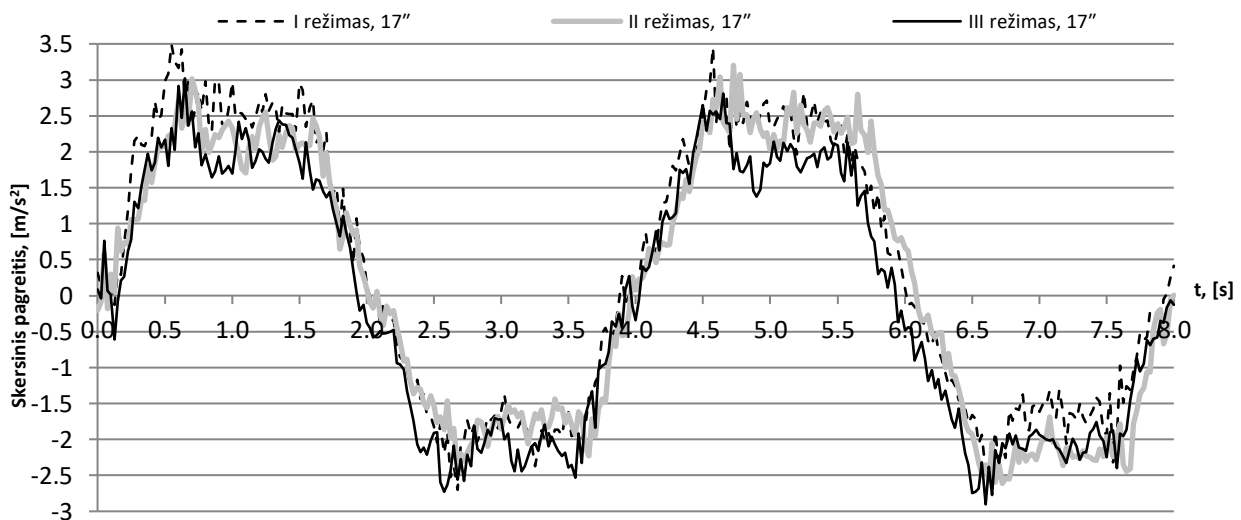
**Eksperimentinių tyrimų duomenų rezultatai ir jų analizė**

Eksperimentų metu buvo fiksuojama visa jutikliais gaunama informacija, tačiau daugiau dėmesio skirta kėbulo posvyrio kampui bei skersiniam pagreičiui stebėti. Siekiant nustatyti šių parametrų didžiausias reikšmes, jų pasiskirstymą ir kitimą, tyrimų metu gauti rezultatai ir jų palyginimas buvo atvaizduojami grafiškai (7, 8 pav.).



**11 pav.** Skersinio pagreičio svyravimai esant skirtingiems kėbulo aukščiams

*Šaltinis: sudaryta autorių*



**12 pav.** Skersinio pagreičio svyravimai esant skirtingiems kėbulo aukščiams

*Šaltinis: sudaryta autorių*

Eksperimentinio tyrimo rezultatų apibendrinimas pateikiamas 2 lentelėje.

**2 lentelė**

**Skersinio pagreičio ir kėbulo pasvirimo kampo palyginimai**

| Bandymas         | Skersinis pagreitis, ( $\text{m/s}^2$ ) |           | Kėbulo pasvirimo kampas (apie išilginę ašį), ( $^\circ$ ) |           |
|------------------|-----------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------|-----------|
|                  | Didžiausias                             | Vidutinis | Didžiausias                                               | Vidutinis |
| I režimas, 16"   | 3,67                                    | 2,88      | 6,48                                                      | 4,42      |
| II režimas, 16"  | 3,36                                    | 2,51      | 7,68                                                      | 4,53      |
| III režimas, 16" | 3,24                                    | 2,34      | 7,12                                                      | 5,01      |
| I režimas, 17"   | 3,49                                    | 2,62      | 6,69                                                      | 3,54      |
| II režimas, 17"  | 3,29                                    | 2,44      | 6,05                                                      | 4,08      |
| III režimas, 17" | 3,02                                    | 2,21      | 7,23                                                      | 4,49      |

Didžiausias skersinis pagreitis ( $3,67 \text{ m/s}^2$ ) yra važiuojant I režimu, 16" dydžio ratais, o kėbulo pasvirimo kampas ( $7,68^\circ$ ) yra važiuojant II režimu, 16" dydžio ratais. Mažiausias skersinis pagreitis ( $3,02 \text{ m/s}^2$ ) yra važiuojant III režimu, 17" dydžio ratais bei kėbulo pasvirimo kampas ( $6,05^\circ$ ) – II režimu, 17" dydžio ratais.

### Išvados

1. Eksperimentinio tyrimo metu nustatyta, kad didžiausias automobilio kėbulo skersinis pagreitis yra  $3,67 \text{ m/s}^2$  (važiuojant I režimu su 16" dydžio ratais), o mažiausias –  $3,02 \text{ m/s}^2$  (važiuojant III režimu su 17" dydžio ratais). Šiuo pakabos reguliavimo režimu gamintojas nurodo nevažiuoti didesniu nei 45 km/h greičiu,

kadangi didesniai greičiui šis režimas nepritaikytas ir dėl per didelio kėbulo svyravimo gali sumažėti ratų sukibimas su kelio danga.

2. Lyginant eksperimentinio bandymo metu gautus automobilio kėbulo skersinių pagreičių tarp pakabos režimų skirtumus nustatytas didžiausias 21,5 % skirtumas tarp I režimo su 16" dydžio ratais ir III režimo su 17" dydžio ratais, o mažiausias – 1,5 % tarp III režimo su 16" dydžio ratais ir II režimo su 17" dydžio ratais.

3. Eksperimentinio bandymo metu gautas didžiausias kėbulo pasvirimo kampo apie išilginę ašį skirtumas yra 1,63° arba 30 %.

4. Lyginant ratų dydžio įtaką kėbulo skersiniam pagreičiui gauta, kad mažiausią įtaką turi važiavimas II režimu su 16" ir 17" dydžio ratais (2,1 %), o didžiausią – III režimu su 16" ir 17" dydžio ratais (7,28 %).

5. Atliekant sinusoidinio judėjimo manevrą rezultatų reikšmėms turi įtakos vairuotojo gebėjimas išlaikyti pastovų greitį bei pradinės vairo padėties nustatymas.

### Literatūra

1. Dertimanis V. K., Chatzi E. N., 2018. LQR – UKF active comfort control of passenger vehicles with uncertain Dynamics, IFAC-PapersOnLine, 120-125 p.
2. Ikenaga S., Lewis F. L. 2006. Javier Campos Automation & Robotics Research Institute The University of Texas at Arlington, Active Suspension Control of Ground Vehicle based on a Full-Vehicle Model.
3. Sayers M. G. L., L. Tweddle L., Wiegand A. 2012. Changes in drive phase lower limb kinematics during a 60 min cycling time trial, Journal of Science and Medicine in Sport, 169-174 p.
4. Tamboli D., Barter S., Jones R. 2018. On the growth of cracks from etch pits and the scatter associated with them under a miniTWIST spectrum, International Journal of Fatigue, 10-16 p.
5. Tautkus, A. 2011. Longitudinal and lateral dynamics. Erasmus LLP intensive programme. <[http://www.ip-zev.gr/files/teaching/T3-4\\_Lateral\\_longitudinal\\_dynamics.pdf](http://www.ip-zev.gr/files/teaching/T3-4_Lateral_longitudinal_dynamics.pdf)>
6. Wang Y., Zhao W., Zhou G., Gao Q., Wang C. 2018. Suspension mechanical performance and vehicle ride comfort applying a novel jounce bumper based on negative Poisson's ratio structure, Advances in Engineering Software 122(October 2017): 1–12. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2018.04.001.
7. Žuraulis V., Pečeliūnas R., Jakutis G. 2014. Semi-active suspension influence on comfort sensation of vehicle occupant, 116–124 p.

## INFLUENCE OF CAR SUSPENSION CHARACTERISTICS ON DRIVING COMFORT

### Summary

The paper deals with the dynamic characteristics of a passenger car with air suspension during a sinusoidal movement maneuver. With a steering wheel rotation robot, a sinusoidal maneuver is ensured. An experimental tests have been carried out by changing car suspension modes and wheel sizes. In the experimental test, the longitudinal and transverse acceleration projections captured by the sensor and rotational on the longitudinal axis of the vehicle have been set to provide the most comfortable adjustment of the car suspension. Graphs corresponding to numerical test results.

**Key words:** Driving comfort, pneumatic suspension, steering wheel robot, road-holding, sinusoidal maneuver.

### AUTORIŲ LYDRAŠTIS

**Autoriaus vardas, pavardė:** Audrius Tuinyla

**Mokslo laipsnis ir vardas:** magistrantas

**Darbo vieta ir pozicija:** Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto, Automobilių inžinerijos katedros magistrantas

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** transporto priemonių dinamika

**Telefonas ir el. pašto adresas:** (8 5) 274 4790, [audrius.tuinyla@gmail.com](mailto:audrius.tuinyla@gmail.com)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Robertas Pečeliūnas

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas

**Darbo vieta ir pozicija:** Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto, Automobilių inžinerijos katedros docentas

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** eismo saugumas, transporto priemonių dinamika

**Telefonas ir el. pašto adresas:** (8 5) 274 4790, [robertas.peceliunas@vgtu.lt](mailto:robertas.peceliunas@vgtu.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Saulius Nagurnas

**Mokslo laipsnis ir vardas:** daktaras, docentas

**Darbo vieta ir pozicija:** Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto, Automobilių inžinerijos katedros docentas

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** automobilių diagnostika, automobilių elektroninės valdymo sistemos, transporto mašinų patikimumas

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 654 02786, [saulius.nagurnas@vgtu.lt](mailto:saulius.nagurnas@vgtu.lt)

## A COVER LETTER OF AUTHORS

**Author name, surname:** Audrius Tuinyla

**Science degree and name:** postgraduate

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Transport Engineering, Department of Automobile Engineering, postgraduate

**Author's research interests:** vehicle dynamics

**Telephone and e-mail address:** (8 5) 274 4790, [audrius.tuinyla@gmail.com](mailto:audrius.tuinyla@gmail.com)

**Author name, surname:** Robertas Pečeliūnas

**Science degree and name:** doctor, assoc professor

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Transport Engineering, Department of Automobile Engineering, assoc professor

**Author's research interests:** traffic safety, vehicle dynamics

**Telephone and e-mail address:** (8 5) 274 4790, [robertas.peceliunas@vgtu.lt](mailto:robertas.peceliunas@vgtu.lt)

**Author name, surname:** Saulius Nagurnas

**Science degree and name:** doctor, assoc professor

**Workplace and position:** Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Transport Engineering, Department of Automobile Engineering, assoc professor

**Author's research interests:** automobile diagnostics, automotive electronic control systems, reliability of transport machinery

**Telephone and e-mail address:** +370 654 02786, [saulius.nagurnas@vgtu.lt](mailto:saulius.nagurnas@vgtu.lt)

# LITAVIMO PASTOS SENĖJIMO ĮTAKA LITAVIMO KOKYBEI

Edgaras Sarapinas, Julius Šaltanis

Kauno technikos kolegija

## Anotacija

Elektronikos gamybos pramonėje vis dažniau taikoma paviršinio montažo technologija, kurios metu komponentų litavimui naudojama litavimo pasta. Litavimo pasta – tai apvalios, nuo 2µm iki 150µm skersmens lydmetalio dalelės sumaišytos tirštame fluse. Priimtina gaminio kokybei pasiekti svarbus pastos užnešimo kiekis, litavimo temperatūros profilis ir pastos savybės. Viena iš pagrindinių problemų kylančių pastą naudojant - tai jos senėjimas. Straipsnyje pateikiami atlikto tyrimo rezultatai, kuriais siekiama nustatyti, kokią įtaką litavimo kokybei turi pastos senėjimas.

**Reikšminiai žodžiai:** Litavimo pasta, pastos senėjimas, litavimo kokybė.

## Įvadas

Tobulėjant paviršinio montažo komponentų gamybos technologijoms, mažinami jų matmenys, tuo pačiu mažėja komponentų aikštelių paviršiaus plotas. Kuo aikštelės mažesnės, tuo didesnė įtaką turi litavimo kokybė. Litavimo proceso metu netinkamai formuojantis lydvietai atsiranda įvairių defektų, kurie gali nulemti viso gaminio kokybę ir veikimo trukmę. Kad procesas būtų kontroliuojamas, svarbu tinkamai prižiūrėti gamybos įrangą ir naudojamas medžiagas. Paviršinio montažo komponentų litavimui naudojama lydmetalio pasta yra riboto naudojimo laiko, kuris gali trukti iki 72 val. po pakuotės atidarymo, laikant šaldytuve. Po atidarymo, jos savybės prastėja – didėja pastos klampumas, kuris gali nulemti prastą užnešimą ant aikštelių, blogėja fluso savybės, kurios nulemia prastą drėkinimą litavimo metu ir lydvietai kokybę po sulitavimo. Netinkamas pastos laikymas ir senėjimas turi didelę įtaką flusui. Lydvietai kokybiniai parametrai vertinami pagal IPC-A-610 elektronikos gaminių priimtumo standartą [1].

## Tyrimų metodika

Šiame darbe atlikti tyrimai, siekiant nustatyti senėjančios litavimo pastos įtaką litavimo kokybei. Tyrimo metu naudojama Almit LFM 48 TM-HP lydmetalio pasta, kurios lydinio sudėtyje yra 4% sidabro, 1% vario, 95% alavo ir 12% fluso [2]. Dalelių dydis svyruoja tarp 20-38µm. Pagal gamintojo specifikaciją, pasta turi būti laikoma 0-10°C temperatūroje ir po atidarymo naudojama, ne ilgiau kaip 72 valandas.

Lydmetalio pastos mėginiai tepami ant FR-4 plokštės suformuotų vienodų aikštelių. Mėginiai pradėti tepti po 72 valandų nuo indelio atidarymo, kas 24 valandas. Viso paimti 7 mėginiai, prieš imant mėginį pasta gerai permaišoma. Pastos indelis ir mėginiai laikomi šaldytuve. Ant pirmą ir septintą dieną užteptos pastos pastatomi komponentai.

Pastos lydymui naudojama „Essemtec RO-06 Plus“ litavimo krosnis, kurioje nustatomas kaitinimo profilis. Profilio nustatymai pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė

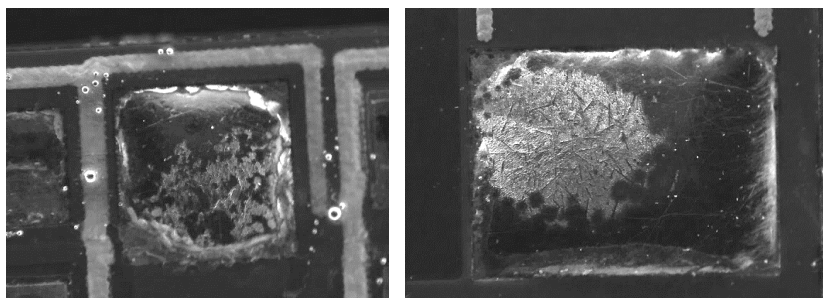
Litavimo krosnies profilio temperatūros ir laikai

| Bazinė temperatūra | Pakaitinimo temperatūra | Pakaitinimo laikas | Litavimo temperatūra | Litavimo laikas | Aušinimo temperatūra |
|--------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| 140°C              | 190°C                   | 25s                | 220°C                | 8s              | 200°C                |

Šaltinis: sudaryta autorių

## Eksperimentų rezultatai

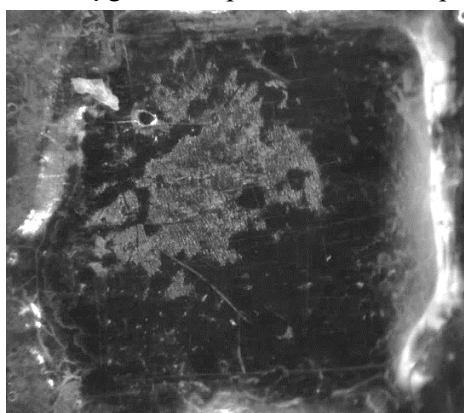
Praėjus 24 val. po paskutinio mėginio užtepimo, plokštė su komponentais sulituota litavimo krosnyje. Rezultatai stebimi mikroskopu. Pirmojo (seniausio užtepto) ir septintojo mėginių nuotraukos pateikiamos 1 paveiksle. Pirmojo mėginio lydvietai vizualiai matomi gilesni nelygumai, kurie galimai atsirado dėl pastoje esančio fluso senėjimo arba išgaravimo prieš kaitinimą. Pasta ne pilnai padengia aikštelę, kas rodo jog prieš kaitinimą nebuvo pakankamai drėgna, t.y. joje buvo per mažas kiekis fluso ir pasta nepakankamai tolygiai pasklido ant aikštelės. Taip pat aplink aikštelę matomi lydmetalio šratukai. Septintą dieną užteptos pastos, po litavimo, aikštelės padengimas geresnis. Kaip matoma didžioji dalis išsilydžiusios pastos yra tolygi ir blizgi, šone esantis tipinis matinis paviršius atsiranda pastai vėstant.



**1 pav.** Pirmos (kairėje) ir septintos (dešinėje) dienos pastų nuotraukos  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Pagal IPC-A-610 standartą nedideli lydmetaliu netolygumai nėra laikomi defektais. Kadangi naudojama pasta yra be švino smulkūs netolygumai yra priimtas reiškinys. Tačiau nepilnas aikštelės padengimas yra laikomas defektu.

Lydvietėje, kurios pasta užtepta antrąją dieną, matoma susidariusi kiaurymė (2 paveikslas). Pagal IPC-A-610 standartą - tai proceso indikatorius, reikšiantis priimtina būseną, tačiau gamybos proceso neatitikimą normoms. Kiaurymių lydvietėje atsiradimą gali lemti pasenusi litavimo pasta.



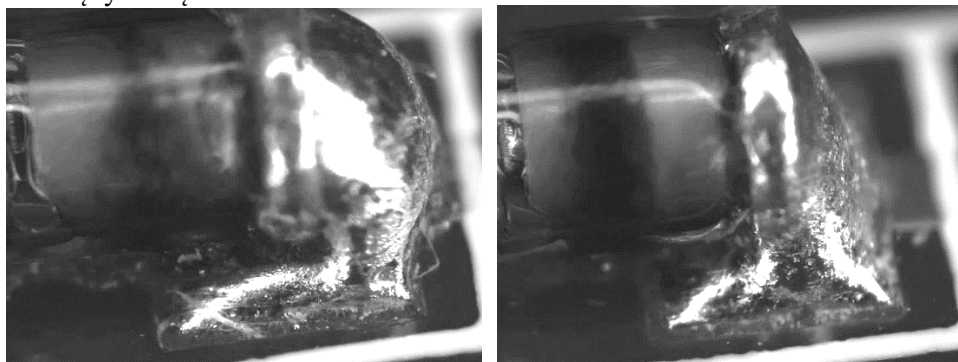
**2 pav.** Lydmetalio su kiauryme  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Ši kiaurymė galimai susidarė dėl medžiagų, kurios kaitinimo metu išsiskyrė iš fluso. Kaitinant medžiagos garuoja, viduje sudarydamos burbulą, kuriam sproguos atsiranda kiaurymė. Taip pat galima teigti, jog lydmetalio yra per mažai takus ir net lydymosi būsenoje jis nesugeba vientisai išsilydyti. Didesnių kiaurymių atsiradimas yra laikomas defektu. Kadangi lydmetalio yra praradęs vientisumą dėl atsiradusių termo-mechaninių ar mechaninių veiksnių, gali atsirasti įtrūkimai, ko pasakoje atsiranda įvairūs gedimai.

### **Komponentų litavimas**

Komponentų litavimui panaudota pirmos ir septintos dienos pasta. Komponentų lydvietės pavaizduotos 3 paveikslėlyje.

Vienos paros senumo pastos lydvietė parodė priimtina rezultatą. Matoma pilnai dengta aikštelė, tinkamai suformuotą lydvietę.



**3 pav.** Pirmos (kairėje) ir septintos (dešinėje) dienos lydvietės su komponentu  
*Šaltinis: sudaryta autorių*

Pirmoje nuotraukoje pagal IPC-A-610 standartą matomi du defektai, pirmasis – nedrėkinimas komponento atvado šone, kuris nulėmė antrąjį defektą – lydmetalio perteklių ir išėjimą už aikštelės ribų. Pasenęs flusas praranda savo savybę šalinti oksido sluoksnį nuo paviršių, dėl ko matomas pirmasis defektas.

### **Išvados**

1. Pasenusios lydmetalio pastos naudojimas turi neigiamos įtakos lydviečių formavimui. Atsiradusios kiaurymės mažina lydvietės mechaninį patikimumą ir gali nulemti gedimą gaminio eksploatavimo metu.

2. Prastas drėkinimas iškart nulemia defektus, kuriuos reikia šalinti gamybos metu. Dėl šių priežasčių pasenusios lydmetalio pastos naudojimas nerekomenduojamas.

### **Summary**

The electronics manufacturing industry is increasingly using surface mounting technology, which uses solder paste to solder components. Solder paste - it's round solder particles, from 2µm to 150µm in diameter mixed in a thick flux. The quality of the paste, the soldering temperature profile and the properties of the paste are important for the quality of the product. One of the main problems with the use of paste is its aging. The paper presents the results of the study, which aims to determine the effect of paste aging on the quality of soldering.

**Key words:** Soldering paste, paste aging, quality of soldering.

### **Literatūra**

1. Association Connecting Electronics Industries. IPC-A-610-G, 2017
2. ALMIT SRC Solder Paste LFM-48W. Prieiga per internetą: <https://www.somersetsolders.com/files/pdf/pdf313.pdf>

### **AUTORIŲ LYDRAŠTIS**

**Autoriaus vardas, pavardė:** Edgaras Sarapinas.

**Mokslo laipsnis ir vardas:**

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Kauno technikos kolegijos, Elektronikos inžinerijos krypties Elektronikos inžinerijos studijų programos asistentas

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** elektronikos technologijos.

**Telefonas ir el. pašto adresas:** [edgras.sarapinas@edu.ktk.lt](mailto:edgras.sarapinas@edu.ktk.lt)

**Autoriaus vardas, pavardė:** Julius Šaltanis.

**Mokslo laipsnis ir vardas:** -

**Darbo vieta ir pozicija:** VšĮ Kauno technikos kolegijos, Elektronikos inžinerijos krypties Elektronikos inžinerijos studijų programos lektorius

**Autoriaus mokslinių interesų sritys:** -

**Telefonas ir el. pašto adresas:** +370 677 53822, [julius.saltanis@gmail.com](mailto:julius.saltanis@gmail.com)

### **A COVER LETTER OF AUTHORS**

**Author name, surname:** Edgaras Sarapinas.

**Science degree and name:**

**Workplace and position:** Kaunas Technical College, Electronics Engineering Field, Electronic engineering study programme, Asistent

**Author's research interests:** electronics technologies.

**Telephone and e-mail address:** [edgras.sarapinas@edu.ktk.lt](mailto:edgras.sarapinas@edu.ktk.lt)

**Author name, surname:** Julius Šaltanis.

**Science degree and name:** -

**Workplace and position:** Kaunas Technical College, Electronics Engineering Field, Electronic engineering study programme, Lecturer

**Author's research interests:** -

**Telephone and e-mail address:** +370 677 53822, [julius.saltanis@gmail.com](mailto:julius.saltanis@gmail.com)

**ISSN 2029-9303**

**INŽINERINĖS IR EDUKACINĖS TECHNOLOGIJOS**  
**2019 Nr. 1**

Lietuvių kalbos redaktorė **Sonata Paulauskienė**  
Užsienio kalbos redaktorė **Judita Štreimikienė**

Tiražas 70 egz. 150 psl. Parengimo spaudai data 2019 – 05 - 21  
Išleido Kauno technikos kolegija, Tvirtovės al. 35, LT-50155 Kaunas

[www.ktk.lt](http://www.ktk.lt)

El.p. [ktk@ktk.lt](mailto:ktk@ktk.lt)

Spausdino KTU spaustuvė/leidykla „Technologija“, Studentų g. 54, LT-51424 Kaunas

<http://ktu.edu/lt/leidykla>

El.p. [leidykla@ktu.lt](mailto:leidykla@ktu.lt)