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, 2016

Vyriausioji redaktorė
Doc. Dr. Marija Jotautienė — Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)

Vykdančioji redaktorė
Doc. Dr. Giedrė Adomavičienė — Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)

Mokslinė sekretorė
Doc. Dr. Esmeralda Štyps — Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)

Redaktorių kolegija/Editorial Board:

Prof. Habil. Dr. Algirdas Vaclovas Valiulis — Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Vilniaus Gedimino technikos universitetas/Vilnius Gediminas Technical University (LT)

Prof. Dr. Elmar Heinemann — Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Šmalkaldeno taikomųjų mokslų universitetas/University Of Applied Sciences Schmalkalden (DE)

Prof. Habil. Dr. Gál József — Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Šegedo universitetas/ University of Szeged, Hungary (HUN)

Mgr. Dominika Trębacz — Technologijos mokslai/ Technological Sciences
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)

Doc. Dr. Ernestas Ivanauskas — Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University Of Technology (LT)

Doc. Dr. Gediminas Pupinis — Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Aleksandro Stulginskio universitetas/ Aleksandras Stulginskis University (LT)

Doc. Dr. Marius Saunoris — Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University Of Technology (LT)

Doc. Dr. Šarūnas Kilius — Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)

Doc. Dr. Vytenis Naginevičius — Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)

Dr. Kąstytis Laurinaitis — Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Stulginskio universitetas/ Aleksandras Stulginskis University (LT)

Dr. Rolandas Samajauskas — Technologijos mokslai/ Technological Sciences
IĮ „Pastatų sertifikavimo biuras“/ IE „Building Sertification Office" (LT)

Dr. Rosita Norvaišienė — Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)

Doc. Dr. Aldona Gaižauskienė — biomedicinos mokslai
Vilniaus kolegija/Vilnius University Of Applied Sciences (LT)

Prof. Dr. Genutė Gedvilienė — Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Vytauto Didžiojo universitetas/ Vytautas Magnus University (LT)

Prof. Habil. Dr. Vilija Targamadzė — Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Vilniaus universitetas/Vilnius University (LT)

Doc. Dr. Vita Krivickienė — Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Kauno technikos kolegija/ Kaunas University Of Applied Engineering Sciences (LT)

Doc. Dr. Daiva Lepaitė — Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Vilniaus universitetas/Vilnius University (LT)

Dr. Lina Girdauskienė — Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Kauno technologijos universitetas/Kaunas University Of Technology (LT)

Leidinys 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+edukacinos+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, 2016
ISSN 2029-9303

REDAKTORIAUS ŽODIS

Gerbiamiems skaitytojams pristatome mokslinio žurnalo „Inžinerinės ir edukacinės technologijos“ aštuntąjį numerį. Tai antrasis 2016 metų numeris.

Šį kartą publikuojame trisdešimt du straipsnius, kuriuos parengė įvairų Lietuvos kolegijų bei universitetų mokslininkai, tyrėjai ar jų grupės. Džiugu, kad tyrėjų grupėse dalyvauja ir socialiniai partneriai, nes tik kuriant bendradarbiavimo tinklus galima kur kas efektyviau spręsti technologines, inžinerines problemas, atskleisti specialistų rengimo aktualijas.

Straipsnių autoriai pristato kelių bei statybos sektorių mokslinių taikomųjų tyrimų rezultatus, transporto ir mechanikos krypčių aktualijas, elektros ir elektronikos srityje atliktų mokslinių taikomųjų tyrimų rezultatus bei atliktų tyrimų pagrindu pateikia edukacines įžvalgas.

Taigi šis mokslinis žurnalas – tai puiki galimybė dėstytojams, studentams, tyrėjams viešinti savo atliktų mokslinių taikomųjų tyrimų rezultatus, inicijuoti ir plėtoti bendradarbiavimo idėjas su kitomis tyrėjų grupėmis.

Visais skaitytojams ir būsimiems autoriams rūpimais klausimais siūlome kreiptis į redkolegiją.

Su pagarba,

Vyriausioji redaktorė socialinių mokslų dr. Marija Jotautienė

TURINYS

PARENGTŲ KELIŲ TECHNINIŲ PROJEKTŲ KOKYBĖS VERTINIMAS 9
Benas Berkmonas
Kauno technikos kolegija, UAB „Kelprojektas“

PAGAL 1945 – 1948 M. PROJEKTAVIMO NORMAS SUPROJEKTUOTO GELŽBETONINIO TILTO BŪKLĖS TYRIMAS 16
Daumantas Židanavičius
Kauno technikos kolegija

ŽEMĖS SKLYPŲ KADASTRO DUOMENŲ PARENGIMO TELŠIŲ RAJONE KOKYBĖS TYRIMAI 22
Gintarė Bunevičienė
Kauno kolegija

UNIKALAUS GAMTINIO REZERVATO REKREACINĖS DIGRESIJOS TYRIMAS IR VERTINIMAS 29
[1]Lina Kuklienė, [1]Birutė Ruzgienė, [1,2]Dainora Jankauskienė, [1]Indrius Kuklys
[1]Klaipėdos valstybinė kolegija, [2]Kauno technologijos universitetas

GEOSINTETINIŲ BETONO KLOJINIŲ PANAUDOJIMAS HIDROTECHNIKOS STATINIŲ ŠLAITŲ IR POVANDENINĖS DALIES TVIRTINIMUI 37
Raimondas Šadzevičius, Regina Motienė, Ona Blankienė
Kauno technikos kolegija

„MARIJOS IR JURGIO ŠLAPELIŲ NAMO-MUZIEJAUS“ GALERIJOJE ESANČIŲ MEDINIŲ LAIKANČIŲ Sijų STIPRINIMO Būdų parinkimas 47
Nerijus Račkaitis, Anna Glinskienė
Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

TERMOVIZORIUS – MAŽAENERGIŲ PASTATŲ STATYBOS IR KOMPLEKSINĖS RENOVACIJOS PAGALBININKAS 55
Anna Glinskienė, Justinas Glinskis
Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija; UAB "Vilrida"

VILNIAUS MIESTO APLINKOS ORO TARŠOS TYRIMAS ATSIŽVELGIANT Į KELIŲ TRANSPORTO PRIEMONIŲ SRAUTO SUDĖTĮ 61
Martynas Kažukauskas, Modesta Gusarovienė, Jurijus Zaranka, Jonas Matijošius
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

PAVOJINGŲJŲ KROVINIŲ VEŽIMO RIZIKOS MAŽINIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS 69
Nijolė Batarlienė, Kristina Čižiūnienė
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

PROCESINIO POŽIŪRIO TAIKYMAS VEIKLOS GERINIMUI: EKSPEDIJAVIMO JŪRŲ TRANSPORTU ATVEJIS 75
Neringa Radzevičiūtė, Aidas Vasilis Vasiliauskas, Virgilija Vasilienė-Vasiliauskienė, Jonas Matijošius
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

SUSKYSTINTŲ NAFTOS DUJŲ ĮTAKA SLĖGINIO UŽDEGIMO VARIKLIO RODIKLIAMS 84
Alfredas Rimkus[1,2], Mindaugas Melaika[1,2]
[1] Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, [2] Vilniaus Gedimino technikos universitetas

ŽEMĖS ŪKIO MAŠINOSE NAUDOJAMŲ ALYVŲ BŪVIO CIKLO VERTINIMAS 90
Gintaras Valeika[1], Jonas Matijošius[2]
[1]Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, [2] Vilniaus Gdimino technikos universitetas

VIDAUS DEGIMO VARIKLIŲ ALYVŲ PREDO „TUFOIL“ ĮTAKOS DEGALŲ SĄNAUDOMS TYRIMAS 96
Alfredas Rimkus[1,2], Saulius Stravinskas[1], Donatas Kriaučiūnas[1], Tadas Vipartas[1], Petras Kaikaris[1], Jonas Matijošius[1,2]
[1] Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, [2] Vilniaus Gedimino technikos universitetas

KIBIRKŠTINIO UŽDEGIMO VARIKLIO VEIKIMO RODIKLIŲ GERINIMAS NAUDOJANT BIODEGALUS IR VANDENILĮ 102
Alfredas Rimkus[1,2], Saugirdas Pukalskas[1]
[1] Vilniaus Gedimino technikos universitetas, [2]Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

BIOMETANO IR VANDENILIO MIŠINIŲ PANAUDOJIMO KIBIRKŠTINIO UŽDEGIMO VARIKLYJE MODELIAVIMAS 108
Mindaugas Ročys, Mindaugas Melaika, Alfredas Rimkus, Saugirdas Pukalskas
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

ROTORINIŲ MAZGŲ SU SKIRTINGŲ KONSTRUKCIJŲ GUOLIAIS VIBRODIAGNOSTINIAI TYRIMAI 114
Audrius Čereška[1,2], Gražina Strazdienė[2]
[1]Vilniaus Gedimino technikos universitetas, [2]Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

M1 KLASĖS AUTOMOBILIŲ STABDYMO PARAMETRŲ TYRIMAS 120
Saulius Nazarovas, Saulius Nagurnas, Vidas Žuraulis, Paulius Skačkauskas
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

VIBRACIJŲ METODO TAIKYMAS AUTOMOBILIO RATO GUOLIO DIAGNOSTIKAI JAM DIRBANT SKIRTINGAIS REŽIMAIS 126
Vidas Žuraulis, Paulius Skačkauskas, Vaidas Vadluga
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

APDIRBIMO CENTRO „HAAS MINIMILL“ DINAMIKOS TYRIMAI 132
Darius Vainorius, Artūras Kilikevičius, Jonas Matijošius, Jurijus Tretjakovas
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

TIESIAEIGĖS POZICIONAVIMO SISTEMOS VALDYMO METODŲ TYRIMAS 138
Artur Piščalov, Artūras Kilikevičius, Jonas Matijošius, Jurijus Zaranka
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

TIESIAEIGĖS POZICIONAVIMO SISTEMOS IDENTIFIKAVIMO TYRIMAS 147
Artur Piščalov, Artūras Kilikevičius, Jonas Matijošius, Kristina Čižiūnienė
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

GIROELEKTRINIŲ BANGOLAIDŽIŲ MODELIŲ ELEKTRODINAMINIŲ PARAMETRŲ PROGNOZAVIMAS TAIKANT DIRBTINIŲ NEURONŲ TINKLUS 154
Darius Plonis, Audrius Krukonis, Andrius Katkevičius, Dalius Matuzevičius
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

MAGNETOREOLOGINIŲ SKYSČIŲ DARBO REŽIMAI BEI JŲ DIEGIMAS ĮRENGINIUOSE 161
Viktorija Mačiukienė, Rasa Muleravičienė
Kauno technikos kolegija

SEGMENTINIO SKYSTŲJŲ KRISTALŲ INDIKATORIAUS RODMENŲ AUTOMATINĖ PATIKRA 167
Dalius Matuzevičius, Darius Plonis, Andrius Katkevičius
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

TRIUKŠMO SUKELIAMO NEIGIAMO POVEIKIO MAŽINIMO PRIEMONIŲ EKSPERTINIS VERTINIMAS 173
Jūratė Romeikienė[1], Kristina Čižiūnienė[2]
[1]Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, [2]Vilniaus Gedimino technikos universitetas

SKIRTINGOMIS SĄLYGOMIS EKSPLOATUOJAMŲ SAULĖS ELEMENTŲ EFEKTYVUMO TYRIMAI 179
Audrius Čereška
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

BINOKULINĖS REGOS SKAITINIS MODELIS HORIZONTALIŲ ERDVĖS KOORDINAČIŲ KODAVIMUI 184
Eldar Šabanovič[1], Dalius Matuzevičius[1], Henrikas Vaitkevičius[2]
[1]Vilniaus Gedimino technikos universitetas, [2]Vilniaus universitetas

DALINIŲ IŠLYDŽIŲ SUSIDARYMO MODELIAVIMAS ELEKTROS MAŠINŲ IZOLIACIJOJE 190
Gediminas Daukšys, Justinas Kerševičius
Kauno technikos kolegija

EUREKA IR EUROSTARS PROGRAMŲ POVEIKIO LIETUVOS INOVACIJŲ EKOSISTEMAI VERTINIMAS 197
Birutė Bukauskaitė, Edita Bagdonaitė
Mokslo, inovacijų ir technologijų agentūra

INTERAKTYVUS SĖKMINGOS KOMANDOS FORMAVIMO METODAS, VYKDANT ELEKTRONIKOS INŽINERIJOS KURSINIUS PROJEKTUS 205
Vaidotas Barzdėnas, Gediminas Gražulevičius
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

IMPROVING MICRO- AND NANO-ELECTRONICS EDUCATION USING INTERACTIVE TEACHING METHODOLOGY AND TCAD TOOLS 211
Vaidotas Barzdėnas
Vilnius Gediminas Technical University

KOMPIUTERINĖS BRAIŽYBOS KAUNO TECHNIKOS KOLEGIJOJE MOKYMO ASPEKTAI 220
Jūratė Jasukaitienė[1], Algimantas Vasylius[2]
[1]Kauno technikos kolegija, [2]Kauno technologijos universitetas

PARENGTŲ KELIŲ TECHNINIŲ PROJEKTŲ KOKYBĖS VERTINIMAS

Benas Berkmonas
Kauno technikos kolegija, UAB „Kelprojektas“

Anotacija
Straipsnyje analizuojamas parengtų automobilių kelių techninių projektų bendrosios ekspertizės ir jose, ekspertų pateikti norminių dokumentų neatitikimai. Taip pat nagrinėjama parengtų projektų kokybė ir jų įtaka pačiam keliui, kaip statiniui. Išskiriamos klaidų rūšys, vertinamas jų sudėtingumas ir atsiradimo priežastys. Apžvelgiama teisinė dokumentacija, reglamentuojanti projektavimą ir projektų ekspertizės atlikimo tvarką. Pateikiami siūlymai kelių techninių projektų rengimo kokybei pagerinti.
Reikšminiai žodžiai: kelio projektavimas, bendroji projekto ekspertizė, kokybė, klaidos.

Įvadas

Šiandien, šiuolaikinėje žinių ir informacijos visuomenėje, kai sparčiai vystosi technologijos, keičiasi socialinė kultūra ir partnerystės pozicijos, auga rinkų globalumas – organizacijoms tampa vis sunkiau konkuruoti tarpusavyje. Tokiomis globalizacijos sąlygomis, kai kaina nebėra lemiamas veiksnys, o suinteresuotųjų šalių reikalavimai vis labiau griežtėja – vienas iš svarbiausių veiksnių, padedančių organizacijoms išlikti bei didinti prekių ir paslaugų konkurencingumą, yra kokybė ir jos stabilumas.

Kokybė gali būti apibrėžiama įvairiai:

- ✓ kaip turimų charakteristikų visumos atitikties reikalavimams laipsnis (ISO 9000, 2000);
- ✓ kaip tikslų ar naudojimo tinkamumas (Juran. J.M.,1995:27);
- ✓ kaip vartotojo poreikių ir lūkesčių patenkinimas(ISO 9000, 2000).

Būtina pabrėžti, jog kokybė yra dinamiška sąvoka, pereinanti nuo produktų prie organizacijų, todėl pastarosios turi suprasti, jog norint sėkmingai konkuruoti ateityje būtina ne tik užtikrinti prekių ar paslaugų kokybinius parametrus, bet ir keisti savo vadybinę filosofiją, pereinant nuo produktų ar paslaugų kokybės prie Visuotinės kokybės vadybos. Šio darbo tikslas – išanalizuoti Lietuvos automobilių kelių techninių projektų projektavimo, projektų bendrųjų ekspertizių atlikimo metodiką, projektuotojų daromas klaidas projektuose, teisinius jų reglamentavimus bei pateikti pasiūlymus projektų kokybei gerinti. Šiam tikslui pasiekti, buvo iškelti šie uždaviniai:

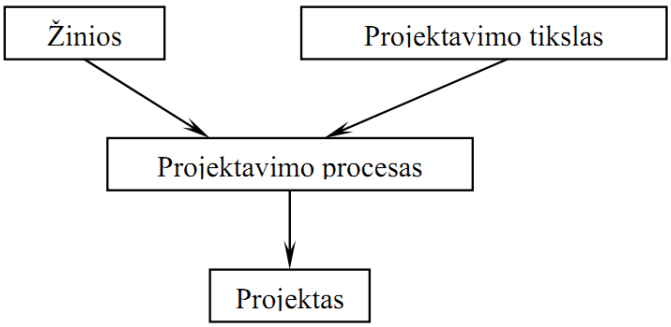
- ✓ techninių projektų kokybės įtaka bendrai kelių kokybei;
- ✓ išanalizuoti Lietuvos automobilių kelių projektavimo ir bendrosios ekspertizės atlikimo tvarką;
- ✓ įvertinti, kaip projektuose įgyvendinti statybos įstatymo esminiai statinio reikalavimai, taip pat kitų įstatymų ir teisės aktų, normatyvinių statybos techninių dokumentų bei privalomųjų statinio projekto rengimo dokumentų reikalavimai;
- ✓ atlikti Lietuvos Respublikoje parengtų techninių projektų bendrųjų ekspertizių analizę;
- ✓ pateikti išvadas ir rekomendacijas.

Tyrimo objektas – UAB „Kelprojektas“ 2012-2014 m parengtų automobilių kelių techniniai projektai. Naudojami metodai: parengtų projektų klaidų suskirstymas į stambesnes sritis, klaidų suskirstymas pagal „klaidos sudėtingumo koeficientus“, gautų rezultatų analizė.

1. Statinio projektavimas ir projekto ekspertizės darbų organizavimas.

Projekto, projektavimo sąvokas žino visi inžinieriai. Jos paprastai asocijuojasi su žmonių, dirbančių su brėžiniais ir programų grupėmis, darbu. Pagal projektuotojų nubraižytus brėžinius vėliau tiesiami keliai, statomi pastatai, tiltai ir t.t. Atliekant projektus, reikia patiems atlikti tam tikrus skaičiavimus, braižyti brėžinius. Tokiu atveju akivaizdu, kad reikia specialių žinių tų apskaičiavimų esmei suvokti ir jiems teisingai atlikti. Visi projektuotojai siekia bendrų tikslų – projektuojamo objekto patikimumo, patvarumo, pigumo ir kt., o kartais ir gražios išvaizdos. Tarp skirtingų projektavimo metodų ir metodikų rastume daug bendro, jei į jų sudedamąsias dalis žiūrėtume kaip į informacijos apdorojimo operacijas. Šiuolaikiniai projektavimo objektai labai sudėtingi. Juos projektuoja iš kelių skirtingų technikos šakų specialistų sudaryti kolektyvai. Tenka derinti įvairių projektuotojų kolektyvo padalinių siūlomus projektuojamo objekto dalių variantus. Čia kyla gana sudėtingos problemos, nes sujungus (nors tam tikra prasme ir optimalias) dalis galima gauti netinkamą rezultatą. Žymiai sugriežtėjo reikalavimai projektavimo terminams ir kokybei. Tai ypač susiję su konkurencija pasaulinėje rinkoje (VGTU, 2010; Juran J., 1995:135).

Projektavimo proceso struktūra. Sprendžiant šiuolaikinius uždavinius reikia apdoroti labai daug informacijos, o tam reikalingas kolektyvinis intelektas. Kad būtų galima išanalizuoti projektinius variantus, informaciją reikia pateikti koncentruota, vaizdžia forma. Tam naudojamos kompiuterizuotos sistemos. Bendriausias projektavimo modelis pateiktas 1 paveiksle.



1 pav. Bendriausias projektavimo proceso modelis
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Projektavimo procesą galima suskirstyti į dvi lygias dalis: tikslo suvokimą ir projekto varianto išrinkimą. Suvokimo rezultatas – tai modelis, kuriuo susiejamos dabartinės priemonės su projektavimo tikslu – ateities dirbtinės aplinkos savybėmis. Paprastai projektavimo tikslas gali būti pasiektas įvairias būdais, todėl reikia pasirinkti racionaliausią, įvertinant socialinius, politinius, ekonominius, techninius veiksnius (VGTU:2010).

Statinio projekto ekspertizė. Statinio projekto ir statinio ekspertizė atliekama pagal sudarytą rangos sutartį su užsakovu (statytoju). Ji gali būti sudaryta: tiesioginiu tarpusavio susitarimu arba laimėjus konkursą ekspertizės atlikimui, Viešųjų pirkimų įstatymo nustatyta tvarka. Ekspertizės rangos sutartyje turi būti nurodyta:

- ✓ statinio projekto ar statinio pavadinimas;
- ✓ statinio projekto ar statinio ekspertizės rūšis;
- ✓ nuoroda, ar statinys priklauso ypatingų statinių kategorijai, ar įrašytas į Valstybės investicijų programą (tik projekto ekspertizei);
- ✓ užsakovo ir viešojo administravimo subjekto, inicijavusio statinio ekspertizę, paskirti asmenys, atsakingi už klausimų sprendimą ekspertizės metu;
- ✓ ekspertizes atlikimo etapų terminai arba trukmė:
- ✓ apmokėjimo už ekspertizės atlikimą tvarka;
- ✓ pretenzijų, nesutarimų ir prieštaravimų nagrinėjimo ir sprendimo, žalos dėl sutartinių įsipareigojimų nevykdymo atlyginimo tvarka.

Sudarius ekspertizės rangos sutartį, įmonės vadovas įsakymu ar kitu tvarkomuoju dokumentu skiria ekspertizės vadovu savo darbuotoją, arba samdo, pagal darbo sutartį ne savo darbuotoją, konkurso ar kita tvarka. Šis fizinis asmuo turi turėti kvalifikacijos atestatą, atitinkantį ekspertizės rūšį statinių grupę ir darbo sritį. Bendrosios ekspertizės vadovas nustato, kokias dalines ekspertizes reikia atlikti. Jis kartu su įmonės vadovu sprendžia, kurias ekspertizes atliks pati įmonė ir kurias subrangos pagrindais atliks kitos įmonės. Ekspertizės rangovas gali sudaryti subrangos sutartį tik su tokiu subrangovu, kuris turi kvalifikacijos atestatą tokios statinių grupės ir darbo srities dalinių ekspertizių atlikimui. Bendrosios projekto ekspertizės vadovas iš užsakovo priima, registruoja ir patikrina, ar pateiktas ekspertuoti projektas yra nustatytos sudėties, ar prie jo pridėti kiti privalomieji dokumentai. Dalinių projekto ekspertizių vadovai patikrina projekto dalių komplektiškumą. Projektas nepriimamas ekspertuoti, jeigu jis nesukomplektuotas (UAB :Kelprojektas“, 2011).

Statinio projekto ekspertizės atlikimas. Atliekant bendrąją projekto ekspertizę, tikrinama, ar projekto (projekto dalies) sprendiniai atitinka: privalomųjų statinio projekto rengimo dokumentų reikalavimus; esminius statinio reikalavimus; statinio pritaikymo specifiniams invalidų poreikiams reikalavimus; Statybos įstatymo nustatytus trečiųjų asmenų interesų apsaugos reikalavimus; statinio statybos pagrindimą; statybos teisės aktų, statybos techninių reglamentų, privalomų standartų (LST), statybos taisyklių reikalavimus; projekto dalių sprendinių tarpusavio suderinamumo reikalavimus; ar statinio pagrindiniai techniniai rodikliai bei techninėse specifikacijose nustatyti reikalavimai nėra didesni, palyginus su to statinio paskirties reikmėmis; sąmatinius statybos kainos skaičiavimus. Bendrosios projekto ekspertizės vadovas privalo išnagrinėti parengtų dalinių projekto ekspertizių sudėtį, privalomas pastabas, projekto dalių įvertinimus, jiems pritarti arba užginčyti, jei nepagrįsta statybos teisės aktais. Taip pat išnagrinėti specialiosios projekto ekspertizės privalomas pastabas, projekto įvertinimą ir įrašyti į bendrosios projekto ekspertizės aktą nuorodą, kad privaloma vadovautis specialiosios ekspertizės aktais, bei privalomas pastabas dėl reikalingų projekto sprendinių specialiųjų ekspertizių privalomoms pastaboms įvykdyti. Po to organizuojamas pasitarimas, kurio tikslas — supažindinti statytoją (užsakovą), projekto vadovą, taip pat

projekto dalių vadovus su ekspertizės privalomomis pastabomis, jas aptarti iki pasirašant ekspertizės aktą, pakviečiant dalyvauti aptarime dalinių projekto ekspertizių vadovus ir specialiųjų ekspertizių vadovus (aptarimo eiga ir rezultatai protokoluojami). Statinio projekto ekspertizė įforminama ekspertizės aktu, kuris galioja per visą statybos laiką. Jei statybos leidimas per 3 metus po ekspertizės akto perdavimo užsakovui negautas, ekspertizės išvados turi būti peržiūrėtos arba atliekama nauja ekspertizė. Bendrosios projekto ekspertizės aktą pasirašo bendrosios projekto ekspertizės vadovas, nurodydamas kvalifikacijos atestato numerį. Dalinės projekto ekspertizės aktą pasirašo dalinės projekto ekspertizės vadovas, nurodydamas kvalifikacijos atestato numerį (UAB :Kelprojektas“, 2011).

Projekto ekspertizės akto sudėtis. Trumpa projekto (dalinės ekspertizės akte – projekto dalies) apžvalga ir jo pagrindiniai techniniai bei ekonominiai rodikliai; privalomos pastabos, nurodančios, kokius projekte nustatytus statybos teisės aktų pažeidimus reikia pašalinti. Bendrosios projekto ekspertizės atveju pastabos pateikiamos pagal atskiras projekto dalis, vadovaujantis dalinių projekto ekspertizių aktuose pateiktomis privalomomis pastabomis, kurios į bendrosios projekto ekspertizės aktą įrašomos tiesiogiai arba nuorodomis į dalinės projekto ekspertizės akto punktus; specialiųjų projekto ekspertizių privalomos pastabos; projekto įvertinimas; priedai.

Bendrosios ir dalinių projekto ekspertizių aktuose pateiktos privalomos pastabos turi būti motyvuotos su nuorodomis į konkrečius statybos teisės aktus. Projektas įvertinamas priklausomai nuo ekspertizės rezultatų taip:

- ✓ projektą rekomenduojama tvirtinti, nurodant statinio techninius ir ekonominius rodiklius, pagrindinius aplinkos ir kraštovaizdžio apsaugos reikalavimus;
- ✓ projektą bus galima tvirtinti jį pataisius pagal bendrosios projekto ekspertizės akto privalomas pastabas ir po pataisymo gavus iš ekspertizės rangovo projekto įvertinimą; šis įvertinimas galimas tik tuo atveju, kai pagal privalomas pastabas pataisytame projekte iš esmės nekeičiami esminiai statinio projekto sprendiniai (nereikia keisti privalomųjų statinio projekto rengimo dokumentų);
- ✓ projekto nerekomenduojama tvirtinti, kai projekto sprendiniai iš esmės pažeidžia statybos teisės aktų ir privalomųjų statinio projekto rengimo dokumentą, reikalavimus ir jiems pašalinti reikia projektą taisyti iš esmės, rengti naują arba keisti privalomuosius projekto rengimo dokumentus dėl to, kad jie neatitinka statybos teisės aktų reikalavimų.

Bendrosios projekto ekspertizės akte pateiktos privalomos pastabos ir projekto įvertinimas yra privalomi statytojui (užsakovui) ir projektuotojui. Projektuotojas turi teisę atsisakyti vadovautis projekto ekspertizės akte pateiktomis privalomomis pastabomis, informuodamas apie tai raštu statytoją (užsakovą) bei ekspertizės vadovą, jei šios pastabos nepagrįstos statybos teisės aktais, privalomaisiais statinio projekto rengimo dokumentais ir reikalauti iš statytojo (užsakovo), atlikti pakartotinę ekspertizę. Bendrosios projekto ekspertizės vadovas privalo išnagrinėti statytojo (užsakovo) projekto vadovo, projekto dalių vadovų prieštaravimus, užginčijančius bendrosios projekto ekspertizės ir dalinių projekto ekspertizių privalomas pastabas ir projekto (projekto dalių) įvertinimus, gautus iš minėtų asmenų po ekspertizės akto pateikimo jiems ir atsakyti raštu. Bendrosios projekto ekspertizės aktas ar dalinės projekto ekspertizės aktas yra vienas iš dokumentų, pateikiamų statybos leidimui gauti šį, leidimą išduodančiam viešojo administravimo subjektui (UAB :Kelprojektas“, 2011).

Priemonės projektavimo kokybei gerinti. Projektavimo metodų trūkumai vertė ieškoti naujų metodų. Taikant naujuosius projektavimo metodus, siekiama suintensyvinti kūrybinį procesą ir automatizuoti rutininius darbus, organizuoti kolektyvinę kūrybą. Projektavimo uždaviniai dažniausiai susiję su lokaliniu dirbtinės aplinkos pakeitimu, kurį gali aprėpti vienas žmogus arba tam tikros specialybės žmonių kolektyvas. Naujieji uždaviniai susiję su žymiai stambesniais pakitimais, kurių vienos specialybės atstovas, kad ir koks jis talentingas būtų, aprėpti negali. Tokius uždavinius spręsti gali tik bendradarbiaujantys įvairių sričių specialistai. Ypač svarbu, kad įvairių specialybių atstovai pradėtų bendradarbiauti jau pirmojoje projektavimo stadijoje, kol dar nėra vyraujančių koncepcijų ir stereotipų. Tik tokiu atveju galima tikėtis išvengti klaidų. Viena iš pagrindinių problemų, su kuria susiduriame projektuojant, yra tai, kad neįmanoma aprėpti visos galimų variantų aibės. Taigi analizuojama tik nedidelė jos dalis, todėl galimą pražiopsoti tinkamiausią variantą ir jo net neįtraukti į potencialiai analizuojamų variantų poaibį. Visai išvengti šio pavojaus neįmanoma, bet jei problema sprendžiama remiantis daugelio žmonių intelektu ir patirtimi, o visame kolektyve vyrauja kūrybiška atmosfera, tai tikimybė, kad bus padaryta tokia klaida, yra maža. Kad ir kokia bebūtų kūrybiška atmosfera kolektyve, dažnai reikia specialistų ekspertizės. Svarbiausiu veiksniu, lemiančiu efektyvų ekspertų grupės darbą, be abejo, yra jų kvalifikacija. Didelės įtakos turi ir tai, kaip organizuojamas darbas. Taigi šiuolaikiniams sudėtingiems uždaviniams spręsti reikalingas kolektyvinis intelektas, o pieštuką ir popieriaus lapą pakeičia kompiuterinės sistemos. Automatizuoto projektavimo sistema – tai organizacinė ir techninė sistema, susidedanti iš automatizuoto projektavimo priemonių, susietų

su projektavimo organizacijos padaliniais, skirta automatizuotam projektavimui vykdyti. Naudojant APS paspartinamas projektavimo procesas, pagerėja projektų kokybė, be to šios sistemos ekonomiškai atsiperka.

2. Techninių projektų vertinimo tyrimo metodai, rezultatai ir jų analizė.

Tyrimo metodika. Rengdami techninius projektus projektuotojai vadovaujasi standartais, įvairiais normatyviniais dokumentais, patirtimi ir nuojauta, kad suprojektuotų objektą esamomis aplinkybėmis, kurias dažniausia riboja projektinių sprendimų įgyvendinimo kaina bei žemių nusavinimo galimybės. Dėl šių priežasčių projektavimo metu priimti sprendimai, atlikus projektų bendrąsias ekspertizes, ne visada atitinka statybos techninius reglamentus. Atliekant projektų ekspertizių vertinimą dėl projektuotojų daromų klaidų projektuose, buvo suskirstytos klaidos pagal stambesnes sritis:

- ✓ bendroji dalis;
- ✓ sąmata;
- ✓ kelio konstrukcija;
- ✓ kelio planas;
- ✓ vandens nuvedimas;
- ✓ kelio išilginis profilis;
- ✓ žemės sankasa;
- ✓ kelio danga;
- ✓ kelio apstatymas;
- ✓ elektrotechnika.

Tyrimo objektu pasirinkta viena didžiausių kelių projektavimo įmonių Lietuvoje UAB „Kelprojektas“. Jos projektuotojų atlikti techniniai projektai. Šioje analizėje vertinami 2012, 2013, 2014 metų Lietuvos automobilių kelių direkcijos parengti automobilių kelių techniniai projektai. Kiekvienais metais pasirinkta po 11 projektų gautų ekspertizių. Viso išnagrinėtos 33 projektų ekspertizės. Pasirinkti projektai atsitiktine tvarka anuliuojant pėsčiųjų ir dviračių takus, sankryžas, gatves, kad gauti duomenys būtų kuo objektyvesni. Orientuotasi į valstybinės reikšmės kelius: magistralinius, krašto ir rajoninius kelius.

Pagrindinis šios analizės tikslas yra per 2012, 2013, 2014 m UAB „Kelprojektas“ gautų ekspertizių klaidų susisteminimas, jų reikšmingumo įvertinimas, klaidų įtakos pačio kelio kokybei bei pagrindinių klaidų sričių įvertinimas, siekiant parengti išvadas ir siekti kokybiškesnio projektų atlikimo.

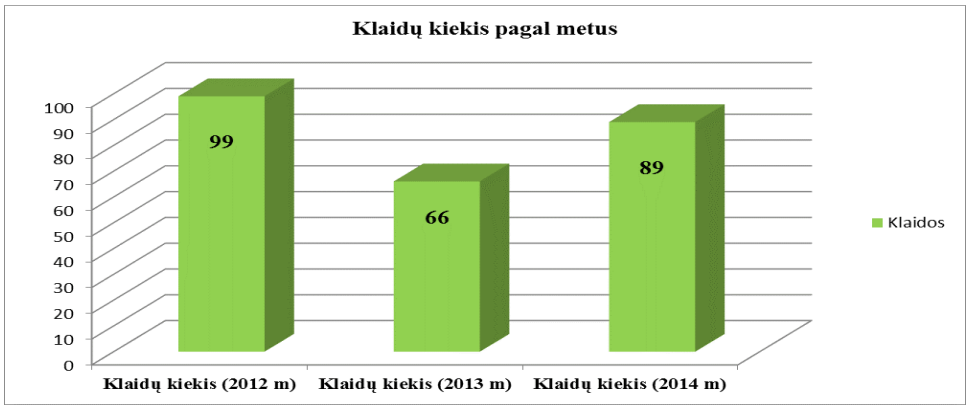
Ekspertizėse analizuojami Lietuvos automobilių kelių direkcijos, techninės tarybos metu priimti privalomi projektų nutarimai. Nagrinėjamos klaidos išskirstytos pagal projekto vadovus ir pagal tai, kokioje projekto dalyje jos buvo padarytos. Padarytas klaidas projektuose negalime suvienodinti, nes jos nėra lygios viena kitai, skiriasi jų sudėtingumas ir svarba projekte, taip pat jų koregavimas skiriasi laiko bei finansinių resursų atžvilgiu. Todėl įvedamas „klaidos sudėtingumo koeficientas“. Šis koeficientas apibūdina klaidos dydį bei svarbą projekte ir skirstomas į:

1,0 – nereikšminga klaida (nereikalaujanti daug išlaidų ir lengvai ištaisomas pakeitimas);

2,0 – vidutinio reikšmingumo klaida;

3,0 – reikšminga klaida (reikalaujanti svarbių pakeitimų, didesnių piniginių ir darbo laiko išlaidų).

Rezultatai ir jų analizė. Išnagrinėjus kiekvienų metų pasirinktas ekspertizes ir jų klaidų kiekį, matyti kad jų 2012 m buvo daugiausia, 2013 metais rezultatas pagerėjo ir liko tik 66, bet 2014 metais jų skaičius vėl padidėjo.



2 pav. Klaidų kiekio pasiskirstymas pagal metus

Šaltinis: sudaryta autoriaus

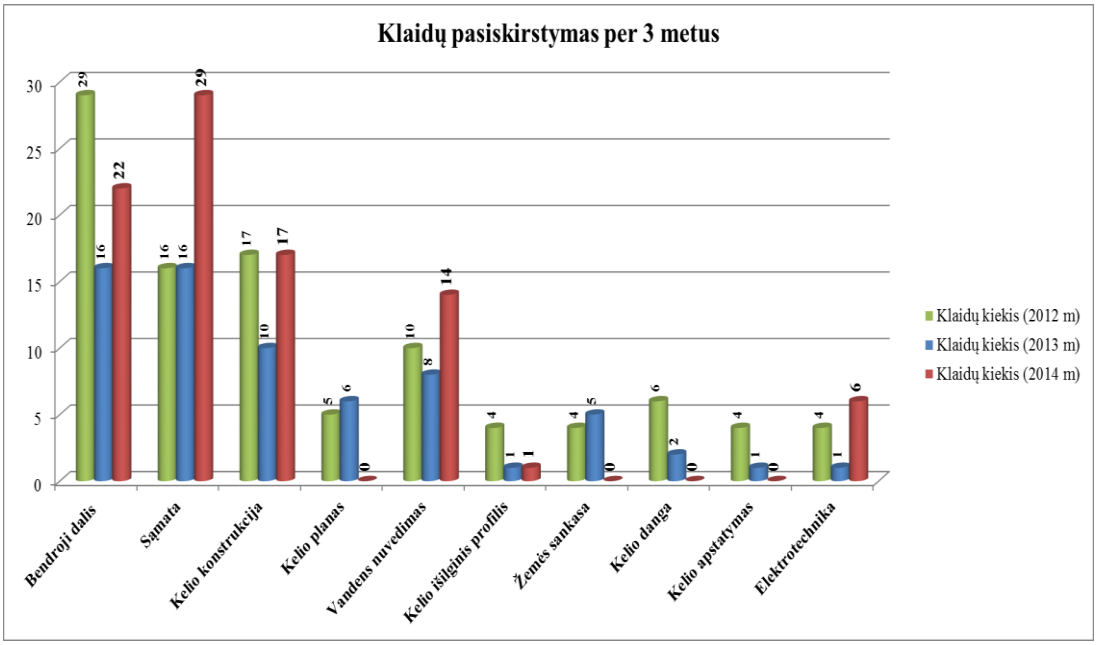
Dabar panagrinėsime šių klaidų kitimą per tris metus. Gauti duomenys pateikti 1 lentelėje ir 3 paveiksle.

1 lentelė

Klaidų pasiskirstymas pagal metus

Projekto dalis	Klaidų kiekis (2012 m)	Klaidų kiekis (2013 m)	Klaidų kiekis (2014 m)
Bendroji dalis	29	16	22
Sąmata	16	16	29
Kelio konstrukcija	17	10	17
Kelio planas	5	6	0
Vandens nuvedimas	10	8	14
Kelio išilginis profilis	4	1	1
Žemės sankasa	4	5	0
Kelio danga	6	2	0
Kelio apstatymas	4	1	0
Elektrotechnika	4	1	6

Šaltinis: sudaryta autoriaus



3 pav. Klaidų pasiskirstymas pagal metus
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Bendroji dalis – klaidų sumažėjimui įtakos turėjo kokybės vadybos sistemos įdiegimas įmonėje ir griežtesnė savikontrolė, antraisiais nagrinėjimo metais, savikontrolė sumažėjo, keitėsi keletas pagrindinių STR ir projektuotojų klaidų skaičius vėl pakilo.

Sąmata – klaidų skaičius pirmus du metus nepakito, tačiau smarkiai padidėjo 2014 metais. Tuomet, kada darbų apimtys padidėjo, o projektų atlikimo terminai sumažėjo. Pasitaikė daug atvejų, kai sąmatiniuose skaičiavimuose neatitiko kiekiai esantys žiniaraščiuose, sąmatos paskaičiuotos senomis kainomis.

Kelio konstrukcija – tai viena iš brangiausių darbų sričių. Konstrukcijos darbai bei naudojamos medžiagos sudaro didžiąją darbų sumą. Todėl klaidos šioje dalyje nepageidautinos. Pagal gautus duomenis, jos 2013 metais buvo sumažintos, bet 2014 sugrįžo į 2012 metų lygį, tik klaidų sudėtingumas rodo mažesnes reikšmes. Projektuotojai turėtų labiau atkreipti dėmesį į šią dalį ir labiau išstudijuoti susijusius norminius dokumentus.

Kelio planas – tiek pirmais, tiek antrais metais klaidų padaryta vienodai, bet 2014 metais jų nebeliko. Tai įtakojo sustiprėjęs kelių saugumo auditas. Jame tikrinama kelio plano geometrija, projektiniai sprendiniai, taip pat ir kelio apstatymas. Galima teigti, kad dėl šios priežasties kelio apstatymas srityje 2014 metais klaidų kiekis yra 0.

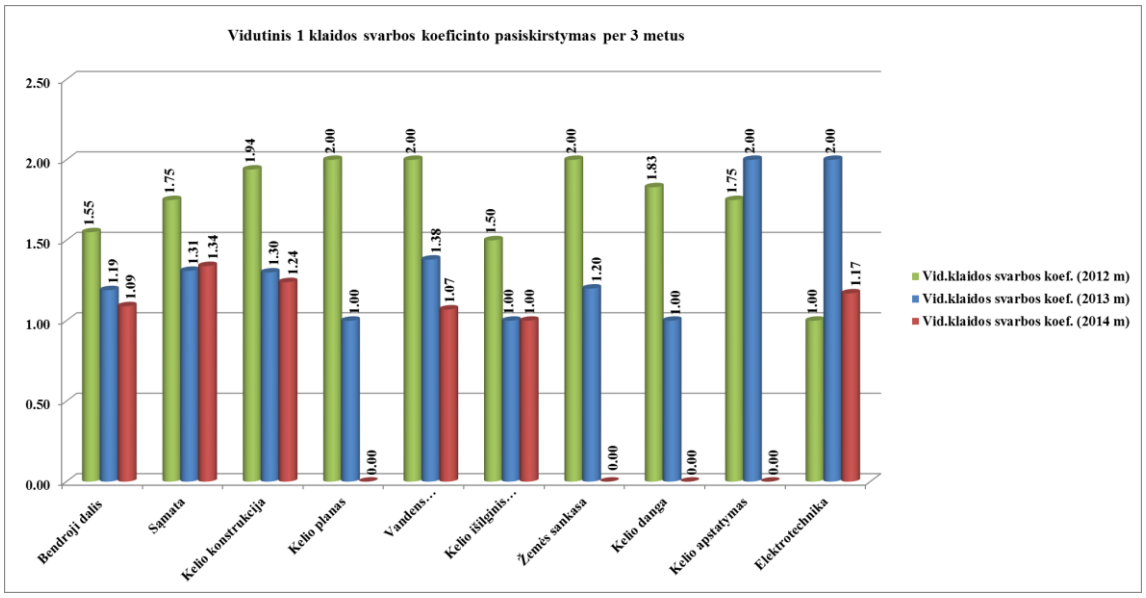
Vandens nuvedimas – pašalinti vandenį nuo kelio konstrukcijos yra svarbu, kadangi vanduo labai stipriai lemia būsimo kelio kokybę. Patekus jam į konstrukciją ir vykstant užšalimo ir atšilimo procesams jis sukelia ardomąją jėga ir atsiranda iškylos, ir įvairios pažaidos. Šioje srityje kiekvienais metais aptikta daug klaidų, o 2014 metais jos sudarė 14, nors tais metais jos padarytos nesudėtingos, lyginus su 2012 metais, kur sudėtingumas siekė 2 balus.

Kelio išilginis profilis – šioje srityje rastas labai minimalus klaidų kiekis, kurio svarbos reikšmė 1. Per visus tris metus šioje srityje darbai atliekami pakankamai kokybiškai.

Žemės sankasa – ši sritis yra viena iš svarbesnių, jos klaidų kiekis yra nepriimtinas ir rekomenduotina, kad jų nebūtų išvis. Nes netinkamai suprojektavus ir priėmus netinkamus projektinius sprendinius, gali atsirasti deformacijos. Pagrindiniai deformacijų tipai:

1. Nusėdimai. Atsiranda, jei yra silpni gruntai. Sankasa supilta iš drėgnų ir sušalusių gruntų. Nepakankamai sutankinama sankasa.
2. Sankasos įspaudimai. Atsiranda, jei yra silpni gruntai (pelkėtose vietose, durpynuose, karstiniuose reiškiniuose).
3. Nuošliaužos sankasoje. Atsiranda dėl blogo sujungimo su gruntu.
4. Šlaitų deformacijos. Atsiranda, kai suprojektuojami statūs šlaitai. Sankasa supilta iš nevienodų ir blogai sutankintų gruntų. Supilti įmirkę gruntai (Motiejūnas, 2011:56).

2014 metais žemės sankasos dalyje klaidų nerasta, kas rodo gerėjančią projektų kokybę.



4 pav. Klaidų sudėtingumas (svarba) pagal metus ir sritis
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Tokios priežastys, kaip didelė darbuotojų kaita, didėjančios darbo apkrovos, tačiau neproporcingai darbų apkrovoms didėjantis darbuotojų skaičius ir trumpesni objektų atlikimo terminai, lėmė padidėjusį klaidų kiekį, bei didesnį rodiklį, nurodantį klaidų sudėtingumą tenkantį vienai projekto daliai.

Atlikus projektų ekspertizių išvadų analizę, pastebėta, kad dažniausiai pasitaikančios projektavimo klaidos yra šios: naudojami negaliojantys normatyviniai statybos reglamentai, pateikiamos neatnaujintos statybos skaičiuojamosios kainos ir nesuderintos arba senesnės, nei vienų metų topografinės nuotraukos, netikslūs medžiagų kiekiai.

Projektuotojai nespėja įsisavinti naujų STR ar rekomendacijų. Todėl ekspertai projektuose nustatė daugiausiai neatitikimų bendrojoje dalyje, bei sąmatiniuose skaičiavimuose.

Išvados

✓ Analizės rezultatai leidžia manyti, kad sustiprinus atliekamų kelių projektavimo ir statybos darbų kontrolę, iš darbų priėmimo proceso eliminavus žmogiškąjį faktorių bei pasitelkus Lietuvoje jau esančias modernias ir tikslias kelių kokybę tikrinančias technologijas, darbai bus atliekami kokybiškiau.

✓ Statybos įstatymo ir statybos techninių reglamentų keitimasis tiesiogiai veikia projektų kokybę. Iš tyrimo duomenų matyti, kad klaidų skaičius keičiantis teisiniams dokumentams padidėjo 34,8 %.

✓ Kokybės vadybos sistemos įdiegimas įmonėje yra tinkamas įrankis kontroliuoti projektų vykdymą ir didelė pagalba projekto vadovui. Iš atlikto tiriamojo darbo matyti, kad ją įdiegus klaidų skaičius sumažėjo 33,3 %.

✓ Iš tyrimo matyti, kad klaidų kiekiai padaromi projektuose yra nemaži – iš 33 tirtų projektų nustatytos 254 klaidos, todėl galima daryti prielaidą, kad projektuotojai nėra gerai susipažinę su statybos reglamentais.

✓ Analizuojant buvo nustatyti didžiausią įtaką projektų kokybei turintys faktoriai: įmonėje esanti kokybės vadybos sistema, teisinių reglamentų kaita, projektų atlikimo terminai, o pagrindinis veiksnys – tai projektuotojų patirtis.

✓ Tyrimo metu pastebėta, kad svarbiausioms sritims, sąlygojančioms kelio kokybę, tenka didžioji dalis klaidų: kelio konstrukcijai – 44, vandens nuvedimui – 32, kelio planui – 11 žemės sankasai – 9, kelio išilginiam profiliui – 6. Mažiau svarbios klaidos: bendroji dalis – 67, Sąmatos – 61, kelio danga – 8, kelio apstatymas – 5, elektrotechnika – 11.

Rekomendacijos

✓ Šiuo metu pagal teisinius dokumentus už parengtus techninius projektus atsakingi yra projekto vadovai. Tikslinga būtų dalį atsakomybės paskirti ir ekspertizę atliekančiam asmeniui – ekspertui.

✓ Sugriežtinti eksperto kvalifikacijos atestato įgijimo tvarką bei reikalavimus.

✓ Tikslinga įmonės viduje įvesti projektų tikrinimą, taip sumažėtų bendrojoje dalyje padaromų smulkių klaidų.

✓ Parengtus darbų kiekių žiniaraščius turėtų patikrinti kitas inžinierius, tai patvirtindamas savo parašu.

✓ Įmonei, norinčiai pagerinti jos darbuotojų rengiamų projektų kokybę, vertėtų kaupti, sisteminti ir analizuoti padarytas klaidas.

✓ Siekiant, kad projektuotojai nekartotų tų pačių klaidų, būtų tikslinga reguliariai rengti seminarus ir mokymus projektuotojams.

Literatūra

1. Burcher, P. G., Lee G. L. The challenges for quality managers in Britain and Australia. The TQM Magazine Journal. 2008, Vol. 20, No. 1, p. 45 – 58
2. ISO 9000:2000 Kokybės vadybos sistemos. Pagrindai, terminai ir apibrėžimai.
3. Juran J. M. Managerial breakthrough. The classic book an improving management performance. North America, 1995. 456 p.
4. Motiejūnas A. Kelių eksploatavimo teorija, paskaitų konspektai, 2011.
5. Kelių projektavimas 2010, VGTU. [Žiūrėta 2014-01-20]. Prieiga per internetą: http://e-stud.vgtu.lt/files/dest/9242.
6. Rudaitis R. Priimtos pataisos padės efektyviau naudoti Kelių priežiūros ir plėtros programos lėšas. 2011 m. lapkričio 8 d. (pranešimas iš plenarinio posėdžio). [Žiūrėta 2016-02-02]. Prieiga per internetą: <http://www3.lrs.lt/pls/inter/w5_show?p_r=4445&p_d=117317&p_k=1>
7. UAB „Kelprojektas“ Statinio projekto ekspertizės darbų organizavimo taisyklės. ST 234004210.02:2011, Kaunas, 14 p.

QUALITY ASSESSMENT OF DEVELOPED ROAD TECHNICAL PROJECTS

Summary

In this paper is analysed the general expert examinations of developed road technical designs and discrepancies of normative documents pointed out by experts. The work analyses the quality of developed designs and their effect on the road, as a structure. It points out the types of errors, evaluates their complexity level and reasons of occurrence. It presents an overview of technical documents governing the design and the procedures of expert examination of designs. It presents recommendations for the improvement of road quality. General conclusions and recommendations are presented at the end of the work.

Key words: road design, general design expertise, quality, errors.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Benas Berkmonas
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegija, lektorius; UAB „Kelprojektas“ Kauno kelių skyriaus vadovas
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Automobilių kelių projektavimas, eismo saugumas
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 684 12923, benas.keliai@gmail.com

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Benas Berkmonas
Science degree and name: Master degree
Workplace and position: Lecturer of Kaunas University Of Applied Engineering Sciences; Joint Stock company “Kelprojektas” Head of Kaunas road division
Author‘s research interests: Road design and road safety procesess.
Telephone and e-mail address: 8 684 12923, benas.keliai@gmail.com

PAGAL 1945 – 1948 M. PROJEKTAVIMO NORMAS SUPROJEKTUOTO GELŽBETONINIO TILTO BŪKLĖS TYRIMAS

Daumantas Židanavičius
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose pastatyta 1502 tiltai, kurių didžioji dalis pastatyti 1944-1990 m. laikotarpiu. Dėl pasikeitusių tilto naudojimo sąlygų bei padidėjusių apkrovų tiltų būklė ženkliai blogėja. Straipsnyje analizuojama 1950 m. pagal tuometines projektavimo normas pastatyto dviatramio gelžbetoninio tilto būklė. Tilto perdangą sudaro šešios 14,10 m ilgio tėjinio skerspjūvio sijos. Būklei nustatyti atliekama šiuolaikinių ir 1945 – 1948 m. galiojusių normų analizė. Atliekamas statinis bandymas. Nustatomi faktiniai įlinkiai ir deformacijos. Atliekama teorinių ir bandymo duomenų lyginamoji analizė. Pateikiamos išvados ir rekomendacijos.

Reikšminiai žodžiai: tiltas, gelžbetoninis, 56 laida, tėjinio skerspjūvio sija, statinis bandymas.

Įvadas

Lietuvos valstybinės reikšmės keliuose pastatyta 1502 tiltai, iš jų 1408 tiltai yra gelžbetoniniai (www.lakd.lt, 2016). Daugiausia tokių tiltų pastatyta 1944–1990 m. laikotarpiu. Tiltai dėvisi priklausomai nuo važiuojančių automobilių masės ir eismo intensyvumo, aplinkos poveikio sąlygų bei priežiūros stokos. Tilto būklei nustatyti pirmiausia atliekama vizualinė apžiūra, kurios metu nustatoma laikančiųjų elementų būklė, pažeidimų pobūdis, dydis ir jų kiekis. Radus tilto pagrindinių elementų defektus, kurie turi įtakos tilto laikomajai galiai, rekomenduojama atlikti tilto statinį ir dinaminį bandymus.

Šiame straipsnyje analizuojamas dviatramis tiltas, pastatytas 1950 m. Šis tiltas suprojektuotas pagal 1945 – 1948 m. galiojusias projektavimo normas (Типовые проекты Выпуск 56, 1958). Po jo esminės apžiūros buvo rekomenduotas statinis bandymas. Šio tilto perdanga sudaryta iš tėjinio skerspjūvio neįtempto gelžbetonio sijų, tarp kurių yra tarpinės sijos (diafragmos). Dėl nepakankamos priežiūros bei padidėjusio sunkiasvorių transporto priemonių eismo intensyvumo laikantieji elementai nusidėvėję. Atsiradę normaliniai ir įstrižieji plyšiai pagrindinėse sijose, kurie turi įtakos tilto laikomajai galiai. Prieš bandymą atlikti teoriniai skaičiavimai pagal tuometines apkrovas ir jos palygintos su šiuolaikinėmis Europos projektavimo normų (*toliau-Euronormos*) (ST 188710638.10:2005; LST EN 1991-2:2004) apkrovomis. Nustatyti ir palyginti teoriniai ir faktiniai perdangos įlinkiai bei teorinės ir faktinės sijų betono deformacijos.

Tyrimo objektas – gelžbetoninis dviatramis tiltas, sudarytas iš šešių 14,10 m ilgio tėjinio skerspjūvio sijų, kurios tarpusavyje sujungtos skersinėmis diafragmomis.

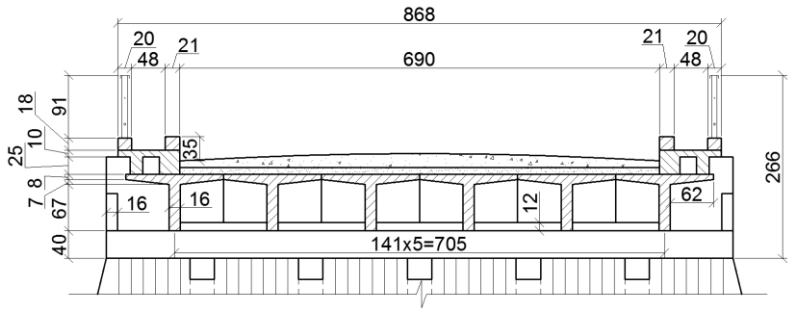
Straipsnio tikslas – ištirti gelžbetoninį sijinį tiltą, suprojektuotą pagal 1945 – 1948 m. projektavimo normas.

Uždaviniai:

1. Nustatyti tilto bendruosius duomenis, technines charakteristikas;
2. Atlikti eismo intensyvumo analizę;
3. Atlikti tilto apžiūrą, nustatyti jo defektus;
4. Atlikti perdangos sijų niveliaciją ir nustatyti perdangos sijų įlinkį;
5. Atlikti tilto dabartinių (euronormų) (st 188710638.10:2005; lst en 1991-2:2004) ir 1945-1948 m. (типовые проекты выпуск 56, 1958) galiojusių projektavimo normų lyginamąją analizę;
6. Palyginti tilto perdangos faktinius įlinkius ir deformacijas su teoriniais;
7. Pateikti išvadas ir rekomendacijas.

Bendrieji tilto duomenys, techninės charakteristikos

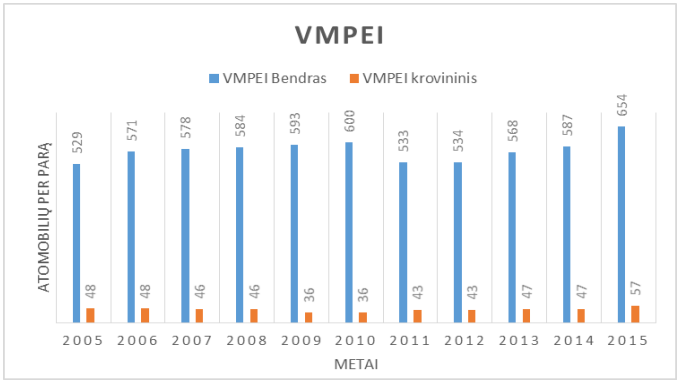
Tiltas pastatytas 1950 m. Suprojektuotas pagal 1945-1948 m. projektavimo normas (Типовые проекты Выпуск 56, 1958). Projektinės apkrovos: Н-13 ir НГ-60. Tilto vieta – 173 kelio Molėtai – Pabradė 13,8 kilometras. Tilto tipas – gelžbetoninis, sijinis, dviatramis. Perdanga briaunota, surenkamoji, tarpatramyje yra šešios tėjinio skerspjūvio sijos, sujungtos skersinėmis diafragmomis. Tilto perdangos ilgis – 14,10 m, skaičiuojamasis perdangos ilgis 13,35 m, plotis – 8,64 m, atstumas tarp pagrindinių sijų – 1,41 m. Važiuojamosios dalies danga asfaltas – 6,90 m pločio. Bendras perdangos vaizdas pateiktas 1 pav.



1 pav. Tilto skersinis pjūvis
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Eismo intensyvumo analizė

2 paveiksle pateikiami eismo intensyvumo 173 kelyje 9,06 kilometre posto duomenys (www.lakd.lt, 2016). Atstumas tarp matavimo posto ir tilto yra 4,74 km, o kelias tame ruože jungiasi tik su vietiniais keliais, todėl galime daryti prielaidą, kad visas transporto priemonių eismas, išmatuotas matavimo poste pravažiuoja tiltu.



2 pav. Automobilių eismo intensyvumo 173 kelyje diagrama
Šaltinis: www.lakd.lt

Pagal 2 paveiksle pateiktus duomenis galime pastebėti, kad eismo intensyvumas nuo 2005 metų iki 2015 metų padidėjo 23,6%, (nuo 529 auto./parą iki 654 auto./parą). Sunkiasvorių automobilių eismas padidėjo 18,8%, (nuo 48 aut./parą iki 57 aut./parą). Išanalizavus duomenis galima teigti, kad eismo intensyvumas tiltu didėja, o tai turi įtakos tilto būklės pablogėjimui.

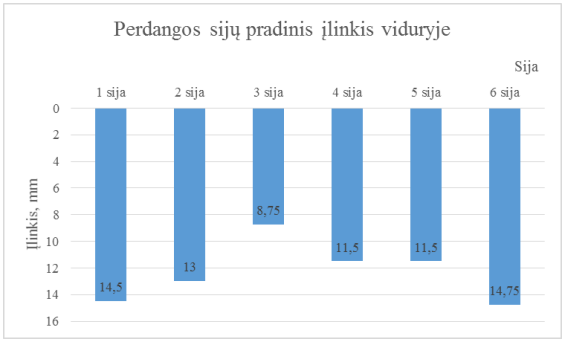
Tilto perdangos būklės ir defektų apžvalga

Esminė tilto apžiūra atlikta 2007 m. spalio 20 d. Tilto apžiūra atlikta pagal TTPT 10 (TTPT 10, 2015) taisyklių reikalavimus. Pakartotinai tilto apžiūra atlikta prieš tilto statinį bandymą, t. y. 2016 m. kovo 2 d. Pakartotinės apžiūros metu pakloto elementuose nustatyta, kad važiuojamoji dalis nelygi, provėžuota, kiaura hidroizoliacija, vanduo sunkiasi per sijų lentynų sandūras, kabo karbonatiniai varvekliai, koroduoja armatūra. Perdangos sijose ir skersinėse diafragmose aptikti įstrižieji ir normaliniai plyšiai (plyšių plotis 0,10 – 0,30 mm), sijos nekokybiškai pagamintos: betonas porėtas, yra kavernų, sijų sienutėse matomi atviri pagalbinės armatūros strypai.

3 pav. Pagrindinėse tilto sijose atsivėręs įstrižas plyšys (plyšio plotis 0,3 mm)
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Tilto perdangos sijų niveliacijos duomenys

Norint patikrinti tilto perdangos sijų pradinį įlinkį buvo atlikta niveliacija, nustatyta, ar neviršija leisto įlinkio. Visų išniveliuotų perdangos sijų (iš apačios) rezultatai pateikti 4 paveikslėlyje. Apskaičiuotas ribinis tilto perdangos įlinkis – 33,38 mm. Vidutinis tilto perdangos sijų įlinkis (12,33 mm) neviršija ribinio įlinkio (33,38 mm).

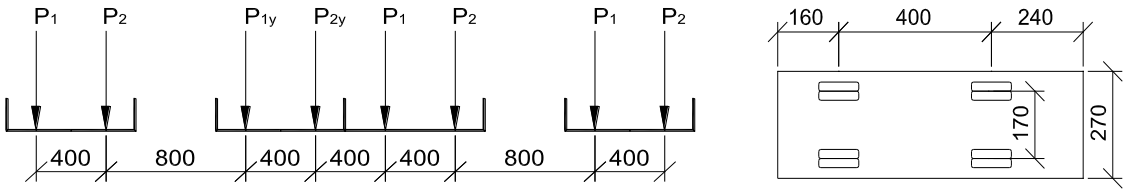


4 pav. Tilto sijų pradinis įlinkis
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Perdangos konstrukcijų teoriniai skaičiavimai ir jų palyginimas

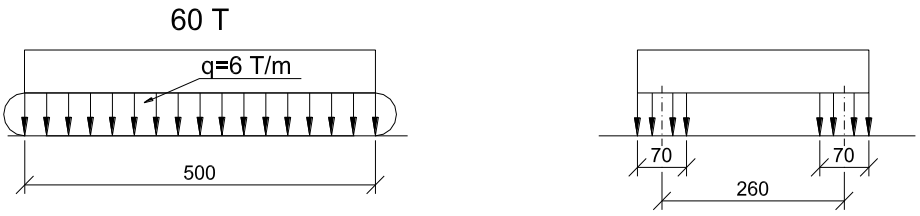
Tiltas suprojektuotas pagal 1945-1948 m. galiojusias tiltų projektavimo apkrovas. Projektinės tilto apkrovos – H-13 ir НГ-60. Tipiniame 56 laidos projekte (Типовые проекты Выпуск 56, 1958) yra detalizuotos tėjinio skerspjūvio sijos, kai sijų ilgis yra 13,50 m. Tilto skaičiuojamasis perdangos ilgis yra 13,35 m. Pagal sijų tipą, geometrinius matmenis ir tarpatramio ilgį sijų armavimas yra analogiškas kaip tipiniame 56 laidos projekte (Типовые проекты Выпуск 56, 1958), todėl perdangos stiprumo ir standumo skaičiavimuose panaudoti duomenis iš šio projekto.

Projektinė H-13 apkrova. Projektinę H-13 apkrovą sudarė automobilių kolonos, išdėstytos per visą važiuojamosios dalies plotį ir pėsčiųjų minios apkrova ant šalitilčių. Kiekvienoje kolonoje buvo vienas sunkus automobilis, kitų automobilių (pagrindinių) skaičius kolonoje neribojamas. Žmonių minios apkrova išdėstoma tik šalitilčiuose ir priimama tik su automobiline apkrova. Projektinės H-13 apkrovos schema pateikta 5 paveiksle.



5 pav. Projektinės H-13 apkrovos schema
Šaltinis: Tipinis projektas 56 laida 1958 m. (Типовые проекты Выпуск 56, 1958)

Projektinė НГ-60 apkrova – vikšrinė apkrova. Vikšrinė važiuoklė skersai tilto statoma į pavojingiausią padėtį, bet ne arčiau kaip 0,25 m nuo bordiūro, matuojant nuo vikšro krašto. Atliekant skaičiavimus nuo vikšrinės važiuoklės apkrovos, dinaminis koeficientas nepriimamas, leistinieji įtempimai armatūrai ir betonui didinami 30%. Projektinė НГ-60 apkrova – vikšrinė apkrova, šios apkrovos schema pateikta 6 paveiksle.



6 pav. Projektinės НГ-60 apkrovos schema
Šaltinis: Tipinis projektas 56 laida 1958 m. (Типовые проекты Выпуск 56, 1958)

Projektinė Euronormų apkrova. Nuo 2001 m. tiltai Lietuvoje projektuojami pagal Europines tiltų projektavimo normas (ST 188710638.10:2005; LST EN 1991-2:2004), todėl įrąžų palyginimui atlikti teoriniai skaičiavimai pagal Europines tiltų eismo apkrovas. Skaičiavimai atlikti pagal pagrindinį (LM1) apkrovos modelį (ST 188710638.10:2005; LST EN 1991-2:2004).

Skaičiavimo rezultatai. Pagal H-13 apkrovos modelį gauta, kad lenkimo momentas perdangos viduryje 1165 kNm, nuo H-60 apkrovos lenkimo momentas 1606 kNm, o nuo Euronormų apkrovos susidarė 3634 kNm. Palyginus lenkimo momentus nuo skirtingų projektavimo normų apkrovų nustatyta, kad lenkimo momentas tilto perdangoje nuo H-13 yra apie 3,1 karto mažesnis už lenkimo momentą nuo Euronormų apkrovos. O nuo H-60 apkrovos lenkimo momentas yra 2,3 karto mažesnis už Euronormų apkrovos lenkimo momentą.

Tilto statinis bandymas

Tilto statinis bandymas atliekamas pagal statybos taisyklių (ST 188710638.10:2005) reikalavimus. Tilto bandyme panaudoti keturi sunkiasvoriai automobiliai. Bendra apkrovos masė tilto perdangai buvo 78,55 t. Ši apkrova parinkta pagal (ST 188710638.10:2005) taisykles, kur bandomosios apkrovos intensyvumas įprastiniuose bandymuose turi būti tarp 70% ir 100%. Apkrovus perdangą trimis sunkiasvoriais automobiliais perdangos viduryje lenkimo momento dalis nuo projektinės charakteristinės H-60 (1606 kNm) ir bandymo apkrovos buvo 68% (1092 kNm), o apkrovus keturiais sunkiasvoriais automobiliais lenkimo momento dalis nuo projektinės apkrovos buvo 85% (1360 kNm). Apkrovus tilto perdangą maksimalia bandymo apkrova (4 sunkiasvoriai automobiliai) perdanga dirbo netamprioje stadijoje, todėl tolimesniuose skaičiavimuose naudojama 3 sunkiasvorių automobilių apkrova.

Perdangos įlinkių analizė

Teoriniai įlinkiai apskaičiuoti taikant „Midas civil“ skaitinio modeliavimo programą. Tilto įlinkių analizė (faktinių ir teorinių duomenų) atlikta pagal СНиП 3.06.07-86 (СНиП 3.06.07–86, 1987) metodiką, nes šiuo metu galiojančiose tiltų bandymų taisyklėse (ST 188710638.10:2005) yra pateikiami reikalavimai tik naujai pastatytų tiltų būklės vertinimui. Tilto statinio bandymo metu perdangos sijų viduryje buvo matuojamas įlinkis (poslinkis) bei liekamasis įlinkis. Pagal šių dydžių santykinę reikšmę nustatoma, ar konstrukcija dirba tamprioje stadijoje. Konstrukcijų tampрųjį darbą apibūdina koeficientas α (santykis tarp f_r liekamojo ir f_{el} tampraus įlinkių po deformacijų stabilizavimosi). Koeficientas α eksploatuojamiems tiltams turi būti: $\alpha \le 0{,}05$. Tampriųjų įlinkių, liekamųjų įlinkių ir koeficiento α skaičiavimo rezultatai nuo trijų sunkiasvorių automobilių pateikti – 1 lentelėje, o nuo keturių sunkiasvorių automobilių – 2 lentelėje.

1 lentelė

Koeficiento α reikšmės išbandant tilto perdangą ir ją apkraunant 3 sunkiasvorių automobilių apkrova

Sija	Viso įlinkio dydis, mm	Liekamojo įlinkio dydis, mm	Tampraus įlinkio dydis, mm	Koeficientas α	Koeficiento α vidutinis dydis
1	2,0	0,1	1,8	0,056	0,038
2	2,7	0,1	2,6	0,038	
3	2,8	0,1	2,7	0,037	
4	2,8	0,0	2,8	0,0	
5	2,4	0,1	2,3	0,043	
6	1,9	0,1	1,8	0,056	

Šaltinis: sudaryta autoriaus

2 lentelė

Koeficiento α reikšmės išbandant tilto perdangą ir ją apkraunant 4 sunkiasvorių automobilių apkrova

Sija	Viso įlinkio dydis, mm	Liekamojo įlinkio dydis, mm	Tampraus įlinkio dydis, mm	Koeficientas α	Koeficiento α vidutinis dydis
1	2,9	0,3	2,6	0,115	0,106
2	3,4	0,3	3,1	0,098	
3	3,5	0,3	3,2	0,094	
4	3,4	0,3	3,1	0,097	
5	3,1	0,3	2,8	0,107	
6	2,7	0,3	2,4	0,125	

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Nuo 3 sunkiasvorių automobilių apkrovos tilto perdanga dirbo tamprioje stadijoje, liekamųjų ir tamprių įlinkių santykis $f_r / f_{el} = 0{,}038$ neviršijo leistino ($\alpha \le 0{,}05$) ir tenkino normų СНиП 3.06.07-86 (СНиП 3.06.07–86, 1987) reikalavimus. Nuo maksimalios bandymo apkrovos (4 sunkiasvorių automobilių) tilto perdanga dirbo netamprioje stadijoje, liekamųjų ir tamprių įlinkių santykis $f_r / f_{el} = 0{,}106$ buvo daug

didesnis už leistiną ($\alpha \leq 0{,}05$) ir netenkino normų СНиП 3.06.07-86 (СНиП 3.06.07–86, 1987) reikalavimų.

Palyginus bandymo ir teorinius įlinkius nuo trijų sunkiasvorių automobilių statinės bandymo apkrovos nustatyta, kad bandymo metu gautas didžiausias sijų įlinkis buvo 2,43 mm. Teorinis sijų įlinkis nuo НГ-60 apkrovos apskaičiuotas 2,95 mm. Santykis tarp faktinio ir teorinio įlinkio yra 0,82.

Palyginus faktinius ir teorinius įlinkius nuo maksimalios keturių sunkiasvorių automobilių statinės bandymo apkrovos, nustatyta, kad bandymo metu gautas didžiausias sijų įlinkis buvo 3,17 mm. Teorinis sijų įlinkis nuo НГ-60 apkrovos apskaičiuotas 3,72 mm. Santykis tarp faktinio ir teorinio įlinkio yra 0,85.

Pagal СНиП 3.06.07-86 (СНиП 3.06.07–86, 1987) keliamus reikalavimus gauti įlinkių santykiai nuo trijų ir keturių sunkiasvorių automobilių apkrovos rodo, kad tilto perdangos stiprumas yra sumažėjęs.

Faktiniai ir teoriniai įtempiai sijose

Tilto perdangos antros, trečios, ketvirtos ir penktos sijų faktinės deformacijos buvo išmatuotos jų sienučių apačioje. Teoriniai perdangos įtempių skaičiavimai atlikti naudojant „Midas civil“ skaitinio modeliavimo programą. Teorinių ir faktinių įtempių palyginimas pateiktas 3 lentelėje.

3 lentelė

Teorinių ir faktinių įtempių palyginimas

Apkrovos Nr.	Tarpatramis	Sija	Deformacijų jutiklis	Įtempiai nuo bandymo apkrovos, MPa	
				Teoriniai	Faktiniai
1 variantas	1	2	Ind. 1	3,24	+3,10
		3	Ind. 2		+3,20
		4	Ind. 3		+2,80
		5	Ind. 4		+3,60
Pastaba: + tempimas					

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Statinio bandymo metu nustatyta, kad ketvirtoje perdangos sijoje faktiškai išmatuoti betono įtempiai viršijo teoriškai apskaičiuotus betono įtempius. Kadangi tilto perdanga yra įlinkusi ir 5 sija papleišėjusi, šioje sijoje faktiškai gauti įtempiai betone viršija teoriškai apskaičiuotus įtempius.

Išvados

1. Įvertinus tilto būklę nustatyta, kad dėl padidėjusio sunkiasvorio transporto eismo intensyvumo, nepakankamos priežiūros bendra tilto būklė yra bloga, visa perdanga yra įlinkusi, atsivėrę normaliniai ir įstrižieji plyšiai, o tai rodo, kad sumažėjusi tilto laikomoji galia.
2. Atlikus lyginamąją projektavimo normų analizę nustatyta, kad pagal šiuolaikines tiltų projektavimo normas įražos perdangoje nuo projektinių apkrovų yra 2,3 – 3,1 karto didesnės negu įražos pagal 1945-1948 m. projektavimo normų apkrovas.
3. Statinio bandymo metu nustatyta, kad tilto laikomoji galia sumažėjusi, nes apkrovus perdangą 85% projektinės apkrovos ji dirbo netamprioje stadijoje, o apkrovus perdangą 65% projektinės apkrovos ji dirbo tampriai.
4. Išanalizavus tilto statinio bandymo rezultatus nustatyta, kad dėl tilto laikančiosiose konstrukcijose esamų defektų ir pažaidų jo negalima eksploatuoti neapribojant sunkiasvorių transporto priemonių eismo. Todėl po tilto bandymo duomenų analizės rekomenduojama įrengti kelio ženklą Nr. 314 (ribota masė iki 20 t).
5. Ištyrus 1945-1948 m. suprojektuotą (56 laidos tipinio projekto) tiltą nustatyta, kad tokio tipo tiltai netenkina stiprumo ir tinkamumo ribinių būvių naudojant šiuolaikinių sunkiasvorių transporto priemonių apkrovas.

Literatūra

1. Automobilių kelių tiltų bandymas. ST 188710638.10:2005, Vilnius, 2005 m.
2. P. Baublys, Statybinė mechanika. Deformuojamų sistemų dinamika. Vilnius „Technika“, 2001.
3. Eurokodas1. Poveikiai konstrukcijoms. 2 dalis. Tiltų eismo apkrovos LST EN 1991–2:2004.
4. Eurokodas1. Projektavimo pagrindai ir poveikiai konstrukcijoms. 3 dalis. Tiltų eismo apkrovos LST L ENV 1991–3:2000.
5. J. Kivilša, Z. Kamaitis, A. Steponavičius, Miesto transporto statiniai. Vilnius 1981 m.
6. Dr. prof. A. Kudzys, Gelžbetoninės konstrukcijos. Mokslo. Redakcija., Vilnius 1978 m.
7. Lietuvos Respublikos susisiekimo ministro įsakymas dėl maksimalių leidžiamų transporto priemonių matmenų, leidžiamų ašies (ašių) apkrovų, leidžiamos bendrosios masės patvirtinimo, 2002 m. vasario 18 d. Nr. 3-66, Vilnius.
8. STR 2.06.02:2001 „Tiltai ir tuneliai bendrieji reikalavimai“.

9. STR 2.05.05:2005 Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas.
10. Tiltų ir viadukų esminės ir specialiosios apžiūros, būklės kitimo stebėsena, laikomosios bei keliamosios galios nustatymas. Įtemptojo gelžbetonio tiltų dinaminiai bandymai. Tiltų remonto bei rekonstrukcijos poreikio ekonominis pagrindimas. Tiltų ir viadukų esminės ir specialiosios apžiūros. VIII tomas. Utenos regiono tiltų esminės apžiūros, TKTI, Kaunas, 2008 m. kovo mėn.
11. Tiltų techninės priežiūros taisyklės TTPT 10. Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. Vilnius, 2010 m.
12. Tiltų laikomosios ir keliamosios galios (tilto saugos faktoriaus) bei leistinos slankiosios apkrovos apskaičiavimo metodikos projektas. KTTI, 2015 m.
13. http://www.lakd.lt/lt.php/lietuvos_keliai/eismo_intensyvumas/17877#content_17878
14. Правила и указания по проектированию железобетонных, металлических, бетонных и каменных искусственных сооружений на автомобильных дорогах. Гушосдор МВД ССР 1948 г.
15. Строительные нормы и правила. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. СНиП 3.06.07–86. Москва, 1987 m.
16. Типовые проекты Выпуск 56. Москва, 1958 m.

CONDITION INVESTIGATION OF CONCRETE BRIDGE BUILT ACCORDING TO THE DESIGN STANDARDS OF 1945-1948

Summary

There are 1502 bridges built in national roads of Lithuania, which were mainly constructed during the period of 1944-1990. The condition of the bridges deteriorates significantly due to the increased traffic loads and different usage conditions. The article analyses the condition of a simple concrete bridge built in 1950 based on design standards of 1945-1948. The bridge deck consists of six tee forms and 14,10 m length beams. The analyses on contemporary and 1945-1948 design standards were performed to determine the bridge condition. Static load test was executed. Deflections and deformations were determined. Comparative analysis of theoretical and test data was carried out. The conclusions and recommendations were presented.

Key words: bridge, concrete, 56 edition, tee cross section beam, static load test.

AUTORIAUS LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Daumantas Židanavičius
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Statybos inžinerijos krypties studijų programų departamento lektorius.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: inovacijos kelių ir tiltų inžinerijoje
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 671 55231, Daumantasz@hotmail.lt

A COVER LETTER OF AUTHOR

Author name, surname: Daumantas Židanavičius
Science degree and name: master degree
Workplace and position: Kaunas Technical College, Lecturer of Construction Engineering Field Study Programme Department.
Author‘s research interests: Innovations in road‘s and bridge‘s engineering
Telephone and e-mail address: 8 671 55231, Daumantasz@hotmail.lt

ŽEMĖS SKLYPŲ KADASTRO DUOMENŲ PARENGIMO TELŠIŲ RAJONE KOKYBĖS TYRIMAI

Gintarė Bunevičienė
Kauno kolegija

Anotacija

Atkuriant nuosavybės teises į žemės sklypus buvo atliekami preliminarūs matavimai, todėl šiandien atliekant kadastrinius matavimus atsiranda žemės sklypų ribų pažymėjimo ir kadastro duomenų nustatymo problemų. Straipsnyje analizuojamos dažniausiai daromos žemės sklypų kadastro duomenų nustatymo klaidos. Apžvelgiami Lietuvos Respublikos įstatymai, norminiai dokumentai bei moksliniai straipsniai, apibrėžiantys kadastrinių matavimų darbo metodiką nustatant žemės sklypų kadastro duomenų klaidas, sudarant kadastro duomenų bylą, nagrinėjant kadastrinius matavimus ir su jais susijusias problemas. Tyrimo metu surinkti ir išanalizuoti kadastro duomenų bylų tikrinimo aktai Telšių rajone. Dažniausiai kadastro duomenų bylose matininkų daromos klaidos: privalomų dokumentų nebuvimas, neteisingai parengtas žemės sklypo planas, netikslus verčių skaičiavimas, netinkamas kadastro duomenų formų užpildymas, matininko neatidumas.

Reikšminiai žodžiai: Žemės sklypas, nekilnojamasis turtas, kadastro duomenys, matininkas, klaidos.

Įvadas

Nekilnojamuoju turtu laikomi daiktai, kurie yra susiję su žeme ir negali būti perkeliami iš vienos vietos į kitą jų nesuardžius, nepakeitus jų paskirties ir vertės. Dažniausiai nekilnojamuoju turtu laikoma žemė. Ji suvokiama kaip ekonominiai ištekliai ir žmogaus gyvenimo gerovės sukūrimo pagrindas. Žemė formuojama ir registruojama atskirais žemės sklypais, turinčiais vietovėje nustatytas tikslias ribas, plotą, paskirtį ir kadastro duomenis.

Nekilnojamojo turto kadastro duomenys apibūdina nekilnojamojo daikto buvimo vietą, gamtines ir ūkines žemės savybes, geometrinius statinių parametrus ir nekilnojamųjų daiktų naudojimo sąlygas.

1990 m. Lietuvai atgavus nepriklausomybę buvo pradėta žemės reforma. Jos pagrindinis tikslas – grąžinti Lietuvos Respublikos piliečiams nacionalizuotą turtą – žemę. Vykdant žemės reformą žemės sklypai buvo formuojami pagal preliminarius matavimus. Galima teigti, kad tai buvo viena iš svarbesnių reformos klaidų. Pagal preliminarius matavimus parengti žemės sklypų planai buvo pakankamai netikslūs. Šiandien, atliekant kadastrinius matavimus, atsiranda nemažai problemų tiek pažymint žemės sklypų ribas vietovėje, tiek nustatant plotus, kurie dažnai viršija leistiną nesąryšį, tiek įtraukiant jų koordinates į nekilnojamojo turto kadastrą.

Atlikus kadastrinius matavimus ir parengus dokumentus teisinei registracijai, žemės savininkui garantuojama, kad jo žemės sklypo ribos yra tikslios ir suteikiama nuosavybės teisių apsauga. Kiekvienas matininkas turėtų gerai žinoti su jo darbu susijusius įstatymus ir kitus teisės aktus. Tačiau dėl matininkų kompetencijos stokos, nuolatinės teisės aktų nuostatų kaitos ir tarpusavio nesuderinamumo, atidumo ir atsakomybės trūkumo dažnai pasitaiko kadastro duomenų nustatymo ir bylų parengimo klaidų. Kadastro duomenų kontrolę pagal teisės aktų nuostatus vykdo Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti ir įvardinti dažniausiai pasitaikančias žemė sklypų kadastro duomenų klaidas Telšių rajone.

Uždaviniai:

1. Išanalizuoti ir apibendrinti patikrai pateiktų žemės sklypų kadastro duomenų bylų statistiką.
2. Atskleisti pagrindines kadastro duomenų parengimo klaidas.

Tyrimų tikslui ir keliamiems uždaviniams pasiekti buvo taikomi įstatymų ir kitų teisės aktų analizės, informacijos paieškos, mokslinės literatūros analizės, lyginamosios analizės ir apibendrinimo metodai.

Atliekant kadastro duomenų bylų tyrimą buvo nagrinėjamos Nacionalinės žemės tarnybos prie Žemės ūkio ministerijos Telšių skyriui 2015 m. ir 2016 m. sausio – kovo mėnesiais pateiktos kadastro duomenų bylos. Iš viso surinkta ir išanalizuota 1119 kadastro duomenų patikrinimo aktų. Tyrimui atlikti išanalizuota mokslinė ir metodinė literatūra, pagrindiniai norminiai dokumentai, reglamentuojantys nekilnojamojo turto kadastrinius matavimus ir kadastro duomenų parengimą. Kadastro duomenų tikslumo tikrinimas buvo atliekamas vadovaujantis Lietuvos Respublikos Nekilnojamojo turto kadastro įstatymu, Lietuvos Respublikos Nekilnojamojo turto kadastro nuostatais ir Lietuvos Respublikos nekilnojamojo turto objektų kadastrinių matavimų ir kadastro duomenų surinkimo bei tikslinimo taisyklėmis. Sukaupti duomenys buvo nagrinėjami ir klasifikuojami pagal tyrimo uždavinius.

Nekilnojamojo turto kadastro duomenų nustatymo teisinis reglamentavimas

Rengiant žemės sklypų kadastro duomenis yra atliekami kadastriniai matavimai, t.y. nustatoma nekilnojamojo daikto tapatybė, žemės sklypo ribų posūkio taškų ir statinių fizinių ribų koordinatės, geometriniai matmenys ir techniniai nekilnojamųjų daiktų parametrai, apskaičiuojamas žemės sklypo ir jame esančių žemės naudmenų plotas ir kiti šį daiktą apibūdinantys kadastro duomenys (Lietuvos Respublikos Seimas, 2000). Kadastrinių duomenų rengimo procesas turi ypatumų, tai yra kiekvienas objektas yra unikalus ir nepasikartojantis. Pavienių objektų padėties nustatymo netikslumus bei klaidas dažnai lemia skirtingos ir labai įvairios priežastys. Pagal šiuo metu reglamentuotą kadastro duomenų kokybės kontrolės metodiką nustatomos konkrečios kadastrinių duomenų klaidos ir jos taisomos (Jonauskienė ir kt. , 2009: 66-71).

Atliekant nekilnojamojo turto kadastrinius matavimus ir sudarant kadastro duomenų bylas vadovaujamasi Lietuvos Respublikos įstatymais, Vyriausybės nutarimais ir kitais norminiais dokumentais. Lietuvos Respublikos Žemės įstatymas apibrėžia žemės naudojimą, žemės nuosavybės, valdymo ir naudojimo santykius, jų teisinę apsaugą, taip pat žemės tvarkymą ir administravimą Lietuvoje (Lietuvos Respublikos Seimas, 2004). Nekilnojamųjų daiktų, registruojamų Nekilnojamojo turto registre, kadastro duomenų nustatymą, jų įrašymo į nekilnojamojo turto kadastrą tvarką reglamentuoja Lietuvos Respublikos Nekilnojamojo turto kadastro įstatymas (Lietuvos Respublikos Seimas, 2000). Šio įstatymo nuostatas papildo Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimas Nr. 534 „Dėl Nekilnojamojo turto kadastro nuostatų patvirtinimo“. Jis nustato nekilnojamųjų daiktų, registruojamų nekilnojamojo turto registre, įrašymo į kadastrą bendrąją tvarką, nekilnojamojo daikto planų ir kadastro duomenų formų turinio parengimą bei kadastro duomenų bylos suformavimą, žemės sklypų ribų posūkio taškų koordinačių nustatymą, atliekant kadastrinius matavimus (Lietuvos Respublikos Vyriausybė, 2002). Lietuvos Respublikos Žemės ūkio ministro įsakymu Nr. 522 patvirtintos „Nekilnojamojo turto objektų kadastrinių matavimų ir kadastro duomenų surinkimo bei tikslinimo taisyklės“ reglamentuoja nekilnojamojo turto objektų kadastrinių matavimų, kadastro duomenų surinkimo, tikslinimo bei apdorojimo tvarką. Šio įsakymo nuostatose nurodoma: kokiais atvejais atliekami žemės sklypų kadastriniai matavimai, nustatant žemės sklypų ribų posūkio taškų ir riboženklių koordinates valstybinėje koordinačių sistemoje; kas atlieka nekilnojamojo turto objektų kadastrinius matavimus; kokie yra tikslumo reikalavimai matuojant žemės sklypų ribas; kaip turi būti parengtas žemės sklypo planas; koks turi būti žemės sklypo plano formos užpildymas (Lietuvos Respublikos Žemės ūkio ministerija, 2002).

Kadastrinių matavimų svarba ir kadastro duomenų nustatymo probleminiai aspektai analizuoti daugelyje mokslinių straipsnių. Balevičius ir kt. (2012: 42–46) išanalizavo ir įvertino kelių vidurio Lietuvos rajonų savivaldybėse pateiktas derinti žemės sklypų kadastrinių matavimų bylas. Iš 2009 - 2010 m. atliktų ir pateiktų derinti bylų 12,5 proc. neatitiko kadastriniams matavimams keliamų reikalavimų. 2009 m. iš patikrintų 812 žemės sklypų kadastrinių matavimų bylų neatitiko 102 bylos kadastriniams matavimams keliamų reikalavimų. Pagrindiniai kadastrinių matavimų bylų trūkumai yra susiję su žemės sklypo plano parengimo neatitikimu teisės aktams.

Jonauskienė ir kt. (2009: 66-71) analizavo žemės sklypų kadastrinių duomenų kokybės vertinimo taikant daugiakriterinės analizės metodus problemą. Prieš įvedant žemės sklypų duomenis į bendras duomenų bazes bei pažymint žemės sklypus kadastro žemėlapyje, svarbu atlikti kadastrinių matavimų ir kadastro duomenų kokybės kontrolę bei objektyviais rodikliais įvertinti patikimumą. Pasak Jonauskienės ir kt., žemės sklypų ribų posūkio taškų koordinatės, nustatytos grafiškai pagal paskiausiai atnaujintą kartografinę medžiagą, yra mažiau tikslios, tačiau atliktos daugiakriterinės analizės rezultatai rodo priešingai, t. y. preliminarių matavimų tikimybiniai kokybės rodikliai yra formaliai geresni už geodeziniais matavimais nustatytų duomenų kokybės rodiklius. Autorės teigia, kad gaunamų duomenų nepakanka kadastro duomenų kokybei (ypač žemės sklypų, suformuotų atlikus preliminarius matavimus) įvertinti objektyviai ir gauti patikimus rezultatus.

Živatkauskas (2012: 4–8) teigia, kad nekilnojamųjų daiktų kadastro duomenų kokybė priklauso nuo pradinės medžiagos kokybės, nuo to, kaip žemės sklypo savininkas prižiūrėjo riboženklius, kaip matininkas atliko matavimus ir nuo valstybinių institucijų specialistų kompetencijų visumos. Autorius teigia, kad atliekant žemės sklypų planų parengimą bei derinimą susiduriama su šiomis klaidomis: žemės sklypo plane neteisingai įrašyta sklypo centro koordinatė, nėra atsakingų asmenų parašų, neteisingos gretimybės, nesutampa plotai tarp atskirų dokumentų.

Sinkevičiūtė ir kt. (2012: 73–76) išnagrinėjo 100 kadastrinių matavimų bylų iš 6 Kauno rajone esančių kadastro vietovių. Atlikę žemės sklypų kadastro duomenų klaidų analizę autoriai teigia, kad dažniausiai pasitaikančios klaidos yra: nesuderinimas su gretimų žemės sklypų savininkais ar naudotojais; nepilnai arba neteisingai užpildytas paženklinimo – parodymo aktas; nesuderinti žemės sklypų planai; ne pagal

reikalavimus parengtas žemės sklypo planas, nepateikti visi privalomi procedūriniai dokumentai. Taip pat autoriai pabrėžė, jog didžioji dalis kadastrinių matavimų klaidų pasitaiko dėl žemės sklypo matavimus atliekančio asmens neatidumo.

Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

Atlikus žemės sklypo kadastrinius matavimus, nustatant ribų posūkio taškų koordinates valstybinėje koordinačių sistemoje, matininkas parengtą nekilnojamojo daikto kadastro duomenų bylą turi pateikti Nacionalinės žemės tarnybos prie Žemės ūkio ministerijos teritoriniam skyriui arba kitais atvejais – nekilnojamojo turto kadastro tvarkytojui ir apie tai informuoti užsakovą.

Nacionalinės žemės tarnybos prie Žemės ūkio ministerijos teritorinis skyrius, atlikdamas žemės sklypo kadastro duomenų patikrinimą kameraliai tikrina ar:

- byloje yra visi dokumentai;
- po kadastrinių matavimų nepakeistos žemės sklypo ribos;
- žemės sklypo ploto, nurodyto kadastro duomenų byloje, ir žemės sklypo ploto, įregistruoto Nekilnojamojo turto registre arba teritorijų planavimo dokumente suprojektuoto, bet neįregistruoto Nekilnojamojo turto registre, skirtumas nėra didesnis nei leistina (ribinė) ploto paklaida;
- žemės sklypo planas sudarytas pagal nustatytus reikalavimus;
- teisingai užpildytas žemės sklypo ribų paženklinimo – parodymo aktas;
- teisingai užpildyta kadastro duomenų forma.

Žemės sklypų planų ir kadastro duomenų parengimo reikalavimus reglamentuoja Lietuvos Respublikos Nekilnojamojo turto kadastro įstatymas, Nekilnojamojo turto kadastro nuostatai ir Nekilnojamojo turto objektų kadastrinių matavimų ir kadastro duomenų surinkimo bei tikslinimo taisyklės. Remiantis šių teisės aktų nuostatomis Nacionalinės žemės tarnybos teritorinių skyrių darbuotojai atlieka kadastro duomenų parengimo kokybės kontrolę.

Pagal šiuos kriterijus analizuoti 2015 m. ir 2016 m. pirmame ketvirtyje Telšių rajono savivaldybėje atliktų ir pateiktų derinti žemė sklypų kadastriniai matavimai. 2015 m. sausio – kovo mėnesiais patikrai buvo pateiktos 682 bylos, 2016 m. sausio – kovo mėnesiais – 437 bylos (1 lentelė). Nagrinėjant pateiktų žemės sklypų kadastro duomenų kokybę buvo analizuota: kiek patikrai pateiktų kadastrinių duomenų bylų buvo priimta ir kiek atmesta; kokios yra dažniausiai daromos matininkų klaidos.

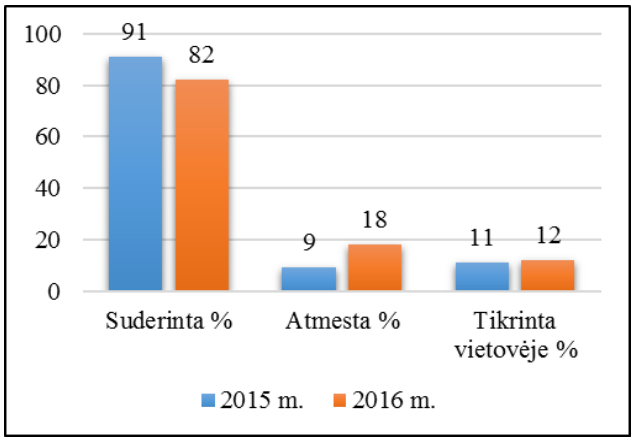
1 lentelė

Bylų skaičius 2015 ir 2016 metų pradžioje

Laikotarpis	Bylų skaičius			
	Pateikta	Atmesta	Suderinta	Tikrinta vietovėje
2015m. 01-03 mėn.	682	62	620	74
2016 m. 01-03 mėn.	437	80	357	51
Iš viso:	1119	142	977	125

Šaltinis: sudaryta autorės

Analizuojamuoju laikotarpiu iš viso patikrai buvo pateikta 1119 bylų. Iš jų 87 proc. buvo suderintos, 13 proc. – atmestos, tik 11 proc. bylų buvo tikrinamos vietovėje. 2016 m. patikrai pateikta 22 proc. mažiau bylų nei 2015 m. tuo pačiu metu. Pagal 2016 m. I ketvirtyje žemės sklypų kadastrinių matavimų ir žemės sklypų ribų ženklinimo tikrinimo vietovėje aktus nustatyta, kad 3 žemės sklypuose ribos paženklintos standartų reikalavimus neatitinkančiais riboženkliais arba žemės sklypų ribos visai nepaženklintos.

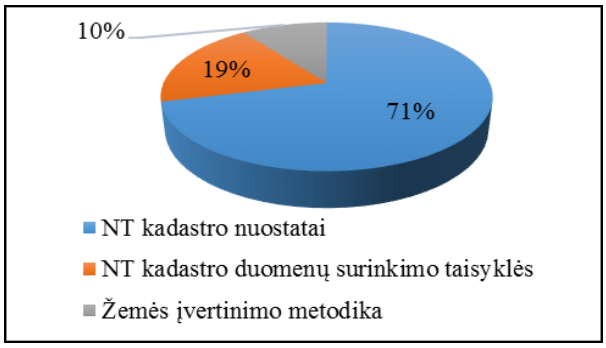


1 pav. Telšių rajono 2015 m. ir 2016 m. kadastro duomenų tikrinimo rezultatai
Šaltinis: sudaryta autorės

Lyginant analizuojamus duomenis (1 pav.) matome, kad 2015 m. suderinta 9 proc. daugiau bylų negu 2016 m. tuo pačiu laikotarpiu. Tačiau atmestų bylų skaičius dvigubai didesnis 2016 metų pradžioje. Tikrinamų vietovėje žemės sklypų kadastro bylų procentas nagrinėjamu laikotarpiu yra labai panašus.

Tyrimo metu buvo siekiama išsiaiškinti 2016 m. sausio – kovo mėnesiais kadastro duomenų bylose nustatytas klaidas. Nagrinėjant dažniausiai pasitaikančias klaidas nustatyta, kad atmestose bylose (80 bylų) buvo padaryti 178 pažeidimai, t. y. vienoje byloje užfiksuoti 2 ir daugiau pažeidimų. Tokios bylos sudarė 24 proc. atmestų bylų, 16 proc. taisymui grąžintų bylų nustatytos daugiau kaip 3 klaidos. Vienoje iš nagrinėjamų bylų nustatytos 6 klaidos.

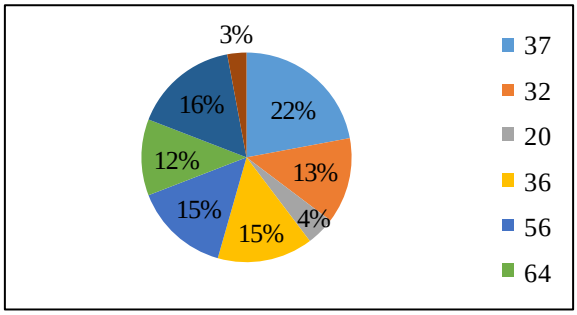
Analizuojant grąžintų taisymui žemės sklypų kadastro duomenų patikrinimo aktus pastebima tendencija, kad kai kurie pažeidimai kartojasi. 2 pav. pateikiama informacija apie dažniausiai kadastro duomenų bylose pasikartojančius teisės aktų nuostatų pažeidimus.



2 pav. Teisės aktų nuostatų pažeidimai 2016 m. sausio - kovo mėnesiais
Šaltinis: sudaryta autorės

2016 m. nagrinėjamuoju laikotarpiu taisyti grąžintose bylose buvo nustatyta 136 atvejai Nekilnojamojo turto kadastro nuostatų pažeidimų, 37 – Nekilnojamojo turto objektų kadastrinių matavimų ir kadastro duomenų surinkimo bei tikslinimo taisyklių pažeidimų ir 19 – Žemės įvertinimo metodikos pažeidimų. Netinkamas Nekilnojamojo turto kadastro nuostatų reikalavimų taikymas kadastro duomenų bylose sudarė net 71 proc. visų pažeidimų.

3 pav. pateikiama išsamesnė informacija apie Nekilnojamojo turto kadastro nuostatų netinkamą taikymą. Dažniausiai pasitaikantys neatitikimai yra 37, 21, 36 ir 56 punktų nuostatoms.



3 pav. Nekilnojamojo turto kadastro nuostatų pažeidimai 2016 m.
Šaltinis: sudaryta autorės

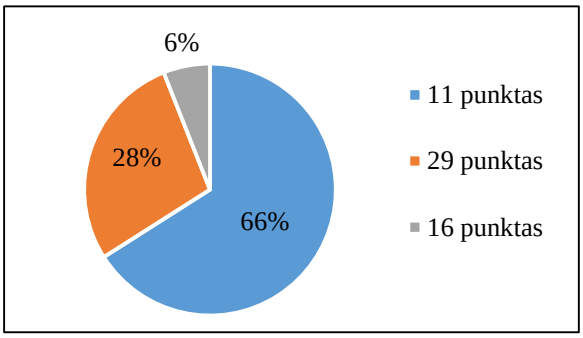
Nekilnojamojo turto kadastro nuostatų 36 ir 37 punktai reglamentuoja žemės sklypų planų sudarymo reikalavimus. Žemės sklypų planuose turi būti pažymėti šie objektai: žemės sklype arba greta jo esantys valstybinio arba vietinio geodezinio pagrindo punktai, riboženkliai (įrašomi numeriai), kiti ribų posūkių taškai (įrašomi numeriai), linijiniai situacijos elementai, su kuriais sutampa žemės sklypo ribos, žemės sklypo ribų linijos ilgiai tarp riboženklių, kartografuotos žemės naudmenos ir situacijos elementai, nekilnojamieji daiktai ir saugomos teritorijos, dėl kurių žemės sklypui taikomos specialiosios žemės naudojimo sąlygos, kiti žemės naudojimo apribojimai, taip pat žemės servitutai, pastatų (išskyrus laikinuosius) ir kitų statinių kontūrai, projektuojamų gatvių ir kitų susisiekimo sistemų projektinės linijos pagal patvirtintus teritorijų planavimo dokumentus ar žemės valdos projektus (Lietuvos Respublikos Vyriausybė, 2002).

Bylų tikrinimo aktuose dažniausiai buvo nurodomi šie planų parengimo neatitikimai: matininkas neteisingai nurodo gretimybes, nekoordinuoja ir žemės sklype neišbraižo statinių ribų arba riba kerta

įregistruotą statinį, neišlaikytas gatvės plotis, neteisingai nurodytas servitutas ir nustatytos specialiosios žemės ir miško naudojimo sąlygos, neteisingai nurodytas žemės sklypo adresas.

Nekilnojamojo turto kadastro nuostatų 21 punkte nurodoma, kad žemės sklypo ribos tarp ribų posūkio taškų turi sudaryti vieną uždarą kontūrą, pagal kurio ribų posūkio taškų koordinates apskaičiuojamas žemės sklypo plotas. Žemės sklypo plotas, apskaičiuotas nustačius nekilnojamojo daikto kadastro duomenis, atliekant kadastrinius matavimus tomis pačiomis ribomis naudojant tikslesnes nei ankstesnių matavimų priemones, gali skirtis nuo Nekilnojamojo turto registre įregistruoto žemės sklypo ploto arba teritorijų planavimo dokumente ar žemės valdos projekte suprojektuoto, bet neįregistruoto Nekilnojamojo turto registre žemės sklypo ploto ne daugiau kaip maksimali leistina (ribinė) ploto paklaida. Maksimali leistina ploto paklaida (nurodoma Nekilnojamojo turto kadastro nuostatų 1 priede) priklauso nuo sklypo ploto, naudojamos kartografinės medžiagos ir plano mastelio (Lietuvos Respublikos Vyriausybė, 2002). Neatitikimai šiam nuostatų punktui užfiksuoti 26 kartus. Nurodomi šie neatitikimai: sklypo konfigūracija neatitinka teritorijų planavimo dokumente suprojektuotoms riboms, sklypo bendras plotas viršija maksimalią leistiną paklaidą.

19 proc. visų pažeidimų sudaro netinkamas Nekilnojamojo turto objektų kadastrinių matavimų ir kadastro duomenų surinkimo bei tikslinimo taisyklių taikymas. Dažniausiai pasitaikantys neatitikimai – 16, 11 ir 29 punktams (4 pav.). 11 taisyklių punkte reglamentuojama, kad žemės sklypų kadastriniai matavimai atliekami pagal teritorijų planavimo dokumentus, patvirtintus žemės sklypų planus ar kitą geodezinę ar topografinę medžiagą. 16 taisyklių punkte nurodomos institucijos, su kuriomis turi būti suderinti žemės sklypų planai, 29 punkte – žemės sklypų ribų ženklinimo vietovėje ir koordinačių nustatymo reikalavimai.

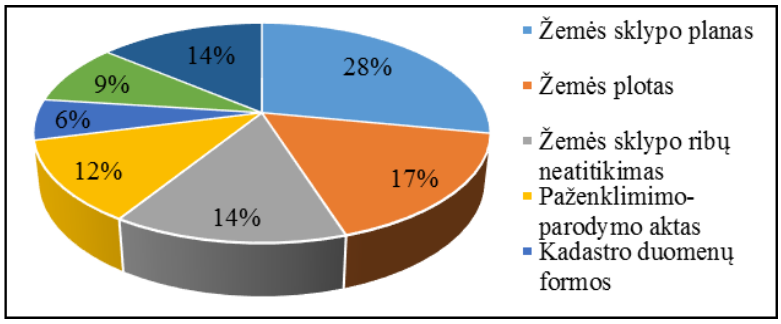


4 pav. Nekilnojamojo turto kadastrinių matavimų ir kadastro duomenų surinkimo ir tikslinimo taisyklių pažeidimai 2016 m.
Šaltinis: sudaryta autorės

Dažniausiai nustatomos šios nekilnojamojo turto kadastro duomenų surinkimo taisyklių klaidos: pasikeitusi sklypo konfigūracija, kuri neatitinka teritorijų planavimo dokumentuose suprojektuoto sklypo ribų, neatitinka sklypo ribų linijų ilgiai, netinkamai nurodyta kelio vieta, neteisingai užpildytas žemės sklypo ribų paženklinimo-parodymo aktas, neteisingai nurodomi žemės naudojimo apribojimai, žemės sklypo planas nesuderintas su atsakingomis institucijomis.

Neteisingai apskaičiuotos žemės sklypų mokestinės vertės (nominali vertė, vidutinė rinkos vertė) bei neteisingai parinkti vertiniai kriterijai ir koeficientai sudaro 14 proc. visų nustatytų klaidų. Net 22 proc. grąžintų taisyti bylų buvo nustatyti Žemės vertinimo metodikos taikymo pažeidimai.

Išanalizavus 2016 m. sausio – kovo mėn. patikrai pateiktų bylų aktus nustatyta, kad didžiausią dalį (28 proc.) visų klaidų sudaro neteisingai arba netinkamai parengti žemės sklypų planai ir (17 proc.) žemės sklypų planuose nurodytas žemės sklypo plotas viršija maksimalią leistiną paklaidą (5 pav.).



5 pav. Žemės sklypų kadastro duomenų tikrinimo aktuose nustatytos klaidos
Šaltinis: sudaryta autorės

Nekilnojamojo turto kadastrinius matavimus atlieka ir kadastro duomenų bylas pateikia valstybinės ir privačios įmonės bei asmenys, dirbantys geodezinių matavimų srityje. 2016 m. sausio – kovo mėnesiais Telšių rajono NŽT skyriui kadastro duomenų bylas patikrai pateikė 40 subjektų. Iš jų: 45 proc. – Uždarosios akcinės bedrovės, 37 proc. – Individualios įmonės, 10 proc. – valstybinės įmonės ir 8 proc. – mažosios bendrijos.

Siekiant nustatyti kadastro duomenis rengiančių asmenų darbų kokybę buvo pasirinktos 3 įmonės, kurios nagrinėjamuoju laikotarpiu patikrai pateikė daugiausiai bylų.

2 lentelė

2016 m. sausio – kovo mėn. patikrai pateiktos bylų skaičius Telšių rajone

Įmonės pavadinimas	Atmesta	Suderinta	Iš viso bylų
1 Įmonė	18	53	71
2 Įmonė	2	56	58
3 Įmonė	6	31	37
Iš viso	26	140	166

Šaltinis: sudaryta autorės

Daugiausiai bylų (71 bylą) pateikė 1 įmonė, tačiau 25 proc. iš jų yra taisytinos. 2 įmonė suderino 56 iš 58 pateiktų bylų, o 3 įmonės 16 proc. bylų buvo grąžintos taisyti. 2016 m. I ketvirčio laikotarpiu šios įmonės patikrai bendrai pateikė 166 bylas, iš jų 84 proc. buvo suderintos.

Išanalizavus dažniausiai pasitaikančias kadastro duomenų parengimo klaidas galima teigti, kad jų atsiradimo priežastis daugeliu atvejų lemia matininko atidumo stoka, normatyvinių teisės aktų nuostatų netinkamas taikymas, darbų nesuderinimas su teritorijų planavimo dokumentais. Darytina prielaida, kad pagrindiniai kadastrinių matavimų bylų trūkumai yra susiję su žemės sklypo plano parengimo neatitikimu teisės aktams. Klaidų susidarymo priežastis lemia ir nuolat besikeičiantys teisės aktai, kurių nuostatos ne vienu atveju prieštarauja viena kitai.

Išvados

1. Įvertinus 2015 m. ir 2016 m. sausio – kovo mėn. laikotarpiu Nacionalinės žemės tarnybos Telšių skyriui patikrai pateiktas žemės sklypų kadastro duomenų bylas nustatyta, kad 12,7 proc. neatitiko kadastriniams matavimams keliamų reikalavimų.
2. Atlikus žemės sklypų kadastro duomenų analizę nustatyta, kad pagrindinės klaidų atsiradimo priežastys – teisės aktų netinkamas taikymas, jų nežinojimas ar neišmanymas, taip pat matininko atsakingumo, atidumo ir duomenų tikslumo stygius. 2016 m. grąžintose taisyti bylose buvo nustatyta 71 proc. Nekilnojamojo turto kadastro nuostatų, 19 proc. – Nekilnojamojo turto objektų kadastrinių matavimų ir kadastro duomenų surinkimo bei tikslinimo taisyklių ir 10 proc. – Žemės įvertinimo metodikos pažeidimų. 28 proc. visų nustatytų klaidų sudaro neteisingai parengti žemės sklypų planai.

Literatūra

1. Balevičius, G; Kriaučiūnaitė-Neklejonovienė, V; Pupka, D. Žemės sklypų kadastriniai matavimai ir su jais susijusios problemos. Iš *Matavimų inžinerija ir GIS*: Respublikinė mokslinė – praktinė konferencijos pranešimų medžiaga Mastaičiai: Kauno kolegijos leidybos centras, 2012, p.42-46. ISSN 2029-5790.
2. Jonauskienė, I; Demčiuk, S. Daugiakriterinės analizės taikymas žemės sklypų kadastro duomenų kokybei vertinti. Iš *Geodezija ir kartografija.* Vilnius: Technika, 2009, 35(2), p. 66-71. [žiūrėta 2016-12-06] Prieiga per internetą: http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3846/1392-1541.2009.35.66-71
3. *Lietuvos Respublikos Nekilnojamojo turto kadastro įstatymas*. [interaktyvus], 2000-06-27 Nr. VIII-1764., aktuali redakcija 2016-05-01. [žiūrėta 2016 m. rugsėjo 15 d.]. prieiga per internetą: https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR. 72C31F8DD98E/RLZTAyjdgD
4. Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimas „*Dėl Lietuvos Respublikos kadastro nuostatų patvirtinimo*“ [interaktyvus], 2002-04-15 Nr. 534., aktuali redakcija nuo 2016-01-01. [žiūrėta 2016 m. rugsėjo 13 d.]. prieiga per internetą: https://www.e- tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.ABFF44B31A81/cEYiZZuGIX
5. Lietuvos Respublikos Žemės ūkio ministro įsakymas „*Dėl nekilnojamojo turto objektų kadastrinių matavimų ir kadastro duomenų surinkimo bei tikslinimo taisyklių*“ [interaktyvus], 2002-12-30, Nr.522, aktuali redakcija 2015-01-01. [žiūrėta 2016 m. rugsėjo 13 d.]. Prieiga per internetą: https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR. 0C92F245D907
6. *Lietuvos Respublikos Žemės įstatymas*. [interaktyvus], 2004-01-27, Nr.I-446., aktuali redakcija nuo 2016-06-03 [žiūrėta 2016 m. kovo 10 d.]. prieiga per internetą: https://www.e-tar.lt/portal/lt/ legalAct/TAR.CC10C5274343/ EUXByMJzwr
7. Nacionalinės žemės tarnybos prie Žemės ūkio ministerijos internetinis puslapis [žiūrėta 2016 m. rugsėjo 7 d.] Prieiga per internetą: www.nzt.lt

8. Sinkevičiūtė, V; Zareckaitė, M; Gudritienė, D. Žemės sklypų kadastro duomenų nustatymo klaidų analizė (Kauno rajono pavyzdžiu). Iš *Matavimų inžinerija ir GIS*: Respublikinė mokslinė – praktinė konferencijos pranešimų medžiaga Mastaičiai: Kauno kolegijos leidybos centras, 2012, p.73-75. ISSN 2029-5790.
9. Živatkauskas, A. Nekilnojamųjų daiktų kadastro duomenų nustatymo probleminiai aspektai. Iš *Matavimų inžinerija ir GIS:* Respublikinė mokslinė – praktinė konferencijos pranešimų medžiaga Mastaičiai: Kauno kolegijos leidybos centras, 2012, p.4-8. ISSN 2029-5790

QUALITY STUDY OF LAND PLOTS CADASTRAL DATA PREPARATION IN TELŠIAI AREA

Summary

Restituting property rights to land plots were performed preliminary measurements, so cadastral measurements arises land boundaries marking and cadastral data identification problems. The article analyses the most commonly made errors of land cadastral data. An overview of the laws of the Republic of Lithuania and scientific articles that define cadastral measurements of working methodology identifying land cadastral data errors making cadastral data file on cadastral measurements and related problems. In the study collected and analysed cadastral data files checking acts of Telšiai area. The most common mistakes made by surveyors: lack of requirement documents, incorrectly prepared ground plan of the site, incorrect calculation values, improper filled forms, surveyor inattention.

Key words: Land plot, real estate, cadastral data, surveyor, mistakes.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Gintarė Bunevičienė
Mokslo laipsnis ir vardas: -
Darbo vieta ir pozicija: Kauno kolegijos, Technologijų ir kraštotvarkos fakulteto, Geodezijos katedros lektorė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: nekilnojamojo turto kadastras, žemėtvarka.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 674 35933, gintare.buneviciene@go.kauko.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Gintarė Bunevičienė.
Science degree and name: -
Workplace and position: Kaunas University Of Applied Sciences, Technologies and Landscaping Faculty, Lecturer of Geodesy Depatment.
Author‘s research interests: Real estate cadastre, Land management.
Telephone and e-mail address: 8 674 35933, gintare.buneviciene@go.kauko.lt

UNIKALAUS GAMTINIO REZERVATO REKREACINĖS DIGRESIJOS TYRIMAS IR VERTINIMAS

[1]Lina Kuklienė, [1]Birutė Ruzgienė, [1,2]Dainora Jankauskienė, [1]Indrius Kuklys
[1]Klaipėdos valstybinė kolegija, [2]Kauno technologijos universitetas

Anotacija
Kuršių Nerijos nacionalinis parkas, kuriame yra net du gamtos rezervatai (Grobšto ir Naglių) - vienas įspūdingiausių Lietuvoje. Nepaisant visų apsaugos priemonių, jame vyksta gamtinės aplinkos kaita. Siekiant sustabdyti unikalaus kraštovaizdžio kitimą nuo 2014 metų pradėti tiriamos teritorijos geodeziniai matavimai. Matavimų metu nustatyta,kad 7 km teritorijoje vyksta linijinė rekreacinė digresija. Labiausiai eroduojama teritorija – smėlio kopos, kurių tūrio pokyčiai siekia iki 1680 m^3 (padidėjimas) ir 1760 m^3 (sumažėjimas). Remiantis rekreacinės digresijos įvertinimo Naglių gamtos rezervate duomenimis galima numatyti reikiamas priemones ir sprendimus siekiant išsaugoti kraštovaizdžio unikalumą.
Reikšminiai žodžiai: saugomos teritorijos, gamtos rezervatas, rekreacinė digresija, kartografavimas, GIS.

Įvadas

Kiekviena valstybė kuria savo šaliai būdingą saugomų teritorijų visumą, siekiant išsaugoti teritorijų biologinę įvairovę, gamtinius ir kultūrinius išteklius. Saugomos teritorijos apima aiškiai apibrėžtus sausumos ir (ar) vandens plotus, kurie turi pripažintą mokslinę, ekologinę, kultūrinę ir kitokią vertę ir kuriems teisės aktais nustatytas specialus apsaugos ir naudojimo režimas (tvarka) (Phillips 1998). Išskiriamos šešios saugomų teritorijų kategorijos: rezervatai, nacionaliniai parkai, gamtos paminklai, buveinių ir rūšių vietovės, kraštovaizdžio ar jūrų akvatorijos, gamtos išteklių teritorijos (Baltrėnas 2008).

Lietuvos saugomos teritorijos skirtos gamtai ir kultūros paveldo kompleksams, ekologinei pusiausvyrai ir biologinei įvairovei išsaugoti, gamtos ištekliams atkurti. Jose sudaromos sąlygos pažintiniam poilsiui, moksliniams tyrimams, gamtosauginiam ir etnokultūriniam švietimui. Lietuvoje saugomas teritorijas sudaro rezervatai, draustiniai, paveldo objektai ir valstybiniai parkai, kurie užima apie 14 % šalies teritorijos ploto (Valstybinė 2012). Lietuvos saugomos teritorijos formuojamos remiantis teisiniais reglamentais, nustatomos priežiūros, naudojimo ir tvarkymo taisyklės bei priemonės. Saugomų teritorijų planavimas yra svarbi kraštotvarkos tikslų ir uždavinių įgyvendinimo priemonė (Gurskienė 2008, Nekilnojamojo kultūros paveldo apsaugos įstatymas 2013, Saugomų teritorijų įstatymo pakeitimo įstatymas 2001).

Unikalus valstybinis parkas Lietuvoje – tai Kuršių nerijos nacionalinis parkas. Kuršių nerija 2000 metais įtraukta į UNESCO pasaulio paveldo sąrašą kaip kultūrinio kraštovaizdžio objektas. Kuršių nerijos parke yra du gamtiniai rezervatai (Grobšto ir Naglių). Naglių rezervate (1.7 tūkst. ha plote) saugoma charakteringa pajūrio palvė, marių smėlio ragai ir pilkųjų kopų kopagūbris su retais augalais. Lankytis šiame gamtos rezervate leidžiama tik mokslo tiriamaisiais, mokomaisiais ar pažintiniais tikslais. Nepaisant visų priimtų apsaugos priemonių Naglių gamtiniam rezervatui išsaugoti, jame vyksta gamtinės aplinkos (ekosistemų) kokybės ir kiekybės savybių bei kraštovaizdžio ir biologinės įvairovės kaita (rekreacinė digresija), atsirandanti dėl žmogaus rekreacinės veiklos (lankymosi, poilsiavimo, rekreacinės paskirties objektų įrengimo). Naglių gamtos rezervate vizualinė rekreacinės digresijos stebėsena vykdoma nuo 2005 m. Aktualu stebėjimus atlikti kelis kartus per metus: prieš vasaros sezoną ir po jo, nes šio sezono metu Kuršių nerijos nacionaliniame parke ženkliai išauga lankytojų skaičius.

Tyrimo objektas - Kuršių Nerijos Naglių gamtos rezervato rekreacinė digresija.

Tyrimo tikslas – įvertinti Kuršių Nerijos Naglių gamtos rezervato rekreacinę digresiją.

Tyrimo uždaviniai:

1) atlikti Naglių gamtos rezervato rekreacinės digresijos geodezinius matavimus bei vizualinę stebėseną;
2) sukurti rezervato rekreacinės digresijos skaitmeninį žemėlapį; įvertinti Kuršių marių kranto linijos kitimą.

Tyrimas atliktas taikant skirtingus kraštovaizdžio stebėsenos, lauko matavimo rezultatų analizės kartografavimo bei GIS metodus, taip pat gautų duomenų grafinio vaizdavimo bei palyginimo metodą.

Rekreacinės digresijos matavimo metu surinkti ir vektorizuoti erdviniai duomenys integruoti į bendrą erdvinių duomenų rinkinį, kuriame buvo atlikta analizė ir nustatyta, kokių reikia imtis priemonių, norint sustabdyti rekreacinę digresiją bei Naglių gamtinio rezervato kopų slinkimąsi į marių pusę.

Technologinių procesų esmė

Visų saugomų teritorijų duomenys kaupiami valstybės kadastro informacinėje sistemoje, kurios paskirtis yra rinkti, kaupti, apdoroti, sisteminti, saugoti, naudoti ir teikti saugomų teritorijų kadastro duomenis. Geoinformacinių sistemų pagrindu darbui su saugomų teritorijų kadastro (STK) duomenimis naudojamos dvi programinės įrangos – „STK Registratorius“ bei „STK Internet GIS“ (Kriaučiūnienė 2008). Programinė įranga „STK Registratorius” susideda iš dviejų modulių: “STK Vartotojas” ir “STK Admin”. “STK Vartotojas” tai įrankių (ArcMap aplinkoje) rinkinys skirtas darbui su duomenimis ir leidžia atlikti jų valdymą: įvedimą, registravimą, koregavimą, išregistravimą, šalinimą, istorijos kaupimą, ataskaitų kūrimą, nuotraukų ir dokumentų prijungimą. „STK Admin” įrankių rinkinys (ArcGIS (ArcCatalog) aplinkoje) skirtas duomenų rinkiniams administruoti: autorizuotiems vartotojams valdyti, ArcGIS klasifikatoriams (*domain*) sinchronizuoti, rūšiuoti, duomenų teikėjams tvarkyti.

Viena iš pagrindinių informacinės sistemos dalių yra „STK Internet GIS” taikomoji programinė įranga skirta duomenims pateikti internete. Ši programinė įranga leidžia peržiūrėti žemėlapius, naudojant žemėlapio valdymo (navigavimo) įrankius, atliekant užklausas pagal saugomų teritorijų pavadinimą, miesto, miestelio, gyvenvietės pavadinimą, savivaldybės pavadinimą, gauti saugomų teritorijų objekto atributinę informaciją.

Pagrindinės funkcijos, tvarkant saugomų teritorijų kadastrinius duomenis: kadastro objektų registravimas; ribų tikslinimas bei klaidų taisymas; kadastro duomenų teikimas; teminių žemėlapių sudarymas, spausdinimas, kaupimas ir teikimas; statistinės informacijos kaupimas ir teikimas; ribų tikslinimas standartinėmis ArcGIS priemonėmis.

Priklausomai nuo vietovės ypatumų digresijos pobūdis išskiriamas į (Jasinavičiūtė 2014):

- taškinį – pasireiškia nedidelio ploto (paprastai iki 0,5 ha, bet ne daugiau kaip 1,0 ha) savavališkose stovyklavimo, poilsiavimo, iškylavimo, laužų deginimo, žvejybos, automobilių buvimo, maudymosi ir kitose vietose, taip pat teritorijose aplink lankomus gamtos ir/ar kultūros paveldo objektus.
- linijinį – pasireiškia pailgos, linijinės formos teritorijose, paprastai vandens telkinių pakrantėse, paplūdimių užnugarinėje pusėje, taip pat greta pažymėtų ir/ar pagerintos dangos pažintinių, mokomųjų, turistinių trasų.

Situacijos pažeidimo laipsnis klasifikuojamas:

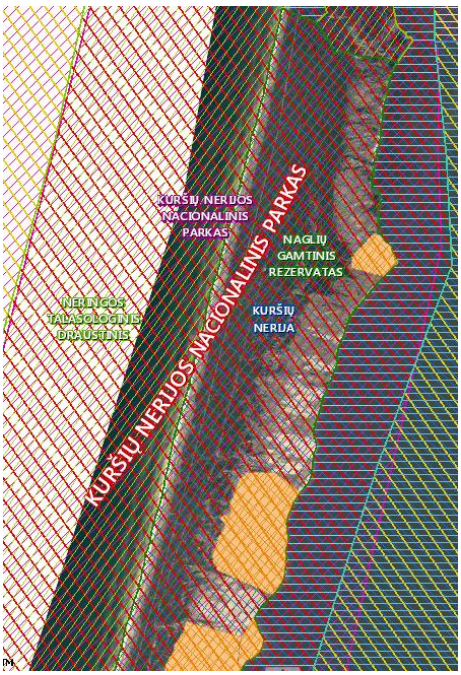
- mažas – pasireiškia sumenkėjusia, mažiau pažeista, iš dalies išdžiūvusia (30 % nuo digresijos apimto ploto) ir ištrypta augaline žolių ir/ar samanų danga.
- vidutinis – pasireiškia iš dalies sunykusia, išdžiūvusia (30 - 70 % nuo digresijos apimto ploto) ištrypta ir/ar išvažinėta augaline žolių ir/ar samanų danga, ardomu (pažeistu) dirvožemio viršutiniu sluoksniu, prasidėjusiais pakenkimais medžiams ir/ar krūmams (dalinis išdžiūvimas), epizodine žemės ir vandens erozija bei dalies krantų lokaliniu ardymu, kt.
- didelis – pasireiškia beveik ar visiškai sunykusia (virš 70 % nuo digresijos apimto ploto) augaline žolių ir/ar samanų danga, nutryptu ar mechaniškai nuardytu dirvožemiu (atviru gruntu), atsivėrusiomis medžių šaknimis, išdžiūvusiais medžiais ir/ar krūmais, vykstančia žemės ir vandens erozija, progresuojančiu vandens telkinių krantų ardymu, kt.

Rekreacinės digresijos laipsniui ir pobūdžiui nustatyti taikytas vizualinės stebėsenos būdas.

Rekreacinės digresijos stebėsena ir vertinimas

Rekreacinės digresijos stebėjimų (eksperimentinis) objektas Kuršių nerijos Naglių gamtos rezervatas, kuris užima 1669,01 ha ploto ir tęsiasi 9 km tarp Juodkrantės ir Pervalkos gyvenviečių (1 pav.). Per jį eina dviračių takas, pažintinis takas, įrengtos automobilių stovėjimo aikštelės. Rezervato teritorijoje draudžiama bet kokia žmogaus veikla, tik leidžiama rengti mokslinius stebėjimus bei tyrimus.

Didesnę Naglių gamtinio rezervato dalį užima miškai, todėl pasirinktieji pavieniai miško kvartalai yra rekreacinės digresijos stebėsenos plotai. Stebėsena atlikta prie apsauginio kopagūbrio, esančio dviračių tako (64-70 kvart.), taip pat ties trečiąja stovėjimo aikštele į marių pusę (79 kvart.) ir ties ketvirtąja stovėjimo aikštele į pajūrio pusę (88-90 kvart.) (2 pav.).



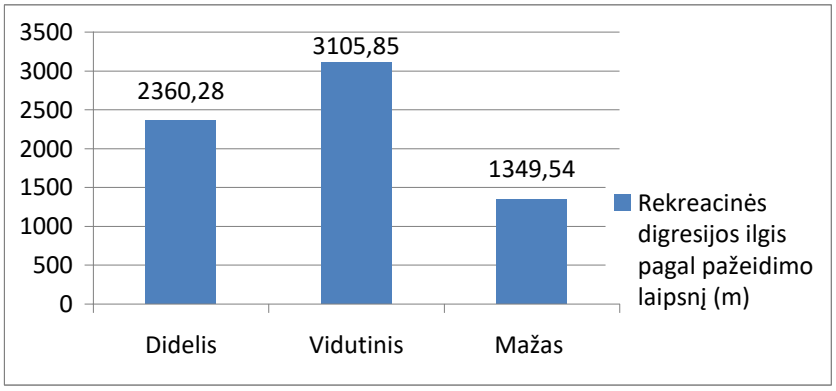
1 pav. Naglių gamtos rezervatas Kuršių nerijoje
Šaltinis: www.geoportal.lt

2 pav. Digresijos stebėsenos lokalizacija Naglių gamtos rezervato miško masyvų kvartalai
Šaltinis: sudaryta autorių pagal ORT10LT duomenis

Vizualinei kraštovaizdžio struktūrai bei atskirų jo komponentų būklei ir kitimo procesams vertinti 2010 - 2015 metų laikotarpiu atliktas situacijos (erdvių) fotografavimas (fotofiksacija). 3 pav. pateikti rekreacinės digresijos fotofiksacijos fragmentai.

3 pav. 2010 ir 2015 (viršuje) bei 2012 ir 2015 metų rekreacinės digresijos vizualinės stebėsenos (fotofiksacijos) rezultatų fragmentai 79 ir 68 kvartaluose
Šaltinis: sudaryta autorių

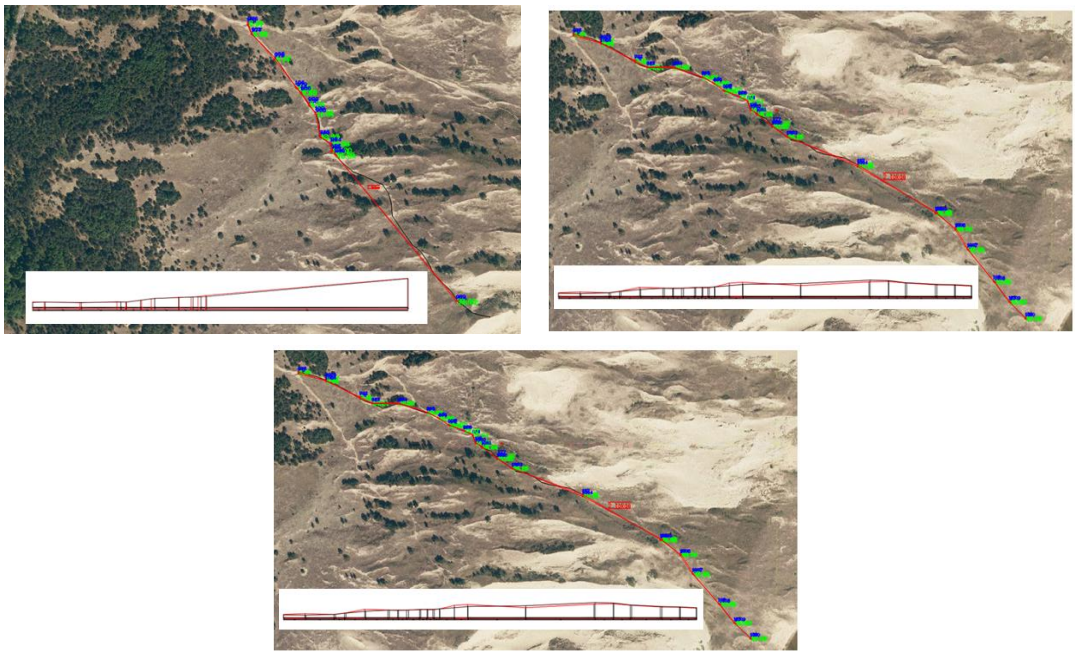
Vizualinės stebėsenos (fotofiksacijos) būdu nustatytos rekreacinės digresijos vietos, kuriose yra ryškūs pakitimai šalia dviračių tako ir ties antrąją automobilių stovėjimo aikštele pajūrio pusėje (68-55 kvart., 2 pav.). Visame stebėjimų objekte aptikta tik linijinė rekreacinė digresija. Nustatyta, kad rezervate esančių takų rekreacinės digresijos pažeidimo laipsnis yra trijų rūšių: mažas, vidutinis ir didelis. 4 pav. pateikti linijinės digresijos įvertinimo pagal takų ilgį ir pažeidimo laipsnį rezultatai.



4 pav. Takų linijinės digresijos įvertinimo pagal pažeidimo laipsnį diagrama
Šaltinis: sudaryta autorių

Gamtos rezervate rekreacinė digresija aptikta septyniose vietose: keturios nuo pagrindinio kelio link jūros, kitos trys – link marių. Didžiausia rekreacinė digresija (3326,07 m) užfiksuota ties trečiaja automobilių stovėjimo aikštele marių pusėje (79 kvart.). Mažiausia digresija (428,77 m) ties 4-ta automobilių aikštele marių pusėje (89 kvart.). Šioje vietoje yra įrengtas pažintinis takas. Naglių gamtos rezervate bendras rekreacinės digresijos ilgis – 6815,67 m.

Eksperimentiniame objekte rekreacinė digresija daro labai didelę žalą rezervaciniams smėlynams. Kopose išminti takai naikina augaliją ir gyvūniją bei skatina smėlio slinkimą. Todėl įvertintas kopų pokytis nuo 2010 iki 2015 metų. Daugiausiai eroduojančioje teritorijoje (79 kvart.) yra trys ilgiausi takai (ties trečia automobilių stovėjimo aikštele marių pusėje), kurie veda link nuostabaus kraštovaizdžio ir yra gausiai lankomi. "GeoMap" programine įranga sudaryti šių takų išilginiai profiliai (5 pav.). Naudojantis sudarytaisiais takų išilginiais profiliais, atlikta rekreacinės digresijos analizė, kurios duomenys pateikti 1-moje lentelėje.



5 pav. Daugiausiai eroduojančioje teritorijoje esančių takų išilginiai profiliai
Šaltinis: sudaryta autorių pagal ORT10LT duomenis

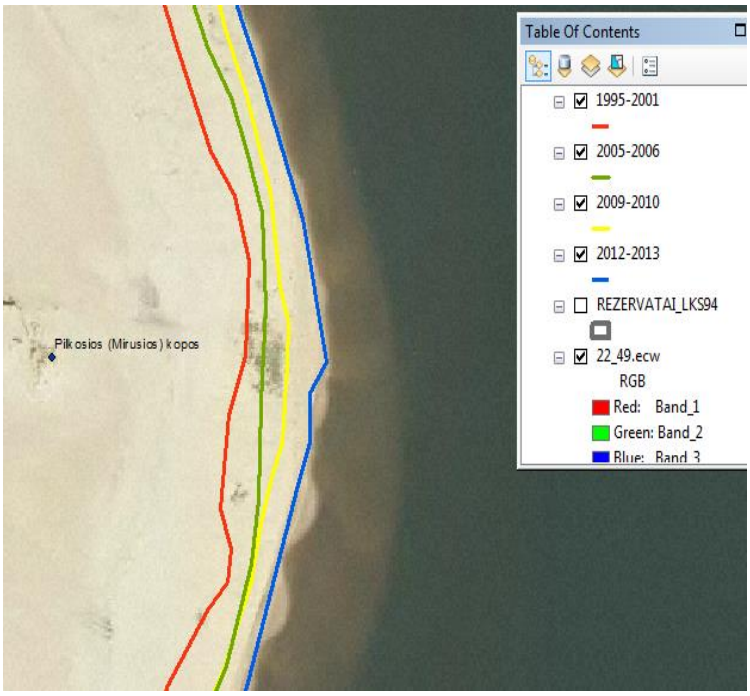
1 lentelė

Kopų kitimo analizė pagal išilginių profilių duomenis

Tako nr.	Smėlio tūris (m^3)		Prieaugis (m^3)	Aukščių pokytis (m)	
	padidėjimas	sumažėjimas		min.	max.
1	551,47	42,73	508,74	-0,62	1,28
2	1616,75	1763,26	-146,51	-3,50	5,00
3	1139,65	185,04	954,61	-1,65	5,68

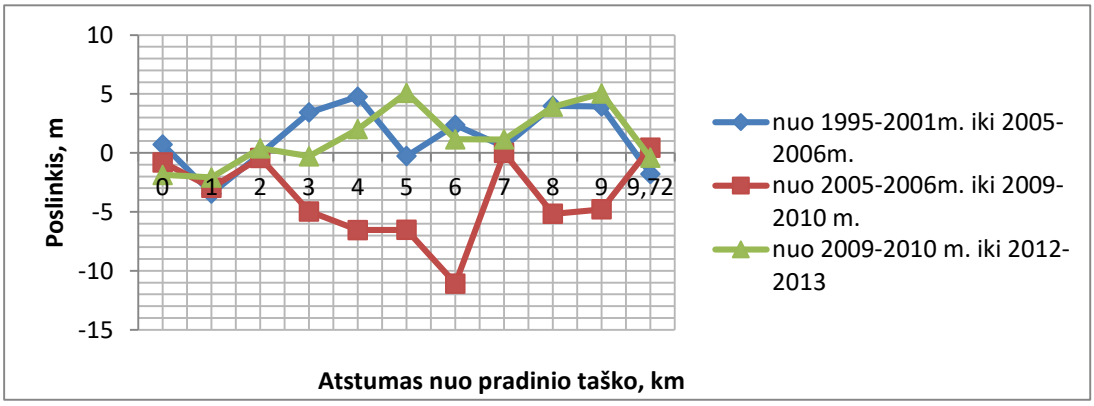
Šaltinis: sudaryta autorių

Gamtos rezervato rekreacinės digresijos skaitmeniniam žemėlapiui sukurti naudotasi georeferenciniais duomenų rinkiniais ORT10LT, GDR10LT, SŽNS_DR10LT ir SEŽP_0,5LT; bei linijinės rekreacinės digresijos charakteringose vietose parinktų taškų geodezinių matavimų vietovėje rezultatais. Tikslūs geodeziniai matavimai GPNS (imtuvas GeoMax Zenith25) įranga atlikti šiose teritorijose: prie apsauginio kopagūbrio esančio dviračių tako (55-70 kvart.), ties antra automobilių stovėjimo aikštele į marių pusę (69 kvart.), taip pat ties trečiąja stovėjimo aikštele į marių pusę (79 kvart.) ir į pajūrio pusę (78 kvart.), ties ketvirtąja stovėjimo aikštele į pajūrio pusę (88-90 kvart.) ir į marių pusę (89 kvart). Užkoordinuoti 233 taškai, kurie išdėstyti linijinės rekreacinės digresijos pradžioje, pabaigoje ir plačiausiose vietose.



6 pav. Vektorizuotų 4-ių laikotarpių (1995–2001, 2005–2006, 2009–2010, 2012–2013) kranto linijų fragmentas
Šaltinis: sudaryta autorių pagal ORT10LT duomenis

Daugiausia rezervacinių smėlynų Naglių gamtos rezervate yra Kuršių marių pusėje. Nelegalus žmonių lankymasis Naglių gamtos rezervato kopose yra vienas iš veiksnių, kuris skatina kranto kitimą.

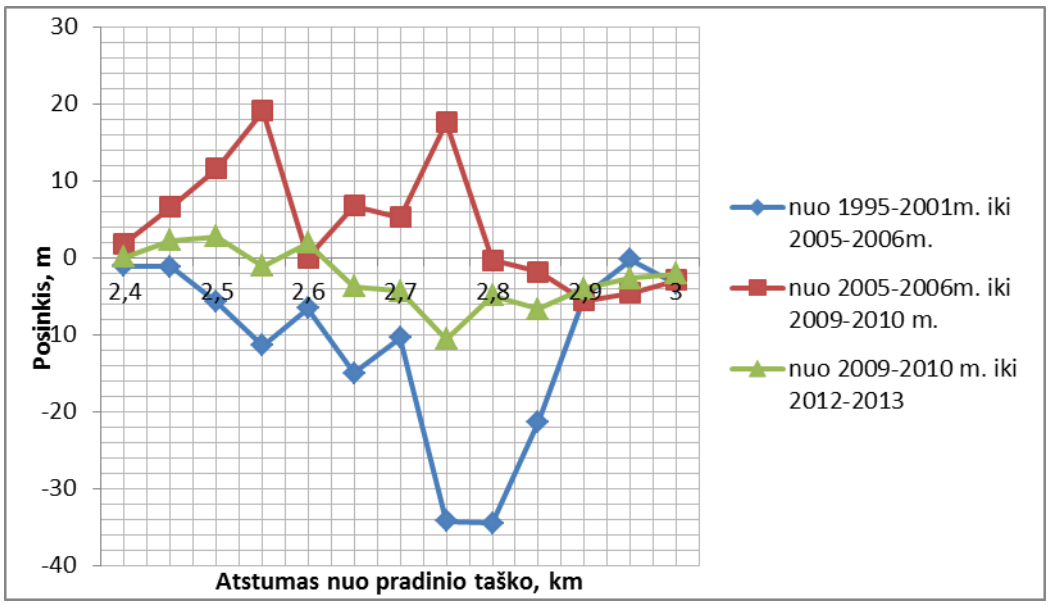


7 pav. Kuršių marių kranto poslinkis Naglių gamtiniame rezervate
Šaltinis: sudaryta autorių

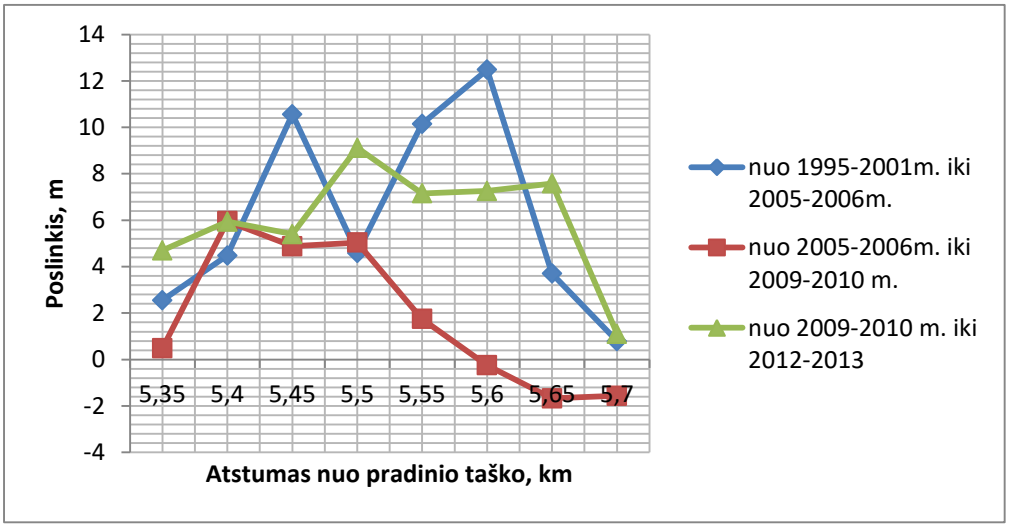
Kuršių marių kranto linijos kitimui įvertinti atliktas kranto linijos vektorizavimas naudojant skirtingų laikotarpių (1995–2001, 2005–2006, 2009–2010, 2012–2013) ortofotografinius žemėlapius (6 pav.). „ArcMap“ programine įranga nustatytas kranto poslinkis kas 1 km arba kas 50 m.

Kuršių marių kranto poslinkiui nustatyti pasirinkta 11 taškų. Nustatyti poslinkių dydžiai pateikti 6-ame pav.

Siekiant tiksliau įvertinti kranto kitimą, tose vietose, kuriose nustatytas didžiausias pokytis (nuo 2,4 iki 3-čio km ir nuo 5,35 iki 5,7 km), poslinkio dydis nustatytas kas 50 m. Poslinkių dydžiai pateikti 8 ir 9 paveiksluose.



8 pav. Naglių (Agilos) rago kranto poslinkis
Šaltinis: sudaryta autorių



9 pav. Marių kranto poslinkis prie pilkųjų (mirusių) kopų
Šaltinis: sudaryta autorių

Pagal 7, 8 ir 9 pav., pateiktus duomenis matyti, kad nuo 1995-2001 metų iki 2005-2006 metų Kuršių marių kranto linija ties Naglių (Agilos) rago krantu sumažėjo net 34,53 m. Didžiausias poslinkis Naglių gamtiniame rezervate nustatytas ties pilkosiomis (mirusiomis) kopomis, lyginant 2005-2006 metų ir 2009-2010 metų duomenis, krantas marių link pasistūmėjo iki 19,10 m.

Išvados

1. Rekreacinės digresijos skaitmeniniam žemėlapiui sukurti reikalingi įvairūs duomenų šaltiniai: georeferenciniai duomenų rinkiniai (ORT10LT, GDR10LT, SŽNS_DR10LT ir SEŽP_0,5LT, kt.) bei tikslių geodezinių matavimų rezultatai.
2. Atlikus rekreacinės digresijos vertinimą Naglių gamtiniame rezervate (apie 9 km ilgio ir 3 km pločio), nustatyta bendra rekreacinė digresija vietovės linijinio objekto ilgiui – 6815,67 m (76 %), didelis rekreacinės digresijos laipsnis 2360,28 m (26 %).
3. Labiausiai eroduojama teritorija yra ties trečia stovėjimo aikštele (žr. 2 pav.) Kuršių marių pusėje. Pagal sudarytus šioje vietoje takų išilginius profilius nustatyti didžiausi pokyčiai: smėlio tūris padidėjo iki 1677 m^3, o sumažėjo (nuslinko) 1763 m^3.
4. Nustatyta, kad Naglių gamtos rezervate Kuršių marių kranto linija nuo 1995 iki 2005 metų ženkliai kito (žr. 7, 8, 9 pav.).

5. Rekreacinės digresijos stebėsenos ir tyrimų metu surinktieji duomenys GIS technologijų pagalba integruojami į bendrą erdvinių duomenų rinkinį. Atlikus šių duomenų analizę, nustatomos būtinos priemonės, siekiant sustabdyti nepageidaujamuos kraštovaizdžio kitimus unikaliame gamtos rezervate.

Literatūra

1. Jasinavičiūtė, A. 2014. *Valstybinių parkų kraštovaizdžio monitoringas:* patarimai. Vilnius.
2. Baltrėnas, P.; Butkus, D.; Oškinis, V.; Vasarevičius, S.; Zigmontienė, A. 2008. *Aplinkos apsauga*. Vilnius:Technika. 576 p.
3. Gurskienė V.; Tarvydienė, M. 2008. *Teritorijų planavimas.* Kaunas, Ardiva.
4. Phillips, A. 1998. Economic Values of Protected Areas. United Kingdom. https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/PAG-002.pdf. (2016.01.09).
5. Nekilnojamojo kultūros paveldo apsaugos įstatymas. Lietuvos Respublikos Vyriausybė. 2013. Valstybės žinios: Nr. 111-5489.
6. Saugomų teritorijų įstatymo pakeitimo įstatymas. Lietuvos Respublikos Seimo nutarimas. 2001. Valstybės žinios: Nr. 108-3902.
7. Kriaučiūnienė, J. 2008. Sėkmės istorija: GIS taikymas saugomų teritorijų valstybės kadastro informacinėje sistemoje. http://www.softconsulting.lt/straipsniai/sekmes_istorija_gis_taikymas_saugomu_teritoriju_valstybes_kadastro_informacineje_sistemoje/ (2015.05.09).
8. Valstybinė saugomų teritorijų tarnyba prie Aplinkos ministerijos. Apie saugomų teritorijų sistemą. 2012. http://www.vstt.lt/VI/index.php#r/75. (2016.01.23).

THE RESEARCH AND EVALUATION OF RECREATIONAL DIGRESSION OF UNIQUE NATURE RESERVATION

Summary

One of the most spectacular national parks in Lithuania - the Curonian Spit National Park, where are two nature reservations: Grobstas and Nagliu. Despite of all the conservacy means for nature recerations preservation, there is going the natural environment change (recreational digression) arising because of human recreational activities. In order to stop unwanted changes of unique landscape, it is important properly to evaluate the recreational digression and its dimention. The experimental object for recreational digression monitoring - the Nagliu nature reservation. There is designe the system for landscape changes evaluation regarding qualitative and quantitative characteristics. This system is aprooved by monitoring, measuring and mapping methods. After analysis of the monitoring of recreational digression results during the four-year period, there was determined the degree and character of digression as well as using GIS technologies was developed spatial data set - an effective tool for assessment of the current situation. Using GPNS equipment the geodetic measurements have been performed for determination of precise positions. At the experimental area the recreational digression is linear; its total length is about 7 km. The most suffered by erosion area are sand dunes, which volume seeks to change to 1680 m^3 (increase) and 1760 m^3 (decrease) and a height of 5.6 m has changed. After analysis of Gulf coast line changes during the four-year period, the resulting biggest change of coastline is of 34.5 m, coastline is shifted towards the lagoon at the most about 19 m. Based on the assessments data of recreational digression at the Nagliu nature reservation, there can be provided the necessary tools and solutions to preserve the uniqueness of the landscape.

Key words: protected areas, nature reservation, recreational digression, mapping, GIS.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Lina Kuklienė
Mokslo laipsnis ir vardas: magistrė, lektorė
Darbo vieta ir pozicija: Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Aplinkos ir statybos inžinerijos katedros lektorė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: teritorijų planavimas, geoinformacinės sistemos erdvinių duomenų rinkiniai, matavimų tikslumo įvertinimas.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 8 655 46545, l.kukliene@kvk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Birutė Ruzgienė
Mokslo laipsnis ir vardas: daktarė, docentė
Darbo vieta ir pozicija: Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Aplinkos ir statybos inžinerijos katedros docentė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: skaitmeninis fotogrametrinis kartografavimas, fotografinių vaizdų interpretavimas, nuotolinių tyrimų duomenų klasifikacija.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 699 35344, b.ruzgiene@kvk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Dainora Jankauskienė
Mokslo laipsnis ir vardas: magistrė, docentė

[1]**Darbo vietą ir pozicija:** Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Aplinkos ir statybos inžinerijos katedros vedėja.
[2]**Darbo vietą ir pozicija:** Kauno technologijos universitetas, doktorantė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: teritorijų planavimas, geoinformacinės sistemos erdvinių duomenų rinkiniai, matavimų tikslumo įvertinimas, deformacijos.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 682 43282, d.jankauskiene@kvk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Indrius Kuklys
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorius
Darbo vieta ir pozicija: Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Aplinkos ir statybos inžinerijos katedros lektorius.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: teritorijų planavimas, geoinformacinės sistemos erdvinių duomenų rinkiniai, matavimų tikslumo įvertinimas.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 8 655 46545, i.kuklys@gmail.com

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Lina Kuklienė.
Science degree and name: master, lecturer.
Workplace and position: Klaipėda State University of Applied sciences, Faculty of Technologies, Department of Environmental and Civil Engineering, lecturer.
Author's research interests: spatial planning, geoinformation systems, spatial data sets, accuracy of measurement.
Telephone and e-mail address: +370 8 655 46545, l.kukliene@kvk.lt

Author name, surname: Birutė Ruzgienė
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Klaipėda State University of Applied sciences, Faculty of Technologies, Department of Environmental and Civil Engineering, associated professor.
Author's research interests: digital photogrammetric mapping, image interpretation, feature extraction from remote sending data.
Telephone and e-mail address: +370 699 35344, b.ruzgiene@kvk.lt

Author name, surname: Dainora Jankauskienė.
Science degree and name: master, associated professor.
[1]**Workplace and position:** Klaipėda State University of Applied sciences, Faculty of Technologies, Department of Environmental and Civil Engineering, associated professor, Head of Department.
[2]**Workplace and position**: Kaunas university of technology, PhD student.
Author's research interests: spatial planning, geoinformation systems, spatial data sets, accuracy of measurement, deformation.
Telephone and e-mail address: +370 8 655 46545, d.jankauskiene@kvk.lt

Author name, surname: Indrius Kuklys.
Science degree and name: master, lecturer.
Workplace and position: Klaipėda State University of Applied sciences, Faculty of Technologies, Department of Environmental and Civil Engineering, lecturer.
Author's research interests: spatial planning, geoinformation systems, spatial data sets, accuracy of measurement.
Telephone and e-mail address: +370 8 655 46545, i.kuklys@gmail.com

GEOSINTETINIŲ BETONO KLOJINIŲ PANAUDOJIMAS HIDROTECHNIKOS STATINIŲ ŠLAITŲ IR POVANDENINĖS DALIES TVIRTINIMUI

Raimondas Šadzevičius, Regina Motienė, Ona Blankienė
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Hidrotechnikos statiniams (toliau – HTS) būdingas nuolatinis kontaktas su vandens aplinka, kuri dažnai ardo šlaitus ir dugną, todėl juos reikia sutvirtinti. Pasaulyje, Europoje, ypač Skandinavijoje, HTS statybai, remontui ir rekonstrukcijai dažnai naudojami geosintetiniai betono klojiniai (toliau – GBK). Lietuvoje, dėl trūkstamos tyrimų bazės, bei mažo įgyvendintų projektų kiekio, ši nauja betonavimo technologija HTS yra retai taikoma. Darbe atlikta informacijos (apie optimalių geosintetinių betono klojinių geometrinių parametrų nustatymą) analizė. Remiantis Lietuvoje įrengtų GBK analize, pateikta tipinių įrengimo schemų/ mazgų/siūlių, panaudojant geosintetinius betono klojinius, Lietuvos HTS detalizavimas. Atlikta optimalios betono sudėties ir specifikacijų, naudojant jį geosintetiniuose betono klojiniuose Lietuvos HTS laboratorinė analizė.

Reikšminiai žodžiai: geosintetiniai betono klojiniai, hidrotechnikos statiniai, tvirtinimas.

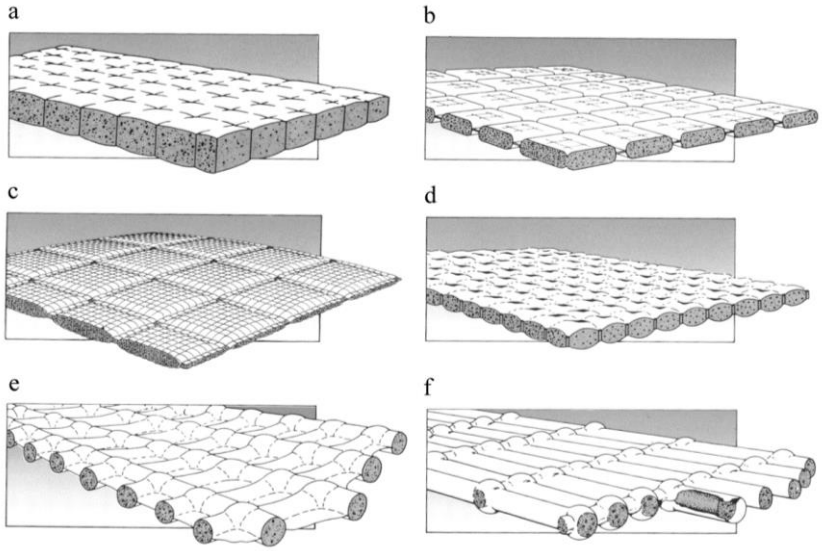
Įvadas

Išskirtinė hidrotechnikos statinių ypatybė – vandens aplinka, kuri įtakoja HTS, jo pagrindą bei artimąją aplinką gali veikti mechaniškai, fiziškai, chemiškai ir biologiškai. Skaičiuojant HTS poveikius ir apkrovas, pagrindinę reikšmę turi vandens mechaninis poveikis, kuris būna statinis (hidrostatinis, geofiltracinis bei ledo dangos slėgiai) ir dinaminis (audringų tėkmių, čiurkšlių ir bangų poveikiai, ledo lyčių ir hidrauliniai smūgiai, vibracija, geofiltracinės tėkmės poveikiai gruntams) (STR 2.02.06:2004; STR 2.05.15:2004). Saugant hidrotechnikos statinių šlaitus ir dugną jie sutvirtinami, tačiau skiriasi jų tvirtinimo medžiagos, konstrukcijos, tvirtinimo technologijos. Tvirtinimas priklauso nuo išorinių poveikių ir apkrovų veikiančių konkretų šlaitą, HTS tipo, statinio pasekmių klasės ir eilės kt. veiksnių. Pagal darbų vykdymo pobūdį galima išskirti tokius šlaitų ir krantų tvirtinimo būdus (ST 120793378.05:2015; Vaišvila ir kt., 2001: a, b; Šadzevičius, 2001: b) gelžbetonio (betono) plokštėmis; akmenimis; gabionais; bituminėmis dangomis; žabų čiužiniais; fašinomis; figūriniais blokais; velėnomis; tvirtinimas kitomis medžiagomis (lankstus tvirtinimas):

- ląstelinėmis sistemomis (neaustinė ir austinė geosintetika);
- geotinklais;
- betono čiužiniais;
- betoniniais blokeliais.

Kiti HTS krantų tvirtinimo būdai nurodyti literatūroje (ST 3209092.01:2003; Skerys, 2010; Christauskas, 2010 ir kt.).

Betono čiužinių pagrindiniai tipai pavaizduoti 1 paveiksle.



1 pav. Tvirtinimas betono čiužiniais: *a* – standartiniai; *b* – plokštieji; *c* – liaunieji; *d* – FP tipo; *e* – gardeliniai; *f* – vamzdiniai
Šaltinis: ST 120793378.05:2015 Hidrotechninės statybos darbai

Pastabėtus defektus ir pažaidas geosintetinių betono klojiniuose pritaikant Nynäshamno (Švedija) jūrų uoste, dugno ir šlaitų tvirtinime, 2009 metais apibendrino švedų tyrėjas Overödder. Laivų sraigtų sukelti paplovimai ir GBK pritaikymas apsaugai nuo paplovimų aptarti darbuose (Raes et al, 1996; Pilarczyk, 2000). Amerikiečių tyrėjų atliktų kanalų ruožų tvirtinimo įvairiomis medžiagomis ir būdais (palyginant techniniu ir ekonominiu požiūriu) tyrimų rezultatai pateikti literatūroje (R–99–06). Lietuvoje, dėl trūkstamos tyrimų bazės, bei mažo įgyvendintų projektų kiekio, GBK įrengimas HTS yra retai taikomas.

Tyrimo objektas – geosintetiniai betono klojiniai.

Tyrimo tikslas – ištirti geosintetinių betono klojinių tinkamumą Lietuvos hidrotechnikos statinių šlaitų ir povandeninės dalies tvirtinimo konstrukcijų statybai, remontui ir rekonstrukcijai.

Tyrimo uždaviniai:

1. Įvertinti geosintetinių betono klojinių optimalius geometrinius parametrus pritaikant Lietuvos hidrotechnikos statiniams.
2. Detalizuoti tipines įrengimo schemas/mazgus/siūles panaudojant geosintetinius betono klojinius Lietuvos HTS statybai, remontui ir rekonstrukcijai.
3. Ištirti ir pateikti rekomendacijas dėl optimalios betono sudėties ir specifikacijos, naudojant jį geosintetiniams betono klojiniams, įrengiant Lietuvos HTS betonavimui po vandeniu, virš vandens, šlaite, dugne.

Tyrimo metodai: laboratoriniai tyrimai, projektų analizė.

1. Geosintetinių betono klojinių parametrai

Gelžbetoninių krantinių statybai ar paviršių remontui yra skirti Norvegijos firmos TeleTextiles geosintetiniai klojiniai FlexiTex®. Tai iš tankios ir stiprios austinės geotekstilės pagaminti specialios struktūros čiužiniai, užpildyti didelio slankumo betonu. Tarpusavyje šie klojiniai susiūti arba sujungti užtrauktukais. Klojiniai yra lankstūs, todėl lengvai gali atkartoti reljefą. Jie naudojami povandeninės krantinės dalies bei akvatorijos dugno sustiprinimui. Čiužinių storis - nuo 5 iki 33 cm (žr.1lent.), standartinis plotis - 3,75 ir 5 m., ilgis priderinamas pagal projektą. Dažniausiai naudojami geoklojiniai su persiūtais filtravimosi taškais arba su siūliniais sujungimais.

1 lentelė

Geosintetinių betono klojinių pagrindiniai parametrai

Pavadinimas	78305	78310	78415	78422	78450	78475
Tipas	Su filtravimosi taškais	Su filtravimosi taškais	Su siūliniais sujungimais	Su siūliniais sujungimais	Su siūliniais sujungimais	Su siūliniais sujungimais
Bendras plotas, m	5,3	5,3	3,75	3,75	3,75	3,75
Vidutinis storis, cm	10	13	7	10	22	33
Maksimalus storis, cm	15	22	–	–	–	–
Apytikslis svoris užpildžius, kg/m^2	220	290	150	220	500	750
Apytikslis betono tūris m^3 /m^2 betono čiužinio įrengimui	0,095–0,1	0,2–0,23	–	–	–	–

Šaltinis: Tele Textiles AS (Norvegija) techninė informacija (2013)

2. Optimalios betono sudėties ir specifikacijos, naudojant jį geosintetiniuose betono klojiniuose Lietuvos HTS, taikant laboratorinės analizės metodiką

Laboratoriniais tyrimais nustatytas geosintetinių betono gniuždomojo betono stipris, tankis ir vandens įgėris. Faktinį gniuždomojo betono stiprį nustatėme ardomaisiais metodais pagal standartinę (LST EN 12390–3:2003) bei nestandartinę (Vaišvila ir kt., 2002:a; Vaišvila ir kt., 2002: b; Vaišvila ir kt., 2002: c) metodikas.

Gniuždomojo betono stiprio įvertinimas bandant netaisyklingos formos bandinius. Gniuždomojo betono stiprį nustatėme ardomaisiais metodais bandant atskeltus netaisyklingos formos betono gabalus nesulygintais paviršiais pagal metodiką aprašytą mokslo darbuose (Vaišvila ir kt., 2002:a; Vaišvila ir kt., 2002:b; Vaišvila ir kt., 2002: c; Vaišvila ir kt., 2003).

Betono gabalus bandymams atskėlėme iš betoninių čiužinių, pagamintų iš stambiagrūdžio betono.

Prieš bandymą betono gabalus atidžiai apžiūrėjome. Supleišėjusius, sluoksniuotus bei tuštymėtus bandinius atmetėme. Bandymų rezultatams turi įtakos štampų skersmuo ir bandinio aukštis. Cementinio skiedinio bandinių santykinio gniuždymo stiprio priklausomybė nuo bandinių santykinio aukščio pateikiama literatūroje (Vaišvila ir kt., 2002 c). Įgaubtų štampų skersmenys parinkti atsižvelgiant į standarto (LST

1428.14:1997) reikalavimus, išpjautų ar išgręžtų bandinių matmenims. Turimais štampais gniuždėme bandinius, kurių skersmuo atitiko standartinių bandinių skersmenį, bei bandinius. Įgaubtų štampų matmenys pateikti 2 lentelėje. Štampų įdubos gylis 10 mm.

2 lentelė

Štampų matmenys

n	Skersmuo *d, mm*	Plotas A_n, mm^2
1	35,7	1000
2	50,5	2000
3	71,4	4000
4	100,0	7850

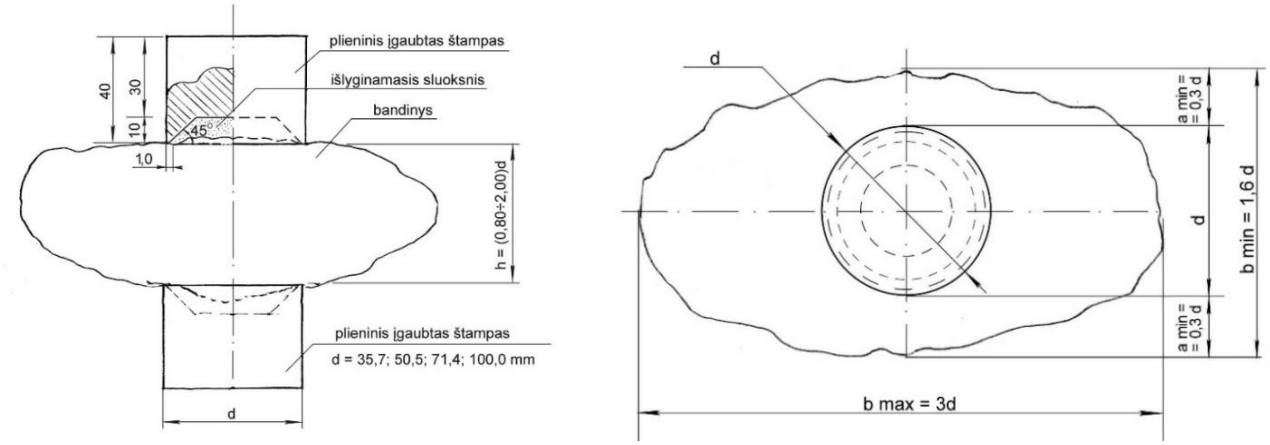
Pastaba: *n* – štampų numeris.

Šaltinis: Vaišvila (2002)

Dauguma betono gabalų buvo tinkamo dydžio, kad juos būtų galima bandyti didžiausio skersmens (*d* = 100 mm) štampais. Prieš bandymą pasirinkto skersmens štampų įdubas užpildėme išlyginamuoju skiediniu, kurio gniuždymo stipris artimas bandomo betono stipriui. Ant vieno štampo uždėjome bandinį, o antrąjį štampą – ant bandinio viršaus taip, kad abiejų štampų ašys apytikriai sutaptų. Bandinį centravome specialiame įrenginyje (žr. 2 pav.).

2 pav. Specialus centravimo įrenginys
Šaltinis: sudaryta autorių

Centruoto bandinio štampų išilginės ašies paklaida neviršijo 0,2 mm, kontaktinių paviršių plokštumų nuokrypio – 0,005 štampo skersmens. Bandinių darbo aukštį *h* tarp centruotų štampų briaunų, bei kitų bandinių matmenis matavome slankmačiu - 0,1 mm tikslumu. Paruoštus bandinius bandėme pagal standarto LST ISO 4012:1995 reikalavimus. Bandomų betono gabalų matmenų ir štampų skersmenų leistini santykių dydžiai nurodyti 3 paveiksle.



3 pav. Netaisyklingos formos betono bandinių bandymas gniuždant įgaubtais štampais
Šaltinis: Vaišvila (2002)

Naudojome hidraulinį presą MC–1000 (žr.4 pav.).

4 pav. Hidraulinis presas MC–1000
Šaltinis: sudaryta autorių

Gniuždymo jėgą tolygiai didinome 0,6±0,4 N/mm^2 /s intensyvumu. Bandymo metu stambūs betono gabalai (bandomi 100 mm skersmens štampais), suskildavo į mažesnes dalis. Atskilusias betono gabalo dalis, jei jos nebuvo pažeistos, bandėme mažesnio skersmens štampais.

Po bandymo įvertinome bandinių suirimo charakterį, matavome betono stambaus užpildo didžiausių dalelių dydį. Bandinių gniuždant rezultatus atmetėme, jei štampo skersmens ir betono stambaus užpildo dalelės dydžio santykis buvo mažesnis kaip 3.

Gniuždomojo betono stipris, įvertintas bandant įgaubtais 35,7; 50,5; 71,4 ir 100,0 mm skersmens štampais. Netaisyklingos formos 0,8…2,0 santykinio aukščio bandiniai buvo perskaičiuoti į standartinį 100 mm briaunos ilgio kubų gniuždomojo betono stiprį pagal (Vaišvila ir kt., 2002 c) pateiktą formulę:

$$^{*}f_c = f_{nch}\,\alpha\,\eta\,\gamma, \qquad (1)$$

čia $^{*}f_c$ – standartinis 100 mm briaunos ilgio kubų gniuždomojo betono stipris N/mm^2 (MPa), f_{nch} – netaisyklingos formos 0,8…2,0 santykinio aukščio bandinių gniuždomojo betono stipris, įvertintas bandant pasirinkto skersmens (numerio) įgaubtais štampais N/mm^2 (MPa). Jis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$f_{nch} = \frac{F}{A_n}, \qquad (2)$$

čia f_{nch} – netaisyklingos formos bandinio, kurio h= (0,8…2,0) d, išbandyto įgaubtais n numerio štampais, gniuždomojo betono stipris N/mm^2 (MPa), F – ardančioji apkrova, kN, A_n – bandinio skerspjūvio plotas, į kurį veikia gniuždymo jėga; šis plotas lygus panaudoto štampo plotui, nurodytam 2 lentelėje, α – gniuždomojo betono stiprio perskaičiavimo koeficientas, įvertinantis štampų skersmenį pateiktas 3 lentelėje,

3 lentelė

Koeficiento α ir štampų skersmens priklausomybė

Štampų skersmuo, mm	35,7	50,5	71,4	100,0
α	0,85	0,93	0,98	1,00

Šaltinis: Vaišvila ir kt. (2002 c)

η – gniuždomojo betono stiprio perskaičiavimo koeficientas, įvertinantis netaisyklingos formos bandinių aukštį apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\eta = 1{,}0007(\mathrm{h/d})^{0{,}1801}, \qquad (3)$$

čia γ – netaisyklingos formos bandinių, išbandytų 100,0 mm skersmens įgaubtais štampais, gniuždomojo betono stiprio perskaičiavimo į 100 mm briaunos ilgio kubų, išbandytų standartiniu būdu, gniuždomojo betono stiprį f_c, koeficientas bandiniams, kurių gniuždomojo betono stipris iki 10 MPa (praktiniams skaičiavimams priimama γ =1).

Gniuždomojo betono stiprio $^{*}f_c$ perskaičiavimo į 150 mm briaunos ilgio kubų, išbandytų standartiniu būdu, gniuždomojo betono stiprį f_c, koeficientas - 0,95.

Netaisyklingos formos bandinių gniuždomojo betono stiprio reikšmės, jų sklaidos amplitudės, standartiniai nuokrypiai bei variacijos koeficientai apskaičiuoti pagal standartų LST 1330:2000, LST EN 206–1:2002; nurodymus.

Betono vandens įgėrio nustatymas. Betono bandinių faktinį vandens įgėrį pagal masę nustatėme vadovaudamiesi standarto LST 1428.18:1997 reikalavimais pagal formulę (Gurskis, 2008):

$$W_m = \frac{m_d - m_s}{m_s} \cdot 100, \quad (4)$$

čia W_m – bandinio vandens įgėris, %, m_d – vandens prisotinto bandinio masė,g, m_s – sauso bandinio masė, g.

Betono bandinio tūris apskaičiuotas pagal formulę (Gurskis, 2008):

$$V = \frac{m_{im} - m_v}{\rho_{\text{vand}}} \quad (5)$$

čia V– tūris, cm^3, m_{im} – įmirkusio betono masė, g, m_v – betono masė vandenyje, g.

Betono bandinio tankio nustatymas. Tankis tai pats svarbiausias visas medžiagas apibūdinantis rodiklis, nuo kurio priklauso stipris, vandens įgėris ir kitos savybės. Betono bandinio tankis apskaičiuotas pagal formulę (Gurskis, 2008):

$$\rho = \frac{m_{im}}{V} \quad (6)$$

čia ρ – tankis, t/m^3, m_{im} – įmirkusio betono masė, g, V – tūris, cm^3.

3. Optimalios betono sudėties ir specifikacijos, naudojant jį geosintetiniuose betono klojiniuose Lietuvos HTS, laboratorinės analizės rezultatai

Laboratorijoje siekiant išgauti 2500 kg/m^3 tankio betoną naudota tokia mišinio sudėtis vienam m^3:

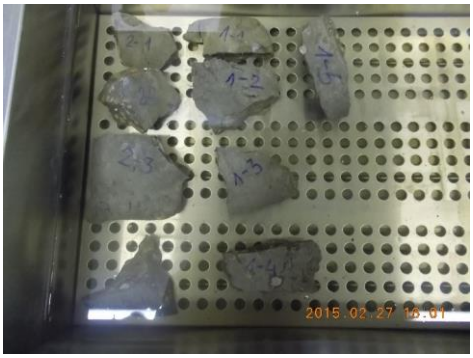
Cementas CEM II	400 kg.
Smėlis, 0 – 4 mm	955 kg.
Skalda 4–16 mm	955 kg.
w/c = 0,475.	
Vandens kiekis	190 litrų.

Laboratorijoje pagaminti ir išbandyti 4 betono „čiužinių“ bandiniai (naudojant geosintetinius betono klojinius 78310, kurių charakteristikos nurodytos 1 lentelėje) Standartiniai betono bandinių matmenys 30×70×12 cm. Bandiniai su geosintetiniais klojiniais pavaizduoti 5 paveiksle. Projektuojant tvirtinimą, reikia atkreipti dėmesį į tai, kad užpildžius betonu geoklojinį, jis susitraukia apie 10 % visomis kryptimis.

5 pav. Bandiniai su geosintetiniais klojiniais ir klojinių ardymas

Laboratorinių bandymų metu buvo nustatomas betono bandinių tankis, tūris, vandens įgėris, gniuždomasis stipris (bandinių numeracija pateikta 6 pav. ir 7 pav.).

6 pav. Bandinių žymėjimas stiprio gniuždant nustatymui



7 pav. Bandinių, skirtų betono tankiui ir įgėriui nustatyti, žymėjimas

Netaisyklingos formos betono bandinių stiprio gniuždant tyrimų ardančiuoju būdu rezultatai, įvertinti pagal 1– 3 formules pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė

Betono bandinių stiprio gniuždant nustatymo rezultatai

Bandinio Nr.	F, N	Plotas A_n, mm^2	f_{nch}, MPa	f_{nch}, MPa	Atitinka klasę, MPa
1–1	209,5	7850	26,69	28,5	C25/30
1–2	237,5	7850	30,25		
2–1	229	7850	29,17	30,2	C25/30
2–2	245	7850	31,21		
3–1	250	7850	31,85	34,3	C30/37

Šaltinis: sudaryta autorių

Remiantis 4 lentelėje pateiktais bandymo rezultatais nustatyta, kad 1 ir 2 bandinių betono stipris gniuždant atitinka C25/30 betono klasę, 3 bandinio stipris gniuždant atitinka C30/37 betono klasę. Tokio stiprio betonas tinkamas naudoti gėlo vandens telkinių krantų, šlaitų ir povandeninės dalies tvirtinimui XC3, XF3, jūrinių konstrukcijų tvirtinimui. Šis betonas tinkamas konstrukcijų naudojamų XS1, XF4 aplinkos sąlygose.

Betono bandinių tūrio, įgėrio ir tankio, įvertintų pagal 4-6 formules, tyrimo rezultatai pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė

Bandinių svėrimo, tūrio, įgėrio ir tankio tyrimų rezultatai

Bandinio Nr.	Bandinio masė (g)			Tūris (cm^3)	Tankis (t/m^3)	Įgėris (%)
	Įmirkęs m_{im}	vandenyje m_v	Išdžiovintas m_s			
1–1	855,6	500,1	803,1	355,5	2,407	6,54
1–2	1630,7	949,4	1532,6	681,3	2,394	6,4
1–3	1205,9	708,2	1134,2	497,7	2,423	6,32
1–4	1318,7	773,8	1244,4	544,9	2,42	5,97
1–5	1410	830,3	1331,7	579,7	2,432	5,88
2–1	822,8	485,8	778,7	337	2,442	5,66
2–2	1321,9	779,9	1250,8	542	2,439	5,68
2–3	2591,3	1526,1	2456,9	1065,2	2,433	5,47
2–4	673,3	397,4	636,3	275,9	2,44	5,81

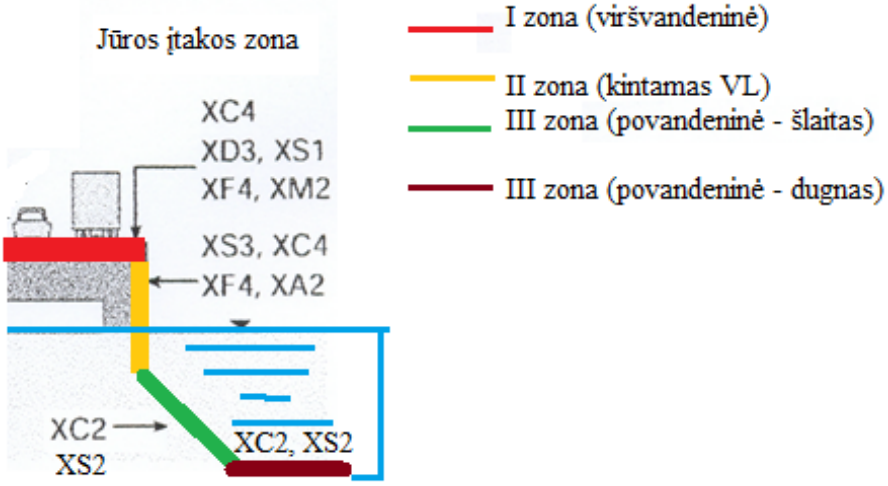
Šaltinis: sudaryta autorių

Pagal 5 lentelėje pateiktus tyrimų rezultatus 1 bandinio tankis 2,42 t/m^3, 2 bandinio tankis 2,44 t/m^3, abu bandiniai pagaminti iš sunkiojo betono. 1 bandinio vandens įgėris 6,22 %, antro - 5,66 %. Pagal anksčiau galiojusias statybų normas, betono įgėris neturi viršyti 7%, šį reikalavimą tenkina visų bandinių betonas.

Hidrotechnikos statiniams įrengti paprastai naudojamas hidrotechninis betonas, kurio tankiui, nepralaidumui vandeniui, ilgaamžiškumui keliami padidinti reikalavimai. Jo naudojimo aplinkos sąlygų kategorijos pateikiamos projektavimo normose, standartuose (HTS projektavimas, 2000; LST EN 206–1:2002; STR 2.05.05:2005; STR 2.05.18:2005).

Apibendrinus informaciją apie HTS naudojimo sąlygas (Šadzevičius R., 2002 b; STR 2.05.18:2005, Žibienė G., Žibas A., 2008; STR 2.05.15:2004; Žemių užtvankų paplovimų po šlaitų tvirtinimo plokštėmis

tyrimai, 2002, 2003), sudarytas 5 paveikslas, iliustruotos tos aplinkos sąlygos, kuriose dažniausiai naudojami geosintetiniai betono klojiniai upių ir jūrų uostuose.



5 pav. Geosintetinių betono klojinių panaudojimo sąlygos jūrinėje aplinkoje
Šaltinis: sudaryta autorių

Geosintetinių betono klojinių naudojamų I zonoje – išorinės, neturinčios sąlyčio su vandeniu (virš aukščiausio vandens lygio ir bangų poveikio zonos esančios) krantinių ir jų elementų dalys. Šioje zonoje rekomenduojama naudoti betoną LST EN 206–1 C35/45–XC4–XD3–XS1–XM2–XF4(LT)–F300–W4–Cl0,20–16–S3.

II – išorinės krantinių dalys kintamo vandens lygio zonoje bei periodiškai vandens srauto veikiamos krantinių ir elementų dalys. Šioje zonoje rekomenduojama naudoti betoną, kurio vandens nepralaidumo markė būtų ne žemesnė kaip W4, geosintetinių betono klojinių užpildymui rekomenduojama naudoti betoną LST EN 206–1 C35/45–XC4–XS3–XA2–XF4(LT)–F300–W8–Cl0,20–16–S3.

III – išorinės, po vandeniu esančios krantinių elementų dalys, kai betoną veikia vandens ir skendinčių nešmenų srautas arba (ir) nustatomas atsparumas kavitacijai, vandens nepralaidumo markė priimama ne žemesnė kaip W8. Šioje zonoje geosintetinių betono klojinių užpildymui rekomenduojama naudoti betoną LST EN 206–1–C30/37–XC2– XS2(LT)–F100–W8–Cl 0,20–16–S5. Tokio stiprio betonas tinkamas naudoti gėlo vandens telkinių krantų, šlaitų ir povandeninės dalies tvirtinimui XC3, XF3, jūrinių konstrukcijų projektavime, šis betonas tinkamas konstrukcijų naudojamų XS1, XF4 aplinkos sąlygose.

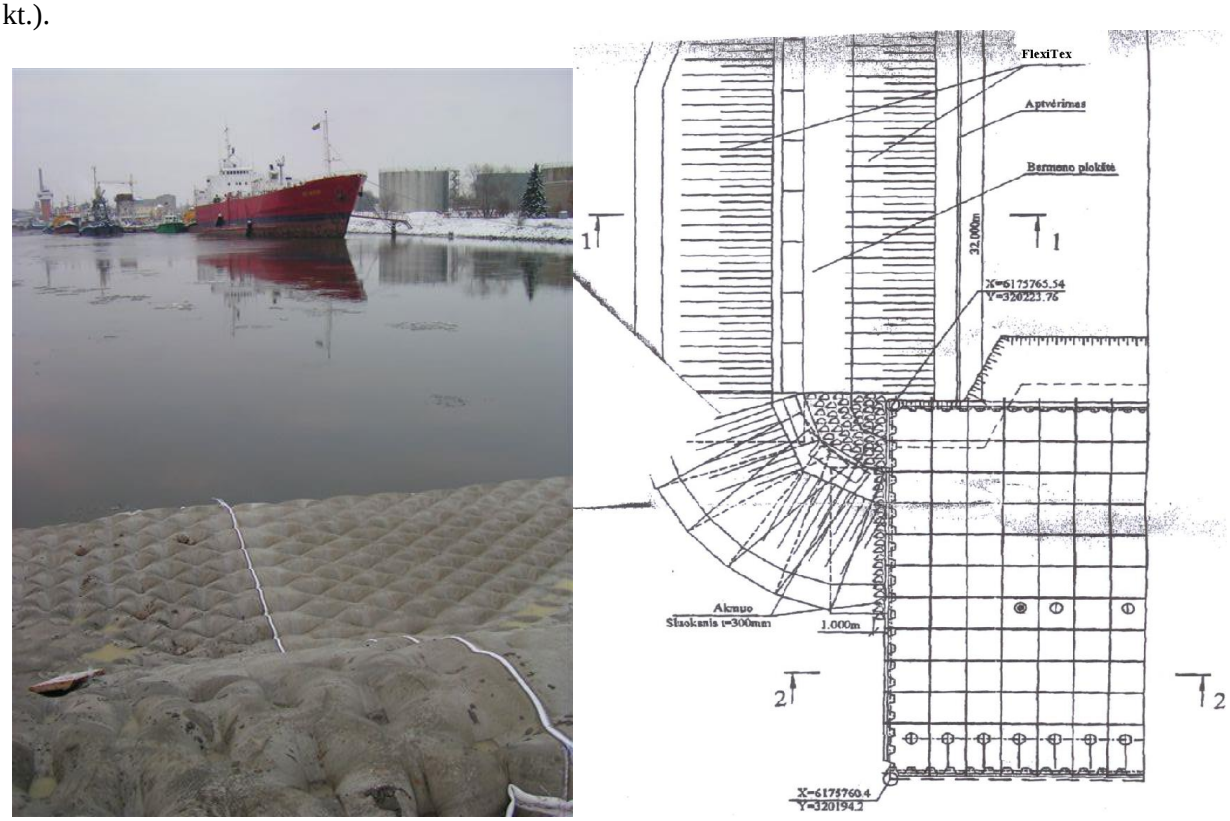
4. Tipinių įrengimo schemų/mazgų/siūlių detalizacija panaudojant geosintetinius betono klojinius FlexiTex Smeltės krantinės Klaipėdoje sutvirtinimui (pagal UAB „ViaCon Baltic“ medžiagą)

– Projekto užsakovas: UAB “Smeltė”
– Projekto autorius: Rauf Zabolonkof, UAB “Hidrosfera”
– Projektą įgyvendino: UAB “Hidrostatyba” ir UAB „ViaCon“
– Vieta: Klaipėdos uostas, Smeltės krantinė.
– Projekto realizavimo laikas: 2005.12 – 2006.01.

Panaudojant geosintetinius klojinius atliktas krantinės betonavimas. Atliekant krantinės stiprinimą buvo naudojami norvegų įmonės Sagatex Tele Textiles AS gamybos geosintetiniai klojiniai FlexiTex 78305 – dvigubos bangos austinis filtracinis paklotas iš poliemido/poliesterio su stačiakampėmis dalimis. Plotis 3,75 m, storis 15 cm. Pripildyto svoris~220 kg/m^2 FlexiTex klojinys buvo užpildomas C30/37,5 klasės betonu. Betono išeiga ~0,1m^3/m^2 Tipinė mišinio sudėtis vienam m^3 (ViaCon, 2013):

Cementas, pagal LST EN 196	500 kg
Silicio dioksidas, sausas (miltelių pavidalu)	50 kg
Smėlis, 0 – 8 mm	1400 kg
Rescon Conoil (takumą didinantis priedas)	4 kg
Rescon P (plastifikatorius)	5 kg
w/c+s= 0,45	
Vandens kiekis	270 litrų
Slankumas (kūgio nuoslūgis)	22 – 24 cm.

Reikalavimai betono mišiniui nurodyti pagal standartus (LST EN 206–1:2002; LST EN 12350–1...LST EN 12350–7; LST EN 12390–1...LST EN 12390–8; LST EN 12504–1:2009; LST EN 12504–2:2003 ir kt.).



6 pav. Smeltės krantinė Klaipėdoje sutvirtinta geosintetiniais betono klojiniais FlexiTex (schemoje dešinėje – vaizdas plane)
Šaltinis: UAB „ViaCon Baltic

Išvados

1. Ištyrus geosintetinių betono klojinių tinkamumą Lietuvos hidrotechnikos statinių šlaitų ir povandeninės dalies tvirtinimo konstrukcijų statybai, remontui ir rekonstrukcijai nustatyta, kad kanalų, tvenkinių ir pan. šlaitų ir dugno tvirtinimui betono čiužiniai tinkami nedidelio storio 10– 13 cm storio, pvz. **78305 ir 78310 tipo**. Upių, jūrų uostų, krantinių tvirtinimui, priklausomai nuo besišvartuojančių laivų dydžio tikslinga būtų naudoti didesnio storio 22 cm betono čiužinius, pvz. **78450.**
2. Smeltės prieplaukoje (Klaipėdoje) panaudotų geosintetinių betono klojinių tipines įrengimo schemas/ mazgus/siūles galima naudoti kitų Lietuvos hidrotechnikos statinių statybai, remontui ir rekonstrukcijai, kadangi šios įrengtos konstrukcijos sėkmingai naudojamos jau 8 metus be esminių pažaidų.
3. Ištyrus optimalias betono sudėtis ir specifikacijas naudojant hidrotechnikos statiniams betonuojant po vandeniu, virš vandens, šlaite, dugne siūloma naudoti tokius betonus:

Geosintetinių betono klojinių naudojamų:

I zonoje – išorinės, neturinčios sąlyčio su vandeniu (virš aukščiausio vandens lygio ir bangų poveikio zonos esančios) krantinių ir jų elementų dalys. Šioje zonoje rekomenduojama naudoti betoną LST EN 206–1 C35/45–XC4–XD3–XS1–XM2–XF4(LT)–F300–W4–Cl0,20–16–S3.

II – išorinės krantinių dalys kintamo vandens lygio zonoje bei periodiškai vandens srauto veikiamos krantinių ir elementų dalys. Šioje zonoje rekomenduojama naudoti betoną, kurio vandens nepralaidumo markė būtų ne žemesnė kaip W4, geosintetinių betono klojinių užpildymui rekomenduojama naudoti betoną LST EN 206–1 C35/45–XC4–XS3–XA2–XF4(LT)–F300–W8–Cl0,20–16–S3.

III – išorinės, po vandeniu esančios krantinių elementų dalys, kai betoną veikia vandens ir skendinčių nešmenų srautas arba (ir) nustatomas atsparumas kavitacijai, vandens nepralaidumo markė priimama ne žemesnė kaip W8. Šioje zonoje geosintetinių betono klojinių užpildymui rekomenduojama naudoti betoną LST EN 206–1–C30/37–XC2–XS2(LT)–F100–W8–Cl 0,20–16–S5. Tokio stiprio betonas tinkamas naudoti gėlo vandens telkinių krantų, šlaitų ir povandeninės dalies tvirtinimui XC3, XF3, jūrinių konstrukcijų projektavime šis betonas tinkamas konstrukcijų naudojamų XS1, XF4 aplinkos sąlygose.

Literatūra

1. *Geosintetinių klojinių Flexitex montavimo instrukcija.* 2013. Kaunas: ViaCon.
2. Gurskis, V. 2008. *Statybinės medžiagos*. Kaunas: Ardiva.

3. LST EN 206–1:2002. Betonas. 1 dalis. *Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis. Betonas. Bandymo metodai. Betono mišinio stabilumo nustatymas*.
4. LST EN 12350–1...LST EN 12350–7; *Šviežio betono bandymas*. 1 dalis*. Ėminio ėmimas. Šviežio betono bandymas*. 2 dalis. *Slankumo bandymas. Šviežio betono bandymas* ir t.t.
5. LST EN 12390–1...LST EN 12390–8; Betono bandymas. 1 dalis. *Forma, matmenys ir kiti bandinių bei formų reikalavimai*; 2 dalis. *Bandinių stipriui nustatyti pagaminimas ir kietinimas* ir t.t.
6. LST EN 12504–1:2009. *Betono užpildai*.
7. LST EN 12504–2:2003. Lengvieji užpildai. 1 dalis. *Betono, skiedinio ir injekcinio skiedinio lengvieji užpildai*.
8. LST EN 12390–3:2003. Betono bandymas. 3 dalis. *Bandinių gniuždomasis stipris*.
9. LST EN 12390–8:2009. Betono bandymas. 8 dalis. *Vandens įsiskverbimo gylis veikiant slėgiui*.
10. LST L 1428.17:2005. Betonas. Bandymo metodai. *Atsparumo šalčiui nustatymas*.
11. Overödder, Th. 2009. *Förbesiktning 2009–04–01 inför slutbesiktning av färjeläge 3 i Nynäshamn., Bro & Betong.*
12. Pilarczyk, K.W. 2000. *Geosynthetics and Geo-systems in Hydraulic and Coastal Engineering.* Taylor and Francis, New York, USA.
13. Raes, L., Elskens, F., Römisch K.W. and Sas, M. 1996. *The Effect of Ship Propellers on Bottom Velocities and on Scour Near Berths and Pro-tection Methods Using Thin Flexible Revet-ments, Proceedings 11th International Harbour Congress, Antwerp*, Belgium, p. 433-443.
14. R–99–06 *Canal– lining demonstration project year 7 durability report.* U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR Bureau of Reclamation. 1999.
15. Skerys, K., Christauskas J. 2010. *Transporto statiniai: uostai*: mokomoji knyga. Vilnius: Technika.
16. ST 3209092.01:2003. *Bendrieji hidrotechninės statybos, upės vagos valymo, gilinimo ir povandeniniai techniniai darbai*. Kaunas: V. Į. Vidaus vandens kelių direkcija"
17. ST 120793378.01:2014. *Bendrieji statybos darbai*. Vilnius. Lietuvos melioracijos įmonių asociacija.
18. ST 120793378.02:2015. *Tiltai, viadukai, estakados, seklieji tuneliai, atraminės sienos, lynų keliai*. Vilnius: Lietuvos melioracijos įmonių asociacija.
19. ST 120793378.05:2015. *Hidrotechninės statybos darbai.* Vilnius: Lietuvos melioracijos įmonių asociacija.
20. STR 2.02.06:2004. *Hidrotechnikos statiniai. Pagrindinės nuostatos*.
21. STR 2.05.15:2004. *Hidrotechnikos statinių poveikiai ir apkrovos*.
22. STR 2.05.05:2005. *Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas*.
23. STR 2.05.18:2005. *Betoninės ir gelžbetoninės užtvankos ir jų konstrukcijos*.
24. Šadzevičius, R. 2002a. *Tvenkinių hidromazgų šlaitų tvirtinimo gelžbetoninėmis plokštėmis techninės būklės vertinimas*. Vandens ūkio inžinerija. Kaunas: Akademija, Vilainiai. 20(42), p.88–93.
25. Šadzevičius, R. 2002b. *Gelžbetonines plokštes tvenkinių šlaitams tvirtinti veikiančių apkrovų analizė.* Vandens ūkio inžinerija. Kaunas: Akademija, Vilainiai. 21(43), p.97–104.
26. *FlexiTex Textile shuttering for use at the water–side and for underwater concrete work*.2013.Tele Textiles AS (Norvegija) techninė informacija.
27. *Žemių užtvankų paplovimų po šlaitų tvirtinimo plokštėmis tyrimai.* 2002. Užsakomojo darbo tarpinė ataskaita. Kaunas: Akademija.
28. *Žemių užtvankų paplovimų po šlaitų tvirtinimo plokštėmis tyrimai. užsakomojo darbo 2003 metų baigiamoji ataskaita.* 2003. Kaunas: Akademija.
29. Žibienė, G., Žibas, A. 2008. *Jūrų hidrotechnika*. Mokomoji knyga. Kaunas: Ardiva.
30. Vaišvila, K.A., Mikuckis, F., Vaitiekūnas, A. 2003. *Hidrotechnikos statinių betono stiprio ir vandens įgėrio priklausomybių analizė.* Vagos: mokslo darbai. LŽŪU, Lietuvos vandens ūkio institutas, Nr.58(11), p. 125–131.
31. Vaišvila, K.A., Mikuckis, F, Juodis J. 2002a. *Betono stiprio gniuždant įvertinimas bandant netaisyklingos formos bandinius.* LŽŪU. Vagos: mokslo darbai., Nr.54(7), p. 103–109.
32. Vaišvila, K.A., Mikucki F., Vaitiekūnas A. 2002b. *Betono stiprio nustatymas netaisyklingos formos bandiniams*. LŽŪU. Vandens ūkio inžinerija: mokslo darbai. Nr.20 (42), p. 66–75.
33. Vaišvila, K.A. 2002c. *Betono stiprio gniuždant įvertinimas bandant netaisyklingos formos bandinius*. "Lietuvos mokslas ir pramonė", konferencija. Betonas ir gelžbetonis; konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas: Technologija, p. 51–56.
34. Vaišvila, K.A., Lindišas, L., Šadzevičius, R. 2001a. *The research of deterioration of reinforced concrete structures functioning in the alternative level of water engineering constructions.* LŽŪU, Lietuvos vandens ūkio inst. Vandens ūkio inžinerija: mokslo darbai, vol. 18(40), p.47–52.
35. Vaišvila, K.A., Šadzevičius, R. 2001b. *The research of deterioration of reinforced concrete strengthening slabs of water engineering constructions.* Transactions of XXXIX Annual Conference "Agricultural Machinery, Building and Energy Engineering", 214. Tartu, p. 278–282.

USE OF GEOSYNTHETIC CONCRETE FORMWORK FOR STRENGTHENING OF HYDRAULIC STRUCTURES SLOPES AND UNDERWATER PROJECTS

Summary

Hydraulic structures (hereinafter – HS) are characterized by constant contact with the aquatic environment, which often destroys the slopes and the underwater part of hydraulic structures, so these parts needs to be reinforced.

Geosynthetics concrete formwork (hereinafter – GSCF) are often used for construction, repair and reconstruction of HS worldwide, in Europe, especially in Scandinavia. Due to the lack of research facilities and a small quantity of projects implemented in Lithuania, this new concrete technology for constructing HS is rarely applied. The analysis of information (about setting optimal geometric parameters of geosynthetics concrete formwork) were performed. The typical installation schemes / hubs / joints using geosynthetic concrete formwork for hydraulic structures in Lithuania were detailed according to the analysis of GSCF installed in Lithuania. Laboratory analysis of optimal concrete composition and mixing ratio for using it in geosynthetic concrete formwork in hydraulic structures of Lithuania were performed.

Key words: Geosynthetics concrete formwork, hydraulic structures, strengthening

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 gelžbetoninių konstrukcijų defektai ir pažaidos.
Telefonas ir el. pašto adresas: 863111669, raimondas.sadzevicius@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Regina Motienė
Mokslo laipsnis ir vardas: lektorė
Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, statybos inžinerijos krypties studijų programų komiteto lektorė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys:
Telefonas ir el. pašto adresas: 869944575, regina.motiene@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Onutė Blankienė
Mokslo laipsnis ir vardas
Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, statybos inžinerijos krypties studijų programų komiteto asistentė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys:
Telefonas ir el. pašto adresas: 862121772, onute.blankiene@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 reinforced concrete hydraulic and road engineering structures.
Telephone and e–mail address: +37063111669, raimondas.sadzevicius@edu.ktk.lt

Author name, surname: Regina Motienė
Science degree and name: Lecturer
Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, of Civil Engineering Study Field Study Program Committee
Author's research interests: defects and deteriorations of road engineering structures.
Telephone and e–mail address: +37069944575, regina.motiene@edu.ktk.lt

Author name, surname: Onutė Blankienė
Science degree and name
Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Assistant of Civil Engineering Study Field Study Program Committee
Author's research interests: defects and deteriorations of road engineering structures.
Telephone and e–mail address: +37062121772, onute.blankiene@edu.ktk.lt

„MARIJOS IR JURGIO ŠLAPELIŲ NAMO-MUZIEJAUS“ GALERIJOJE ESANČIŲ MEDINIŲ LAIKANČIŲ SIJŲ STIPRINIMO BŪDŲ PARINKIMAS

Nerijus Račkaitis, Anna Glinskienė
Vilniaus Technologijų ir Dizaino Kolegija

Anotacija

Straipsnis parašytas siekiant paviešinti Vilniaus Technologijų ir Dizaino Kolegijos atliekamus tyrimus, kurie turi praktinę naudą ne tik tyrimuose dalyvaujantiems studentams, bet ir plačiajai visuomenei, nes šio tyrimo išdava leistų efektyviau panaudoti kultūros švietimui skirtas patalpas. Tiriamasis objektas yra „Marijos ir Jurgio Šlapelių namo – muziejaus“ galerija. Straipsnyje įvardijami tyrimo tikslai, aprašoma konstrukcija, nustatoma bendra konstrukcijos būklė, eksploatavimo sąlygos, įvardijami nusidėvėjimą, deformacijas ir įlinkius lemiantys veiksniai, pateikiami archyviniai ir tyrimo metu nubraižyti pagalbinių konstrukcijų padėties brėžiniai.

Reikšminiai žodžiai: konstrukcijų stiprinimas, Marijos ir Jurgio Šlapelių namas-muziejus galerija, sijos, kolona, medinė perdanga.

Įvadas

Atrasti santykinai lengvas, laikui atsparias kompozicines medžiagas ir patvarius, standžius, stiprius, ir ekonomiškai pagrįstus konstrukcinius sprendimus yra veiklos kryptys, kurių laikosi šių dienų mokslo srityje dirbantys darbuotojai. Žiūrint į priešistorinius laikus sunku patikėti, kad žmonės savo namais laikė tik uolas, o be jų juk nieko daugiau ir neišliko. Ne vien tik karai ir barbarai kūrė mūsų piliakalnius, didžiausias jų kūrėjas yra laikas. Laiko paveiktos medžiagos keičia savo fizines ir mechanines savybes, jos keičiasi, nes jos yra neizoliuotos nuo tokių aplinkos veiksnių kaip gravitacija, magnetiniai laukai, radiacija ir tik santykinai izoliuotos nuo kitų aplinką kuriančių veiksnių. Dėl šių priežasčių pastatų ir statinių konstrukcijos sensta, praranda standumą, atsiranda negrįžtamosios deformacijos, pasikeičia konstrukcijų stipris ir jose gali atsirasti negrįžtamos deformacijos.

Vilniuje, adresu Pilies g. 40, 1996 metais buvo įkurtas memorialinis muziejus skirtas atminti ten gyvenusiems iškiliems XX a. pradžios šviesuoliams Marijai ir Jurgiui Šlapeliams, kurie jų pačių Dominikonų gatvėje įkurtame knygyne savo veikla, lietuviško žodžio puoselėjimu, jo išlaikymu ir skleidimu, taikiais metodais priešinosi tuo laiku įvykdytai Vilniaus okupacijai. Dviejų aukštų namas su negyvenama mansarda yra XVII a. architektūros paminklas, jo rūsiai yra XV a. architektūros paminklas. Pastato stogo konstrukcija sudaryta iš keraminių čerpių dangos paklotos ant medinių konstrukcijų. Stogo dangos ir laikančių konstrukcijų atnaujinimo darbai atlikti 2014 metais. Muziejaus administracijai neprieštaraujant Vilniaus Technologijų ir Dizaino Kolegija organizavo projektą, kuriuo remiantis ir dėstytojai ir studentai buvo įtraukti į tiriamąjį darbą, taip leidžiant studentams pasitikrinti studijų metu įgautas kompetencijas realiame projekte. Tyrimo uždavinys – „Marijos ir Jurgio Šlapelių namo-muziejaus“ galerijos centre esančios laikančios medinės kolonos pašalinimo ir taip be papildomos atramos likusių laikančių konstrukcijų – sijų sustiprinimo tinkamo konstrukcinio sprendimo radimas. Medinė kolona, kurią planuojama pašalinti, nėra įtraukta į saugotiną paveldą, nes ji buvo įrengta 1994 m. darant pastato rekonstrukciją. Buvusios rekonstrukcijos paskirtis buvo sustiprinti medinės perdangos konstrukciją, kuri buvo įlinkusi ir pagal muziejaus darbuotojų apibūdinimą galima spręsti jog konstrukcija buvo pasiekusi tokius ribinius būvius, kurie statybos techniniame reglamente STR 2.05.14:2005 įvardijami kaip FAT ir STR saugos ribiniai būviai. Praėjus 20 metų nuo kolonos pastatymo, anuomet priimtas konstrukcinis sprendimas morališkai paseno, ypač tai pastebima per paskutinius 4 metus, kuomet muziejaus veikla itin suaktyvėjo ir buvo konstatuota, kad kolonos padėtis pačiame galerijos patalpos centre trukdo normaliai funkcionuoti galerijai, nes šioje patalpoje yra nuolat rengiamos parodos, vyksta kultūrinė, visuomeninė veikla, įvairios popietės ir vakaronės, koncertai, paskaitos, pamokos, klubų susiėjimai, knygų pristatymai ir kita panašaus pobūdžio veikla [8].

Muziejaus patalpos yra pastato antrame aukšte. Ten eksponuojama ne tik nuolatinė paroda, bet taip pat vyksta įvairūs kiti su menais susiję renginiai. Galerija įrengta pirmajame pastato aukšte ir rūsiuose. Tai netaisyklingo stačiakampio formos patalpos, kurių vidiniai ir išoriniai sienų paviršiai yra nutinkuoti. Perdanga skirianti pirmąjį aukštą nuo antrojo yra padaryta iš medžio masyvo.

Tyrimo tikslas įvardinti tinkamus „Marijos ir Jurgio Šlapelių namo –muziejaus“ galerijoje laikančios medinės kolonos pašalinimo ir be papildomos atramos likusių laikančių konstrukcijų – sijų sustiprinimo konstrukcinius sprendimus.

Tyrimo uždaviniai:

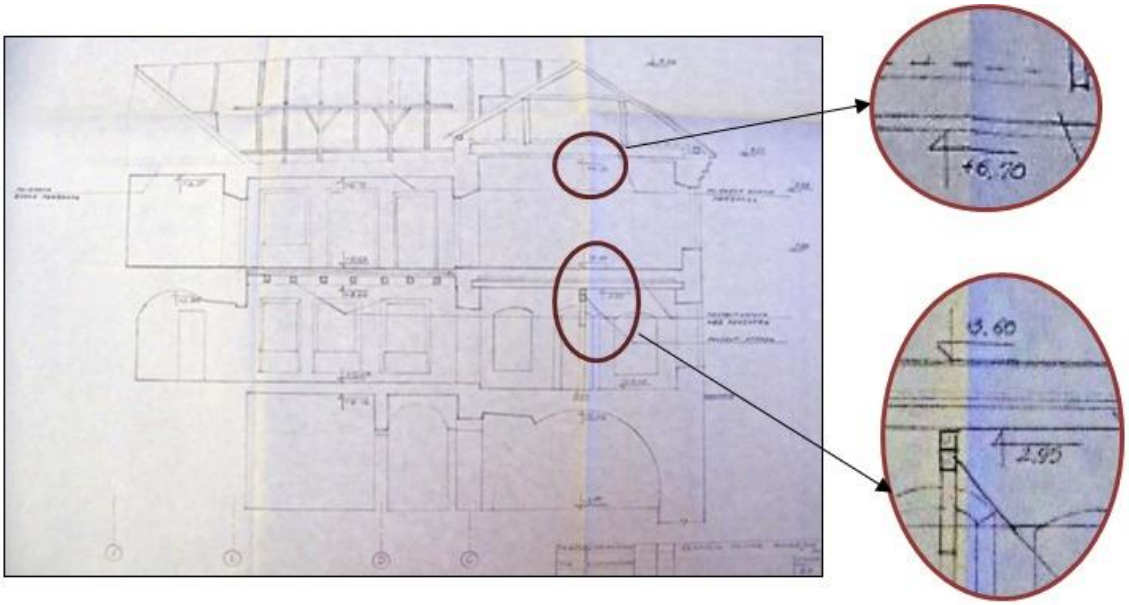
1. Nustatyti bendrą konstrukcijos būklę;
2. Nustatyti deformacijas;
3. Nustatyti perdangos laikančių elementų skerspjūvius;

4. Įvertinti apkrovas ir jų derinius;
5. Parinkti naujus konstrukcinius sprendimus;

Straipsnyje vartojamų pagrindinių sąvokų ir jų apibrėžimų sąrašas pateiktas LST L EN 1991-2-1:2000 [7].

Be straipsnio autorių tyrime dar dalyvavo: doc. dr. Tatjana Grigorjeva, Deividas Gelažanskas, Edvinas Gladkij, Dmitrijus Glušakovas, Martynas Pauža, Gedas Petrauskis, Tadas Navoruckis, Simas Grabliauskas, Agnė Ablačinskaitė, Milena Grinevič, Lukas Nalevaika, Akvilė Petreikyte, Aurelija Grigaitytė, Ignas Skirka, Martynas Bimba ir Darius Lukauskas.

Konstrukcija. Remiantis kultūros vertybių registro duomenimis [10] virš galerijos esančios tarpaukštinės medinės perdangos storis siekia 650 mm (žr. 1 pav.). Dokumentuose nėra detalių perdangos brėžinių, trūksta informacijos apie perdangos vidinę konstrukciją, viršutinį pakloto storį ir sudėtį, taip pat trūksta informacijos apie sijų galų atrėmimo plotą. Pagrindiniai konstrukcijos elementai, perimantys visas apkrovas, yra medinės sijos. Šie perdangos konstrukcijos elementai yra stačiakampės formos, sijos pagamintos iš tuo metu turėtų medžiagų, dėl ko šios konstrukcijos elementų geometrija turi didelę parametrų variaciją. Skiriasi sijų išdėstymo atstumai, sijų matmenys, skiriasi ir sijų pažeidimai. Dėl šios priežasties, siekiant gauti tikslesnius, duomenis visos konstrukciją sudarančios sijos nagrinėjamos atskirai.



1 pav. Pastato pjūvio archyviniai duomenys
Šaltinis: http://kvr.kpd.lt/

Konstrukcijos nagrinėjimas pradėtas nuo sijų plano sudarymo. Išmatuoti atstumai tarp sienų 1,0 m aukštyje nuo grindų ir aukštyje ties sijų apačia. Šie matavimai patvirtino vizualiai matomus galeriją ribojančių sienų nelygumus. Skaičiavimams tarpatramio atstumas imamas tas kuris yra gautas matuojant ties medinių sijų apačia. Siekiant tiksliau įvertinti konstrukcijos elementuose esančias įražas būtina buvo nustatyti sijų tarpusavio išdėstymo atstumus, sijų formos geometrinius rodiklius. Visos sijos matuotos trijose skerspjūviuose: ties galais ir ties viduriu.

Bendra konstrukcijos būklė. Bendra konstrukcijos būklė vertinama atsižvelgiant į eksploatavimo sąlygas, nusidėvėjimą, architektūrinę vertę, temperatūros ir drėgmės įtaką. Pagrindiniai požymiai apibūdinantys medinių konstrukcijų techninę būklę yra įlinkiai, deformacijos, elementų pažaidos ir mechaniniai fizikiniai medienos rodikliai [2].

Eksploatavimo sąlygos. Bendros eksploatacijos sąlygos yra normalios [6] (3 skyrius 6.14) ir atitinka technologinių procesų ir pastatų eksploatavimo taisykles [5]. Nagrinėjamo pastato patalpos kvalifikuojamos kaip masinio žmonių rinkimosi vieta, nes jose, vienu metu gali susitelkti daugiau kaip 50 žmonių [6] (3 skyrius 6.9).

Nusidėvėjimas. Naudojimo laikotarpiu konstrukcijoms būdingas fizinis nusidėvėjimas. Nustatyta, kad tiriamai konstrukcijai ir medžiagoms, iš kurių pagaminta konstrukcija, fiziniam nusidėvėjimui (pagal LST EN 60068-1:1998 klasifikaciją) [2], įtaką daro aplinkos poveikiai:

1. Mažas santykinis drėgnis – pasireiškiantis medienos džiūvimu ir traukumu;
2. Didelis slėgis – dėl kurio tiriama konstrukcija, pasak muziejaus darbuotojų, buvo patyrusi dideles plastines deformacijas, pasireiškusias kaip dideliu įlinkiu ir neatitiko estetinių – psichologinių reikalavimų;

3. Agresyvioji aplinka – destrukcija, paviršinių sluoksnių pažaidos, įvairių reikalingų, nereikalingų kaltinių detalių gausa;

4. Smūgis, vibracijos – mechaninės pažaidos, nuovargis, struktūros pokyčiai (žr. 2 pav.).

2 pav. Penktos sijos pažaidos vienoje ir kitoje pusėje

Architektūrinė vertė. Objektas yra įrašytas į Lietuvos Respublikos nekilnojamųjų kultūros vertybių registro statinių sąrašą (S799). Pastatas pastatytas XVII a., atstatytas XVIII a. II p. Šiame pastate nuo 1926 – 1941 m. gyveno kalbininkas, kultūros veikėjas Jurgis Šlapelis (1876–1941), 1926–1977 m. gyveno kultūros veikėja Marija Piaseckaitė–Šlapelienė (1880–1977). [9]

Temperatūros ir drėgmės įtakos įvertinimas Patalpos, kurias atskiria nagrinėjama tarp aukštinės perdangos konstrukcija yra natūraliai vėdinamos [6] (3 skyrius 6.13), natūraliai apšviestos [6] (3 skyrius 6.11), eksploatuojant jas nepastebėta, kad vandens lašai kondensuotųsi ant laikančių konstrukcijų. Pastatas apšildomas centralizuotai, pastato patalpose šildymo prietaisai išdėstyti po langais. Šildymo prietaisų atiduodamas į galeriją šilumos kiekis yra tinkamas patalpoje esančios tarp aukštinės perdangos laikančių konstrukcijų projektinei temperatūrai palaikyti. Agresyvumo aplinka galerijos pirmojo aukšto patalpose yra priskiriama C1 kategorijai [2] (A3 lentelė).

Deformacijos, įlinkiai, defektai Konstrukcijos deformacijos vertinimas vykdomas pagal faktinius duomenis, gautus atlikus matavimus vietoje;

Per ilgus metus apkrovos ir atskiri jų komponentai keitėsi. Per savo gyvavimo istoriją pastato patalpos tarnavo individualios, ūkinės ir viešosios paskirties reikmėms. Viršuje buvo įrengta ir tik neseniai, prieš keturis metus, nugriauta masyvi medžio drožlių pertvara, keitėsi baldai ir jų buvimo vieta. Iš to matyti, kad konstrukciją veikiančios apkrovos procesas (istorija) yra sudėtingas, apkrovos kito, kito jų dydis, kryptis ir pridėjimo vieta. Nežinant apkrovimo proceso, nustatyti esamas veikiančių įrąžų, bei įtempių reikšmes yra sudėtinga [1] (8 skyrius) .

Galima daryti išvada, kad dėl buvusių ir esamų poveikių konstrukcijoje yra sudėtingas įtempių pasiskirstymo būvis. Prieš 20 metų perdangos konstrukcijoje pastebėjus progresyvinio kaupiamojo plastinio irimo požymių, konstrukcijos vidurio linija buvo paremta papildoma medine sija, kuri galais remiasi į vidines šonines galerijos sienas, o papildomos sijos vidurys paremtas medine kolona, kuri apkrovą perduoda grindų konstrukcijai. Taip buvo sustabdytas progresyvinis kaupiamasis konstrukcijos irimas. Atlikus šį perdangos konstrukcinį pakeitimą dingo kaupiamojo plastinio irimo požymiai, todėl galima daryti išvada, kad įražos (išreikštos liekamosios ir kintamosios dalies suma) per visą apkrovimo ciklą neišeina už plastiškumo paviršiaus. Esant tokiam konstrukciniam sprendimui perdanga deformuojasi tik tampriai ir galima konstatuoti, kad ji yra prisitaikiusi prie apkrovos.

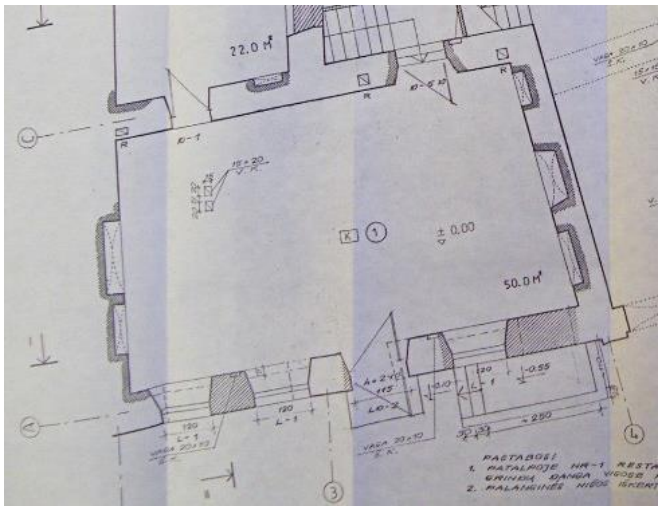
Tiriamos konstrukcijos galimi defektai yra tokie [2] (3.4. skyrius):

- tempiamų elementų plyšiai;
- elementų persimetimas arba nuokrypis nuo stačiosios padėties;
- gniuždomųjų elementų išlinkiai rėmo ir jam statmenoje plokštumoje;
- lenkiamųjų elementų įlinkiai;
- lenkiamųjų elementų įtrūkimai tempimo zonoje;
- atraminių paviršių suglemžimas arba nuskelti galai įkirčiu sujungtuose elementuose;
- elementų suglemžimas ties vinimis ir varžtais;
- mechaninės elementų pažaidos;
- kiauriniai konstrukcijos elementų jungčių antdėklų plyšiai, sutampantys su varžtų išdėstymo linija;
- netinkamas tvirtinimo elementų išdėstymas;

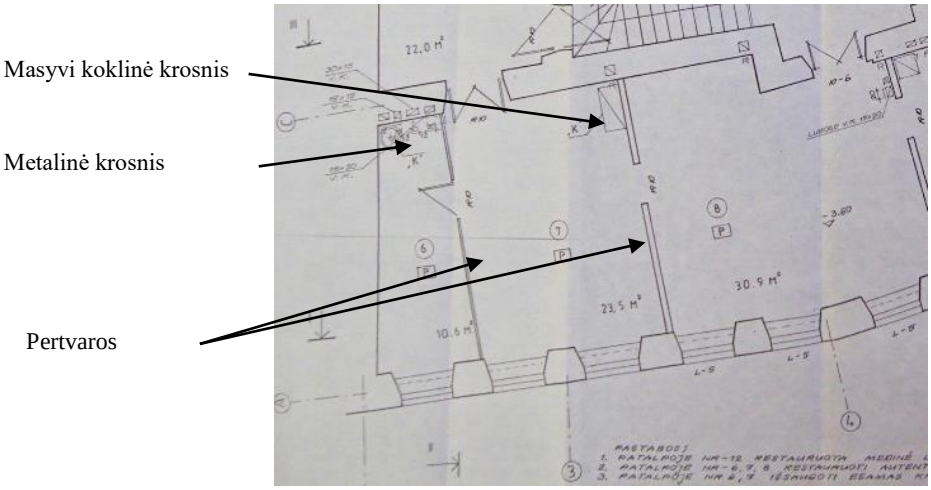
- plieninių detalių korozija mediniuose jungčių elementuose.

Tiriant konstrukcijos elementus esamiems defektams identifikuoti buvo vadovautasi aukščiau išvardintais galimais defektais. Sijos, kaip lenkiami elementai, tikrintos dėl mechaninių pažaidų, medienos pluošto įtrūkių ypač tempiamoje zonoje atidžiai apžiūrint briaunose esančias šakas, kurios mažina elementų laikomąją galią. Visi, išskyrus tris paskutiniuosius, išvardinti galimi konstrukcijos defektai yra aptinkami nagrinėjamoje konstrukcijoje.

Patalpų planai. Muziejaus patalpų planai viešam susipažinimui pateikti kultūros vertybių registre [10]. Čia pateikiami (žr. 3 pav. ir 4 pav.) 1993 metų galerijos ir virš jos esančių patalpų planai. Planuose matomos atitvaros yra išlikusios iki dabartinių dienų. Viršutinio aukšto plane nurodomos vietos kuriose yra sukoncentruota apkrova.

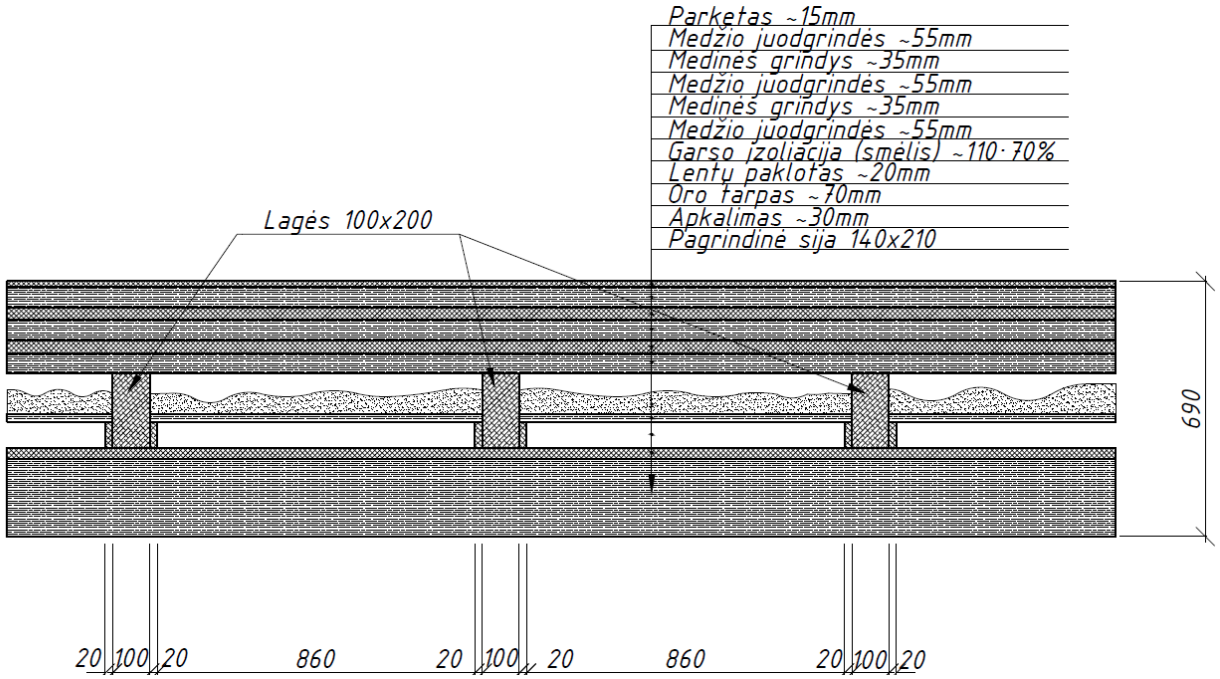


3 pav. Galerijos 1993 m. planas
Šaltinis: http://kvr.kpd.lt/

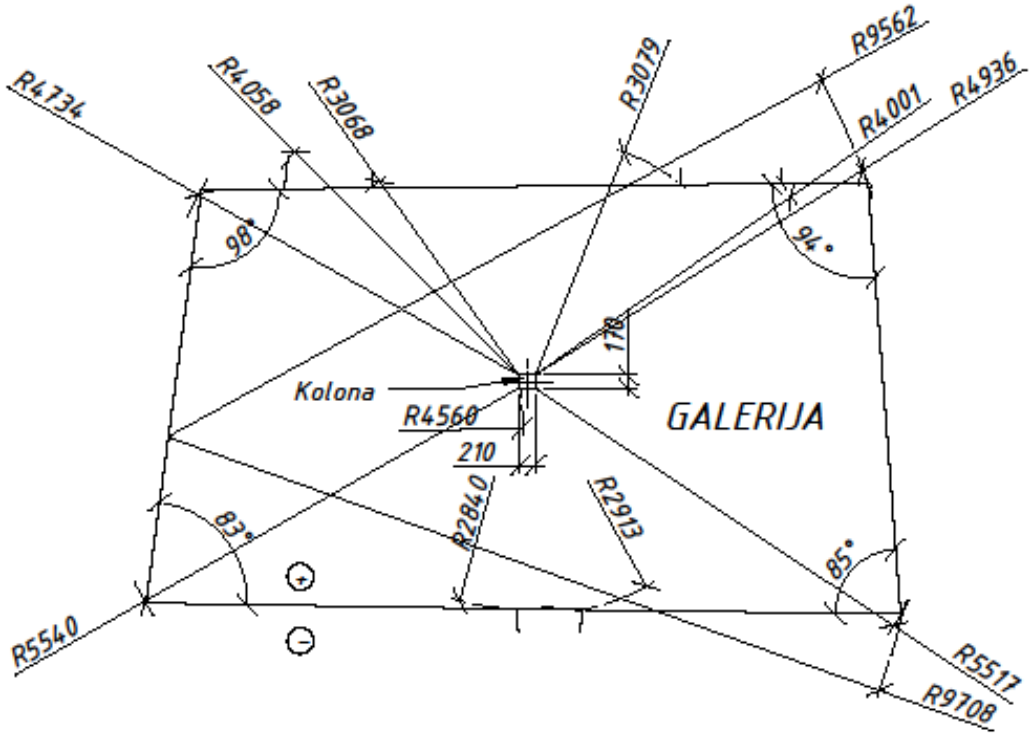


4 pav. Patalpų esančių virš galerijos 1993 m. planas
Šaltinis: http://kvr.kpd.lt/

Matavimų ir skaičiavimų rezultatai. Nagrinėjant archyvinę medžiagą, nebuvo aptikta informacijos susijusios su perdangos konstrukcija, apart jos storio (žr. 1 pav.), todėl jos konstrukcija priimama sąlyginai (žr. 5 pav.), nebuvo rasta informacijos ir apie 1994 m. atliktus konstrukcijos stiprinimo darbus. Nesant šiai informacijai vienas iš tyrimo žingsnių buvo nustatyti esamų ir naujai įrengtų konstrukcijų padėtį galerijoje (žr. 6 pav.), įvertinti bendrą 1994 m. įrengtų konstrukcijų būklę ir bendrą darbą su pagrindinėmis sijomis (žr. 7 pav.).

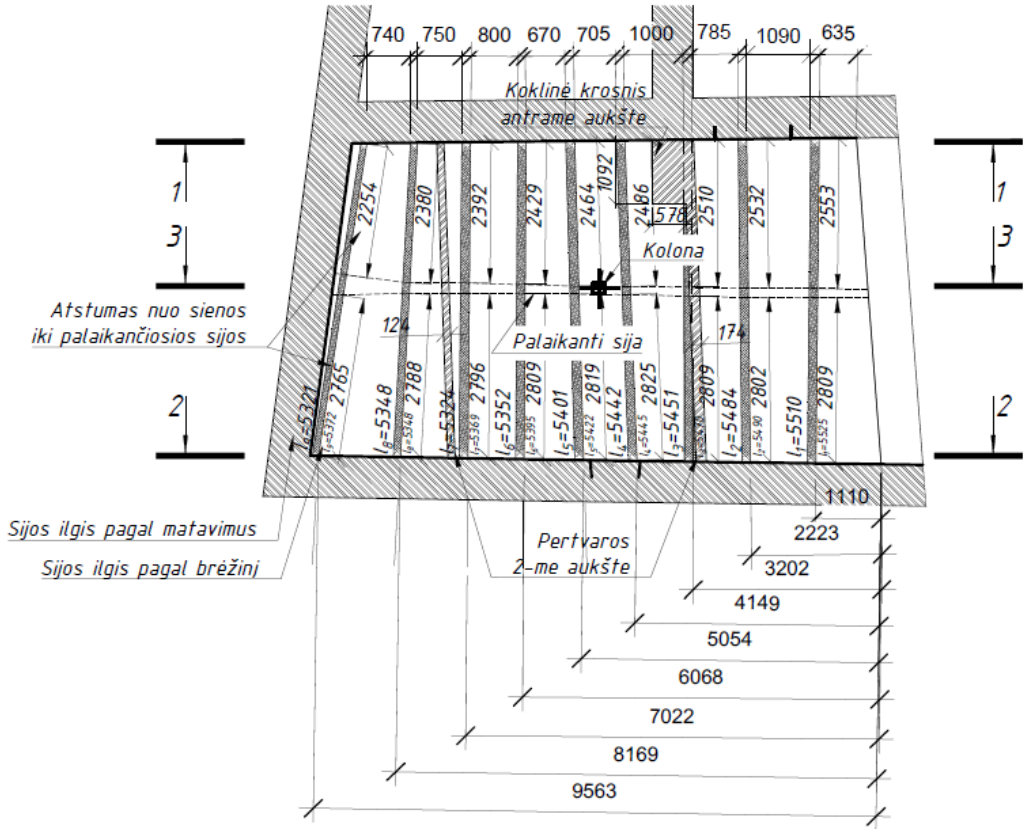


5 pav. Sąlyginė perdangos konstrukcija

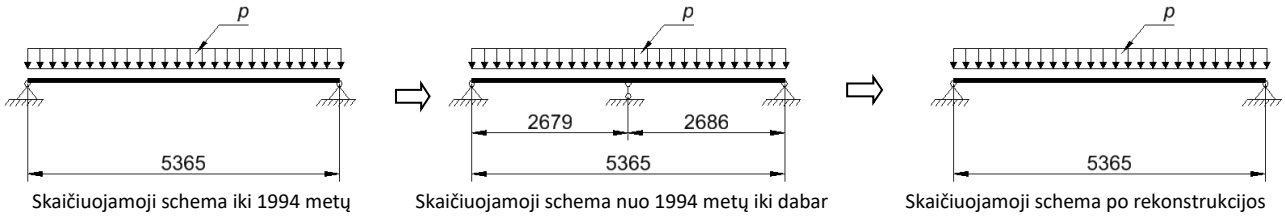


6 pav. 1994 metais įrengtos atramos padėtis galerijoje

Atlikto tyrimo metu buvo nustatyti laikančių elementų geometriniai rodikliai (žr. 1 lentelė). Remiantis visais šiais duomenimis ir vadovaujantis statybos techniniais reglamentais [3] ir [4] buvo atlikti skaičiavimai įvertinantys perdangą veikiančias apkrovas ir elementuose susidarančias įražas. Pagal gautus skaičiavimo duomenis buvo sudarytos skaičiavimo schemos parodančios apkrovų pasiskirstymą esamoje situacijoje ir tuo atveju jei pašalintume koloną, ir tuo atveju jei pašalintume koloną ir papildomą siją (žr. 8 pav.). Straipsnyje pateiktos skaičiavimo schemos rodančios kai pašalinama ir kolona ir papildoma sija.

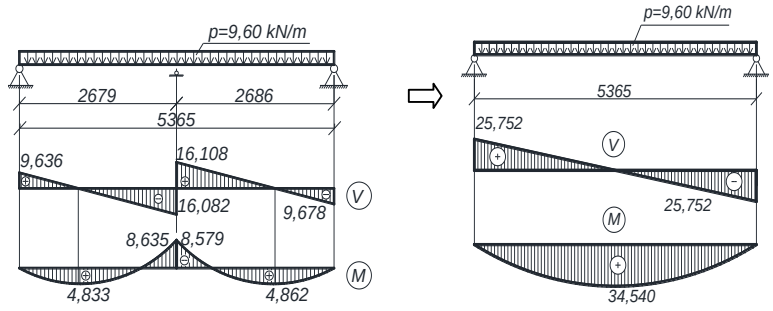


7 pav. Patikslintas pagrindinių sijų planas



Skaičiuojamoji schema iki 1994 metų | Skaičiuojamoji schema nuo 1994 metų iki dabar | Skaičiuojamoji schema po rekonstrukcijos

8 pav. Pagrindinių sijų skaičiuojamosios schemos pasikeitimas



Vienos iš pagrindinių sijų įrąžos dabartiniu momentu | Įrąžos pašalinus papildomą atramą

9 pav. Vienos iš pagrindinių sijų įrąžų pasikeitimas

Tyrimo metu buvo nustatyta kad ne visos sijos remiasi į pagalbinę siją, tad kai kurių sijų skaičiuojamoji schema atitinka tai, kuri būtu po kolonos ir pagalbinės sijos pašalinimo darbų.

1 lentelė

Laikančių elementų geometriniai rodikliai

Sijos Nr.	Sijos skerspjūvio rodikliai (mm)						Sijos ilgis (mm)
	Sijos pradžioje		Sijos viduryje		Sijos gale		
	b	h	b	h	b	h	
1	150	210	150	215	145	210	5510
2	150	230	140	220	140	220	5485
3	140	210	125	200	140	205	5450

Sijos Nr.	Sijos skerspjūvio rodikliai (mm)						Sijos ilgis (mm)
	Sijos pradžioje		Sijos viduryje		Sijos gale		
	b	h	b	h	b	h	
4	145	220	140	200	145	220	5440
5	165	205	155	200	155	195	5400
6	145	210	145	215	150	215	5350
7	150	200	150	215	150	220	5325
8	120	200	130	210	130	220	5350
9	155	210	135	215	100	215	5320

Išvados

Praktinė darbo reikšmė yra abipusė. Marijos ir Jurgio Šlapelių namo-muziejaus administracijos darbuotojai turėdami tyrimų rezultatus galės žengti sekančius žingsnius link to, kad galerija būtu naujai rekonstruota. Atliekamuose tyrimuose nenagrinėjami galimi darbų finansavimo šaltiniai, tačiau šiuo darbu, atliktais tyrimais, gauti rezultatai – siūlomi nauji konstrukciniai sprendimai leidžiantys pašalinti minėtą medinę koloną, galės būti pritaikyti galerijos rekonstravimo projekto sukūrimui, skirtam šios patalpos laikančių konstrukcijų būklei ir patalpos funkcionalumui pagerinti. Kita praktinė darbo reikšmė yra ta kad kolegijos studentai turėjo realią galimybę savo darbo rezultatais pasitikrinti studijose įgytas kompetencijas ir sukauptas teorines žinias.

Darbo metu nustatyta:

1. Bendra dabar esanti konstrukcijos būklė netenkina patalpai keliamų reikalavimų, nes žinant jos paskirtį ir tai kad tuo pačiu metu patalpose kartas nuo karto susiburia ne viena dešimtis lankytojų įskilusios ir perlinkusios sijos kelia nesaugumo jausmą.
2. Konstrukcijos deformavimuisi įtakos turi poveikiai, kurie tiesiogiai veikia konstrukciją. Tiriama konstrukcija deformavosi veikiama šių poveikių: a) kintanti ir nuolatinė apkrova, esanti virš konstrukcijos; b) savas konstrukcijos svoris; c) konstrukcijos elementų traukimasis dėl santykinai mažos drėgmės; d) netvirtas pagrindas esantis po pastato pamatais.
3. Matavimais vietoje buvo nustatyti perdangos laikančių elementų skerspjūviai (žr. 1 lentelė).
4. Darbo metu buvo apskaičiuotos perdangą veikiančios apkrovos ir šie apkrovų deriniai:
   a) pagrindinis derinys, kai dažnoji kintamojo poveikio reikšmė yra naudojimo apkrova;
   b) retasis derinys, kai dažnoji kintamojo poveikio reikšmė yra naudojimo apkrova;
   c) dažnasis derinys, kai dažnoji kintamojo poveikio reikšmė yra naudojimo apkrova;
   d) tariamai nuolatinis derinys.
5. Analizuojant konstrukciją tinkamais sprendimais buvo įvardinti šie sustiprinimo būdai:
   a) Pagrindinių sijų stiprinimas metaliniais profiliais (žr. pav. 10), tokiu atveju reikalingas atsparumo momentas siektu 161,4 cm^3, didžiausias normalinis įtempis 187,7*MPa*, didžiausias tangentinis įtempis 27,99 *MPa*.
   b) Papildomų pagrindinių sijų įrengimas. Šiuo atveju šalia pagrindinės sijos būtu priglausta papildoma medinė sija kuri perimtu dalį apkrovos.
   c) Papildomos sijos stiprinimas metaliniais profiliais arba metalinėmis templėmis. Stiprinant šiuo būdu būtu pašalinta tik kolona, o sustiprinta pagrindines sijas paremianti pagalbinė sija.
   d) Pagrindinių sijų stiprinimas anglies pluoštu. Šiuolaikiškas ir labai efektyvus būdas.

Literatūra

1. Atkočiūnas J. Čižas A. E. Netamprių konstrukcijų mechanika. Vadovėlis. Vilnius „Technika“, 2009. ISBN 978-9955-28-492-5
2. Jokūbaitis V., Šaučiūvėnas G. Statinių konstrukcijų techninės būklės vertinimas. Vilnius „Technika“, 2012. ISBN 978-609-457-178-7
3. STR 2.05.03:2003 Statybinių konstrukcijų projektavimo pagrindai.
4. STR 2.05.04:2003 Poveikiai ir apkrovos.
5. STR 1.12.07:2004 Statinių techninės priežiūros taisyklės.
6. STR 2.09.02:2005 Šildymas, vėdinimas ir oro kondicionavimas
7. LST L ENV 1991.2.1:2000 Eurokodas 1. Projektavimo pagrindai ir poveikiai konstrukcijoms. 2–1 dalis;
8. http://www.muziejai.lt/vilnius/slapeliu_muziejus.htm (2015 m. vasaris 24 d.)
9. https://www.e-tar.lt/rs/legalact/TAR.893FDFC81A2D/ (2015 m. kovas 5 d.)
10. http://kvr.kpd.lt/ (2016 m. sausio 20 d.)

Selection ways of strengthening the wooden-bearing beams in the gallery of „Marijos ir Jurgio Šlapelių namas-muziejus“

Summary

This article is designed to make public the Vilnius College of Technologies and Design ongoing investigations that have practical benefits not only the students involved in the studies, but also the wider public, because the outcome of this study would enable more efficient use of cultural education premises. Observational object include gallery of museum „Marijos ir Jurgio Šlapelių namas-muziejus“. The research task – finds supporting wooden pillars, which is in the center of gallery, the removal solutions, and so without additional support of the remaining bearing structures - beams adequate structural reinforcement figuring out a solution. The article identifies the objectives of the study, describes the design, construction, establishing a common condition during operation conditions are named wear, deformations and deflections determinants of the archival and measurements which is clarified in the drawings.

Key words. Structural strengthening, beams, columns, wooden slab.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Nerijus Račkaitis.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, statybos fakulteto statybos katedros lektorius.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: pastatų informacinis modeliavimas, konstrukcijų stiprinimas, pastatų akustika, inžinerinių tyrimų metodologija, medžiagotyra.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 621 21396, n.rackaitis@vtdko.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Anna Glinskienė.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistrė.
Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, statybos fakulteto statybos katedros lektorė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: inžinerinių tyrimų metodologija.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 628 06820, a.glinskienė@vtdko.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Nerijus Račkaitis.
Science degree and name: master.
Workplace and position: Vilnius college of technologies and design, civil engineering faculty, civil engineering depatment associated lecturer.
Author‘s research interests: Building information modeling (BIM), strengthening of structures, building acoustics, materials science, methodology of engineering sciences.
Telephone and e-mail address: 8 621 21396, n.rackaitis@vtdko.lt

Author name, surname: Anna Glinskienė.
Science degree and name: master.
Workplace and position: Vilnius college of technologies and design, civil engineering faculty, civil engineering depatment associated lecturer.
Author‘s research interests: methodology of engineering sciences.
Telephone and e-mabnil address: 8 628 06820, a.glinskienė@vtdko.lt

TERMOVIZORIUS – MAŽAENERGIŲ PASTATŲ STATYBOS IR KOMPLEKSINĖS RENOVACIJOS PAGALBININKAS

Anna Glinskienė, Justinas Glinskis
Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija; UAB "Vilrida"

Anotacija

Straipsnyje aptariami pramonei skirti šiuolaikiniai įrenginiai, gebantys vizualizuoti infraraudonosios spinduliuotės intensyvumo pasiskirstymą paviršiuje, taip vadinamos infraraudonųjų spindulių kameros arba termovizoriai. Apžvelgiamas termovizorių veikimo principas bei konstrukcija. Aptariami termovizorių privalumai ir trūkumai lyginant su panašios paskirties įrenginiais. Išskiriami termovizorių, naudojamų karyboje, energetikoje, medicinoje, statybų sektoriuje, tipai, jų savybės, tarpusavio panašumai bei skirtumai.

Aptariamos sąlygos, reikalingos pastatų termovizinei patikrai. Analizuojami termovizijos privalumai, nauda ir taikymo galimybės šiuolaikinės statybos industrijoje statant mažaenergius pastatus.

Reikšminiai žodžiai: termovizorius, termovizija, termograma, mažaenergis pastatas.

Įvadas

Naujų pastatų statyba, senų pastatų modernizavimas, jų priežiūra, šildymo, vėdinimo ir vėsinimo sistemų rekonstrukcija yra tiesiogiai susiję su energijos vartojimo pastatuose tendencijomis. 2010/31/ES direktyvoje numatyta, kad ateityje (po 2020 m. gruodžio 31 d.) visi naujai statomi pastatai turi būti beveik energijos nevartojantys pastatai (2010/31/EB direktyva; Štreimikienė, Mikalauskienė 2012).

Atsižvelgiant į didelį energijos poreikį pastatų sektoriuje, susiformavo mažaenergio pastato sąvoka. Tačiau skirtingose šalyse reikalavimai tokiems pastatams apibrėžiami taip pat skirtingai (Allard et al. 2013).

Mažaenergių ir beveik energijos nevartojančių daugiabučių pastatų statyba ir eksploatavimas padėtų sumažinti energijos poreikius ir susidarančiu teršalų kiekius pastatų sektoriuje, ypač naudojimo laikotarpiu (Gudzinskas et al. 2011).

Pastatų energetiniu efektyvumu Lietuvoje pradėta rūpintis ne taip ir seniai. Lietuvoje pastatytų efektyvių A++ arba pasyvių namų sertifikatus turinčių namų yra vienetai. Pagal dabartinius pasyvių namų statymo tempus Lietuvoje susidaro įspūdis, kad mes esame atsilikę nuo pasyvių namų tėvynės apie 20 metų, nes pirmieji pasyvūs namai Vokietijoje pradėti statyti apie 1993 metus.

Pastatai, statyti Lietuvoje statybų pakilimo metu (2005-2008 metais), nebuvo orentuoti į mažų energetinių sąnaudų namus. Reikėjo statyti daug, greitai ir visiems, todėl apie pažangius konstruktyvinius sprendimus nebuvo net kalbos. Ekonomija arba energetiniu pastatų efektyvumu, t.y. pasyviais namais Lietuvoje pradėta domėtis tik po 2008-2009 metų, kuomet algos pradėjo drastiškai mažėti, o energetiniai resursai pradėjo brangti. Daugelis prisiminė, kad neblogas sprendimas pasitikrinti namo nesandarias vietas yra termovizinės nuotraukos.

Termovizija – vienas iš efektyviausių būdų leidžiantis šilumą ne tik pajausti, bet ir pamatyti.

Straipsnio tikslas – apžvelgti termovizoriaus pritaikomumą statybų sektoriuje.

Straipsnio objektas – infraraudonųjų spindulių kamera.

Tikslui pasiekti iškelti šie **uždaviniai**:

1) aptarti termovizinės kameros veikimo principą bei konstrukciją;
2) palyginti termovizorius su panašios paskirties įrenginiais;
3) išanalizuoti termovizijos privalumus, naudą ir taikymo galimybes statyboje.

Naudojami metodai: literatūros šaltinių analizė, detalizavimas, apibendrinimas.

Termovizinės sistemos – būdas stebėti ir kontroliuoti mus supančią aplinką

Infraraudonųjų spindulių tyrinėjimo epocha prasidėjo 1800 metais, Britų astronomui Viljamui Heršeliui tyrinėjant Saulės spektrą, ir tęsiasi iki šių dienų [12].

Infraraudonieji spinduliai (sutr. IR) tai žmogaus akimi nematomos elektromagnetinės bangos, kurių ilgis didesnis nei matomos šviesos. Išvertus iš Lotynų kalbos, pavadinimas reiškia žemiau raudono (lot. “infra” – žemiau). Raudona spalva, tai yra matomos šviesos ilgiausias bangos ilgis. Infraraudonųjų bangų diapazonas yra tarp 700 nm ir 1 mm [12].

Kiekvienas fizinis kūnas, kurio temperatūra yra virš absoliutaus nulio (- 273^0 C), natūraliai skleidžia infraraudonuosius spindulius, proporcingus kūno paviršiaus temperatūrai. Infraraudonųjų spindulių intensyvumas tiesiogiai priklauso nuo objekto temperatūros – kuo kūno temperatūra aukštesnė, tuo intensyvesnis spinduliavimas. Termovizorius – įrenginys, gebantis vizualizuoti infraraudonosios spinduliuotės intensyvumo pasiskirstymą kūno paviršiuje.

Pirmosios termovizinės sistemos buvo gremėzdiškos, lėtos, turėjo mažą rezoliuciją. 1970-aisias metais pažanga kariniuose panaudojimuose privedė prie pirmųjų pernešamų sistemų atsiradimo. Šias sistemas pradėta naudoti ir pastatų diagnostikai. Šiandien termovizoriai leidžia atlikti itin tikslius matavimus, kontroliuoti technologinius procesus ir užtikrinti saugumą, o termovizija yra vienintelė diagnostikos technologija, kuri leidžia akimirksniu vizualizuoti objekto skleižiamą temperatūrą.

Termovizoriumi galima naudotis esant bet kokiomis matomumo ir oro sąlygomis, taip pat ir visiškoje tamsoje. Anglies dioksidas ir vandens garai gali skleisti šiluminį spinduliavimą ir tai gali šiek tiek iškreipti temperatūrinį stebimų objektų vaizdą, tačiau šie nuokrypiai labai nežymūs. Termovizoriaus veikimas nepriklauso nuo to kokioj vietovėj vyksta stebėjimas (lygumoj, miške ar krūmynuose). Tai leidžia naudoti termovizorius stebėjimui iš oro, kai termovizorius pritvirtinamas prie žvalgybinio lėktuvo arba šiais laikais išpopuliarėjusio drono.

Pagrindinis ir svarbiausias termovizoriaus trūkumas yra didelė kaina. Didelę dalį prietaiso kainos sudaro jo pagrindinių komponentų – matricos ir objektyvo kaina. Taip yra todėl, kad matricų gamyba yra gan sudėtinga ir reikalauja ne mažų piniginių resursų, o objektyvo gamybai naudojama reta ir brangi medžiaga – germanio kompozitas.

Termovizorius galima skirstyti į:

- *Stebėjimo*. Šie prietaisai vizualizuoja aptikto ar stebimo objekto skleižiamą temperatūrą.
- *Matavimo*. Šie prietaisai, be temperatūros vizualizavimo, prietaiso ekrane ar kompiuterio monitoriuje kiekvienai spalvai priskiria skaitinę reikšmę.

Šiandien termovizorių panaudojimas yra labai platus. Jie sėkmingai naudojami elektroenergetikoje; karyboje bei jėgos struktūrose; medžioklėje; ekstremaliosiose situacijose; medicininiuose tyrimuose; statyboje ir daugelyje kitų sričių. Vertėtų paminėti, kad statybų sektoriui, medicinai skirtuose termovizoriuose yra svarbi radiometrijos funkcija, tai yra kada termovizoriaus modulis papildomai kalibruojamas, kad iš gauto signalo galima būtų nustatyti ne tik kuris objektas yra šiltesnis ar šaltesnis, bet ir kokia yra objekto temperatūros skaitinė reikšmė. Kariuomenei ar medžioklei skirtiems termovizoriams tai nėra taip svarbu, kaip svarbus vaizdo atnaujinimo dažnis ar smulkių objektų aptikimas esant sudėtingoms sąlygoms.

Termovizorių veikimo principas ir jo sudedamos dalys

Termovizoriaus veikimo principą galima apibūdinti trimis etapais: 1) IR spinduliavimo fiksavimas; 2) Signalo pavertimas temperatūrinėm vertėm; 3) Termogramos sudarymas. Šis procesas vyksta akimirksniu, kai objekto skleidžiami infraraudonieji spinduliai optikos pagalba yra fokusuojami į jutiklį, o elektronikos pagalba duomenys, gauti iš jutiklio yra paverčiami elektroniniu vaizdu (termograma), kuris atvaizduojamas ekrane.

Termograma – tai objekto šiluminis vaizdas, atvaizduojantis temperatūrų pasiskirstymą ant objekto paviršių.

Pagrindinės termovizinės kameros dalys:

Objektyvas. Jis naudojamas infraraudonųjų spindulių fokusavimui ir perdavimui į termovizoriaus jutiklį. Pagrindinis reikalavimas objektyvui – laidumas infraraudonajam spinduliavimui. Termovizorių objektyvai yra gaminami iš germanio kompozito, kadangi ši medžiaga, priešingai nei stiklas, gerai praleidžia infraraudonąjį spinduliavimą.

Objektyvai skirstomi į stacionarius ir nuimamus. Nuimamų objektyvų naudojimas leidžia, nekeičiant vietos, daryti tiek panoramines tiek detalizuotas šilumines objektų nuotraukas.

Objektyvas – brangi termovizoriaus detalė, kurios kaina sudaro apie 30% termovizoriaus kainos.

Ekranas. Šiluminis vaizdas yra atvaizduojamas termovizoriaus skystųjų kristalų ekrane. Ekrane taip pat dažnai yra atvaizduojama papildoma informacija, tokia kaip – baterijos įkrovimo lygis, data, laikas, objekto temperatūra (^{O}F, ^{O}C ar K).

Signalų apdorojimo, informacijos atvaizdavimo ir kameros valdymo elektronika. IR jutiklis ir signalo apdorojimo elektronika yra skirti infraraudonojo spinduliavimo registravimui ir pavertimui vartotojui suprantama informacija – šiluminiu vaizdu. Siekiant pagerinti šiluminį vaizdą ekrane, valdymo elektronikos pagalba galima atlikti įvairius nustatymus. Elektroniniu būdu galima pakeisti tokius nustatymus kaip temperatūrų skalę, šiluminį lygį ir diapazoną, spalvų paletę.

Duomenų laikmena. Elektroniniai skaitmeniniai failai, kuriuose įrašyti šiluminiai vaizdai ir papildomi duomenys, yra saugomi įvairių tipų elektroninių kortelių atmintyje arba duomenų saugojimo ir perdavimo įrenginių atmintyje. Dauguma infraraudonųjų spindulių termovizinių sistemų taip pat leidžia išsaugoti papildomus garsinius ir tekstinius duomenis.

Termovizija statyboje

Energetinis auditas – tai pastatų ir statinių energijos suvartojimo efektyvumo analizė, padedanti optimizuoti suvartojamos energijos sąnaudas. Atlikus pastato patikrą ir gavus pastatui būdingus ir charakteringus duomenis, yra daroma energijos suvartojimo analizė, kuri leidžia pasirinkti optimalius energijos nuostolių mažinimo metodus. Išsamesnei termovizinių nuotraukų analizei naudojama speciali programinė įranga. Jos dėka vartotojas gali atlikti išsamią termovizinių vaizdų analizę bei kaupti duomenis savo asmeniniame kompiuteryje arba išmaniajame telefone. Termovizoriaus pagalba nustatyti statinio trūkumai leidžia kvalifikuotai taisyti broką, kokybiškai atlikti pastato renovaciją, vertinti statinio būklę prieš įsigyjant nekilnojamą turtą ir įvertinti darbų kokybę pastato statybos metu.

Šiuo metu termovizinių tyrimų rezultatai – tai bene patikimiausias informacijos šaltinis apie statybinio objekto būklę. Termograma leidžia surasti potencialiai silpnas vietas, iš pirmo žvilgsnio, atrodytų, patikimose konstrukcijose. Termovizorių panaudojimas leidžia ne tik pamatyti problemas, bet ir nustatyti jų priežastis, bei surasti būdą jas pašalinti.

Tai idealus diagnostikos būdas, skirtas ištirti išorinės izoliacijos trūkumus. Dažna šilumos nuostolių priežastis būna nekokybiška termoizoliacija, jos įrengimo technologijos pažeidimai, taip pat ir neteisinga ekspoatacija.Nekokybiško termoizoliacijos sluoksnio pakeitimas statybos metu kainuos daug pigiau, nei jo pakeitimas vėliau. Mūro ir perdenginių defektai yra dažna skersvėjų ir šilumos nuostolių (šalčio tiltelių) priežastis – tik termovizinės diagnostikos pagalba galima pamatyti ir įvertinti tokius ir panašius pastato trūkumus.

Durų, langų ir sienų analizė suteikia galimybę įvertinti panaudotų statybinių medžiagų kokybę. Termograma puikiai iliustruoja šilumos nuotėkio vietas, atsirandančias dėl nekokybiškai atliktų montavimo darbų ar gamybos defektų, ten kur yra sumontuoti langai, kiti įstiklinti namo paviršiai ar durys. Termovizinės patikros metu taip pat gali būti lokalizuoti šilumos nuotėkiai per ventiliacines sistemas bei inžinerinių tinklų įvadus.

Ypač neigiamas veiksnys, įtakojantis atitvarinių konstrukcijų funkcionavimą, yra vandens sankaupos. Vandens sankaupos puikiai matomos termogramoje, kadangi vanduo turi sąvybę išlaikyti šilumą ilgiau negu statybinės medžiagos.

Termovizinius tyrimus rekomenduojama atlikti šaltuoju metų laiku, kai patalpų vidaus ir išorės aplinkos oro temperatūrų skirtumas yra ne mažesnis nei $15^{O}C$. Brangesnis būdas, kuris leidžia termozinius tyrimus atlikti ir šiltuoju metų laiku, tai termovizinis tyrimas kartu su sandarumo testu, kuomet tam tikra vėdinimo sistema siurbia šaltą orą pastate, o termovizorius fiksuoja nutekėjimo vietas. Taip pat rekomenduojama, kad ant tiriamų paviršių nebūtų tiesioginės saulės apšvietos, kuri matavimus daro netikslius, nes paviršiai tokiu atveju įšyla. Paprastai įstaigų ar pastatų energijos suvartojimo audito metu yra atliekama keletas matavimų, o gautos termogramos apdorojamos programine įranga, kas daro rezultatus tikslesniais.

Į ką atkreipti dėmesį renkantis termovizorių?

Renkantis termovizorių vertėtų atkreipti dėmesį į šiuos kriterijus:

Infraraudonųjų spindulių jutiklis. IR spindulių jutiklio dydis – tai parametras, kuris įtakoja ekrane gaunamo vaizdo kokybę. Kuo didesnė skiriamoji geba, tuo tikslesnis vaizdas. Atliekant termovizinę daugiaaukščių pastatų, konstrukcijų ar tiesiog aukštų objektų diagnostiką su termovizoriumi, turinčiu mažą jutiklio skiriamąją gebą, bus matoma tik vidutinė sąlyginai didelio ploto temperatūra ir galimai nesimatys šiluminių dėmių, temperatūrinių siūlių, sujungimų, įtrūkimų ir t.t. skirtumų. Todėl statyboje, energetikoje, termoviziniams tyrimams ir kotrolei rekomenduojamas termovizorius su ne mažesne kaip 120×120 pikselių (optimali yra 320×240 ir didesnė) matricos skiriamąja geba.

Matuojamų temperatūrų diapazonas. Kuo platesnis temperatūrinis diapazonas, tuo platesnė prietaiso pritaikymo sritis. Tiriant šilumos nuostolius pastatuose ir namuose, nereikia matuoti aukštų temperatūrų, šiems tyrimams pakanka termovizoriaus, kurio temperatūros matavimo riba yra iki 250ºC.

Prietaiso eksploatacijos sąlygos:

- termovizoriai, skirti tyrimams patalpose, kurios temperatūra svyruoja nuo 0 iki +40°C ir santykinis drėgnumas yra ne didesnis nei 80%, viduje;
- termovizoriai, skirtus pastatų ir statinių fasadų diagnostikai, kai temperatūra svyruoja nuo -20 iki +50°C ir santykinis drėgnumas yra ne didesnis nei 95% (su jais galima dirbti ir patalpos viduje).

Terminis jautrumas. Kuo mažesnis prietaiso terminis jautrumas, tuo kokybiškesnis objekto skleidžiamas infraraudonųjų spindulių atvaizdas matomas termovizoriaus ekrane. Termovizorius, kurio terminis jautrumas yra 0,05°C ar mažesnis, leidžia atvaizduoti net minimalius temperatūrinius nuokrypius.

Atvaizdavimo režimas. Be pagrindinio – "pilno IR" režimo, kuris yra visuose modeliuose, kai kurie prietaisai turi ir papildomus režimus, pvz. galimybę ekrane sukurti "langą" su IR vaizdu, (Režimas **Picture-in-Picture**); Šios ir panašių funkcijų dėka galima lengviau analizuoti problemines pastato vietas.

Papildomos funkcijos. Prietaiso su papildomom funkcijom kompektacija leidžia praplėsti jo galimybes ir jo panaudojimo sritį. Pvz. galimybė priartinti objektą, leidžia atlikti energijos suvartojimo auditą statinio, kuris yra nutolęs nemažu atstumu.

Prietaiso apsaugos klasė. IP (angl.: Ingress Protection) reikšmės naudojamos apibūdinti elektrotechnikos atsparumo klasę nuo šalutinio dulkių ir drėgmės poveikio. Pirmas skaitmuo esantis po IP žymėjimo nurodo atsparumo klasę dulkėms, antras – drėgmei (vandeniui). Jeigu bandymai nebuvo atliekami vietoje skaičiaus naudojama X reikšmė [7].

Galimos pirmojo skaitmens reikšmės: 0 - neatsparus; 1 - apsaugotas nuo kietųjų dalelių poveikio kurių dydis virš 50mm (pvz.: ranka); 2 - apsaugotas nuo kietųjų dalelių poveikio kurių dydis virš 12.5mm (pvz.: pirštas); 3 - apsaugotas nuo kietųjų dalelių poveikio kurių dydis virš 2.5mm (pvz.: smailus objektas); 4 - apsaugotas nuo kietųjų dalelių poveikio kurių dydis virš 1mm (pvz.: mažos detalės); 5 - apsaugotas nuo smulkių dulkių; 6 - apsaugotas nuo bet kokio dulkių poveikio [7].

Galimos antrojo skaitmens reikšmės: 0 - neatsparus; 1 - apsaugotas nuo vertikaliai krentančių vandens lašų; 2 - apsaugotas nuo vandens lašų krentančių 15 laipsnių kampu; 3 - apsaugotas nuo vandens lašų krentančių 60 laipsnių kampu; 4 - apsaugotas nuo vandens lašų krentančių visomis kryptimis; 5 - atsparumas nuo vandens poveikio, kuris purškiamas mažu spaudimu; 6 - apsaugotas nuo vandens poveikio, kuris purškiamas aukštu spaudimu (tinka naudojimui laivų pramonėje); 7 - apsaugotas nuo panardinimo į vandenį 30 min ir ne giliau kaip iki 1 m; 8 - apsaugotas nuo ilgalaikio panardinimo į vandenį, giliau kaip 1 m; 9 - apsaugotas nuo vandens poveikio (hermetiškas) [7].

Pvz.: IP67 nurodo, kad prietaisas yra apsaugotas nuo dulkių poveikio ir gali būti panardinamas į vandenį trumpam laikotarpiui.

Panašios paskirties prietaisai

Vertėtų paminėti tokius prietaisus kaip pirometras bei naktinio matymo prietaisas. *Pirometras* – tai nuotolinis infraraudonųjų spindulių termometras. Pirometru galima greitai ir patikimai nustatyti temperatūrą tik tiriamo objekto konkrečiame taške, o termovizorius gali parodyti spalvinį šilumos pasiskirstymo po visą objekto paviršių paveikslą.

Naktinio matymo prietaisas perduoda atspindėtą ir sustiprintą spinduliavimą – apšvietą nuo objektų. Šią naktinio matymo prietaiso funkciją gali atlikti ir termovizorius, o termovizinės nuotraukos naktinio matymo prietaiso pagalba gauti neįmanoma. Naktinio matymo veikimui pakanka mėnulio šviesos ar tiesiog šviesos skeidžiamos žvaigždėto dangaus. Visgi, absoliučios tamsos sąlygom, jo veikimas yra neįmanomas. Šio prietaiso trūkumas yra ir tas, kad jo pagalba nėra galimybės stebėti objektų, skleidžiančių ryškią šviesą. Ryškią šviesą skleidžiančiam objektui patekus į stebimą zoną naktinio matymo prietaisas "apanka" ir neberodo jokio vaizdo.

Kaip toli galima pamatyti su termovizoriumi?

Termovizoriumi galima naudotis visiškoje tamsoje, esant nedideliam rūkui, nestipriai lyjant ar sningant. Atkreiptinas dėmesys, kad nuo minėtų atmosferos sąlygų priklauso termovizoriaus veikimo atstumas. Kuo mažiau veiksnių, kurie mažina objekto infraraudonųjų spindulių spinduliavimą, tuo didesnį atstumą šie spinduliai gali „nukeliauti“. Lietus ir rūkas gali stipriai apriboti termovizoriaus veikimo atstumą dėl šviesos išsisklaidymo ant vandens lašų. Tačiau nežiūrint į sumažėjusį stebėjimo atstumą rūke, esant lietui ar sniegui, objektas vis tiek bus geriau matomas termovizoriumi, nei panašiomis sistemomis pvz. vaizdo kamera.

Ne taip paprasta atsakyti į klausimą kaip toli galima pamatyti termovizoriaus pagalba. Tai priklauso nuo daugybės aplinkos veiksnių bei termovizoriaus parametrų, taip pat nuo objekto pasirinkimo, fono charakteristikų ir atmosferos sąlygų.

Tikslinga būtų užduoti tokius klausimus - kokiu atstumu galima aptikti objektą, kokiu atstumu atpažinti objektą ir kokiu atstumu galima indentifikuoti objektą.

Taigi – objekto aptikimas vyksta tuomet, kai termovizoriaus ekrane pastebimas objektas, skleidžiantis šilumą. Objekto atpažinimas – tai galimybė suprasti kokio tipo objektą mes matome – žvėris, automobilis ir t.t. Objekto indentifikacija – tai galimybė nustatyti kokį žvėrį ar automobilį matome.

Išvados

1. Termovizorius šiandien yra nepakeičiamas diagnostikos prietaisais, palengvinantis darbą daugelio sričių specialistams, bei profesionalams.

2. Neatsižvelgiant į tai, jog termovizorius yra brangus prietaisas, jo pagalba aptiktus trūkumus ištaisius laiku, atlikus vykdomų darbų ar projektų analizę jų eigoje, galima sutaupyti du, tris ar dar daugiau kartų.

3. Padarius termovizinę pastato nuotrauką, galima itin tiksliai nustatyti problemines pastato vietas, per kurias prarandama tokia brangi šiluma. Taigi termovizija – optimalus būdas leidžiantis šilumą pamatyti, o nustačius ir užkirtus šilumos praradimo "kelius", galima išvengti tokių didelių šilumos nuostolių, kuriuos turime senos statybos pastatuose ir taip pastatus paversti mažaenergiais pastatais.

4. Šiandien termovizorių pasiūla yra didelė, tad prieš renkantis termovizorių reikia tinkamai įvertinti sritis bei sąlygas kur jis bus taikomas, teisingai įvertinti savo poreikius, kad pasirinkti optimalų prietaiso variantą, kuris atitiktų kainos ir kokybės santykį.

Literatūra

1. 2010/31/ES Europos parlamento ir tarybos direktyva "*Dėl pastatų energinio naudingumo*". Briuselis, 2010. Prieiga internetu < http://www.lsta.lt/files/2010_31_Pastau_energinio_naudingumo.pdf. Peržiūrėta 2016 01 08.
2. Allard, I.; Olofsson, T.; Hassan, O. A. B. Methods for energy analysis of residential buildings in Nordic countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 2013, Nr. 22, p. 306-318.
3. *A Solution for Every Building Problem.* FLIR. Prieiga internetu: <http://www.flir.com/instruments/building/content/?id=65320. Peržiūrėta 2016 02 01>.
4. Colantonio, A. *Detection of Moisture and Water Intrusion Within Building Envelopes By Means of Infrared Thermographic Inspections*. Public Works and Government Services Canada, 2005. Prieiga per internetu: <https://c.ymcdn.com/sites/www.nibs.org/resource/resmgr/BEST/BEST1_001.pdf>. Peržiūrėta 2016 01 20.
5. Gudzinskas, J.; Lukoševičius, V.; Martinaitis, V.; Tuomas, E. *Šilumos vartotojo vadovas.* Vilnius: Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija, 2011, ISBN 978-609-95258-0-8.
6. Prieiga internetu: http://youspec.ru/. Peržiūrėta 2016 02 03.
7. Prieiga internetu: https://en.wikipedia.org/wiki/IP_Code. Peržiūrėta 2016 02 16.
8. Prieiga internetu: https://pasyvusnamas.info/. Peržiūrėta 2016 02 16.
9. *Termovizija. Šilumos nuostolių nustatymas.* Kauno technologijos universitetas. Prieiga internetu: http://remontogidas.lt/images/siluma-garsas/Termovizija.%20Silumos%20nuostoliu%20nustatymas.%20www.remontogidas.lt.pdf. Peržiūrėta 2016 01 21.
10. *Thermal Imaging basics for building inspections*. An infrared building inspection guidebook. Fluke corporation, 2011.
11. *Thermal imaging guidebook for building and renewable energy applications.* FLIR, 2011.
12. *Тепловизоры для строительства.* ООО "Пергам - Украина Инжиниринг". Prieiga internetu: http://www.pergam.com.ua/catalog_86.htm?PHPSESSID=f5vqp0tuqqd0navrvm5i057gb2. Peržiūrėta 2016 02 01.

THERMAL IMAGING CAMERA – ASSISTANT IN LOW-ENERGY BUILDINGS CONSTRUCTION AND COMPLEX MODERNISATION

Summary

The first commercial thermal imaging camera was sold in United States of America in 1965 for high voltage power line inspections. Since then thermal imaging technology has evolved. Today the thermographic technology is successfully applied in various fields.

This article reviews the operating principles and construction of thermal imaging cameras, compares advantages and disadvantages of similar devices.

The article discusses the conditions, necessary for building thermal inspection, benefits and application possibilities in modern construction industry.

Key words: thermal imaging camera, thermovision, thermogram, low energy house.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Anna Glinskienė
Mokslo laipsnis ir vardas: lektorė
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, statybos fakulteto statybos katedros lektorė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: inžinerinių tyrimų metodologija
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 628 06820, a.glinskienė@vtdko.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Justinas Glinskis
Mokslo laipsnis ir vardas: -
Darbo vieta ir pozicija: UAB "Vilrida" gamybos vadybininkas
Autoriaus mokslinių interesų sritys: gamybos technologijos

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 677 62212, justinas@vilrida.eu

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Anna Glinskienė
Science degree and name: lecturer
Workplace and position: Vilnius College of technologies and design, civil engineering faculty civil engineering depatment associated lecturer
Author's research interests: methodology of engineering sciences
Telephone and e-mail address: 8 628 06820, a.glinskienė@vtdko.lt

Author name, surname: Justinas Glinskis
Science degree and name: -
Workplace and position: UAB "Vilrida" production manager
Author's research interests: manufacturing technologies
Telephone and e-mail address: 8 677 62212, justinas@vilrida.eu

VILNIAUS MIESTO APLINKOS ORO TARŠOS TYRIMAS ATSIŽVELGIANT Į KELIŲ TRANSPORTO PRIEMONIŲ SRAUTO SUDĖTĮ

Martynas Kažukauskas, Modesta Gusarovienė, Jurijus Zaranka, Jonas Matijošius
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija
Šiame straipsnyje pateikiama Geležinio vilko – Ukmergės gatvių sankryžos Vilniuje eismo srauto intensyvumo analizė. Minėta analizė atliekama intensyviausiu ir mažiausiai intensyviu laikotarpiais. Straipsnyje skaičiuojama reali aprašytos sankryžos tarša. Taip pat pateikiamas optimistinis – teorinis eismo srauto sudėties modelis. Šio optimistinio eismo srauto sudėties modelio tarša apskaičiuojama atitinkamais laikotarpiais Geležinio vilko – Ukmergės gatvių sankryžoje. Atliekamas realaus ir teorinio eismo srauto sudėties modelių taršos palyginimas. Pateikiama statistinio koreliacinio ryšio analizė tarp minėtų priklausomybių.
Reikšminiai žodžiai: priklausomybė, koreliacija, tarša, intensyvumas.

Įvadas

Miesto transportas yra viena iš didžiausių problemų ne tik Lietuvoje, bet ir visame pasaulyje. Aplinkos tarša mieste yra didžiulė problema, nes tiesiogiai kenkia žmonių sveikatai. Dėl aplinkos taršos miestų gyventojai turi keisti savo gyvenimo įpročius. Taip pat dėl didėjančios aplinkos taršos miestuose nukenčia ir mūsų finansinė padėtis. Siekdami sumažinti aplinkos taršą, mokame taršos mokesčius, taip pat mokame už techninių, organizacinių, bei informacinių aplinkos taršos mieste mažinimo priemonių diegimą. Taigi efektyvus aplinkos taršos sumažinimas miestuose yra būtinybė (Kim ir Kabir 2015).

Daugiausia transporto priemonės gatves teršia nuodingais vidaus degimo variklių deginiais, bei triukšmu. Siekiant sumažinti šias taršas reikalingi efektyvūs sprendimai taršos mažinimo srityje. Atlikus eismo srauto sudėties analizę ir įgyvendinus galima sumažinti taršą Vilniaus mieste. Šiuo tyrimu siekta atskleisti, kokią naudą gali suteikti taip vadinamos hibridinės transporto priemonės ir skatinti jų pasirinkimą. Vilniaus miesto eismo srauto intensyvumo rodikliai gauti iš srauto valdiklio esančio Geležinio vilko – Ukmergės gatvių sankryžoje.

Tyrimo **tikslas** – atlikti Vilniaus miesto aplinkos oro taršos tyrimą, atsižvelgiant į kelių transporto priemonių srauto sudėtį.

Tikslui pasiekti išsikelti šie **uždaviniai**:

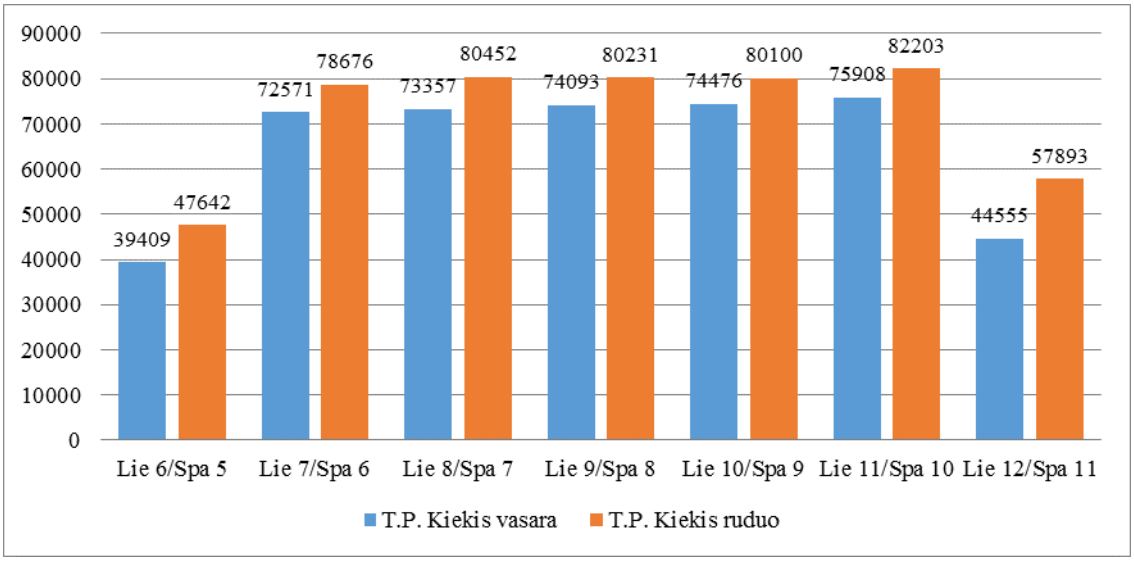
1. Atlikus eismo srauto sudėties realaus ir optimistinio modelio taršos skaičiavimą, pasiūlyti sprendimų taršai sumažinti;
2. Pagrįsti hibridinių transporto priemonių naudojimo naudą.

Tyrimo modeliai ir metodai. Straipsnyje pateikiamas realus ir optimistinis eismo srauto sudėties modeliai. Atliekamas šių modelių taršos skaičiavimas intensyviausiu ir mažiausiai intensyviu laikotarpiais. Pateikiama statistinio koreliacinio ryšio analizė tarp minėtų priklausomybių.

Geležinio vilko – Ukmergės gatvių sankryžos Vilniuje eismo srauto intensyvumo analizė. Realus modelis.

Automobilių srautas ypač apimtis priklauso nuo jo sudėties. Nuo srauto sudėties priklauso ir išmetamų teršalų momentinės ir ekvivalentinės vertės. (Jonhstone ir Karouzakis 1999). Geležinio vilko – Ukmergės gatvių sankryža, kuri Vilniaus miesto transporto modelyje įvardinama, kaip K 255 (žr. 1 pav.). Šios sankryžos eismo intensyvumas tirtas vasarą (2014.07.06 – 2014.07.12) ir rudenį (2014.10.05 – 2014.10.11). Šios tyrimo atlikimo datos pasirinktos kuomet eismas sankryžoje mažiausiai intensyvus t. y. vasarą ir intensyviausias – rudenį. Ši sankryža turi 12 judėjimo krypčių, kurios sužymėtos minėtame 1 paveiksle. Iš sankryžoje esančio K255 valdiklio gauti duomenys apdorojami MAPLE programa, formuojami rezultatai. Iš pateikiamo paveikslo (žr. 2 pav.) ir 1 lentelės matome, kad srautas sankryžoje rudenį didesnis nuo 8,41% iki 29,94 % atitinkamomis savaitės dienomis.

1 pav. Geležinio vilko – Ukmergės gatvių sankryža
Šaltinis: SĮ „Susisiekimo paslaugos“ duomenys



2 pav. Sankryžos K255 eismo srautų palyginimas
Šaltinis: Tyrimo duomenys

1 lentelė

Transporto priemonių srauto padidėjimas vasarą/rudenį

Lie6/Spa5	**+20.89 %**
Lie7/Spa6	+8.41 %
Lie8/Spa7	+9.67 %
Lie9/Spa8	+8.28 %
Lie10/Spa9	+7.55 %
Lie11/Spa10	+8.29 %
Lie12/Spa11	+29.94 %

Šaltinis: Tyrimo duomenys

Kelių transporto priemonių sukeliamos taršos mieste skaičiavimo metodika

Automobilių judančių srautu gatvėmis į atmosferą išmetamų teršalų nustatymo metodika leidžia apskaičiuoti maksimalias vienkartines autotransporto emisijas ir gali būti taikoma visoms automobilių rūšims

eksploatuojamoms miestuose. Ši metodika leidžia apskaičiuoti į atmosferą patenkančių kenksmingų medžiagų kiekius. Pagrindinės kenksmingos medžiagos yra šios:

- CO (anglies monoksidas);
- NO_x (azoto oksidai) perskaičiuojami į NO_2 (azoto dioksidą);
- CH (angliavandeniliai);
- KD (kietosios dalelės);
- SO_x (sieros oksidai) perskaičiuojami į SO_2 (sieros dioksidą).

Automobilių srauto intensyvumui gatvėse yra skirstomi į zonas kurios nagrinėjamos atskirai. Jeigu gatvė turi sankryžas papildomai apskaičiuojamas išmetamų kenksmingų medžiagų kiekis M_{pi} kiekvienai zonai. Būtina įvertinti, kad didžiausias kenksmingų medžiagų kiekis iš automobilių išsiskiria juos stabdant arba jam sustojus prie sankryžos degant draudžiamam šviesoforo signalui, taip pat pradėjus judėti, užsidegus leidžiamam šviesoforo signalui. Todėl atsiranda būtinybė gatvėje prie šviesoforo išskirti zonas kuriose susidaro automobilių spūstys, nes tada automobilis dirba tol kol užsidega leistinas judėti šviesoforo signalas. Tokiu būdu gatvėje su reguliuojama sankryža suminis $\sum M_i$ i–tasis komponentas nustatomas dviem etapais. Judančių automobilių srauto išmetamos iki sankryžos ir sankryžos zonoje.

Automobilių srauto kenksmingų medžiagų nustatymas gatvėse iki sankryžos.

Gatvėmis (arba jų atkarpomis) judančio automobilio srautų išmetamų *i*–tosios taršos dalelių kiekis (g/s), R– kilometrų ruože apskaičiuojamas pagal formulę:

$$M_{Li} = \frac{L}{3600} \cdot \sum_1^K m_{ik}^{np} \cdot V_K \cdot r_{iv} \quad \text{(Twirpx ... 2016)} \qquad (1)$$

čia *L*– gatvės ilgis, iš kurio atimamas automobilio eilės ilgis prieš draudžiamą šviesoforo signalą ir sankryžos atkarpą; m_{ik}^{np}– *k*–tosios automobilių grupės *i*–tasis kenksmingas medžiagos išmetimas eksploatuojant automobilį mieste; *k*– automobilių grupių skaičius; V_K– *k*– tasis grupės judėjimo intensyvumas, automobilių skaičius per valandą; r_{iv}– korekcijos koeficientas įvertinantis automobilių srauto vidutinį judėjimo greitį pasirinktoje gatvėje (arba atkarpoje).

Pagal pateiktą metodiką atskiruose taršos skaičiavimo metodikos skyriuose naudojamos skirtingos dimensijos.

2 lentelė

Koeficiento r_{iV} reikšmės

v, km/val.	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	80	100
r_{iV}	1,35	1,28	1,2	1,1	1,0	0.88	0,75	0,63	0,5	0,3	0,45	0,5	0.65

Automobilių srauto kenksmingų medžiagų kiekio nustatymas reguliuojamoje sankryžoje

Reguliuojamoje sankryžoje oro tarša pasižymi didžiausiu kenksmingų išmetamų kiekiu (stabdymas, laisva eiga, įsibėgėjimas). Kiekvienas išmetamas i–tasis kenksmingas medžiagų kiekis M_{pi} (g/min) reguliuojamoje sankryžoje, degant draudžiamam šviesoforo signalui apskaičiuojamas:

$$M_{pi} = \frac{R}{40} \cdot \sum_{n=1}^{N_c} \cdot \sum_{k=1}^{N_{gr}} (m_{ik}^{el} \cdot Q_{max}^k) \qquad \text{(Twirpx ... 2016)} \qquad (2)$$

čia *R*– vidutinio draudžiamo signalo veikimo trukmė minutėmis; N_c – draudžiamo signalo periode skaičius per 20 min; N_{gr} – automobilių grupių skaičius; m_{ik}^{el}– lyginamosios *k*– grupės automobilių stovinčių eilėje prieš draudžiamuosius šviesoforo signalus išmetamosios *i*– tosios medžiagos kiekis (g/min); Q_{max}^k– *k*– tosios grupės automobilių stovinčių sankryžos zonoje *n* – tojo draudžiamojo signalo pabaigoje eilės ilgis; N_{pi}– g/min apskaičiuojamas artėjant prie sankryžos susiveda į transporto eilės ilgio nustatymą. Tai atliekama dviem etapais:

Visų transporto priemonių srautų ilgis

Nustatomi kiekvienos transporto priemonės ilgiai. Draudžiamojo signalo pabaigoje eilės ilgis artėjant prie sankryžos nustatomas kiekvienai krypčiai pagal formules.

$$Q_{max} = \frac{V \cdot R}{3600 \cdot \left(1 - \frac{V}{5}\right)} \quad \text{(Twirpx ... 2016)} \qquad (3)$$

čia *R*– vidutinio draudžiamojo signalo trukmė degimas sekundėmis; *S*– srauto dydis judėjimo juostoje transporto priemonių eilės išvažiavimo intensyvumas aut/h; N_c– draudžiamojo šviesoforo signalo periodo skaičius per 20 min. apskaičiuojamas pagal formulę:

$$N_c = \frac{1200}{c} \quad \text{(Twirpx ... 2016)} \tag{4}$$

čia c– šviesoforo ciklas, s.

Skaičiuojant kenksmingų medžiagų kiekius sankryžos zonoje daroma prielaida, kad pasirinktame 20 min. laiko intervale kiekvieno draudžiamojo signalo pabaigoje transporto srauto sudėtis ir ilgis bus vienodas. Apskaičiavus judančio ir sankryžoje stovinčių automobilių kenksmingų medžiagų kiekius sumuojami į bendrą.

$$M_i = M_{Li} + M_{pi} \quad \text{(Twirpx ... 2016)} \tag{5}$$

Sankryžos K255 taršos rezultatų palyginimas atitinkamais laikotarpiais

Bendras sankryžos K255 apkrovimas liepos 9 dieną buvo 74093 transporto priemonės, tuo tarpu pereinamuoju laikotarpiu spalio 8 dieną 80231 transporto priemonė. Srauto prieaugis sudarė 8,28%. Sankryžos tarša rudenį buvo 25,48% didesnė CO teršalui, 24,22% didesnė NO_2 teršalui, 15,84% didesnė CH teršalui, 20,42% kietosioms dalelėms (KD) ir 13,47% didesnė SO_2 teršalui. Taršos rezultatai pateikiami 3 pav.

Literatūroje kaip vienas iš taršos, o kartu ir transporto srauto mažinimo būdų pateikiamas – tiesioginis taršos mokestis. Tai toks mokestis kurį nustato valstybių mokesčių tarnybos pagal transporto priemonių gamintojo deklaruojamas taršos emisijas. Šis taršos mokestis siūlomas šalims kuriose nėra automobilių ar jų dalių gamyklų. (Johnstone ir Karouzakis 1999).

Geležinio vilko – Ukmergės gatvių sankryžos taršos rezultatų statistinis apdorojimas. Tiesinė regresija ir koreliacija

Regresijos modelis, tai statistinis modelis leidžiantis vieno kintamojo reikšmes prognozuoti pagal kito kintamojo reikšmes. Regresinė analizė, tai statistiniai modeliai, skirti regresijos modeliui sudaryti, patikrinti ar jis tinkamas ir taikyti prognozėms. Norint sudaryti regresijos modelį reikia:

- Patikrinti ryšio stiprumą;
- Įvertinti nežinomus regresijos modelio parametrus;
- Įvertinti ar pasirinktas modelis yra suderintas su duomenimis.

Tiesinio ryšio stiprumo matas yra koreliacijos koeficientas r_{xy}:

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{S_x S_y}; \quad \text{(Jankevičienė 2014)} \tag{6}$$

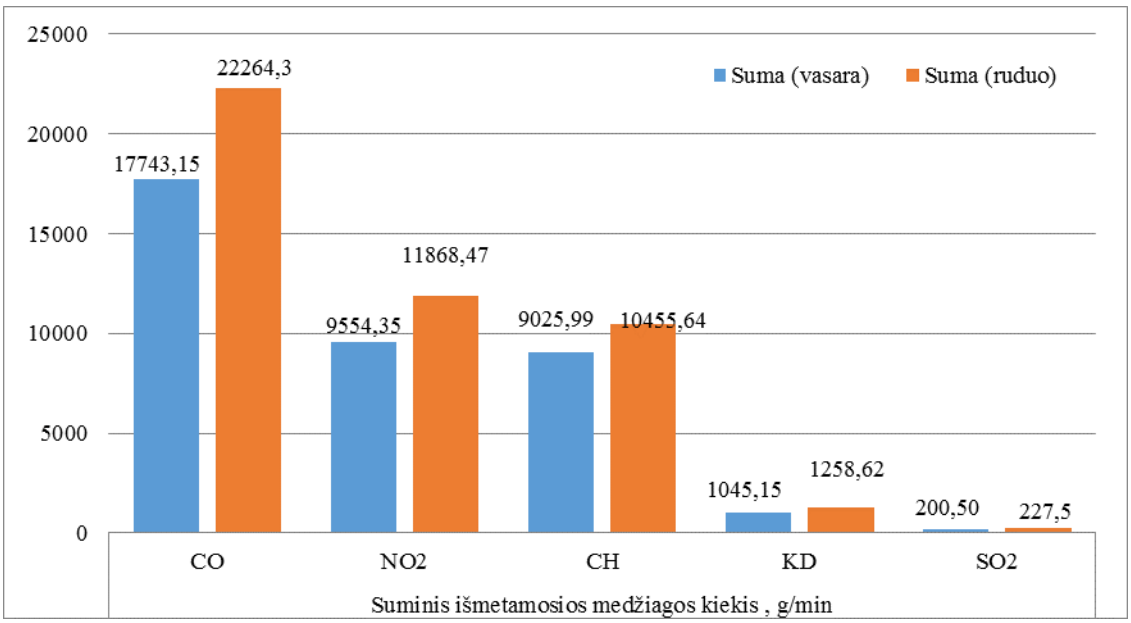
čia $\overline{xy}$ – kintamųjų sandaugos vidurkis; S_x ir S_y – kintamųjų dispersijos.

Vidutiniai standartiniai nuokrypiai yra skaičiuojami:

$$S_x^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 = \overline{(x^2)} - (\bar{x})^2 \tag{7}$$

$$S_y^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2 = \overline{(y^2)} - (\bar{y})^2 \tag{8}$$

(Jankevičienė 2014)



3 pav. Sankryžos K255 taršos atitinkamais laikotarpiais palyginimas
Šaltinis: Tyrimo duomenys

Koreliacijos koeficiento reikšmių skalė pateikiama 3 lentelėje.

3 lentelė

Koreliacijos koeficiento reikšmių skalė (Jankevičienė 2014)

Labai stipri	Stipri	Vidutinė	Silpna	Labai silpna	Nėra ryšio
-1	-1 iki -0,7	-0,7 iki -0,5	-0,5 iki -0,2	-0,2 iki 0	0
1	1 iki 0,7	0,7 iki 0,5	0,5 iki 0,2	0,2 iki 0	0

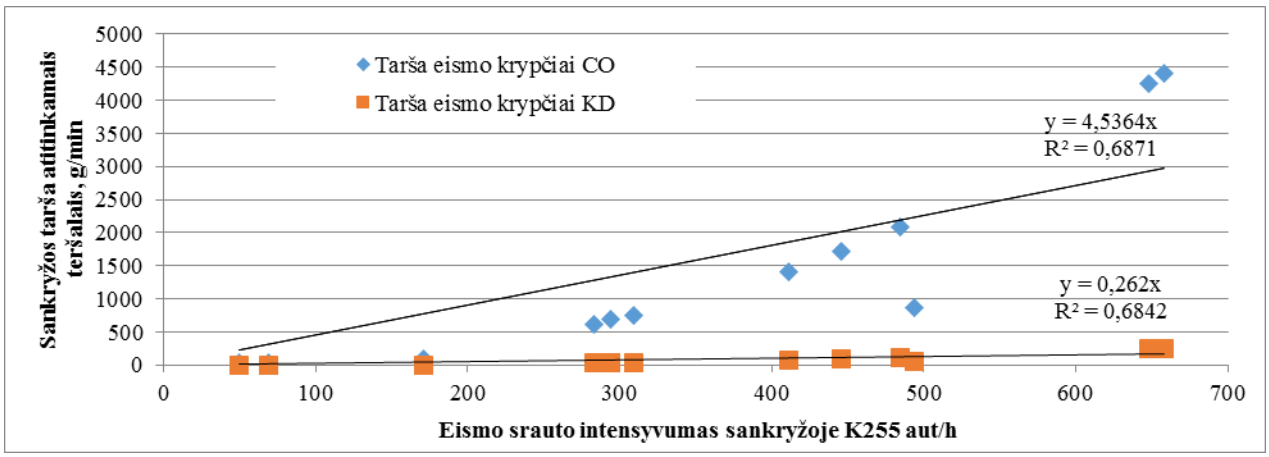
Sudaroma lentelė koreliacijos koeficiento skaičiavimams. Minėti duomenys lentelėje gaunami analizuojant eismo srautą tiriamoje sankryžoje. Pagal sudarytą lentelę EXCEL programa apskaičiuojami koreliacijos koeficientai r_{xy}(CO) ir $r_{xy}(KD)$: r_{xy}(CO)=0.889; $r_{xy}(KD)$=0.888 abiem atvejais ryšys tarp kintamųjų yra stiprus ir didėjant eismo intensyvumui sankryžoje atitinkamai didėja ir tarša sankryžoje. Skaičiavimai atlikti EXCEL programa. Pagal gautus duomenis išvedamos regresijos lygtys CO ir KD teršalų priklausomybei nuo eismo srauto intensyvumo. Gautos priklausomybės pateikiamos 4 pav. CO teršalo priklausomybė yra tiesinė ir lygi - $y_{CO} = 6{,}676x - 990{,}27$ o KD teršalo priklausomybės lygtis - $y_{KD} = 0{,}3862x - 57{,}469$.

4 lentelė

Koreliacijos koeficiento skaičiavimo pradiniai duomenys

Eismo kryptis sankryžoje	Intensyvumas eismo krypčiai (x), aut/h	Tarša eismo krypčiai CO (y), g/min	Tarša eismo krypčiai KD (y), g/min
D1	658	4416	256,08
D2	648	4245	246,196
D3	411	1416	82,117
D4	171	88	5,131
D5	494	866	50,224
D6	69	32	1,857
D7	283	614	35,644
D8	485	2083	120,794
D9	446	1710	94,202
D10	294	693	40,213
D11	50	36	2,111
D12	309	745	43,236

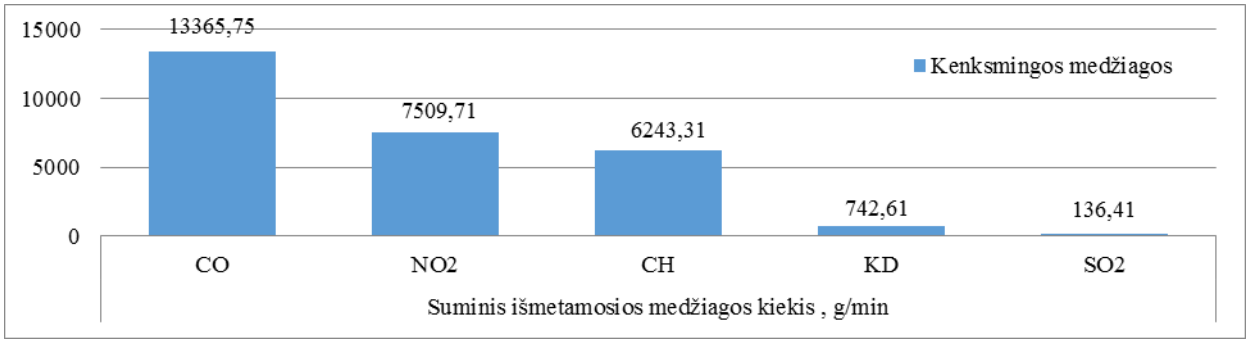
Šaltinis: Tyrimo duomenys



4 pav. Koreliacijos regresinės priklausomybės
Šaltinis: Tyrimo duomenys

Optimistinio eismo srauto sudėties modelio sudarymas ir šio modelio taršos skaičiavimas

Antrinis skaičiavimas, eismo srauto sudėties keitimas (optimistinė hibridinių transporto priemonių dalis bendrame eismo sraute 20%). Tarša sankryžose bus skaičiuojama tik intensyviausiu laikotarpiu t. y. rudenį. Atlikus skaičiavimus taip pat bus atliekamas statistinis kintamųjų priklausomybės skaičiavimas. Sankryžos K255 tarša rudenį, kuomet 20% srauto sudaro hibridinės transporto priemonės pateikiama 5 pav.



5 pav. Sankryžos K255 tarša intensyviausiu periodu, kada hibridinių automobilių dalis yra 20% viso srauto sudėties
Šaltinis: Tyrimo duomenys

Bendras sankryžos K255 apkrovimas spalio 8 dieną 80231 transporto priemonė. Srauto sudėtyje pakeitus hibridinių transporto priemonių dalį (nuo 4% iki 20%) tarša K255 sankryžoje atitinkamai pasikeitė. Sankryžos tarša pakeitus srauto sudėtį buvo 39,97% mažesnė CO teršalui, 38,42% mažesnė NO_2 teršalui, 40,29% mažesnė CH teršalui, 40,99% kietosioms dalelėms (KD) ir 40,04% mažesnė SO_2 teršalui.

Kintamųjų priklausomybės skaičiavimas. Sudaroma lentelė tolesniems skaičiavimams, kaip ir pirminio skaičiavimo atveju vertinami teršalai yra CO. Sudaroma 5 lentelė koreliacijos įvertinimui. KD nenagrinėjama, nes hibridinėse transporto priemonėse su tiesioginiu degalų (benzino) įpurškimu Euro 5 ir Euro 6 g/km. (Bagienski 2015).

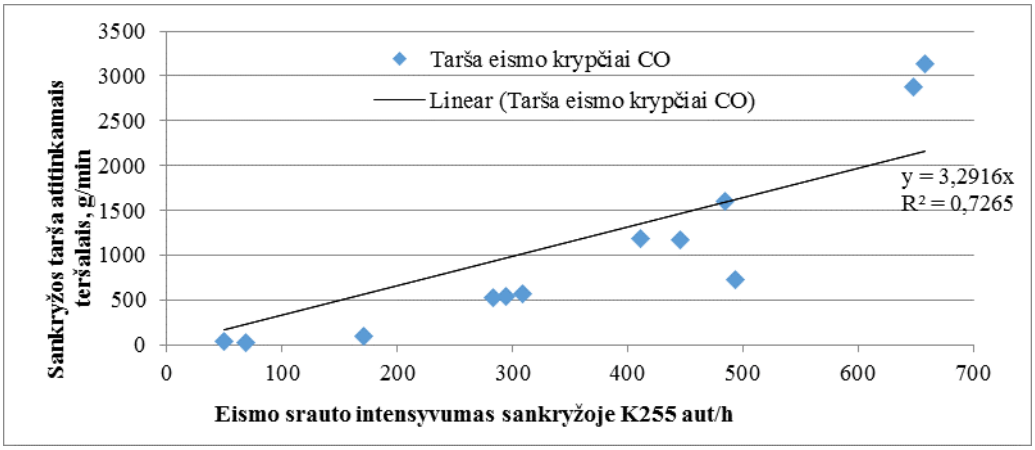
5 lentelė

Koreliacijos koeficiento skaičiavimo pradiniai duomenys (sudėtis 20% hibridinės transporto priemonės)

Eismo kryptis sankryžoje	Intensyvumas eismo krypčiai (x), aut/h	Tarša eismo krypčiai CO (y), g/min
D1	658	3138,529
D2	648	2881,299
D3	411	1188,378
D4	171	92,564
D5	494	728,477
D6	69	22,333
D7	283	518,880
D8	485	1599,562
D9	446	1172,466
D10	294	535,455
D11	50	33,360
D12	309	568,474

Šaltinis: Tyrimo duomenys

Pagal sudarytą lentelę apskaičiuojamas koreliacijos koeficientas r_{xy}(CO): r_{xy}(CO)=0.905.



6 pav. Koreliacijos regresinė priklausomybė
Šaltinis: Tyrimo duomenys

Ryšys tarp kintamųjų yra stiprus ir netgi sustiprėjo pakeitus srauto sudėtį. Pagal gautus duomenis išvedama regresijos lygtis CO teršalų priklausomybei nuo eismo srauto intensyvumo. Gauta priklausomybė pateikiama 6 pav. CO teršalo priklausomybė yra tiesinė ir lygi - $y_{CO} = 4{,}6942x - 649{,}13$

Išvados

1. Reali srauto intensyvumo analizė Geležinio vilko – Ukmergės gatvių sankryžoje parodė, kad eismo srauto intensyvumas nėra tolygus, skirtumas kinta nuo 7,55% iki 29,94 %. Tyrimui panaudota taršos skaičiavimo metodika, kurioje sankryžos teritorija padalinama į 2 zonas, vienoje zonoje transporto priemonės juda, kitoje stovi prie draudžiamojo šviesoforo signalo. Atlikus tyrimą paaiškėjo, kad tarp transporto priemonių eismo srauto ir išmetamų teršalų kiekio egzistuoja stiprus koreliacinis ryšys r_{xy}=0.889. Stipraus koreliacinio ryšio matas (r_{xy}=0,7;1,0);
2. Hibridinių transporto priemonių skaičiaus eismo sraute didinimas yra puiki galimybė sumažinti taršą miestų gatvėse. Hibridinių transporto priemonių skaičius bendrame eismo sraute nėra tiesiogiai proporcingas taršos mažėjimui.

Literatūra

1. KIM K.-H., KABIR E., KABIR S. A review on the human health impact of airborne particulate matter// Environment International. 2015, Vol. 74, 281 – 290.
2. JOHNSTONE N., KAROUSAKIS K. Economic incentives to reduce pollution from road transport: the case for
3. vehicle characteristics taxes// Transport Policy 1999, Vol. 6, 99 – 108.
4. Prieiga internete: http://www.twirpx.com/file/880638/. žiūrėta: 2016 – 03 – 10.
5. JANKEVIČIENĖ. G. Tiesinė koreliacinė ir regresinė analizė. 2014, Vilnius. LEU. 135 p.
6. Bagieński Z. Traffic air quality index//Science of the Total Environment. 2015, Vol. 505, 606 – 614.

THE RESEARCH OF AIR POLLUTION STUDY WITH REGARD TO MOTOR VEHICLE TRAFFIC COMPOSITION IN VILNIUS CITY

Summary

This article contains Geležinio vilko - Ukmergė Street in Vilnius junction traffic flow intensity analysis. The analysis is carried out in the most intense and least intense periods. The article described the junction calculated real pollution. Also, the optimistic - the theoretical composition of the traffic flow pattern. The optimistic traffic flow model for the composition of pollution is calculated corresponding periods of the Geležinio vilko - Ukmergė streets. Perform real and theoretical models for the composition of the traffic flow of pollution in comparison. Provides statistical correlation analysis of the relationship between these addictions.

Key words: dependence, correlation, pollution, intensity.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Martynas Kažukauskas.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistrantas.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros magistrantas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto aplinkosauga, miesto ekologiniai rodikliai.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 622 70186, martynaskazukauskas@gmail.com

Autoriaus vardas, pavardė: Modesta Gusarovienė.
Mokslo laipsnis ir vardas: doktorantė
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Aplinkos inžinerijos fakulteto Kelių katedros doktorantė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto aplinkosauga, miesto ekologiniai rodikliai.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 678 23345, modesta.gusaroviene@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Jonas Matijošius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 684 04169, jonas.matijosius@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Jurijus Zaranka.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, lektorius
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros lektorius.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 699 33742, jurijus.zaranka@vilniausvt.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Martynas Kažukauskas.
Science degree and name: master student.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department master student**.**
Author's research interests: Transport environmental, ecological characteristics of the city.
Telephone and e-mail address: 8 622 70186, martynaskazukauskas@gmail.com

Author name, surname: Modesta Gusarovienė.
Science degree and name: doctoral student.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Enviromental Engineering faculty Road department doctoral student.
Author's research interests: Transport environmental, ecological characteristics of the city.
Telephone and e-mail address: 8 678 23345, modesta.gusaroviene@vgtu.lt

Author name, surname: Jonas Matijošius.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department associated professor.
Author's research interests: Transport ecology, alternative energetics.
Telephone and e-mail address: 8 684 04169, jonas.matijosius@vgtu.lt

Author name, surname: Jurijus Zaranka.
Science degree and name: doctor, lector.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department lector.
Author's research interests: Transport ecology, alternative energetics.
Telephone and e-mail address: 8 699 33742, jurijus.zaranka@vilniausvt.lt

PAVOJINGŲJŲ KROVINIŲ VEŽIMO RIZIKOS MAŽINIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS

Nijolė Batarlienė, Kristina Čižiūnienė
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

Pavojingų krovinių vežimo kelių transportu tema nėra plačiai analizuojama Lietuvoje. Tačiau vežant tokio pobūdžio krovinius dažnai susiduriama su įvairia rizika, kurios poveikis tiek aplinkai, tiek visuomenei yra didelis. Todėl šio klausimo nagrinėjimas tampa aktualia tema. Norint mažinti riziką, vežant pavojingus krovinius, reikia imtis kompleksinių veiksmų. Šiame straipsnyje yra nagrinėjama pavojingų krovinių vežimo kelių transportu problematika, bei pateikti atlikto tyrimo rezultatai dėl rizikos mažinimo.

Reikšminiai žodžiai: pavojingieji kroviniai, vežimas, rizika.

ĮVADAS

Technologinė pažanga neišvengiamai didina pavojingųjų krovinių skaičių keliuose. Dažniausiai gabenami tokie pavojingieji kroviniai – naftos produktai, chemikalai, kitos degios, sprogios ir radioaktyviosios medžiagos. Didelė problema – nepakankamas pavojingųjų krovinių vežimo saugumas. Pavojus kyla tuomet, kai pavojingoms medžiagoms vežti naudojamas netinkamas transportas, operatoriai ir vairuotojai yra nepakankamai parengti, o krovinys nėra vežamas optimaliu maršrutu, neišvengiant tankiai apgyvendintų vietovių ir pavojingųjų kelio ruožų.

Organizuojant pavojingų krovinių vežimą vis didesnis dėmesys kreipiamas į aplinkosauginį aspektą, eismo saugumą ir neigiamas avarijų pasekmes žmonėms, infrastruktūrai, gamtai. Vežant pavojinguosius krovinius siekiama iki minimumo sumažinti neigiamą poveikį avarijų padariniams.

Temos aktualumas. „Eurostat“ duomenimis Europos Sąjungoje pervežama 145 mlrd. tonų pavojingųjų krovinių (skaičiuojant 1 kilometrui), iš kurių daugiausia transportuojama kelių transportu, t.y. pervežama net iki 58 proc. visų vežimų. Galima teigti, kad kas penkta krovininė transporto priemonė, važiuojanti kelių transportu, veža pavojingąsias medžiagas. Todėl būtina skirti didelį dėmesį pavojingųjų krovinių vežimui kelių transportu, norint užtikrinti visuomenės narių, aplinkos bei turto saugumą.

Avarijų pasekmės, vežant pavojinguosius krovinius, gali padaryti daug žalos ne tik žmonėms, bet ir aplinkai. Todėl labai svarbu užtikrinti saugų pavojingųjų krovinių transportavimo procesą nuo pat gamintojo iki vartotojo bei nebevartojamų žaliavų utilizavimo.

Vežant pavojinguosius krovinius susiduriama su eismo įvykio rizika dėl eismo dalyvių kaltės, klimato sąlygų, transporto priemonės gedimo, blogai parinktos taros, pakavimo medžiagų ar pakuočių nesandarumo. Transportuojant pavojinguosius krovinius, rizikos neįmanoma išvengti, tačiau galima ją suvaldyti arba sumažinti rizikos veiksnius iki minimumo.

Straipsnio tikslas – ištirti pavojingųjų krovinių vežimo rizikos mažinimo veiksnius bei pasiūlyti priemones saugesniam tokių krovinių transportavimui.

Tikslui pasiekti keliami uždaviniai:

- atlikti pavojingų krovinių vežimo kelių transportu problematikos analizę;
- pateikti aprobuotus ir susistemintus pavojingų krovinių vežimo rizikos mažinimo tyrimo rezultatus;
- pasiūlyti saugesnio pavojingųjų krovinių vežimo priemones ir tobulinimo galimybes.

Tyrimo metodika:

- literatūros šaltinių analizė;
- kiekybinis ir kokybinis tyrimas.

Straipsnyje yra nagrinėjami pavojingųjų krovinių vežimo teoriniai aspektai bei problemos ir rizikos, kurios kyla organizuojant tokio pobūdžio krovinių vežimus. Straipsnyje taip pat pateikti tyrimo apie rizikos veiksnius ir jų mažinimo galimybes rezultatai.

Pavojingų krovinių vežimo kelių transportu problematika

Pavojingieji kroviniai sudaro gana didelę dalį visų vežamų krovinių Lietuvos Respublikoje tiek tranzitu, tiek šalies viduje. Siekiant įgyvendinti Lietuvos transporto plėtros strategijas, jas bandoma suderinti su įvairiais Europos Sąjungos nutarimais, direktyvom ir kitais dokumentais, kuriais siekiama išspręsti avaringumo, užterštumo ir kitas susijusias problemas su pavojingų krovinių vežimu.

Pavojingus krovinius kraunant, pakuojant, ženklinant, sandėliuojant, ruošiant reikalingus dokumentus vežimui ir atliekant kitas operacijas, reikalingas kvalifikuotas personalas, kuris užtikrintų, kad viskas būtų atlikta be klaidų ir taip būtų galima išvengti rizikos įvykti eismo įvykiui (Minalga 2007).

Galima teigti, kad Lietuvoje nėra taikomos prevencinės priemonės pavojingų krovinių vežimo saugumui užtikrinti. Galima išskirti dvi problemas su kuriomis susiduria Lietuvos bei Europos Sąjungos valstybės narės, transportuojant tokio tipo krovinius:

- keliamas pavojus žmonėms, infrastruktūros objektams bei aplinkai.
- eismo įvykiai, kurių metu į aplinką patenka naftos produktų gaminiai. Tai dažnas reiškinys ES narėse, bet nei Lietuvos Statistikos departamente, nei „Eurostat“ duomenų bazėje nėra pateikiami tikslūs duomenys, kiek ir kokių eismo įvykių įvyksta vežant pavojingus krovinius kelių transportu.

Iš visų ES narių galima išskirti šešias valstybes, kurios daugiausiai perveža pavojingųjų medžiagų (tai sudaro tris ketvirtadalius visų pavojingų krovinių vežimų), t.y. Vokietija, Ispanija, Italija, Didžioji Britanija, Prancūzija ir Lenkija.

Diernhofer *et al.* (2010) teigia, kad dažniausia eismo įvykiai, vežant pavojingus krovinius, įvyksta ne dėl pavojingų medžiagų savybių, o dėl klaidų, kurias padaro žmonės gamybos ir transportavimo procesuose.

Yra naudojamos trys pakavimo grupės – I, II ir III, skirtos skirtingoms pavojingoms medžiagoms, turinčioms skirtingas grėsmes. Pirmoji pakavimo grupė skirta labiausiai pavojingoms medžiagoms, antroji – mažiau pavojingoms ir trečioji – mažiausiai pavojingoms. Pakavimo grupė nulemia krovos vieneto rūšį, kuris gali būti naudojamas transportuojant pavojingas medžiagas. Patvirtintas pakavimo vienetas turi priskirtą vieną raidę pakavimo grupei: X – patvirtinta I, II ir III pakavimo grupei; Y – patvirtinta II ir III pakavimo grupei; Z – patvirtinta III pakavimo grupei (Inglezakis, Zorpas 2011).

Norint sumažinti riziką pakrovimo, perkrovimo ir transportavimo metu svarbų vaidmenį vaidina krovinių pakavimas (Bazaras, Vasilis Vasiliauskas 2010).

Transportuojant pavojinguosius krovinius kelių transportu neišvengiama rizika įvykti eismo įvykiui, kuriuo metu gali nukentėti žmonės, jų turtas ir aplinka. Anot Blanco (2011) siekiant sumažinti šią riziką reikia pasirinkti pavojingų krovinių vežimo maršrutus, einančius per mažiau urbanizuotas vietoves ir taip apsaugoti žmones. Najib *et al.* (2009) pavojingas medžiagas įvardina, kaip chemines medžiagas, kurios netinkamai transportuojamos kelia grėsmę aplinkai ir žmonių sveikatai.

Pasak Chakrabari, U. K. ir Patrikh, J. K. (2011) transportuojant pavojingas medžiagas kelių transportu nelaimingi atsitikimai kelyje priklauso nuo rizikų. Rizikos skaičiavimus autoriai pagrindžia eismo įvykio tikimybe ir išsamia pasekmių analize. Straipsnyje teigiama, kad pavojingų medžiagų rizikos vertinimas priklauso nuo trijų veiksnių: nelaimingų atsitikimų skaičiaus; nuo vienos dienos eismo intensyvumo ir gyventojų gyvenamų vietų tankumo; bei maršruto ilgio.

Norint užtikrinti saugų pavojingų krovinių vežimo procesą reikia sujungti į bendrą sistemą įvairias kontroliuojančias institucijas, kurios atsakytų už saugų pavojingų krovinių vežimą. Tomasoni *et al*. (2010) išskyrė priemones, kurių reikia imtis norint užtikrinti, kad vežimo procesas būtų kuo saugesnis: kontrolė kelyje; greičio apribojimas; eismo srautų kontrolės mechanizmas; saugumo priemonės sankryžose; patobulinta infrastruktūra.

Dėl intensyvėjančių pavojingų krovinių vežimo srautų susiduriama su problema, kaip reikia parinkti saugiausią ir ekonomiškiausią maršrutą. Norint efektyviai kontroliuoti visą transportavimo maršrutą, reikia atsižvelgti į efektyvų kontrolės mechanizmą visame krovinių vežimo procese.

Vežant pavojingus krovinius didesnė atsakomybė tenka krovinių pakrovimui, pakavimui, ženklinimui, dokumentacijai, priėmimui ir saugojimui, visoje šioje logistinėje grandyje susiduriama su rizika ar įvyks eismo įvykis ar ne. Autoriai Tomasoni *et al.* (2010) pažymi, siekiant užtikrinti transportavimo saugą, pasirenkant transporto priemones, būtina ištirti veiksnius, darančius įtaką, transportavimo pavojingumui.

Motiejūnaitė ir Batarlienė (2012) pažymi, kad saugiam ir efektyviam pavojingų krovinių vežimui reikia turėti gerą informacinę sistemą, kuri turėtų apimti tokius komponentus kaip: pavojingųjų krovinių ženklinimo, pakavimo, vežimo ir sandėliavimo visumą.

Galima išskirti dvi pagrindines rizikas, su kuriomis susiduria pavojingų krovinių siuntėjas:

- *Galimas eismo įvykių skaičius.* Norint mažinti šią riziką reikia imtis šių priemonių: padidinti pervežamų krovinių kiekį vieno vežimo metu, taip sumažinama tikimybė eismo avarijos įvykiui; užtikrinti pavojingų krovinių vežimo taros kokybę: perkrovimo, pakrovimo ir krovinių tvirtinimo metu; teisingai pasirinkti maršrutą; atsižvelgti į klimato ir orų sąlygas vežant pavojingas medžiagas.
- *Galima žala piliečiams ir aplinkai*. Norint mažinti šią riziką reikia imtis šių priemonių: sumažinti pavojingų krovinių kiekį vienam vežimui; užtikrinti pavojingų krovinių pakavimo kokybę: pakrovimo, perkrovimo ir tvirtinimo metu; taip pat teisingai pasirinkti maršrutus (Batarlienė 2008).

Buvo atliktas transporto įmonių, vežančių pavojinguosius krovinius, veiklos tyrimas, siekiant įvardyti pavojingųjų krovinių vežimo tobulinimo galimybes. Tyrimo metu buvo daug dėmesio skirta saugos klausimų nagrinėjimui Lietuvos ir Europos Sąjungos šalių kontekste.

Tyrimo metu buvo svarbu įvertinti, kokią dalį transporto įmonių visų vežamų krovinių sudaro būtent pavojingieji, koks tiriamųjų skaičius veža kokį kiekį pavojingųjų krovinių lyginant su bendru krovinių kiekiu. Didžiosios dalies atsakiusiųjų – 56 % – pavojingųjų krovinių vežimas apima 6–10 % viso krovinių vežimo. Mažiausioji dalis respondentų – 12 % pažymėjo iki 11–30 % dalį. 32 % tiriamųjų atsakė, jog jų vežamų pavojingųjų krovinių dalis sudaro iki 5 % bendro vežamų krovinių kiekio. Dauguma vežėjų veža įvairaus tipo krovinius ir neužsiima vien tik pavojingųjų krovinių vežimu.

Tyrimo metu buvo siekiama nustatyti, kokiems veiksniams tiriamos transporto įmonės skiria daugiausiai dėmesio, siekiant užtikrinti saugų pavojingųjų krovinių vežimą.

ES šalyse taikomos įvairios saugumo priemonės, siekiant sumažinti pavojingųjų krovinių vežimo riziką. Rizikos įvertinimas remiasi statistiniais duomenimis apie autoįvykius, avarijas, išlaidų – pelno analize, kuri taikoma ES šalyse. Rizika gali būti objektyvi ir subjektyvi, t. y., priežastys įvykiui atsirasti gali priklausyti nuo žmogiškojo faktoriaus arba būti nepriklausomos nuo jo.

Pavojingų krovinių vežimo rizikos mažinimo tyrimo rezultatų analizė

Siekiant išsiaiškinti, su kokiomis problemomis susiduria ir kokiomis prevencinėmis priemonėmis Lietuvos transporto įmonės bando mažinti riziką transportuojant pavojingus krovinius kelių transportu, buvo apklaustos 127 transporto įmonės, kurios turi teisę vežti pavojinguosius krovinius. Iš viso į pateiktą anketą atsakė – 63 proc. respondentų.

Iš 80 respondentų atsakymų paaiškėjo, kad 61 įmonės pavojingųjų krovinių organizavimas yra pagrindinė veikla, 5 įmonės šiuo metu tokio tipo krovinių netransportuoja ir 14 įmonių ši veikla nėra pagrindinė. Todėl didžiausias dėmesys bus kreipiamas į 61 transporto ir logistikos įmonę, kurios veža pavojingus krovinius.

Atlikta apklausa parodė, kad daugiausia įmonių transportuoja 2-os klasės medžiagas – dujas, 3-ios klasės – liepsniuosius skysčius, 8-os klasės – ėsdinančias medžiagas bei 9-os klasės – kitas pavojingas medžiagas ir gaminius.

Atsižvelgiant į tai, jog beveik penktadalis respondentų (18 %) teigė, jog jų įmonės veiklos metu yra nutikusių pavojingųjų krovinių vežimo avarijų, tobulinant tokių krovinių gabenimo saugumą visada būtina įvertinti riziką, kurią gali sukelti galima avarija.

Visų pirma būtina įvertinti pagrindinius rizikos veiksnius: galimą avariją ir galimą žalą. Nuostoliai ir žala priklauso nuo daugelio kriterijų, tokių kaip pavojingos medžiagos kiekis ir rūšis, užterštumo dydis.

Tyrimo metu buvo siekiama išsiaiškinti ar organizacijose yra asmuo, atsakingas už pavojingųjų krovinių vežimo organizavimą ir kokia jo profesinė kompetencija.

60 proc. atsakiusiųjų respondentų teigė, kad organizacijose yra saugos specialistas, kuris turi kvalifikaciją įrodantį pažymėjimą. 5 proc. organizacijų, kurios šiuo metu neužsiima pavojingų krovinių vežimu, tačiau įmonėse dirba asmuo, turintis profesinę kompetenciją.

Siekiant išsiaiškinti, su kokiomis problemomis susiduria Lietuvos vežėjai, organizuodami pavojingų krovinių vežimą kelių transportu, respondentams buvo pateiktas atviras klausimas, kad vežėjai galėtų identifikuoti konkrečias problemas. Visus atsakymus galima išskirstyti į šešias grupes:

- **I grupė.** Su personalu susijusios problemos, t.y. šią problemą konkrečiau galima būtų suformuluoti, kaip personalo dirbančio su pavojingais kroviniais padarytos klaidos (25 proc. respondentų).
- **II grupė.** Vairuotojų mažo raštingumo problema (35 proc. respondentų).
- **III grupė.** 10 proc. respondentų pažymėjo, kad yra per daug reikalavimų pavojingų krovinių organizavimo procesui.
- **IV grupė.** 20 proc. respondentų įvardino, kad su jokiomis problemomis nenusiduria. Šis atsakymas buvo būdingas dažniausiai ekspedicine veikla užsiimančioms įmonėms ir toms organizacijoms, kurios pavojingus krovinius veža retai (vieną kartą per pusmetį).
- **V grupė.** 10 proc. teigia, kad susiduria su pastovių klientų stoka.
- **VI grupė.** 5 proc. respondentų teigia, kad susiduria su nekompetentingais darbuotojais.

Vairuotojų kvalifikacijos kėlimas ir rašytinių instrukcijų laikymasis gali padėti sumažinti eismo įvykio atsitikimo riziką ir eismo įvykio padarinių dydį iki minimumo.

Žinoma, rizikos sumažinti iki nulio yra neįmanoma, nes bet tokiu atveju išlieka maža tikimybė įvykti eismo įvykiui.

Įmonėms, kurios organizuoja pavojingų krovinių vežimus labai svarbu galimą rizikos galimybę sumažinti maksimaliai. Kadangi dėl nesuvaldomų veiksnių rizikos visiškai eliminuoti neįmanoma, tai turi būti siekiama, kad jos reikšmė artėtų prie nulio. Todėl tyrimo metu siekiama nustatyti kokiomis priemonėmis įmonė mažina riziką. 12,5 proc. įmonių pateikė, kad priima pavojingus krovinius transportuoti tik iš patikimų įmonių. Organizacijų buvo paprašyta patikslinti kokios įmonės yra patikimos, sulauktas atsakymas, kad –

„tai įmonės nustatyta tvarka patikrintas ir patvirtintas siuntėjas“. 10 proc. respondentų pažymėjo, kad siųsdami vairuotojus į mokymus bando mažinti riziką, 15 proc. organizacijų – naudoja intelektines transporto sistemas ir stebi transporto priemonių judėjimą realiu laiku, 16,25 proc. įmonių iš viso rizikos nemažina, nes nemano, kad ji gali įtakoti jų veiklą. 6,25 proc. įmonių nurodė, kad bando laikytis visų reikalavimų, skirtų pavojingų krovinių vežimui, 22,5 proc. įmonių – priima į darbą tik aukštos kvalifikacijos darbuotojus. Likusios įmonės investuoja į naujų transporto priemonių įsigijimą.

Tyrimo rezultatai, taip pat parodė, kad įmonės, bandydamos mažinti riziką, pasiekia neblogų rezultatų. Nesvarbu kokias priemones organizacijos naudoja, ar tai būtų: vairuotojų mokymai, sutarčių su patikimais siuntėjais pasirašymai, ar intelektinių transporto sistemų naudojimas krovinių stebėjimui realiu laiku ar kitos priemonės, svarbu, kad jos padeda pasiekti teigiamų rezultatų. 82 proc. respondentų pažymėjo, kad jų turimos transporto priemonės nėra dalyvavusios eismo įvykiuose. Galima teigti, kad kiek įmanoma maksimalus rizikos mažinimas padeda pasiekti teigiamų ruzultatų, todėl ir transporto priemonės, veždamos pavojingus krovinius, rečiau patenka į eismo įvykius. Tačiau išlieka tikimybė eismo nelaimei, jei ne dėl pačio vairuotojo kaltės, tai dėl kitų neatsakingo eismo dalyvių elgesio, kas gali turėti pakankamai skaudžių pasekmių tiek visuomenei, tiek ir aplinkai.

Priemonės ir tobulinimo galimybės saugesniam pavojingųjų krovinių vežimui užtikrinti

Naudojantis atliktu transporto ir logistikos įmonių tyrimu galima suformuluoti esmines pavojingųjų krovinių vežimo tobulinimo galimybes bei priemones.

Yra išskiriamos trys priemonės, kurios leidžia padidinti transportuojamų pavojingų krovinių vežimų saugumą:

- Vežėjai turi važiuoti sąlygiškais saugiais keliais, o taip mažinama avarijos tikimybė, į kurią gali patekti transporto priemonė, vežanti pavojinguosius krovinius;
- Maršrutų kontrolė, kuri gali sušvelninti pavojingų krovinių patekimo į aplinką avarijos metu pasekmes, kai dideli kiekiai pavojingų medžiagų transportuojami aplenkiant tankiai gyvenamus rajonus, saugomas gamtines teritorijas;
- Maršrutų suderinimas, kuris leidžia vietiniams gaisrininkų ir gelbėtojų komandoms pasiruošti galimiems eismo įvykiams ir likvidavimo planams.

Išskiriami tokie svarbiausi reikalavimai, kurių būtina laikytis, norint užtikrinti saugų pavojingųjų krovinių gabenimą:

- ypač svarbi pakuotės rūšis bei tara, kurioje turi būti pateiktas vežimui krovinys;
- svarbus saugių maršrutų parinkimas;
- informatyvūs užrašai, etiketės ant taros;
- labai svarbūs nurodymai vežimo dokumentuose apie pavojingumo laipsnį ir rūšį;
- krovinio pakavimo, išdėstymo, tvirtinimo transporto priemonėje būdas;
- gaisro gesinimo priemonės ir kitos saugos priemonės įvykus nelaimei.

Organizuojant pavojingų krovinių vežimą, būtina atsižvelgti į šiuos veiksnius: transportavimo proceso valdymo technologijos, sąveika su kitais transportavimo būdais, maršrutų skaičiavimas, vežimo kontrolė, įvykių ir avarijų likvidavimas.

Išvados

1. Atlikta mokslinės literatūros šaltinių analizė parodė, kad visos ES šalys susiduria su problemomis, organizuojant ir atliekant pavojingų krovinių gabenimus, o Lietuvoje nėra taikomos prevencinės priemonės saugiam pavojingųjų krovinių vežimui užtikrinti. Pagrindinės rizikos yra dvi: tai galimas eismo įvykių skaičius ir galima žala piliečiams ir aplinkai.
2. Nagrinėjant ES šalių patirtį, galima išskirti šias pagrindines pavojingųjų krovinių vežimo metu įvykusių avarijų priežastis: šiurkštūs pavojingųjų krovinių vežimo reikalavimų pažeidimai, silpnas prevencinis ir švietėjiškas darbas, nėra tinkamo efektyvaus kontrolės mechanizmo.
3. Norint patobulinti pavojingųjų krovinių vežimo saugą, būtina visada įvertinti riziką, kurią gali sukelti galima avarija.
4. Atliktas pavojingųjų krovinių vežimo tyrimas, apklausiant transporto įmones, padėjo įvertinti, kokių saugumo priemonių atitinkama transporto kompanija imasi, norėdama užtikrinti saugų pavojingųjų krovinių vežimą, kokiomis transporto priemonėmis daugiausia veža pavojinguosius krovinius, kokiomis informacinių sistemų priemonėmis įmonė naudojasi, siekiant operatyviai ir saugiai vežti tokio tipo krovinį.
5. Siekiant sumažinti įvykstančių avarijų skaičių, reikėtų sukurti nuoseklią aukštos kokybės sistemą, pajėgią ištirti avarijas ir incidentus, ir užtikrinančią galimybę naudotis tyrimų rezultatais. Sukūrus tokią sistemą, atsirastų daugiau bendros informacijos apie sukeltų avarijų priežastis ir padarinius.

Literatūra

1. Batarlienė, N. 2008. Risk analysis and assessment for transportation of dangerous freight, *Transport* 23(2): 98-103. DOI 10.3846/1648-4142.2008.23.98-103
2. Batarlienė, N. 2007. Implementation of advanced technologies and other means in dangerous freight transportation, *Transport Vol. XXII Nr.4: 290-295*
3. Bazaras, D.; Vasiliauskas Vasilis, A. 2010. *Krovinių vežimo technologijos.* Vilnius: Technika. 158 p. ISBN 978-9955-28-587-8
4. Blanco, M. A. 2011. Safety adviser for the transport of dangerous goods by road, *Seguridad sy medio ambiente* Nr.123 [interaktyvus]. Prieiga per internetą: http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/seguridad/n123/docs/Articulo4en.pdf
5. Chakrabarti, K. U.; Parikh, K. J. 2011. Route evaluation for hazmat transportation based on total risk – a case of Indian state highways, *Journal of Loss Preventation in the Process Industries* 24:524-530 DOI 10.1016/j.jlp.2011.03.002
6. Diernhofer, F.; Kohl, B.; Horhan, R. 2010. New Austrian guideline for the transport of dangerous goods through roads tunnels, in 5th International Conference „Tunnel Safety and Ventilation" [interaktyvus] 44-51. Prieiga per internetą: http://ilf.com/fileadmin/user_upload/publikationen/51_New_Austrian_Guideline_Transport_Dangerous_Goods_Road_Tunnels.pdf.
7. Inglezakis, J. V.; Zorpas, A. 2011. Industrial hazardous waste in the framework of EU and international legislation, *Management and Environmental Vol. 22 Nr.5 566-580 DOI 10.1108/14777831111159707*
8. Minalga, R. 2007. Krovinių saugos klausimų atskirose logistikos sistemos grandyse ekonominiai aspektai, *Intelektinė ekonomika* Nr.2(2): 36-42.
9. Motiejūnaitė, D; Batarlienė, N. 2012. Pavojingųjų krovinių vežimo kelių transportu reikalavimų užtikrinimas Lietuvoje // 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas - Lietuvos ateitis" teminės konferencijos „Transporto inžinerija ir vadyba" 2012 m. gegužės 4 d. straipsnių rinkinys Vilnius: Technika, 2012. ISSN 2029-7157, ISBN 9786094571329. p. 242-246.
10. Najib, M.; Boukachour, H.; Boukachour, J. 2009. Multi-agent framework for hazardous goods transport risk management [interaktyvus]. Prieiga per internetą: http://www.srlst.com/ijist/special%20issue/ijism-special-issue2010-2_files/Special-Issue2010_2_27.pdf .
11. Thomson, J. B. 1999. International co-operation in hazardous materials accident prevention, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 12: 217-225
12. Tomasoni, M. A.; Garbolino, E. 2010. Risk evaluation of real-time accident scenarous in the transporto fo hazardous material on road, *Management and Environmental* Vol.21 Nr.5 695-711 DOI 10.1108/14777831011067962.

RESEARCH ON POTENTIAL RISK REDUCTION OF TRANSPORTATION OF DANGEROUS CARGO

Summary

Transportation of dangerous goods by road transport is not widely analyzed in Lithuania. However, the transport of goods of this kind are often exposed to various risks, whose impact on the environment and society is high. Therefore, this question has become topical subject. To reduce the risk of the transport of dangerous goods need to take comprehensive action. In this article are analyzed problems of transportation dangerous goods by road transport and to provide research for risk reduction findings.

Key words: dangerous goods, transport, risk.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Nijolė Batarlienė
Mokslo laipsnis ir vardas: daktarė, profesorė
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto, Logistikos ir transporto vadybos katedros profesorė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: transporto vadyba, pavojingų krovinių vežimo technologijos, naujausios technologijos ir informacinės sistemos.
Telefonas ir el. pašto adresas: 852744796, nijole.batarliene@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Kristina Čižiūnienė
Mokslo laipsnis ir vardas: daktarė, docentė
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto, Logistikos ir transporto vadybos katedros docentė
Autoriaus mokslinių interesų sritys: žmogiškieji ištekliai ir jų valdymas transporto sektoriuje, transporto vadyba, transporto inžinerija.
Telefonas ir el. pašto adresas: (8 5) 237 0632, kristina.ciziuniene@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Nijolė Batarlienė.
Science degree and name: doctor, professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty, Logistics and Transport Management department professor.
Author's research interests: management of transport, technologies of dengerous goods carriage, newest information technologies and information systems.
Telephone and e-mail address: 852744796, nijole.batarliene@vgtu.lt

Author name, surname: Kristina Čižiūnienė.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty, Logistics and Transport Management department associated professor.
Author's research interests: human resources and their management in the transport sector, transport management, transport engineering.
Telephone and e-mail address: (8 5) 237 0632, kristina.ciziuniene@vgtu.lt

PROCESINIO POŽIŪRIO TAIKYMAS VEIKLOS GERINIMUI: EKSPEDIJAVIMO JŪRŲ TRANSPORTU ATVEJIS

Neringa Radzevičiūtė, Aidas Vasilis Vasiliauskas, Virgilija Vasilienė-Vasiliauskienė, Jonas Matijošius
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

Procesinio požiūrio taikymas yra populiariausių vadybos sistemų (ISO, EFQM, LEAN ir kt.) pagrindas. Naujoji ISO 9001:2015 redakcija (išleista 2015 rudenį) akcentuoja, kad tik tvarkingai procesus susitvarkiusios, juos valdančios, tobulinančios ir prižiūrinčios organizacijos gali pasiekti ilgalaikės sėkmės. Straipsnyje pateikiamas teorinio potencialo analizės rezultatas bei procesinio požiūrio taikymas Lietuvoje veikiančioje ekspedijavimo jūrų transportu paslaugas teikiančioje įmonėje. Atsižvelgiant į konkurencinį kontekstą bei konfidencialių duomenų publikavimą, įmonės pavadinimas straipsnyje nenurodomas.

Reikšminiai žodžiai: kokybės vadybos sistema, procesas, srauto diagrama, matricinė diagrama, ekspedijavimas jūrų transportu.

Įvadas

Siekdami ekspedicines paslaugas teikiančių įmonių konkurencingumo, organizacijų vadovai imasi priemonių tobulinti teikimų paslaugų proceso kokybę, diegia kokybės vadybos sistemas, kadangi pastarosios užtikrina ne vien konkurencingumą ir pastovų paslaugų kokybės lygį, bet ir didina klientų pasitikėjimą, jų lojalumą bei taupo įmonės resursus. Tokiu būdu, įmonėms suteikiama galimybė plėstis tiek į vietines, tiek ir į tarptautines rinkas, lygiaverčiai konkuruoti su kitų šalių ekspedicinėmis įmonėmis. Pagal Adomėną (2011), kokybės vadybos sistemos paskirtis yra daryti įtaką vartotojų lojalumui, verslo plėtrai, veiklos rezultatams, įmonės lankstumui, išlaidoms, procesų valdymui, konkurencingumui, darbuotojų motyvacijai ir supratimui, siekiant organizacijos tikslų ir nenutrūkstamo tobulėjimo.

Tarptautinė standartizacijos organizacija (ISO) siūlo diegti kokybės vadybos modelį, pagrįstą principais (ISO, 2015), kurių vienas pavadintas proceso principu – norimą rezultatą galima pasiekti efektyviau, jei veikla ir susiję ištekliai valdomi kaip procesas. Svarbu suprasti tai, kad ši sistema ir jos nenutrūkstamas ciklas gyvuos tik tuo atveju, jeigu bus įtraukta į visus įmonės lygmenis, t.y. kokybės sistemos priemonės ir tikslai turi būti žinomi kiekvienam darbuotojui, kadangi būtent jie tiesiogiai daro įtaką teikiamų paslaugų kokybei Wong (2014).

Pagrindinis analizės **objektas** – procesinio požiūrio taikymas krovinių ekspedijavimo jūrų transportu įmonės veiklos gerinimui.

Straipsnio tikslas – išryškinti procesinio požiūrio taikymo įtaką krovinių ekspedijavimo paslaugas jūrų transporto sektoriuje teikiančios įmonės veiklos gerinimui.

Tikslui pasiekti keliami šie **uždaviniai**:

1. Pagrįsti procesio požiūrio taikymo aktualumą krovinių ekspedijavimo paslaugas jūrų transporto sektoriuje teikiančiai įmonei.
2. Išnagrinėti procesinio požiūrio taikymo krovinių ekspedijavimo paslaugas jūrų transporto sektoriuje teikiančioje įmonėje metodus.
3. Išanalizuoti procesinio požiūrio taikymo krovinių ekspedijavimo paslaugas jūrų transporto sektoriuje teikiančioje įmonėje praktinę naudą.

Pirmoje straipsnio dalyje yra aptariama procesinio požiūrio taikymo nauda siekiant pagerinti ekspedijavimo paslaugą. Antroje – pristatoma esamo ekspedijavimo proceso situacijos analizė ir nustatomos jo vykdymo probleminės sritys. Trečioje dalyje pateikiamas ekspedijavimo veiklos procesas eliminavus identifikuotas problemas. Straipsnis baigiamas apibendrinančiomis išvadomis.

1. Procesinio požiūrio taikymas siekiant ekspedijavimo veiklos gerinimo

Organizacijos veikla valdymo požiūriu, yra procesų rinkinys, kuris padeda įgyvendinti organizacijos strategiją. Pasak Looy et al (2012), veiklos procesai yra kiekvienos organizacijos širdis. Procesai gali būti skirstomi pagal hierarchiją (procesas, subprocesas, veikla, užduotis), kategorijas (strateginio valdymo procesai, operacinio pristatymo procesai, palaikantys administraciniai procesai), pagal daromą įtaką veiklos grandinei (vadovavimo, pagrindinius veiklos ir palaikančius veiklos) ir pagal veiklos pobūdį (organizacijos valdymo, išteklių valdymo, realizavimo bei matavimo procesus) (Zellner 2011).

Ekspedijavimo paslaugas teikianti įmonė ypatingai daug dėmesio turi skirti klientų aptarnavimo kokybei bei ją lemiantiems procesams, kadangi teikdama paslaugas ji tiesiogiai bendrauja su klientais ir nuo kuriamo aptarnavimo būdo tiesiogiai priklauso, ar klientas bus patenkintas bei užsimegs tolimesnis bendradarbiavimas. Tęstinis bendradarbiavimas su klientais bei nuolatinių klientų rato kūrimas gali užtikrinti

pranašumą prieš konkurentus. Be to, klientų lojalumas organizacijai turi tiesioginę įtaką jos finansiniams rezultatams. Daugelis tyrimų, atliktų visame pasaulyje, atskleidžia, jog investavimas į klientų aptarnavimo gerinimą, padidina įmonių rezultatus bei gaunamas pajamas. Taigi, kokybiškas klientų aptarnavimas ir įmonės pelno augimas yra du neatskiriami dalykai (Talib et al 2013). Tam, kad visi įmonės darbuotojai vienodai suprastų, kas yra geras klientų aptarnavimas, reikalinga bendra sistema, taisyklių ar nurodymų sąrašas, apibrėžiantis tam tikras klientų aptarnavimo normas, atsižvelgiant į ekspedijavimo įmonės prioritetus ir tikslus. Tokią funkciją atlieka klientų aptarnavimo standartas (KAS), kuris yra elgesio principų ir pavyzdžių rinkinys, apimantis visas organizacijai aktualias klientų aptarnavimo proceso dalis (Sondalini, 2011). Įmonė, kuri diegia kokybės vadybos sistemą, tuo pačiu metu gali sukurti klientų aptarnavimo standartą. O tai leidžia teigti, kad įmonės, turinčios patvirtintą ISO standartą, turi užtikrinti visapusiškai kokybišką klientų aptarnavimą. Klientų aptarnavimo standartas apima visas klientų aptarnavimo proceso dalis. Šis procesas susideda iš kelių etapų, pavyzdžiui, pirmojo kontakto užmezgimas (tinkamas pasisveikinimas, kliento išklausymas), kliento pageidavimų, užsakymo išklausymas ir susijusios informacijos suteikimas, tinkamas ir nuolatinis kliento informavimas paslaugos teikimo metu, atlikus paslaugą „nepametamas“ klientas, prašoma atgalinio ryšio (kokie kliento pagyrimai ir nusiskundimai). Norint visa tai apibrėžti struktūrizuotai ir aiškiai, yra kuriamos procedūros su kiekvieno etapo išsamiais, bet trumpais aprašymais, kaip ekspeditorius turėtų elgtis kiekvienu paslaugos teikimo etapu. Iš pradžių organizacijos veikla yra suskirstoma į procesus. Jiems suteikiami pavadinimai pagal tai, kokį rezultatą jie sukuria. Vėliau procesai suskaidomi į nuosekliai viena paskui kitą vykdomas veiklas. Jos aprašomos detaliai, kad būtų galima nustatyti informacinius ryšius su kitais procesais, informacinėmis sistemomis ar kitais procese dalyvaujančiais asmenimis. Šioms nuoseklioms veikloms nustatoma vykdymo tvarka bei eilė ir taip sukuriamos veiklos procedūros. Remiantis krovinių ekspedijavimo ir ISO standarto procedūros apibrėžimais, ekspedijavimo procedūrą galima apibrėžti kaip krovinių vežimo pagal ekspedijavimo sutartį organizavimo procesų vykdymo tvarką.

Įmonei siekiančiai valdyti procesus yra siūlomi trys pagrindiniai procesų aprašymo metodai (Šaulinskas et al 2013): tekstiniai aprašai, srauto diagramos ir matricinės diagramos. Siekiant išsiaiškinti, kuris metodas turi mažiausiai trūkumų, 1-oje lentelėje pateikiamas jų palyginimas pagal tam tikrus kriterijus.

Iš pateiktos lentelės matyti, kad mažiausiai trūkumų turi matricinės diagramos, dėl to galima daryti prielaidą, kad ekspedijavimo veiklai tobulinti tai būtų tinkamiausias procesų modeliavimo metodas.

Ekspedijavimo paslaugos kiekvienoje transporto rūšyje turi tam tikrą specifiką, tačiau įmonės, nors ir teikia ekspedijavimo paslaugas keliomis transporto rūšimis, kartais dėl laiko trūkumo, kartais nenorėdamos apsikrauti dokumentais ar paprasčiausiai dėl paprastumo, dažniausiai sukuria vieną bendrą paslaugų vykdymo procedūrų tekstinį aprašą.

Kalbant apie ekspedijavimo jūrų transportu paslaugas, pažymėtina, kad jos išsiskiria iš kitų transporto rūšių savo itin ilga (nuo 28 iki 48 dienų) trukme. Esant tokiam ilgam paslaugos teikimo periodui, ypatingai svarbu tinkamai bendrauti su klientu, nes dažnu atveju jis per tokį laiko tarpą tampa itin nekantrus. Šiuo atveju būtina nuolatos, kas tam tikrą dienų skaičių, informuoti apie krovinį, jo buvimo vietą ir numatomą atvykimą. Tai sudarytų įspūdį, kad klientas ir jo krovinys nėra pamirštas bei juo rūpinamasi. Tačiau ne visi klientai norėtų kasdien, ar kas pora dienų sulaukti ne itin pakitusios informacijos, todėl svarbu nustatyti „aukso viduriuką“, tinkantį 98 % klientų.

1 lentelė

Procesų atvaizdavimo būdų palyginimas

Kriterijai	**Procesų aprašymo metodai**		
	Tekstiniai aprašai	**Srauto diagramos**	**Matricinės diagramos**
Apimtis tam pačiam informacijos kiekiui	- (didelė)	-/+ (vidutiniška)	+ (maža)
Proceso nuoseklumas ir išbaigtumas (nėra proceso trūkių, numatyti visi galimi etapų variantai)	- (nepakankamas)	-/+ (vidutiniškas)	+ (pakankamas)
Proceso etapų paskirstymas pagal pareigybes ir struktūrinius padalinius	- (dažnai neaiškus)	- (dažnai neaiškus)	+ (aiškus)
Sutinkamos modeliavimo klaidos	- (dažnai)	-/+ (vidutiniškai)	+ (retai)
Galimybė atvaizduoti automatizuotus proceso etapus, nurodant kokios IS naudojamos atliekant tam tikrus veiksmus	- (nėra)	- (nėra)	- (nėra)
Galimybė numatyti tam tikrų procesų etapų kokybinius ir kiekybinius rodiklius	- (nėra)	- (nėra)	-/+ (ne visada)
Galimybė vartotojui greitai susipažinti su proceso eiga ir gerai suvokti jo esmę	- (sudėtinga)	-/+ (gali būti sudėtinga)	+ (paprasta)

Šaltinis: sudaryta autorių remiantis Šaulinskas et al, 2013

Siekiant kuo geresnės teikiamų paslaugų kokybės, būtina atnaujinti ir pritaikyti procesų etapus pagal jūrų transporto specifiką. Šį proceso atnaujinimą galima atlikti naudojant matricinės diagramos metodą.

2. *Ekspedijavimo veiklos proceso analizė*

Analizei pasirinkta įmonė, kuri savo veiklą vykdo pagal ISO 9001:2008 kokybės standartą. Tai užtikrina klientų pasitikėjimą įmone ir jos teikiamomis paslaugomis. Sertifikuota vadybos sistema rodo įmonės procesinio požiūrio suvokimą. Šiuo metu įmonė ekspedijavimo procesui atvaizduoti naudoja tekstinio aprašo metodą. Atsižvelgiant į matricinės diagramos pranašumą, būtent ji pasirinkta tolimesnei analizei atlikti.

Matricinės procesų diagramos analizuojant įmonės veiklos procesus braižomos remiantis As-Is ir To-Be modeliais.

2 lentelė

As-Is ir To-Be modeliai

Modelis	Aprašymas
As-Is (taip kaip yra)	Šis modelis pateikia veiklos proceso esamos situacijos vaizdą. Nubraižius schemą ar diagramą naudojant šį modelį galima identifikuoti problemines proceso sritis, kurias reikia keisti, pastebimos nereikalingos veiklos, kurias galima pašalinti, siekiant padidinti veiklos proceso efektyvumą.
To-Be (kaip turi būti)	Šis modelis naudojamas po to, kai atliekama veiklos procesų analizė naudojantis sudaryta schema pagal As-Is modelį. Nustatomos probleminės sritys ir šalintinos veiklos. Eliminavus problemas ir pašalinus nereikalingas veiklas, braižoma schema ar diagrama, kuri atspindės idealią veiklos procesų situaciją eliminavus problemines sritis.

Šaltinis: sudaryta autorių remiantis Montelone, 2010

Matricinėje diagramoje nagrinėjamos įmonės ekspedijavimo veiklos procesas suskirstytas į pagrindinius paslaugos teikimo etapus:

1. Paslaugos pardavimą.
2. Kliento užsakymo gavimą.
3. Pervežimo planavimą ir registravimą.
4. Pervežimo organizavimą.
5. Pervežimo kuravimą.
6. Klientų pageidavimų ir skundų gavimą.
7. Sąskaitų klientams siuntimą.
8. Sąskaitų iš tiekėjų tvarkymą.

Kiekvienas etapas yra suskirstytas į smulkesnes veiklas, kurias būtina atlikti ekspedijavimo proceso eigoje.

Atlikus procesų atvaizdavimą ir analizę, buvo identifikuotos šios probleminės sritys:

- nėra tiksliai apibrėžto laiko, per kurį vadybininkas turėtų atsakyti į vienkartinę kliento užklausą apie paslaugų kainą;
- pervežimo planavimo ir registravimo etape esantis tiekėjų parinkimo punktas, turėtų būti perkeltas į pervežimo organizavimo etapą;
- nėra tiksliai apibrėžta, kada turėtų būti gauti krovinio dokumentai, reikalingi atlikti išmuitinimo procedūroms;
- nėra įtrauktas punktas, kuriame būtų nustatytas ir tiksliai apibrėžtas kliento informavimas apie krovinio pristatymo datą;
- sąskaitų siuntimo klientams terminas apibrėžtas neatsižvelgiant į krovinių vežimą jūrų transportu;
- nėra nustatytas terminas, per kurį turėtų būti priimta ir patvirtinta tiekėjų sąskaita už jų suteiktas paslaugas.

Apibendrinant išskirtus probleminius procedūros taškus, galima padaryti išvadą, kad norint sukurti tinkamą procedūrą krovinių vežimui jūrų transportu, kuri apimtų kuo daugiau paslaugos teikimo aspektų, reikia itin atsižvelgti ir sukonkretinti klientų aptarnavimo elementus, kurie sumažintų vadybininkų darbo laiko sąnaudas.

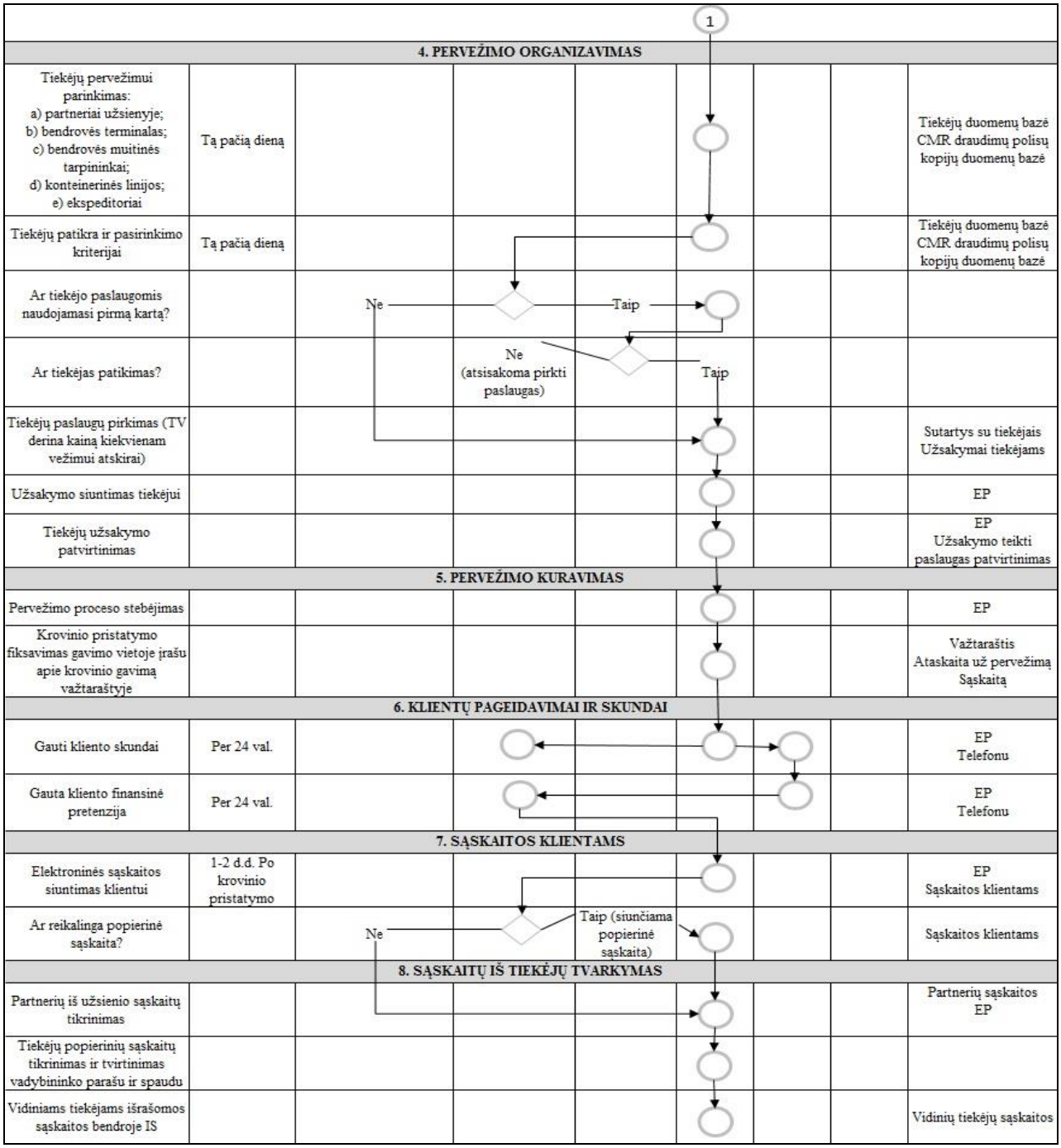
Norint įmonei teikti kuo kokybiškesnes ekspedijavimo paslaugas, būtinas reguliarus atgalinis klientų ryšys, kurio pagalba būtų nustatomos esamos paslaugos tobulinimo sritys ir galimybės. Tuo tikslu buvo atlikta klientų, kurie naudojasi įmonės teikiamomis paslaugomis, importuojant krovinius jūrų transportu, apklausa. Apklausta 40 proc. įmonės klientų. Klausimai parinkti atsižvelgiant į atliktą ekspedijavimo procedūros analizę matricine diagrama ir identifikavus probleminės sritis. Apklausos duomenys apdoroti koreliacinės regresinės analizės metodu, analizės rezultatai dėl straipsnio apimties pateikiami tik baigtiniai. Gauti rezultatai parodė, kad kliento pasitenkinimas turi stiprų ryšį su visais pasirinktais veiksniais. Vis dėlto stipriausią ryšį kliento pasitenkinimas turi su suteiktos paslaugos kokybe, o paslaugos teikimo trukmė

dienomis ir klaidų skaičius teikiant paslaugą turi atvirkštinį ryšį, t.y. jiems didėjant, klientų pasitenkinimas mažėja.

Darbo (veiksmo, užduoties) pavadinimas	Darbo trukmė	Vykdytojai						Duomenų įrašai
		GD	DP	Buhalterija	TV	SV	IT	
1. PASLAUGOS PARDAVIMAS								
Vienkartinė kliento užklausa	Tą pačią dieną							Kliento užklausa Vienkartinis kainų pasiūlymas EP
Ar registruotas klientas?	Tą pačią dieną				Taip	Ne		IS
Ar klientas mokus?	Tą pačią dieną							EP
Krovinio vežimo sąlygų derinimas	Tą pačią dieną		Ne (atsisakoma teikti paslaugas)		Taip			EP
Kliento užregistravimas duomenų bazėje	Tą pačią dieną							Naujo kliento duomenys Prašymas sukurti debitorių
Ar gautas užsakymas?	Tą pačią dieną		pabaiga	Ne	Taip			
2. KLIENTO UŽSAKYMO GAVIMAS								
Užsakymo priėmimas: - elektroninis užsakymas per el.sistemą; - satndartizuota užsakymo forma, siunčiamas EP; - paties kliento naudojamas rašytinis užsakymas	Tą pačią dieną							IS EP Užsakymas krovinio pervežimuiorganizuoti Kliento rašytinis užsakymas
Ar gautas užsakymas atitinka suderintas sąlygas?	Tą pačią dieną	Ne		Taip				EP IS
3. PERVEŽIMO PLANAVIMAS IR REGISTRAVIMAS								
Krovinio vežimo maršruto sudarymas								
Tiekėjų parinkimas								EP
Ar įmonės partneriai naudoja tą pačią IS?		Taip (partneriai sukuria unikalų pervežimo nr.)		Ne				
Unikalaus pervežimo numerio suteikimas								IS
Pervežimo popierinių dokumentų saugojimas ir kaupimas								Pervežimo aplankas Pervežimo dokumentai
					1			

1 pav. Ekspedijavimo proceso matricinė diagrama As-Is(tęsinys pateikiamas 2 pav.): GD -generalinis direktorius; DP - generalinio direktoriaus pavaduotojas; TV - vadybininkas; SV - skyriaus vadovas; IT - informacinių technologijų skyrius; EP - elektroninis paštas; IS - informacinė duomenų sistema; Tiekėjai (vidiniai ir išoriniai) - įmonės vietinių pervežimų grupė, įmonės terminalas, įmonės muitinės tarpininkai, ekspeditoriai; Partneriai užsienyje - įmonės ir užsienio įmonės, su kuriomis pasirašytos bendradarbiavimo sutartys dėl paslaugų teikimo.

- žymuo, rodantis tam tikrų pareigų atsakomybę atlikti tam tikrą procedūros etapo dalį;
- žymuo, rodantis galimybę pasirinkti tam tikroje situacijoje variantą „Taip“ arba „Ne“;
- žymuo, rodantis proceso eigos kryptį.



2 pav. Ekspedijavimo proceso matricinė diagrama As-Is (tęsinys)

Žinant, kokie veiksniai, ir kokio stiprumo ryšį turi su kliento pasitenkinimu suteiktomis paslaugomis, į tai atsižvelgta modeliuojant patobulintą ekspedijavimo procedūrą.

3. Siūloma veiklos procedūra ekspedijavimo procesui vykdyti

Įvertinus identifikuotas problemines sritis, siūlomas jas eliminuojantis patobulintas procesas. Palyginus nagrinėjamą ekspedijavimo jūrų transportu procesą prieš tobulinimą ir pašalinus probleminius etapus, galima išskirti tokius pasikeitimus:

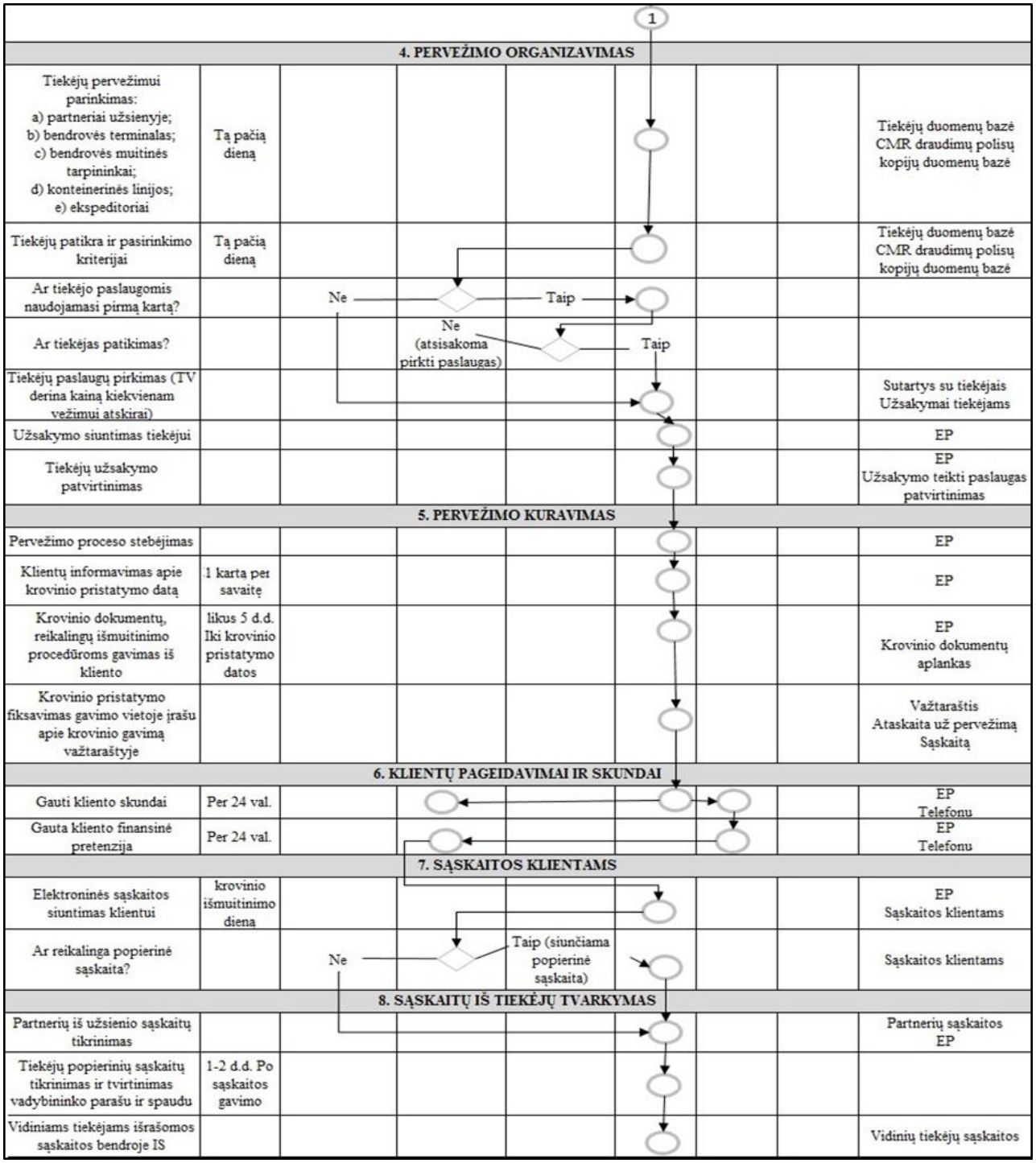
- yra tiksliai apibrėžtas 1–2 val. atsakymo į vienkartinę kliento užklausą laikas (prieš tobulinimą buvo nurodyta darbo trukmė „Tą pačią dieną“);
- pervežimo planavimo ir registravimo etape buvęs tiekėjų parinkimo punktas yra perkeltas į pervežimo organizavimo etapą, kad procesas atrodytų tolygesnis ir aiškesnis;
- įtrauktas punktas „Klientų informavimas apie krovinio pristatymo datą“ bei apibrėžta darbo trukmė 1 kartą per savaitę;

- įtrauktas punktas „Dokumentų, reikalingų išmuitinimo procedūroms atlikti, gavimas iš klientų“ bei apibrėžta darbo trukmė 5 darbo dienos iki krovinio pristatymo datos;
- nurodytas elektroninės sąskaitos siuntimo klientui laikas – krovinio išmuitinimo diena;
- nurodytas tiekėjų sąskaitų priėmimo ir tvirtinimo laikotarpis – 1–2 darbo dienos.

Iš šių skirtumų galima pastebėti, kad procesas tapo aiškesnis ir labiau standartizuotas. Į jį taip pat įtraukti klientų poreikiai ir lūkesčiai, į kuriuos, kaip buvo anksčiau minėta, privaloma atsižvelgti, norint išsaugoti lojalius klientus ir pritraukti naujų, teikiant aukštos kokybės paslaugas bei siūlant itin dėmesingą ir kokybišką aptarnavimą.

Darbo (veiksmo, užduoties) pavadinimas	Darbo trukmė	Vykdytojai						Duomenų įrašai
		GD	DP	Buhalterija	TV	SV	IT	
1. PASLAUGOS PARDAVIMAS								
Vienkartinė kliento užklausa	1-2 val.							Kliento užklausa Vienkartinis kainų pasiūlymas EP
Ar registruotas klientas?	Tą pačią dieną			Taip		Ne		IS
Ar klientas mokus?	Tą pačią dieną							EP
Krovinio vežimo sąlygų derinimas	Tą pačią dieną		Ne (atsisakoma teikti paslaugas)	Taip				EP
Kliento užregistravimas duomenų bazėje	Tą pačią dieną							Naujo kliento duomenys Prašymas sukurti debitorių
Ar gautas užsakymas?	Tą pačią dieną		pabaiga	Ne / Taip				
2. KLIENTO UŽSAKYMO GAVIMAS								
Užsakymo priėmimas: - elektroninis užsakymas per el.sistemą; - satndartizuota užsakymo forma, siunčiamas EP; - paties kliento naudojamas rašytinis užsakymas	Tą pačią dieną							IS EP Užsakymas krovinio pervežimuiorganizuoti Kliento rašytinis užsakymas
Ar gautas užsakymas atitinka suderintas sąlygas?	Tą pačią dieną	Ne		Taip				EP IS
3. PERVEŽIMO PLANAVIMAS IR REGISTRAVIMAS								
Krovinio vežimo maršruto sudarymas								
Ar įmonės partneriai naudoja tą pačią IS?		Taip (partneriai sukuria unikalų pervežimo nr.)		Ne				
Unikalaus pervežimo numerio suteikimas								IS
Pervežimo popierinių dokumentų saugojimas ir kaupimas								Pervežimo aplankas Pervežimo dokumentai
					1			

3 pav. Ekspedijavimo proceso matricinė srauto diagrama To-Be (tęsinys pateikiamas 4 pav.)



4 pav. Ekspedijavimo proceso matricinė diagrama To-Be (tęsinys)

Pagal gautus analizių rezultatus įdiegus naują procedūrą, yra sutaupomas laikas, kuris gali būti efektyviau panaudojamas aptarnaujant daugiau klientų ir priimant daugiau užsakymų. Sutvarkytas ekspedijavimo veiklos procesas bei veiklos vykdymas pagal sudarytą procedūrą, leistų sutaupyti iki 20 procentų dabar išnaudojamo laiko.

Išvados

1. Procesinio požiūrio taikymas veiklos gerinimo tikslais ne tik kad nepraranda savo aktualumo, bet ir toliau akcentuojamas, kaip pagrįstai geriausiais būdas veiklos gerinimui.
2. Proceso analizei esamoje praktikoje daugiausiai taikomi tekstiniai aprašai, srauto diagramos ir matricinės diagramos, kurios turi svarų pranašumą, nes aiškiai identifikuojamas atsakomybės centras bei jam priklausanti veikla. Taip pat matricinės diagramos leidžia kokybiškai išanalizuoti esamą veiklą (As-Is) bei sumodeliuoti norimą veiklą (To-Be).

3. Patobulinta ekspedijavimo procedūra pagal proceso analizės rezultatus bei klientų apklausos duomenų koreliacinę-regresinę analizę (detaliai straipsnyje nepateikta dėl apimties ribojimo) padėjo nustatyti tobulintinas vietas bei sukurti procesą, kurio vykdymas yra mažiau imlus laikui (veiklos vykdymas pagal sudarytą procedūrą, leistų sutaupyti iki 20 procentų dabar išnaudojamo laiko).

Literatūra

1. Adomėnas, V. 2011. *Standartizuota vadybos sistema. Nuo sukūrimo iki tobulinimo*. Vilnius
2. Looy, A. V., Backer, M. D., Poels, G. 2012. A conceptual framework and classification of capability areas for business process maturity. //Enterprise Information Systems. 8(2):188-224. DOI:10.1080/17517575.2012.688222
3. Monteleone, M. A. 2010. Structuring As-Is and To-Be process improvement discussions using the fishbone diagram. [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. sausio 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.modernanalyst.com/Resources/Articles/tabid/115/ID/1562/Structuring-AS-IS-and- TO-BE-Process-Improvement-Discussions-using-the-Fishbone-Diagram.aspx. >
4. Šaulinskas, L., Tilvytienė, R., Dieninis, J. 2013. Kokybės valdymo procesų modeliavimas. //Ekonomika ir vadyba: aktualijos ir perspektyvos, 30: 15-26.
5. Sondalini, M. 2011. Employee Training and Development with Standard Operating Procedures [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. sausio 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.pdfdrive.net/standard-operating-procedures-sop-example-feed-forward-e6312620.html>
6. Talib F., Rahman, Z. Qureshi, M.N. 2013. An empirical investigation of relationship between total quality management practices and quality performance in Indian service companies. //International Journal of Quality and Reliability Management, 30(3): 280-318.
7. Wong, W. P. 2014. A business process management capabilities perspective on organisation performance. //Total Quality Management & Business Excellence. 25(5-6): 602-617
8. Zellner, G. 2011. A structured evaluation of business process improvement approaches //Business Process Management Journal, 17(2):203-237.
9. www.iso.org [interaktyvus] [žiūrėta 2015 m. sausio 21 d.]. Prieiga per internetą: <www.iso.org>

PERFORMANCE IMPROVEMENT BY PROCESS APPROACH: THE CASE OF MARITIME TRANSPORT EXPEDITION

Summary

Process approach is the most popular management systems (ISO, EFQM, Lean et al.) Basis. The new ISO 9001: 2015 version (released in autumn 2015) emphasizes that only an orderly processes continuing, managing them, namely developing and supervising organizations can achieve long-term success. The paper presents a theoretical analysis of the potential result of the procedural approach of Lithuania operates forwarding maritime transport services providing company. The competitive context given and the publication of confidential data, the company name is not specified in article.

Key words: quality management system, process, flow diagram, matrix diagram, expedition by maritime transport.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Aidas Vasilis Vasiliauskas.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas
Darbo vieta ir pozicija:. VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Logistikos ir transporto vadybos katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto sistemos, logistika, marketingas.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 612 53527, aidas.vasilis-vasiliauskas@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Virgilija Vasilienė Vasiliauskienė.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentė
Darbo vieta ir pozicija:. VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Logistikos ir transporto vadybos katedros docentė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Strateginis valdymas, logistika, marketingas.
Telefonas ir el. pašto adresas: (8 5) 274 5030, virgilija.zinkeviciute@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Jonas Matijošius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Rinkos specialistų ugdymas, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 684 04169, jonas.matijosius@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Neringa Radzevičiūtė.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistrantė
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Logistikos ir transporto vadybos katedros magistrantė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Rinkos specialistų ugdymas, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 677 69583, neringa.radzeviciute@stud.vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Aidas Vasilis Vasiliauskas.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Logistics and Transport Management department associated professor.
Author's research interests: Transport systems, logistics, marketing
Telephone and e-mail address: +370 612 53527, aidas.vasilis-vasiliauskas@vgtu.lt

Author name, surname: Virgilija Vasilienė Vasiliauskienė.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Logistics and Transport Management department associated professor.
Author's research interests: Strategic possession, logistics, marketing
Telephone and e-mail address: (8 5) 274 5030, virgilija.zinkeviciute@vgtu.lt

Author name, surname: Jonas Matijošius.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department associated professor.
Author's research interests: Market specialists development, transport ecology, alternative energetics.
Telephone and e-mail address: +370 684 04169, jonas.matijosius@vgtu.lt

Author name, surname: Neringa Radzevičiūtė.
Science degree and name: master student.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Logistics and Transport Management department master student.
Author's research interests: Market specialists development, transport ecology, alternative energetics.
Telephone and e-mail address: +370 677 69583, neringa.radzeviciute@stud.vgtu.lt

SUSKYSTINTŲ NAFTOS DUJŲ ĮTAKA SLĖGINIO UŽDEGIMO VARIKLIO RODIKLIAMS

Alfredas Rimkus[1,2], Mindaugas Melaika[1,2]
[1] Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, [2] Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija
Ištirta papildomai tiekiamų suskystintų naftos dujų (SND) įtaka dyzelinu veikiančio slėginio uždegimo (SU) variklio energetiniams ir ekologiniams rodikliams. Atliekant eksperimentinius tyrimus nustatyta, kad papildomai tiekiamos SND daro įtaką degiojo mišinio degimo procesui ir mažina variklio energetinį efektyvumą. Didinant SND koncentraciją išauga nepilno degimo produktų – anglies monoksido (CO) ir angliavandenilių (CH) koncentracija išmetamosiose dujose bei dūmingumas, tačiau sumažėja azoto oksidų (NO_x) ir anglies dvideginio (CO_2) emisija. Naudojant 50 % SND priedą į dyzeliną bei optimizavus (paankstinus) dyzelino įpurškimo paankstinimo kampą, variklio veikimo energetinis efektyvumas yra artimas dyzelinui nes degalų mišinio degimas pagerėja, nepilno degimo produktų koncentracija sumažėja, tačiau išauga NO_x koncentracija deginiuose. Įvertinus mažesnę SND degalų kainą, naudojant didesnę SND koncentraciją, pasiekiamas didesnis ekonominis efektyvumas.
Reikšminiai žodžiai: suskystintos naftos dujos, slėginio uždegimo variklis; energetiniai ir ekologiniai rodikliai.

Įvadas

Aplinkosauga ir ekologija yra svarbūs šios dienos veiksniai. Didžiausią įtaką oro kokybei daro mobiliųjų taršos šaltinių emisijos. Transportas, ypač automobilių, šiuo metu yra didžiausias aplinkos taršos šaltinis. Labai daug ir įvairiomis kryptimis dirbama, kad vidaus degimo varikliai (VDV) aplinką terštų kuo mažiau. Pagrindiniai teršalai, sąlygojami įprastų angliavandenilinių degalų, yra nesudegę bei dalinai sudegę angliavandeniliai (CH), anglies viendeginis (CO), azoto oksidai (NO_x) ir sveikatai kenksmingos kietosios dalelės (Rakopoulos *et al.* 2010). VDV degimo produktai, daugiausia CO_2, CO, kartu su kitomis šiltnamio efektą sukeliančiomis dujomis kaip metanas ir azoto oksidai įtakoja pasaulinės temperatūros kilimą (Lata, 2012). Esant minėtoms problemoms, šiuolaikinė automobilių gamyba sprendžia vis didėjantį iššūkį tarp didesnės galios, geresnio degalų taupymo ir reikalavimų žemesnėms teršalų emisijoms (Stan, 2002). Varikliai aprūpinami deginių recirkuliacijos (EGR) įrenginiais, įvairiais katalizatoriais, kietųjų dalelių filtrais. Šios priemonės leidžia sumažinti teršalų emisiją jau po įvykusio degalų degimo proceso, tačiau norint atitikti vis griežtesnes deginių emisijos normas reikia siekti, kad ir degimo metu būtų mažinama tarša, tam panaudojant alternatyvius degalus ar jų mišinius (Laurinaitis *et al.* 2012).

SND naudojimo perspektyvos. Europos Komisijos komunikate dėl Europinės alternatyviųjų degalų strategijos buvo įvertintos pagrindinės alternatyviųjų degalų rūšys, galinčios pakeisti naftą ir padėti sumažinti transporto išmetamų teršalų kiekį. Pateiktas alternatyvių degalų sąrašas: elektra, vandenilis, biodegalai, suslėgtos gamtinės dujos (SGD), suskystintos naftos dujos (SND) (Europos parlamentas, 2013). Lietuvoje iš dujinių degalų plačiausiai vartojamos SND. Jų vartojimo populiarumą lemia palyginti žema dujų kaina, kuri yra beveik dvigubai mažesnė lyginant su dyzelinu ar benzinu, platus dujinės įrangos įrengimo ir aptarnavimo tinklas bei platus degalinių tinklas (Katinas *et al.* 2012). Europos Komisijos siekiai transporto srityje iki 2020 metų: išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį sumažinti iki 20 %, o jeigu pagal pasaulinį susitarimą kitos išsivysčiusios šalys prisiimtų panašius įsipareigojimus ir besivystančios šalys prisidėtų pagal savo galimybes, sumažinti iki 30 %. Siekti 20 % efektyvesnio energijos vartojimo (Europa 2020. Tvarus augimas, 2012).

SND naudojimo transporte tyrimų apžvalga. Dyzeliniame variklyje įvairios dujos (SND, SGD, biodujos, hidrometanas) gali būti panaudotos kaip alternatyva dyzelinui, jomis pakeičiant dalį dyzelino. Paprastai, šie dujiniai degalai, yra naudojami kaip antriniai, o dyzelinas priskiriamas pirminiams degalams, kuris yra reikalingas pradėti degimo procesą. Įpurkštas dyzelinas variklyje, nuo susidariusios aukštos temperatūros suslėgimo metu, užsiliepsnoja dėl jo aukšto cetaninio skaičiaus ir taip uždega antrinius degalus (Lata, 2012). SND naudojimas turi šiuos pranašumus prieš tradicinius degalus: dujos nepraskiedžia variklio alyvos, todėl ją ilgiau galima eksploatuoti. Naftos dujų turi didelį oktaninį skaičių tai lemia geras antidetonacines savybes. SND didesnis šilumingumas, todėl galima pasiekti didesnę variklio galia ir mažesnes degalų sąnaudas (Chaichan, 2011). Naftos dujos beveik neturi sieros priemaišų. Sieros dioksido mažinimas variklyje yra svarbus privalumas, kadangi jis aktyvina koroziją, todėl šiuo aspektu variklio tarnavimo laikas turėtų būti ilgesnis naudojant dyzeliną su dujomis (Saleh, 2008). SND lyginant su dyzelinu ar benzinu, yra mažesnis C/H elementinis santykis dėl to joms degant susidaro mažesnė CO_2 emisiją. Lyginant su benzinu SND išskiria 10 % mažiau CO_2 (Reif, 2015). Pagrindinės dyzelino ir SND dujų savybės pateiktos 1 lentelėje.

Mokslininkas Saleh (2008) nagrinėdamas energetinius ir ekologinius SU variklio rodiklius nustatė, kad kai mišinys sudarytas iš 60 % dyzelino ir 40 % SND yra gaunamas didžiausias efektyvusis variklio

naudingumo koeficientas. Tuomet buvo atlikti bandymai su skirtingos sudėties SND dujomis, kurio metu nustatyta, kad propanas atvirkščiai butanui mažina CO, bet didina NO_x kiekius. Todėl buvo priimta, kad geriausias degalų mišinys yra, sudarytas iš 60 % dyzelino ir 40 % SND dujų, kuomet SND sudaro 70 % propanas ir 30 % butanas. Su tokiu degalų mišiniu esant 100 % variklio apkrovai NO_x ir SO_2 teršalų kiekiai sumažėjo 27 % ir 69 %, lyginant su įprastiniais dyzeliniais degalais, tačiau CO dujų koncentracija padidėjo 15,7 %. Papildomai tiekiant SND, prie maksimalios variklio apkrovos galima padidinti efektyvųjį naudingumo koeficientą vidutiniškai iki 6 %, o dūmingumą sumažinti iki 71 %, lyginant su gryno dyzelino naudojimu (Vijayabalan *et al.*2009).

Atliekant mokslinius tyrimus nustatyta problema: naudojant SND dujas dyzeliniame variklyje yra blogas degalų deginimas esant mažai variklio apkrovai (Lata, 2012). Esant 20 % variklio apkrovai panaudojant SND ir dyzelino mišinį, lyginant su grynu dyzelinu, HC koncentracija deginiuose padidėja iki 16 kartų, o CO iki 4 kartų. Apkrovą padidinus iki 100 %, HC skirtumas lieka 4 kartai, o CO 27 % (Vijayabalan *et al.* 2009). Keičiant dyzelino įpurškimo momentą (Θ), papildomai tiekiant 30 % – 70 % SND, nustatyta, kad 1.9 TDI (1Z tipo) variklyje, siekiant maksimalaus energetinio efektyvumo, dyzelino įpurškimą reikia paankstinti ~ 10° alkūninio veleno (AV), nes dujas uždegant dyzelinu pagal elektroninio valdymo bloko (EVB) algoritmą, jų uždegimas yra per vėlyvas (Rimkus *et al.* 2016). Tačiau SND degalų priedo panaudojimo SU variklyje įvairų tyrimų rezultatai yra gan prieštaringi.

Šio tyrimo tikslas – nustatyti kaip kinta SU variklio energetiniai ir ekologiniai rodikliai plačiose ribose keičiant papildomai tiekiamų SND koncentraciją degalų mišinyje.

Tyrimo uždaviniai:

1. Apžvelgti mokslinius straipsnius, kur nagrinėjama SND degalų priedo įtaka SU variklių rodikliams.
2. Atlikti SU variklio veikimo rodiklių eksperimentinius tyrimus keičiant SND koncentraciją degalų mišinyje ir paankstinus dyzelino įpurškimo momentą – įpurškimo paskubos kampą (Θ).
3. Atlikti SND priedo naudojimo SU variklyje eksperimentinių tyrimų rezultatų analizę ir pateikti apibendrintas išvadas.

Tyrimo įranga ir metodika

Atliekant eksperimentinius bandymus naudotas 1.9 TDI (1Z tipo) SU variklis elektroniškai valdomu BOSCH VP37 skirstomojo tipo degalų siurbliu ir turbokompresoriumi. EGR sistema bandymų metu buvo atjungta. Bandomo variklio techniniai duomenys pateikti 2 lentelėje.

1 lentelė

Degalų savybės

Savybės	SND		Dyzelinas
	Propanas	Butas	
Cheminė formulė	C_3H_8	C_4H_{10}	$C_{10}H_{22}$–$C_{15}H_{32}$
Sudėtis pagal masę, %	82C–18H	83C–17H	86C–13H
Žemutinis šilumingumas, MJ/kg	46,3	45,6	42,5
Skysčio tankis prie 15 °C, kg/l	0,51	0,58	0,83
Savaiminio užsidegimo temperatūra, °C	470	365	250
Virimo temperatūra, °C	-42	-0,5	150–360
Stechiometrinis oro/degalų santykis, kg/kg	15,6	15,4	14,5
Oktaninis skaičius	105	94	30
Cetaninis skaičius	-5–0		45–58
Liepsnos greitis, cm/s	38–40		2,0–8,0

Šaltinis: Jučas, 2006; Lata, 2012; Bosch, 2011

2 lentelė

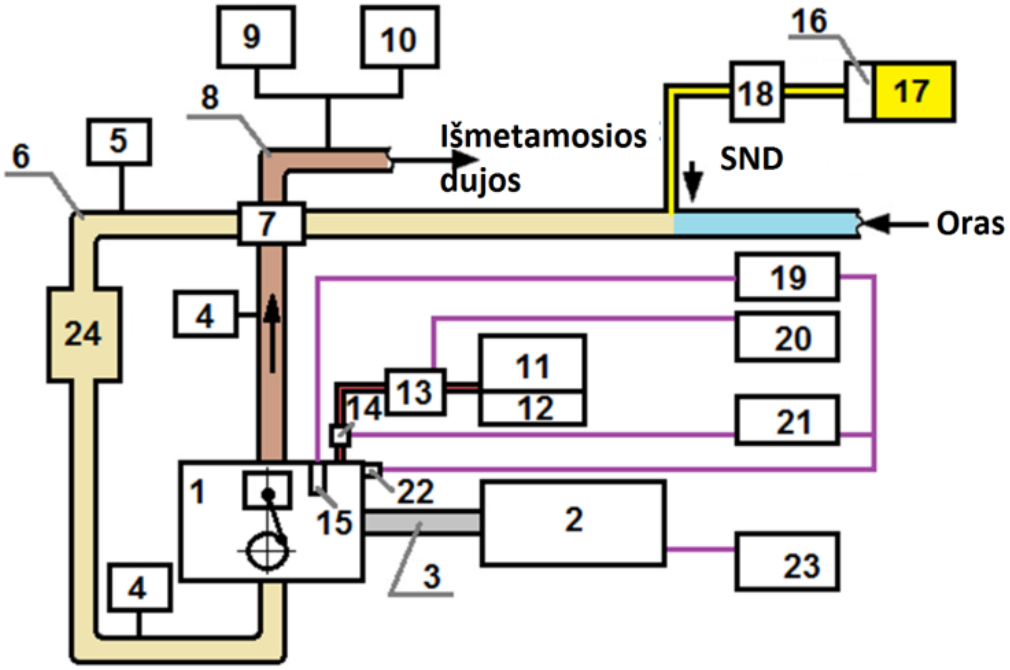
Bandomo 1.9 TDI 1Z variklio pagrindiniai rodikliai

Rodiklis	Reikšmė
Darbinis tūris, cm^3	1896
Cilindrų skaičius	4
Suslėgimo laipsnis	19,5
Nominali galia, kW	66 (4000 min^{-1})
Sukimo momentas, N m	180 (2000–2500 min^{-1})
Cilindro skersmuo, mm	79,5
Darbinis tūris, mm	95,5

Šaltinis: Variklio 1.9 TDI 1Z techniniai duomenys

Eksperimento metu naudojamas du degalai: dyzelinas ir automobilinės SND dujos, kurios sudarytos iš propano (C_3H_8) ir butano (C_4H_{10}) santykiu 50 %/50 %. Dujos buvo tiekiamos iš 50 l (2,5 MPa) dujų baliono pro žemo slėgio reduktorių (36 mbar, dujų pralaidumas 4 kg/h) į įsiurbimo kolektorių prieš turbokompresorių (1 pav.). Eksperimentiniai bandymai atlikti varikliui veikiant n = 2000 min^{-1} sūkiais ir M_e = 60 Nm apkrova. Tai atitinka variklio veikimo režimą lengvajam automobiliui Audi B4 tolygiai važiuojant lygiu keliu penkta pavara 90 km/h greičiu. Variklio efektyvus sukimo momentas M_e ir veleno sūkiai n nustatomi stendu KI-5543, M_e matavimo paklaida ± 1,23 Nm. Dyzelino valandinėms sąnaudoms B_d matuoti naudotos elektroninės

svarstyklės SK-5000 ir chronometras, o SND dujų sąnaudoms – dujų skaitiklis KG-0095-G06-94-10. Dyzelino sąnaudų paklaida 0,5 %. Teršalų koncentracija išmetamosiose dujose matuota naudojant AVL DiCom 4000 deginių (CO, CO_2, HC, NO_x) analizatorių, o dūmingumas – AVL DiSmoke. Slėgis p cilindre fiksuojamas kaitinimo žvakėje integruotu pjezoelektriniu jutikliu GG2 1569 ir įrašomas naudojant AVL DiTEST DPM 800 įrangą. Slėgio matavimo tikslumas 1 %. Slėgis variklio įsiurbimo kolektoriuje matuojamas slėgio matuokliu Delta OHM HD 2304.0, prietaiso jutiklis TP704-2BAI montuojamas prieš įsiurbimo kolektorių. Matavimo paklaida ± 0,0002 MPa. Išmetamųjų dujų kolektoriaus temperatūra T_K nustatoma infraraudonųjų spindulių termometru Emsitest IR 8839, kurio tikslumas ± 1,5°C.

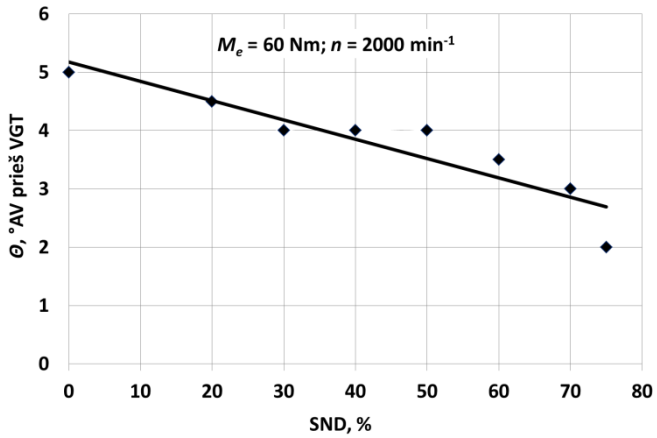


1 pav. Variklio bandymo įranga: 1 – 1,9 TDI SU variklis; 2 – variklio apkrovos stendas; 3 – velenas; 4 – temperatūros matuoklė; 5 – slėgio matuoklė; 6 – įsiurbimo kolektorius; 7 – turbokompresorius; 8 – išmetimo kolektorius; 9 – dūmomatis; 10 – išmetamųjų dujų analizatorius; 11 – degalų talpa; 12 – degalų sąnaudų nustatymo įranga; 13 – aukšto slėgio degalų siurblys; 14 – degalų įpurškimo momento jutiklis; 15 – slėgio cilindre jutiklis; 16 – slėgio reduktorius; 17 – SND dujų balionas; 18 – dujų srauto reguliavimo sklendė; 19 – slėgio cilindre fiksavimo įranga; 20 – degalų įpurškimo momento valdymo įranga; 21 – degalų įpurškimo momento fiksavimo įranga; 22 – alkūninio veleno padėties jutiklis; 23 – variklio apkrovos ir sukimosi greičio fiksavimo įranga; 24 – oro aušintuvas
Šaltinis: sudaryta autorių

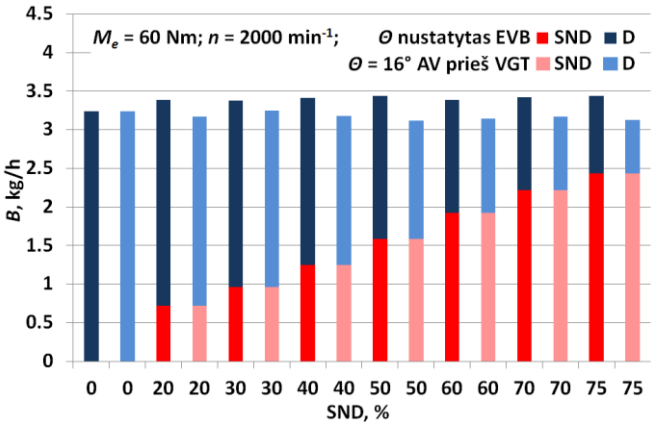
Bandymai atlikti keičiant SND koncentraciją degiajame mišinyje nuo 0 % iki75 %. Dyzelino įpurškimo pradžios momentas Θ išlaikomas pagal EVB algoritmą bei ankstinamas iki 16°AV prieš viršutinį galinį tašką (pVGT).

Eksperimentiniai tyrimai ir jų rezultatų analizė

Didinant papildomai tiekimų SND kiekį nuo 0 % iki 75 % ir palaikant pastovią variklio apkrovą M_B = 60 Nm bei variklio sūkius n = 2000 min^{-1}, dyzelino įpurškimo pradžios momentas Θ mažėja nuo 5° iki 2° AV pVGT (2 pav.). Valandinės SND sąnaudos B_{SND} išauga nuo 0 kg/h iki 2,436 kg/h, o dyzelino sąnaudos (B_D) mažėja 3,243 kg/h iki 1,006 kg/h (~69 %) (Fig. 3). B_D sąnaudos mažėja, nes, didinant SND kiekį ir palaikant M_B = 60 Nm bei n = 2000 min^{-1}, akceleratorius spaudžiamas mažiau. Remiantis akceleratorius padėties jutiklio signalu variklio EVB mikroprocesorius valdo BOSCH VP37 degalų siurblį – mažina ciklinį degalų kiekį ir koreguoja (vėlina) Θ (Reif, 2014). Kartu trumpėja ir dyzelino įpurškimo trukmė. Bendros degalų sąnaudos B_{D+SND}, SND koncentraciją degalų mišinyje padidinus iki 75 % ir neatliekant Θ korekcijos, B_{D+SND} išauga nuo 3,243 kg/h iki 3,442 kg/h (~6,1 %) (Fig. 3). Θ paankstinus iki 16° AV pVGT, bendros degalų sąnaudos sumažėja iki 3,128 kg/h (~3,5 %), nes dujiniai degalai uždegami momentu artimu optimaliam.

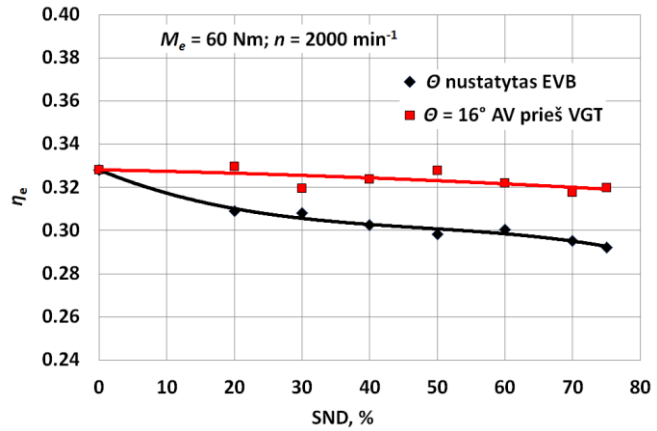


2 pav. Dyzelino įpurškimo paskubos kampo (Θ) priklausomybė nuo SND koncentracijos degalų mišinyje
Šaltinis: sudaryta autorių

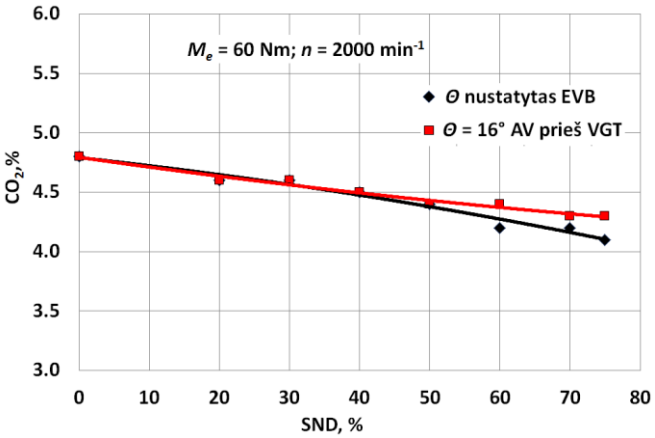


3 pav. Valandinių degalų sąnaudų (B) priklausomybė degalų mišinio sudėties ir dyzelino įpurškimo paskubos kampo (Θ)
Šaltinis: sudaryta autorių

Lyginant variklio efektyvųjį naudingumo koeficientą (η_e), matyti, kad dyzeliną iki 75 % pakeitus SND dujomis, esant standartiniam dyzelino įpurškimo momentui, η_e sumažėja nuo 0,328 iki 0,292 (-11 %) (4 pav.). η_e rodiklis blogėja dėl per vėlyvo dujų uždegimo bei augančio degiojo mišinio žemutinio šilumingumo (Sendzikiene *et al*, 2015), nes dujų šilumingumas (45,95 MJ/kg) aukštesnis už dyzelino (42,5 MJ/k) (1 lentelė). Paankstinus dyzelino įpurškimo kampą iki 16° AV pVGT, iki 50 % SND koncentracijos variklio η_e mažai kinta, o pasiekus 75 % SND – sumažėja iki 0,320 (-2,4 %), nors mišinio žemutinis šilumingumas ir išauga.



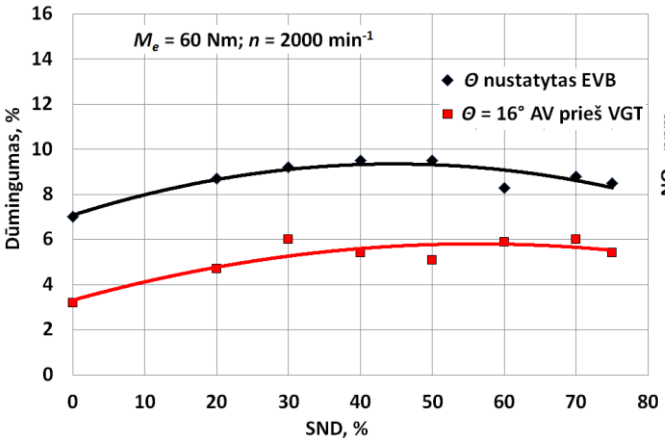
4 pav. Efektyviojo naudingumo koeficiento η_e priklausomybė nuo degalų sudėties ir dyzelino įpurškimo paskubos kampo (Θ)
Šaltinis: sudaryta autorių



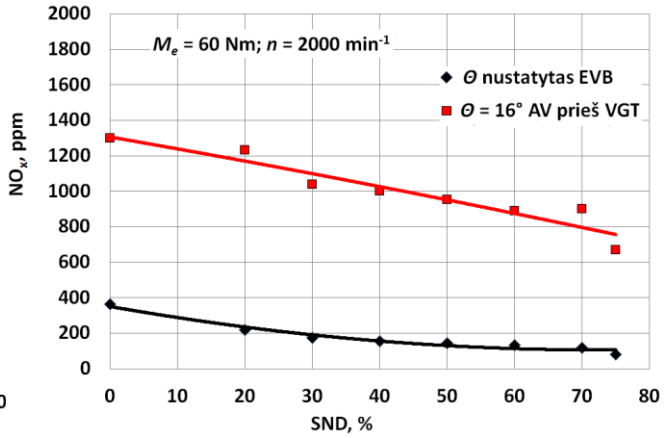
5 pav. CO_2 koncentracijos išmetamosiose dujose priklausomybė nuo degalų sudėties ir dyzelino įpurškimo paskubos kampo (Θ)
Šaltinis: sudaryta autorių

Anglies dvideginio (CO_2) koncentracija deginiuose (5 pav.), didinant SND kiekį iki 75 %, mažėja dėl mažesnio anglies kiekio naftos dujose (1 lentelė) ir blogėjančio degimo proceso, todėl auga CO ir CH koncentracija deginiuose (Rimkus *et al*, 2016). Esant EVB nustatytam dyzelino įpurškimo paskubos kampui, CO_2 sumažėja nuo 4,8 % iki 4,1 % (-14,5 %), o paankstinus kampą iki 16° AV pVGT, dėl geresnio degimo ir aukštesnės temperatūros cilindruose, CO_2 koncentracija krenta mažiau – iki 4,3 % (~10,4 %).

Dūmingumas, pakeičiant SND dujomis iki 50 % dyzelino, išauga dėl sumažėjusios degimo temperatūros, tačiau, toliau didinant SND koncentraciją, dūmingumas pradeda mažėti (6 pav.), dėl vis mažėjančio anglies kiekio degiajame mišinyje. Taip pat, panaudojant SND, susidaro daug vandens garų, kurie įtakoja dūmingumą (optinį tankį). Esant EVB nustatytam dyzelino įpurškimo paskubos kampui Θ, dūmingumas išauga nuo 7 % iki 8,5 % (~21 %). Paankstinus Θ iki 16° pVGT, dėl geresnio degimo ir aukštesnės degimo temperatūros bei dėl to sumažėjusios nepilno degimo produktų koncentracijos, dūmingumas sumažėja nuo 8,5 % iki 5,4 % (-36 %).



6 pav. Anglies dvideginio (CO_2) koncentracijos išmetamosiose dujose priklausomybė nuo degalų sudėties ir dyzelino įpurškimo paskubos kampo (Θ)
Šaltinis: sudaryta autorių



7 pav. Azoto oksidų (NO_2) koncentracijos išmetamosiose dujose priklausomybė nuo degalų sudėties ir dyzelino įpurškimo paskubos kampo (Θ)
Šaltinis: sudaryta autorių

Proporcingai didinant SND koncentraciją iki 75 %, varikliui veikiant EVB nustatytu dyzelino įpurškimo paskubos kampu Θ, azoto oksidų (NO_x) koncentracija deginiuose mažėja nuo 363 ppm iki 80 ppm (7 pav.), nes EVB vėlinamas degalų įpurškimas (2 pav.) ir lėtesnis SND degimas sumažina degimo temperatūrą (Heywood, 1988). Dyzeliną pakeitus 25 % D ir 75 % SND degalų mišiniu bei paankstinus Θ iki 16° AV pVGT, dėl aukštesnės temperatūros kinetinėje degimo fazėje, NO_x koncentracija išauga iki 670 ppm (~1,8 karto).

Išvados

Atlikus slėginio uždegimo variklio, veikiančio vidutiniais veleno sūkiais ir apkrova ir naudojant plataus diapazono dyzelino ir SND degalų mišinius, eksperimentinių tyrimų analizę nustatyta, kad:

1. Didinant SND koncentraciją mažėja įpurškiamo dyzelino kiekis, dėl ko EVB valdomas degalų įpurškimo paankstinimo kampas Θ mažėja, degalai uždegami vėliau ir tai mažina degimo temperatūrą (degimas vyksta didesniame tūryje).
2. Siekiant sumažinti degalų sąnaudas ir nepabloginti variklio energetinį efektyvumą η_e, slėginio uždegimo varikliui veikiant dyzelino ir dujinių degalų mišiniais, būtina ankstinti dyzelino įpurškimo paankstinimo kampą Θ, keičiant variklio EVB valdymo algoritmą ir užtikrinant degalų mišinio degimą optimaliu greičiu minimaliame tūryje.
3. SND dujų priedas į dyzeliną sumažina šiltnamio efektą sukeliančių CO_2 dujų koncentraciją deginiuose, nes degalų mišinyje mažėja C/H elementų santykis, bei, sumažėjus degimo greičiui ir temperatūrai, degimas nusitęsia į baigiamojo degimo fazę, didesnė nepilno degimo produktų (CO ir CH) dalis išmetama į aplinką, išauga deginių dūmingumas, tačiau mažėja NO_x emisija.
4. Didinant SND masės koncentraciją degalų mišinyje iki 50 % ir ankstinant dyzelino įpurškimo paankstinimo kampą Θ, variklio energetinis efektyvumas η_e mažai kinta, tačiau įvertinus mažesnę SND degalų kainą, naudojant didesnę SND koncentraciją pasiekiamas didesnis ekonominis efektyvumas.

Literatūra

1. Bosch R. GmbH. 2011. Automotive Handbook, 8 th Edition. Germany. 885 p.
2. Reif, K. 2015. *Gasoline engine management: systems and components*. Berlin: Springer Vieweg.
3. Reif, K. 2014. *Diesel engine management: systems and components*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
4. Chaichan M. T. 2011. Exhaust analysis and performance of a single cylinder diesel engine run on dual fuels mode. *Journal of Engineering.* Vol 17, no 4, pages 873-885.
5. Europa 2020. Tvarus augimas siekiant tausiau išteklius naudojančios, ekologiškesnės ir konkurencingesnės ekonomikos. Prieiga per internetą: <http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/priorities/sustainable-growth/index_lt.htm>.
6. Europos parlamento ir tarybos direktyva dėl alternatyviųjų degalų infrastruktūros diegimo 2013. Briuselis. 39 p.
7. Heywood, J. B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw Hill Series. ISBN 0-07-028637-X: 930 p.
8. Jučas P. 2006. Motorinių transporto priemonių degalai ir tepalai. Kaunas: Lietuvos žemės ūkio universiteto Leidybos centras. 130 p.
9. Katinas V., Savickas J. 2012. Dujinių degalų vartojimo transporte plėtros analizė [The analysis of development of gaseous fuel use for transport]. *Research papers of Aleksandras Stulginskis University.*Vol 44, no 1-3, 144-153.

10. Lata D. 2012. *Investigation of dual fuel diesel engine with hydrogen and LPG fuel.* Birla Institute of Technology, Mesra, Ranchi. 273 p.
11. Laurinaitis K., Slavinskas S. 2012. Homogeninių degalų ir oro mišinių savaiminio užsiliepsnojimo HCCI variklyje eksperimentinis tyrimas. [Exsperimental study of homogeneous air fuel mixture autoignition in HCCI engine]. *Research papers of Aleksandras Stulginskis University.*Vol 44, no 1-3, 254-264.
12. Rakopoulos, D. C.; Hountalas, D. T.; Kakaras, E. C.; Giakoumis, E. G.; Papagiannakis, R. G. 2010. Investigation of the performance and emissions of bus engine operating on butanol/diesel fuel blends. *Fuel* 89: 2781–2790.
13. Rimkus, A., Berioza, M., Melaika, M., Juknelevičius, R., Bogdanovičius, Z. 2016. Improvement of the compression-ignition engine indicators using dual fuel (diesel and liquefied petroleum gas. 9th international scientific conference Transbaltica 2015. Procedia engineering Vol 134, pages 30-39.
14. Saleh H.E. 2008. Effect of variationin LPG composition on emissions and performancein a dual fuel diesel engine. *Fuel* 87: 3031– 3039.
15. Sendzikiene, E., Rimkus, A., Melaika M., Makareviciene, V., Pukalskas, S. 2015. *Impact of biomethane gas on energy and emission characteristics of a spark ignition engine fuelled with a stoichiometric mixture at various ignition advance angles*. Fuel. Volume 162, pages 194–201.
16. Stan, C. 2002. Direct Injection Systems: The Next Decade in Engine Technology, SAE International, Warrendale, PA. ISBN 0-7680-1070-5.SAE Order No.R-347. 121 p.
17. Vijayabalan P., Nagarajan G. 2009. Performance, Emission and Combustion of LPG Diesel dual fuel engine using glow plug. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering.* Vol. 3, number 2, pages 105-110.

LIQUIFIED PETROL GAS INFLUENCE FOR COMPRESSION IGNITION ENGINE

Summary

Paper presents the influence of liquified petrol gas (LPG) for efficient and ecological parameters of compression ignition (CI) engine working with diesel fuel. Experimental tests revealed that additionaly supplied LPG influences the combustible mixture combustion process and reduces engine thermal efficiency. The CO, CH concentration and smoke increase in exhaust gases due to changed of combustible mixture composition, though the nitrous oxide (NO_x) and carbon monoxide (CO_2) emission reduced. Engine thermal efficiency is close to diesel values, when 50% of LPG addition is used together with diesel and the injection timing is optimized (advanced). The combustion of fuel mixture is being improved, the concentration of full combustion products reduces, though the NO_x concentration increases. If the LPG lower price is evaluated, the higher economic efficiency can be achieved with bigger concentrations of LPG.

Keywords: liquefied petrol gas, compression ignition engine, efficient and ecological indicators.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Alfredas Rimkus.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių transporto katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 61571161, alfredas.rimkus@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Mindaugas Melaika.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių transporto katedros asistentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: mindaugas.melaika@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Alfredas Rimkus.
Science degree and name: associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport 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

Author name, surname: Mindaugas Melaika.
Science degree and name: Master degree.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department, assistent.
Author's research interests: Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.
Telephone and e-mail address: mindaugas.melaika@vgtu.lt

ŽEMĖS ŪKIO MAŠINOSE NAUDOJAMŲ ALYVŲ BŪVIO CIKLO VERTINIMAS

Gintaras Valeika[1], Jonas Matijošius[2]
[1]Vilniaus Technologijų ir Dizaino kolegija, [2] Vilniaus Gdimino technikos universitetas

Anotacija

Alyvos būvio ciklas nagrinėja įvairius naftos gamybos procesus ir poveikį aplinkai, taip pat alyvos kelią nuo gamybos pradžios iki jos galutinio utilizavimo stadijos. Saugiai perdirbant ir pakartotinai panaudojant alyvas mažinama naftos gavyba, gerinama aplinkosauga ir ekologija. Iš perdirbtos alyvos galima pagaminti aukštos kokybės bazinę alyvą. Ji taip pat gali būti iš naujo rafinuojama ir naudojama kaip variklinė alyva arba perdirbta į ne tokį kenksmingą aplinkai – krosnių kurą. Perdirbant panaudotą alyvą tausojama energija. Pakartotinis alyvos rafinavimas pareikalauja tik trečdalio energijos, kuri būtų sunaudojama gaminant alyvą iš žaliavinės naftos. Eksploatuojant transporto priemones yra labai svarbus rodiklis kaip eksploatacijos savikaina, todėl svarbu įvertinti alyvos, kaip produkto, kitų reikalingų komponentų atlikti alyvos keitimą, techninės priežiūros darbų ir naudotos alyvos utilizavimo kaštus.

Reikšminiai žodžiai: variklinė alyva, ekologija, vertinimas, regeneracija, utilizavimas, būvis, ciklas.

Įvadas

Pagal Europos Parlamento ir Tarybos reglamentą (EB) Nr. 1907/2006 (Europos Sąjunga 2006) siekiama efektyviau tvarkyti atliekas. Remiantis šiuo reglamentu, alyvas kaip ir kitas atliekas privalu tvarkyti aprašytomis procedūromis ir tvarka. Įteisinamas pagrindinis šūkis „Teršėjas moka“ yra įgyvendinamas ir Lietuvoje, jai tapus visateise ES nare. Reglamentas apima netik galutinio produkto – atliekos stebėsena, bet ją seka nuo gamybos pradžios iki jos galutinio utilizavimo. Tam tikslui naudojamas ekologinis atliekos vertinimas, kuris dažniausiai atliekamas SSGG analizės pavidalu. Tai leidžia identifikuoti ne tik produkto žalą, bet kompleksiškai jį įvertinti per stiprybių, silpnybių, galimybių ir grėsmių prizmes (Wallington *et al.* 2015).

Kitas svarbus būvio ciklo vertinimo etapas yra jos ekonominis įvertinimas, kuris labai dažnai yra naudojamas kaip produkto patrauklumo vartotojui įrankis. Jis nusako, kiek reikės lėšų per visą produkto gyvavimo ciklą – ne tik kiek jis kainuos pirminėje gamybos ir eksploatacijos stadijoje, bet ir kiek kainuos tolimesnis šio produkto utilizavimas.

Straipsnio temos aktualumui atskleisti iškeliamas pagrindinis tikslas – apžvelgti ir atlikti variklinės alyvos būvio ciklo vertinimą nuo alyvos gamybos pradžios iki jos galutinio utilizavimo stadijos. Tikslui įgyvendinti formuluojami pagrindiniai uždaviniai:

1. Atlikti ekologinį variklinės alyvos vertinimą, SSGG analizės pavidalu.
2. Atlikti ekonominį variklinės alyvos panaudojimo vertinimą.
3. Įvertinti dabartines galimybės Lietuvoje saugiai priduoti naudotas alyvas ir kitus susidariusius komponentus, kaip atlieką.

Šio straipsnio objektas yra variklinė alyva, skirta šiuolaikinėms žemės ūkio mašinoms.

Ekologinis vertinimas

Ekologinis vertinimas bus atliekamas įvertinus SSGG analizę, bei būvio ciklo vertinimą.

1 lentelė

SSGG alyvos analizė	
Stiprybės	**Silpnybės**
1. Patikimai atlieka savo darbo funkcijas (tepa, plauna, aušina detales). 2. Gerai išvystyta jų gamyba. 3. Alyvos priedų naudojimas atitinka laboratorijoje testuotomis sąlygomis ir remiantis gautais bandymų rezultatais sudaromos alyvų priedų kompozicijos. 4. Išvystytas alyvų marketingas ir distribucija. 5. Išvystyta panaudotų alyvų surinkimo sistema (veikia specializuotos įmonės užsiimančios pavojingų atliekų tvarkymu). 6. Papildoma panaudotos alyvos regeneracija iki bazinės alyvos.	1. Palyginus brangūs alyvos gamybos kaštai (gamybos linijos derinimas, bazinė alyva, alyvos priedų komponentai). 2. Alyvos priedus gamina tik keli gamintojai. 3. Būtinos specialios žinios alyvoms parinkti. 4. Palyginus trumpas eksploatacijos laikotarpis. 5. Stipri alyvos gamintojų marketingo įtaka alyvos kainai (prekinis ženklas). 6. Panaudotos alyvos naudojimas ne pagal paskirtį (pažeidžiant surinkimo sistemos principus, pvz.: naudojant kaip kurą šildymui)
SSGG alyvos analizė	
Galimybės	**Grėsmės**
1. Atliekant alyvų tyrimus pasirinktiems regionams (klimatas, reljefas, abrazyvinė aplinka), pagal alyvos būklės tyrimus, galima prailginti jos eksploatacijos terminą. 2.Prailginus alyvos eksploatacijos terminą, sumažėja techninio aptarnavimo kaštai.	1. Gaminant alyvas iš naftos, išsiskiria anglies dioksidas, kuris sukelia šiltnamio efektą. 2. Vandens ir žemės tarša. Naftos ir jos produktų išsiliejimai sukelia didelę taršą, dėl to žūsta tūkstančiai gyvūnų, niokojama gamta.

3. Griežtai prisilaikant naudotos alyvos surinkimo reikalavimų, galima minimizuoti panaudotos alyvos, kaip atliekos kiekius. 4. Atliekant alyvų tyrimus galima stebėti variklio eksploatacinę būklę, prognozuoti gedimus, einamo ir kapitalinio remonto periodiškumą. 5. Perdirbant naudotas alyvas ir jas regeneruojant, galima išvalyti ir pagaminti bazinių alyvų, taip taupant naftos išteklius.	3. Emisijos metu išsiskiria sieros dioksidas, anglies monoksidas. Šie junginiai sukelia rūgštinį lietų. Moderni įranga sumažina šių kenksmingų medžiagų išmetimą, bet jos vis dar yra labai pavojingos žmogui. 5. Alyva ir kiti naftos produktai naudojami plastiko gamyboje, kurio metu išsiskiria anglies monoksidas ir kietosios dalelės.

Šaltinis: sudaryta autoriaus

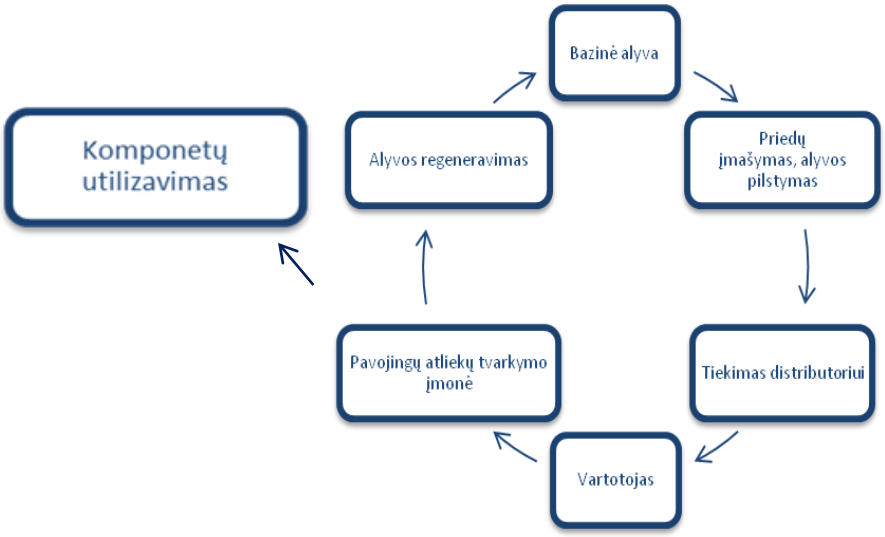
Atliekant SSGG analizę pastebėta:

1. Šiuolaikinės variklinės alyvos yra patikimos eksploatuojant transporto priemones, pasižymi geromis tepumo, plovimo savybėmis (naudojant plaunančius priedus), bei atitinkamai gerai aušina trinties paviršius.
2. Nuolatinė alyvų gamintojų konkurencija skatina rinkai tiekti išskirtinės kokybės produktus, todėl gamintojai yra išvystę ir pastoviai tobulina distribucijos tinklą.
3. Anksčiau buvusi labai opi alyvų atliekų problema yra išspręsta įstatymiškai įpareigojus tokio tipo atliekas surinkti ir perduoti licenzijuotai įmonei tolimesniam tvarkymui. Šias atliekas tvarkanti įmonė taipogi prisideda prie ES baltojoje knygoje išsakytų teiginių dėl energijos resursų tausojimo, nes šios atliekos toliau yra valomos iki bazinės alyvos ir tiekiamos pakartotiniam naudojimui.
4. Reikia konstatuoti, kad alyvų priedų gamintojų nėra labai daug, todėl tie priedai išlieka brangūs ir tai turi įtakos galutinio produkto variklinės alyvos kainai.
5. Siekiant, kad variklinė alyva, kaip galima geriau atliktų visas savo funkcijas, būtina naudoti labai aukštos kokybės efektyvius komponentus, kurie dėl išsieikvojimo gali neužtikrinti alyvos ilgaamžiškumo darbo metu, todėl visą transporto priemonės eksploatavimo laikotarpį būtina sekti pagrindinius alyvos rodiklius, norint efektyviau eksploatuoti transporto priemones, didinant ilgaamžiškumą.
6. Pasitaiko negatyvių alyvos, kaip atliekos naudojimo pavyzdžių, kaip pavyzdžiui jos naudojimas vietoje skysto kuro, patalpų šildymui mažose įmonėse. Griežti ES aplinkosaugos reikalavimai nurodo tokiose įmonėse naudoti atitinkamas oro valymo technologijas, kurios yra brangios ir dažniai smulkiai įmonei yra neįperkamos. Tad minėti veiksmai, valymo technologijų nebuvimas didina atmosferos taršą įvairiomis, ne tik kancerogeninėmis medžiagomis, bet ir lokaliaisiais organiniais junginiais kurie formuoja antrinius ir tretinius aerozolius, dalyvaujančius rūgščiųjų lietų formavimosi procese.

Be to dalis alyvos atliekų yra naudojama ir plastikų gamyboje, kas leidžia tausoti šios rūšies išteklius.

7. Alyvų gamintojai dažniausiai pateikia rekomendacijas vartotojui pagal transporto priemonės eksploatavimo regioną. Dažniausiai regionai būna masyvūs, su besikeičiančiu reljefu ir klimatu. Tai lemia skirtingas transporto priemonių eksploatavimo sąlygas. Todėl gamintojo rekomendacijos ne visada tiksliai atitinka alyvos naudojimo realijas.
8. Savalaikis alyvos keitimas leidžia užtikrinti efektyvesnį transporto priemonės eksploatavimą bei tausoti išteklius. Alyvos parametrų nuolatinis monitoringas leidžia ne tik spręsti apie alyvos tinkamumą, bet ir yra kaip diagnostinis įrankis vartotojui pasakantis apie transporto priemonės mazgų nusidėvėjimą ir galimus gedimus.

Alyvos būvio ciklo vertinimas yra labai svarbus, remiantis juo galima užtikrinti alyvos, kaip produkto kelią nuo gamintojo iki galutinės jos utilizacijos. Šis procesas nusako alyvos galutinį perdirbimą į bazinę alyvą. Tiriamu atveju alyva pagaminta Danijoje ir per distribucinius kelius buvo parduota galutiniam vartotojui. Alyva buvo naudojama pagal paskirtį iki numatyto jos eksploatacijos resurso pabaigos. Panaudota alyva buvo priduota legaliai (turinčiai visus leidimus minėtai veiklai vykdyti) dirbančiai pavojingų atliekų tvarkymo bendrovei *UAB Žalvaris*. Surinkusi pakankamą kiekį ši bendrovė jas parduoda įmonėms, specializuojančiomis bazinių alyvų gamyboje. Alyva išvaloma iki bazinės ir įmaišius atitinkamų priedų kiekius, paruošiama šviežia alyva tolimesniam naudojimui. Nepanaudoti alyvos metu gauti komponentai yra utilizuojami.



1 pav. Alyvos būvio ciklas
Šaltinis: sudaryta autorius

Ekonominis vertinimas

Atliekant variklinės alyvos ekonominį vertinimą labai svarbu tampa identifikuoti visas jos eksploatacines dedamąsias. Eksploatuojant transporto priemones labai svarbus rodiklis yra savikaina, kuri lemia transporto priemonės eksploatacijos pagrindimą, nes kai ekonominiu požiūriu techninis transporto priemonės aptarnavimas yra labai brangus, jo yra atsisakoma. Kalbant apie variklinės alyvos ekonominį vertinimą svarbu išskirti šias tris dedamąsias:

1. Produkto (alyvos) ir kitų reikalingų komponentų atlikti alyvos keitimą (filtrų) kaina.
2. Eksploatacijos kaina (serviso transportas, techninės priežiūros darbai).
3. Utilizavimo kaina (panaudota alyva ir filtrai).

2 lentelė

Traktorių techninės charakteristikos

Traktorius	Traktorius Nr. 1	Traktorius Nr. 2
Pavadinimas, modelis	*JohnDeere*3640	*Valtra* A92
Pagaminimo metai	1986	2011
Šalis gamintoja	Vokietija	Suomija
Degalų rūšis	dyzelinas	dyzelinas
Cilindrų skaičius	6	4
Variklio alyvos talpos tūris, l	11,50	9,0
Galia, kW (esant 2400 min^{-1})	83	75
Gamintojo rekomenduojama alyva	*MobilDelvac MX*15W–40	*MobilDelvac MX EXTRA* 10W–40

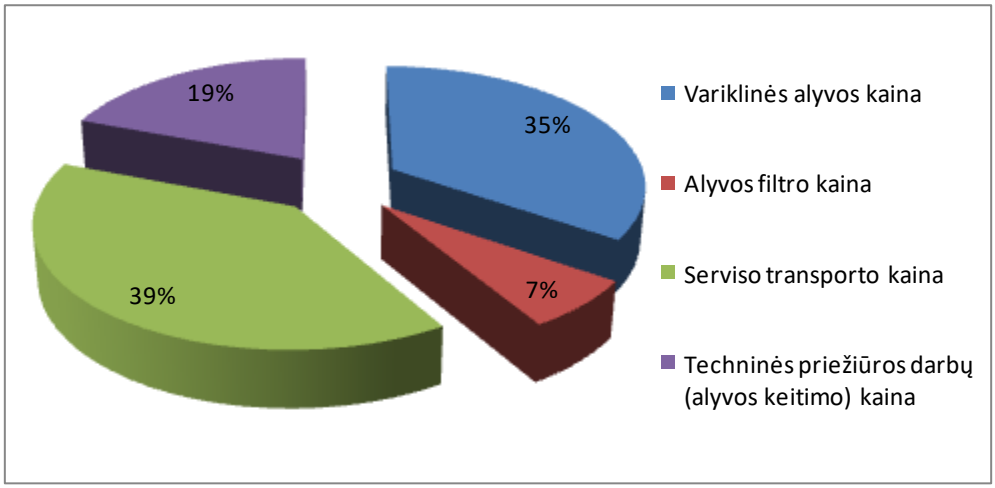
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Atlikti alyvos ekonominį vertinimą buvo pasirinkti du žemės ūkyje naudojami traktoriai. Šio atliekamo vertinimo metu buvo lyginami techninės priežiūros alyvos keitimo kaštai tiriamiesiems traktoriams.

Kadangi Lietuvoje vyrauja tiek naujos ir senos konstrukcijos traktoriai, todėl siekiant kompleksiškai įvertinti Lietuvos traktorių parko struktūrą, tyrimams būtina parinkti tiek seno tipo, tiek naujo tipo traktorius. Naujas žemės ūkyje naudojamas traktorius, kuris pagal ekologinius emisijos reikalavimus atitinka nežemesni, kaip *EURO 3* emisijos reikalavimus, senas – kurio ekologiniai emisijos reikalavimai žemesni, nei *EURO 3.* Tiriamasis traktorius Nr. 1 (*John Deere* 3640) atitinka *EURO 1,* tiriamasis traktorius Nr. 2 (*Valtra* A92)atitinka *EURO 3* ekologinius emisijos reikalavimus.

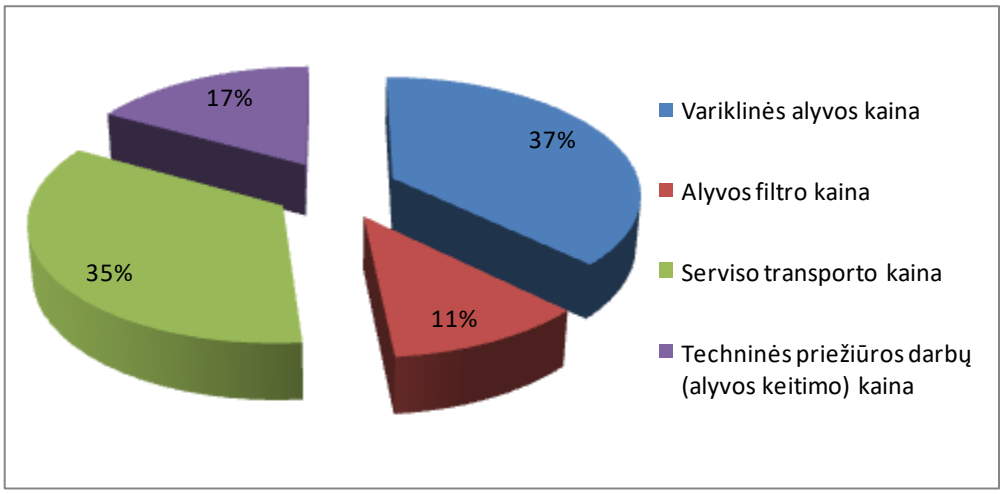
Tiriamųjų traktorių techninės charakteristikos pateikiamos 2 lentelėje.

Tiriamųjų traktorių techninės priežiūros alyvos keitimo kaštų diagramos pateiktos 4.2. ir 4.3. paveiksluose.



2 pav. Techninės priežiūros alyvos keitimo kaštų pasiskirstymas, proc. (*John Deere 3640*)
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Šios dedamosios yra labai svarbios galutiniam vartotojui, kuris turi pasirinkti tinkamiausią transporto priemonę numatytoms veikloms atlikti, kad būtų užtikrintas didžiausias darbo našumas. Lietuvos sąlygomis žemės ūkio transporto parkas yra nuolat atnaujinamas, nors tai reikalauja didelių išlaidų, kurios turi būti pagrįstos ekonominiu požiūriu. Tad turint naujos ir senos „kartos" traktorius mes galime nors dalinai pagrįsti jų eksploatacijos ekonominį efektą per vieno iš pagrindinių transporto priemonių eksploatacinių skysčių– variklinės alyvos prizmę.



3 pav. Techninės priežiūros alyvos keitimo kaštų pasiskirstymas, proc. (*Valtra A92*)
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Variklinės alyvos, variklio tepalo filtrai tiriamiesiems traktoriams pirkti iš *UAB DOJUS AGRO,* laikantis traktorių gamintojų rekomendacijų variklinėms alyvoms. Traktorių techninę priežiūra atliko minėtos įmonės technikas atvykęs į nurodyto ūkio vietą. Reikalingas variklinės alyvos kiekis tiriamajam traktoriui nr. 1 (J*ohn Deere 3640)* – 11,5 ltr, variklinės alyvos *Mobil Delvac 15W-40* vieno litro kaina: 3,69 eur/ltr, viso variklinės alyvos kaina, jos keitimo metu yra 42,45 eur. Variklio alyvos filtras šiam traktoriui – 8,17 eur. Tiriamajam traktoriui nr. 2 (*Valtra A92),* reikalingas variklinės alyvos kiekis– 9,0 ltr, variklinės alyvos *Mobil Delvac MX EXTRA 10W-40* vieno litro kaina: 5,80 eur/ltr, viso variklinės alyvos kaina, jos keitimo metu yra 52,2 eur. Variklio alyvos filtras minėtam traktoriui – 15,73 eur. Šios išlaidos yra priskiriamos prie produkto ir kitų reikalingų komponentų atlikti alyvos keitimą kainos.

Techninės priežiūros serviso darbas (alyvos keitimas) tiriamiesiems traktoriams kainavo 47,19eur, kiekvienam traktoriui atskirai – 23,60 eur. Serviso transporto kelionės išlaidos iki ūkio – 96,92eur. Nagrinėjamu atveju serviso transporto kelionės išlaidos iki ūkio dalinasi pusiau, nes vienos kelionės metu, buvo atlikta techninė priežiūra abiems tiriamiesiems traktoriams. Viso traktorių techninė priežiūra variklinės alyvos keitimui kainavo 262,61 eur.

Naudota alyva ir naudoti alyvos filtrai priduoti bendrovei, kuri tvarko pavojingas atliekas. Alyvą ir filtrus, *UAB Žalvaris* tiesiai iš ūkio pasiėmė nemokamai (dėl šios priežasties ši dedamoji nėra vaizduojamos kaštų pasiskirstymo diagramose, 2. ir 3. paveiksluose).

Išvados

1. Konkurencija tarp alyvų gamintojų skatina plėsti gamyba ir į rinka tiekti kokybiškas alyvas.
2. Stebint pagrindinius alyvos parametrus darbo metu, galima spręsti apie variklio dėvėjimąsi, jo pobūdį, alyvos parinkimo tinkamumą, galimus gedimus ir planuoti techninės priežiūros darbų atlikimo datas, einamojo ir kapitalinio remonto periodiškumą. Taip pat tausoti išteklius, nustatant tinkamą alyvos keitimo intervalą.
3. Naudota alyva yra pavojinga atlieka. Todėl jos nepriduodant utilizavimui ar tolimesniam perdirbimui, bet naudojant ne pagal paskirtį individualioms reikmėms, dažniausiai yra teršiama aplinka ir atmosfera.
4. Šiuo metu Lietuvoje veikianti pavojingų atliekų tvarkymo sistema leidžia priduoti naudotas alyvas ir filtrus įmonėms, kurios tvarko tokio tipo atliekas, nepatiriant papildomų išlaidų. Ši paslauga yra vieša ir prieinama kiekvienam vartotojui, norinčiam priduoti pavojingas atliekas.
5. Didžiausia kaštų dalį atliekant techninę priežiūrą variklinės alyvos keitimui sudaro serviso kelionės išlaidos iki ūkio ir variklinės alyvos kaina. Tai sudaro daugiau kaip tris ketvirtadalius visų išlaidų.

Literatūra

1. Bartz, W. J. 1998. Lubricants and the environment, *Tribology International* 31: 35–47.
2. Brandt, A.R., . Boak , J., Burnham, A.K., 2010. Carbon dioxide emissions from oil shale derived liquid fuels, *American Chemical Society: Washington* D.C. DOI: 10.1021.
3. Brandt, A.R., Unnasch, S., 2010. Energy intensity and greenhouse gas emissions from thermal enhanced oil recovery. *Energy & Fuels*. 24(8): 4581–4589.
4. Englander, J.G., 2015. Development of ecofriendly/biodegradable lubricants, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 764– 774.
5. Europos sąjunga. *Europos Sąjungos oficialusis leidinys L 396, 2006 m. gruodžio 30 d.* [interaktyvus]. [žiūrėta 2016 m. kovo 15 d.]. Prieiga per internetą: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/ALL
6. Gapinski, R .E.; Joseph, I. E.; Layzell, B. D. 1994. Avegetable oil based tractor lubricant, *SAE Tech Paper* 941785: 1–9.
7. Nagendramma, P.; Kaul, S., 2012. Development of ecofriendly/biodegradable lubricants, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 764– 774.
8. Wallington, T.J., *et al.* 2015. When comparing alternative fuel-vehicle systems, life cycle assessment studies should consider trends in oil production. *Journal of Industrial Ecology.*

ASSESSMENT OF LIFE CYCLE OF OILS USED IN AGRICULTURAL MACHINERY

Summary

Oil life cycle of studying a number of oil production processes and the impact on the environment, as well as the oil path from the start of production until its final disposal stage. Safely recycling and re-using waste oils reduced oil production, improve the environment and ecology. Oil life cycle assessment is very important, according to him to ensure oil as a product the way from the producer to the final disposal. This process determines the final processing of the oil in the base oil.

The recycled oil can produce high quality base oil. It may also be re-refined and used as motor oil or processed into non-hazardous to the environment - heating oil. The recycling of used oil conserves energy. Re-oil refining require only one-third of the energy that would be consumed in the production of oil from crude oil.

Operation of vehicles is a very important indicator of how the operating cost, it is important to assess the oil as a product, other components necessary to perform oil changes, hire of technical auditing operations and waste oil disposal costs. This determines how much spending will be needed over the entire product life cycle - not just how much it will cost in the primary stage of production and operation, but also of the cost of further utilization of this product.

Key words: motor oil, ecology, evaluation, regeneration, utilization, state, cycle.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Gintaras Valeika.
Mokslo laipsnis ir vardas: lektorius
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Technikos fakulteto, Mechanikos katedros lektorius
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Alyvos, eksploatacija, kiti eksploataciniai skyščiai.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 671 82473, valeika.g@gmail.com
Autoriaus vardas, pavardė: Jonas Matijošius.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.
Darbo vieta ir pozicija VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 684 04169, jonas.matijosius@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Gintaras Valeika.
Science degree and name: lecturer.
Workplace and position: Vilnius college of technologies and design, Technical faculty, Mechanical department lecturer**.**
Author's research interests: Oils, exploitation, exploitation materials.
Telephone and e-mail address: 8 671 82473, valeika.g@gmail.com

Author name, surname: Jonas Matijošius.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department associated professor.
Author's research interests: Transport ecology, alternative energetics.
Telephone and e-mail address: 8 684 04169, jonas.matijosius@vgtu.lt

VIDAUS DEGIMO VARIKLIŲ ALYVŲ PREDO „TUFOIL“ ĮTAKOS DEGALŲ SĄNAUDOMS TYRIMAS

Alfredas Rimkus[1,2], Saulius Stravinskas[1], Donatas Kriaučiūnas[1], Tadas Vipartas[1], Petras Kaikaris[1], Jonas Matijošius[1,2]

[1] Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, [2] Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

Straipsnyje pristatytas kibirkštinio uždegimo variklio „Toyota Corolla“ 1.6 l (3ZZ-FE) energetinių (lyginamųjų efektyviųjų degalų sąnaudų) rodiklių lyginamasis tyrimas naudojant šiam varikliui skirtą alyvą 5W-30 ir į šią alyvą įpylus variklinių alyvų priedą „Tufoil“ bei nuvažiavus 1000 km ridą, reikalingą priede esančių medžiagų efektui pasireikšti. Išnagrinėjus alyvų priedo sudėtį įvertinta galima priede esančių komponentų įtaka trinčiai, dilimo produktų neutralizavimui bei dervų susidarymui. Eksperimentiniais tyrimai atlikti sukuriant variklio veikimo sąlygas artimas realioms važiavimo sąlygoms. Nustatyta, kad variklinių alyvų priedas „Tufoil“ didžiausią teigiamą įtaką degalų sąnaudų mažinimui turi didėjant variklio apkrovimui. Alyvų priedo įtaka trinties nuostolių sumažėjimui variklyje nustatyta įvertinus vidutinį lyginamųjų efektyviųjų degalų sąnaudų pokytį variklio šilumos balanse.

Reikšminiai žodžiai: kibirkštinio uždegimo variklis, alyvų priedas, trintis, lyginamosios efektyvios degalų sąnaudos.

Įvadas

Energetinių resursų taupymas šiuolaikinėje automobilių industrijoje vystosi dviem pagrindinėmis kryptimis: pakaitinių tradiciniams (naftinės kilmės degalams) degalų kompozicijų paieška, kuri skatintų degalų iš atsinaujinančių energijos resursų naudojimą ir kita kryptis, leidžianti gerinti tokius vidaus degimo variklio eksploatacinius rodiklius, kaip variklio vidinių mechaninių nuostolių mažinimas. Racionalus degalų ir tepalų naudojimas yra vienas pagrindinių aspektų leidžiančių pasiekti du svarbius Europos Sąjungos Baltojoje knygoje numatytus tikslus: energetinių sąnaudų mažinimas, kuris leistų išlaikyti tokį pat ar net padidinti gyventojų judrumo lygį. (ES Baltoji Knyga 2011).

Kitas aspektas yra trinties, kuri sudaro iki 60 % mechaninių nuostolių (Heywood, 1988), mažinimas eksploatuojamame variklyje, tad tepalų priedai mažinantys šį reiškinį yra vis daugiau naudojami šiuolaikiniuose varikliuose. Dažniausiai yra dedami antifrikciniai variklinių alyvų priedai, kurie apsaugo variklių detalių trinties paviršius esant didelėms apkrovoms. Tai dažniausiai būna metalų ditiofosfatai, sieros ir fosfatų organiniai junginiai. Dar kartais naudojami ir molibdeno organiniai junginiai. Taip pat labai dažnai naudojami ir disperguojantys ir plovimo priedai variklinėse alyvose. Pirmieji labai aktualūs varikliuose, nes neleidžia sunkesnėms tepalo frakcijoms nusėsti ir joms koaguliuotis į stambesnius darinius. Šiuos priedus dažniausiai sudaro junginiai, turintys polinių grupių – poliesteriai, alkilsucinimidai. Kiti gi priedai, pagrinde naudojami dilimo produktams neutralizuoti detalių intensyvios trinties zonoje. Jie taip pat lėtina dervų susidarymą ir neleidžia joms prilipti prie detalių sienelių. Tai dažniausiai yra organiniai metalų junginiai: kalcio ar magnio fenatai ar sulfonatai (Shahnazar *et all.* 2016).

Suprantama, yra labai sudėtinga parinkti tokią alyvų priedų kompoziciją, kad ji vienodai gerai atliktų savo paskirti, priedai nepanaikinti vienas kito gerinančiųjų savybių ir būtų ilgaamžiai. Kiekvienas variklinių alyvų gamintojas stengiasi šią problemą išspręsti, neišduodami priedų kompozicijos. Konkurencija pastoviai skatina naujų alyvos priedų kūrimą, siekiant įgyvendinti ES Baltosios knygos gaires. Vienas iš tokių būtų alyvos priedas „Tufoil“. 1 lentelėje yra pateikta variklinių alyvų su priedu „Tufoil“ frakcinė sudėtis.

1 lentelė

Variklinės alyvos su priedu „Tufoil“ frakcinė sudėtis

KOMPONENTAI	CAS NUMERIS	% masės	ACGIH-TLV-TWA
Naftos angliavandenilių variklinė alyva	64741-88-4	35-40	5 mg/m3
Metakrilatas /Vinilo pirolidino kopolimeras	68171-46-0	25-30	Netaikoma
Polialfaolefinas	68649-12-07	10-20	Netaikoma
Dideciladipato dimero esteris	16958-92-2	5-10	Netaikoma
Molibdeno di(2-etil) fosfor-ditioatas	72030-25-2	5-10	Netaikoma
Politetrafluoretilenas	9002-84-0	1-5	Netaikoma

Šaltinis: www.tufoil.com

Kaip matome 1 lentelėje, alyvų priede „Tufoil“ vyrauja antifrikciniai, disperguojantys ir plovimo priedai, kurie pagerina variklio eksploatacines charakteristikas trinties požiūriu. Dėl šios priežasties teoriškai turėtų mažėti ir degalų sąnaudos.

Siekiant patikrinti šias prielaidas, formuojamas darbo tikslas – ištirti variklinių alyvų priedo „Tufoil“ įtaką kibirkštinio uždegimo variklio degalų sąnaudoms.

Siekiant įgyvendinti darbo tikslą keliami šie uždaviniai:

1. Nustatyti ir įvertinti variklio energetinių rodiklių pokyčius į alyvą 5W-30 įpylus vidaus degimo variklių alyvų priedą „Tufoil“.
2. Įvertinti degalų sąnaudų pokytį variklio šilumos balanse dėl variklinės alyvos priedo „Tufoil“.

Tyrimo metodika

Eksperimentiniai tyrimai atlikti Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijoje, Automobilių diagnostikos laboratorijoje. Bandymams atlikti naudotas automobilis „Toyota Corolla“ (2006 m.), turintis 1,6 l darbinio tūrio, 81 kW galios kibirkštinio uždegimo variklį (3ZZ-FE).

Siekiant nustatyti degalų sąnaudas naudotas kompiuterizuotas lengvųjų automobilių traukos stendas Cartec LPS 2510. Traukos stendas turi galimybę testuoti automobilius bet kuria pavara su bet kokia pasirinkta apkrova ar apskaičiuota važiavimo pasipriešinimo varža. Automobiliui apkrovą sukuria sūkurinių srovių elektromagnetinis stabdys, kuris ratams perduodamą mechaninę variklio energiją paverčia šilumine energija ir išspinduliuoja ją į aplinką. Traukos stendo pagrindiniai techniniai duomenys pateikti 2 lentelėje. Atliekant bandymus traukos stendo programinėje įrangoje nustatomi tokie automobilio parametrai kaip automobilio oro aptakumo koeficientas, frontalaus paviršiaus plotas, automobilio svoris.

Tyrimai atlikti su standartine varikline alyva 5W-30 be priedo „Tufoil“ ir su priedu. Su alyvų priedu bandymai atlikti pravažiavus 1000 km. Pagal priedo gamintojo rekomendaciją po šios ridos priede esančios medžiagos sukurią pastebimą efektą. Duomenys matuojami esant fiksuotai (300 N, 400 N, 500 N ir 600 N) varomųjų ratų apkrovai, variklio sūkių dažniui esant 2400 min^{-1}, 3000 min^{-1}, 3600 min^{-1} ir įjungus III bei IV pavaras. Bandymų metu buvo matuojama automobilio traukos galia ant varomųjų ratų P_{rat}, važiavimo greitis v, variklio sūkių dažnis n, nuostoliai automobilio transmisijoje P_{tr} ir degalų sąnaudos 100 km ridos B_{d_100}.

2 lentelė

Automobilių traukos stendo techniniai duomenys

Įrenginys / Parametras	Automobilio traukos stendas CARTEC LPS 2510
Apkrovos įrenginys	Elektromagnetinis sūkurinių srovių stabdys
Maksimali matuojama apkrova, t	3,5
Didžiausia stendo matavimo galia, kW	400
Didžiausia stendo stabdymo galia, kW	360
Matavimo paklaida	± 2

Šaltinis: Snap-on Equipment GmbH, CARTEC Chassis dynamometers LPS for cars. Germany

Siekiant tiksliau įvertinti degalų sąnaudas, apskaičiuotos lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos, g/kWh (Butkus, 2007):

$$b_e = \frac{1000 \cdot B_d}{P_e}, \quad (1)$$

čia B_d – valandinės degalų sąnaudos, P_e – variklio efektyvioji galia, nustatyta pagal formulę (Bosch, 2000):

$$P_e = P_{rat} + P_{tr}, \quad (2)$$

čia P_{rat} – galia ant varomųjų ratų, P_{tr} – galios nuostoliai transmisijoje.

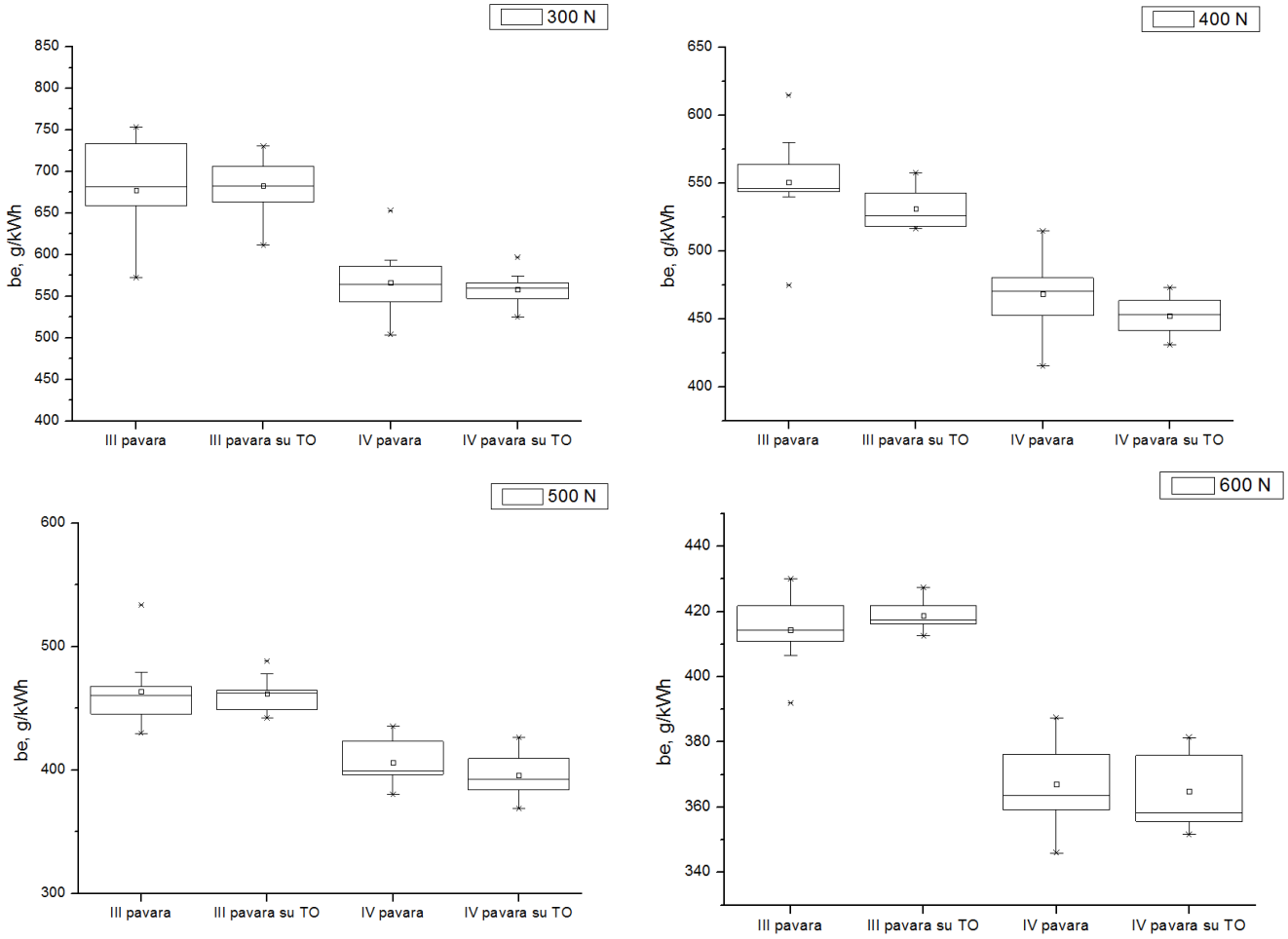
Iš kiekvienos 3 bandymų serijos duomenų apskaičiuotas vidurkis. Bandymai atlikti deaktyvavus aušinimo sistemos radiatoriaus ventiliatorių, kuris galėjo savaime įsijungti ir padidinti variklio apkrovą ir degalų sąnaudas.

Tyrimo rezultatai ir jų analizė

Variklinių alyvų priedas „Tufoil“ dėl jame esančių antifrikcinių, disperguojančių ir plovimo priedų gali sumažinti trinties įtaką variklio dalių eksploatacinėms charakteristikoms, bet šio sumažėjimo dydis priklauso nuo daugelio veiksnių tokių kaip variklio darbo parametrai (apkrova, greituminės charakteristikos), variklio eksploatacinės būklės (variklio pagrindinių komponentų išdilimas), pačios variklinės alyvos būklės (joje esančių priedų išsieikvojimas, alyvos klampuminės charakteristikos). Visi šie rodikliai įtakoja priedo veikimo efektyvumą.

Siekiant įvertinti variklinės alyvos priedo „Tufoil“ įtaką degalų sąnaudoms su programiniu paketu „Origine 8 Pro“ buvo atlikta lyginamųjų degalų sąnaudų statistinė analizė. Ji parodė, kad patikimų rezultatų išsibarstymas siekė nuo 6 iki 9,5 % esant 300 N apkrovai, nuo 4 iki 5,5 % esant 400 N apkrovai, nuo 5 iki 9 % esant 500 N apkrovai ir 3,5 iki 5 % esant 600 N apkrovai. Įvertinant, kad lyginamųjų degalų sąnaudų parametras yra išskaičiuotas iš tiesiogiai matuotų dydžių, tokių kaip degalų sąnaudų 100 km ridos, automobilio greičio bei variklio galios, kurie turi atitinkamas paklaidas ir įvertinus skaičiavimo paklaidą – gautus rezultatus galima vertinti kaip patikimus ir vidutinis patikimų rezultatų išsibarstymas siekė apie 5 – 6 %. Gauti atsitiktinės sklaidos taškai taipogi yra pateikti grafikuose, bet statistinėje analizėje jie buvo atmesti kaip nepatikimi ir nebuvo vertinti.

Esant 300 N apkrovai (1 pav.) vidutinis degalų sąnaudų sumažėjimas nepastebimas, bet akcentuojama, kad naudojant priedą „Tufoil“ pastebimas mažesnis apie du kartus patikimų rezultatų sklaidos išsibarstymas. Šiuo atveju tokį efektą galima paaiškinti tuo, kad antifrikciniai priedai neleidžia staigiai vystytis fretinkorozinei trinčiai, ko pasėkoje ir galima stebėti mažesnius patikimų rezultatų sklaidos svyravimus.



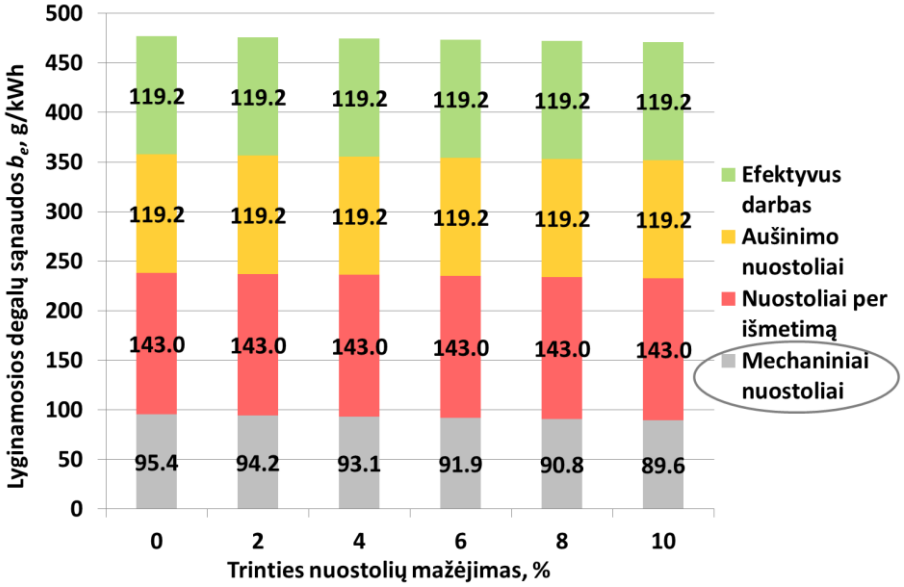
1 pav. Lyginamųjų degalų sąnaudų pokytis esant skirtingoms variklių apkrovoms su alyvos priedu „Tufoil“ ir be jo (degalų sąnaudos su alyvų priedu „Tufoil“ grafikuose pažymėtos TO)
Šaltinis: sudaryta autorių

Didžiausias vidutinių lyginamųjų degalų sąnaudų mažėjimas (≈ 3 %) panaudojus alyvų priedą „Tufoil“ yra pastebėtas esant 400 N apkrovai, automobiliui važiuojant tiek III, tiek IV pavaromis. Patikimų rezultatų sklaida buvo panaši. Galima teigti, kad, varikliui veikiant šiuo režimu, alyvų priedai buvo efektyviausi.

Panaši patikimų rezultatų sklaida buvo ir varomuosius ratus veikiant 500 N apkrova. Esant III pavarai lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos buvo šiek tiek (≈ 0,5 %) didesnės naudojant alyvos priedą. Keliama hipotezė, kad toks ryšys galėjo atsirasti dėl disperguojančių priedų poveikio, nes taipogi pastebimas nežymus patikimų rezultatų sklaidos sumažėjimas naudojant variklinių alyvų priedą „Tufoil“. Bet jau dirbant IV pavara ir naudojant „Tufoil“ priedą lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos mažėjo apie 1,5 %.

Automobilio ratus stabdant 600 N apkrova pastebima panaši tendencija kaip ir esant N apkrovai – III pavara lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos didėjo ≈ 1 %, bet mažėjo patikimų rezultatų sklaida. Dirbant IV pavara pastebimas lyginamųjų degalų sąnaudų mažėjimas ≈ 1,5 %, patikimų rezultatų sklaidos laukai išliko panašūs.

Apibendrinant galima teigti, kad variklinių alyvų priedas „Tufoil“ turi teigiamą įtaką variklio lyginamosioms efektyviosioms degalų sąnaudoms. Esant mažesniems variklio apkrovimams jos buvo panašios, naudojant priedą ir be jo. Didinant variklio apkrovas, dėl alyvos priedų poveikio buvo pastebimas lyginamųjų efektyviųjų degalų sąnaudų mažėjimas. Vidutinės lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos, naudojant „Tufoil“ priedą, mažėja nuo 476.8 g/kWh iki 473.3 g/kWh, tai yra ≈ 3,5 g/kWh (≈ 0,8 %).



2 pav. Degalų sąnaudų balanso pokytis mažinant trinties nuostolius
Šaltinis: sudaryta autorių

2 paveiksle pateiktas degalų sąnaudų balansas, kur variklio mechaniniams nuostoliams skiriama 20 % degalų (Heywood 1988) šiluminės energijos ir, esant maksimaliems mechaniniams nuostoliams, vidutinės lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos, kaip ir nustatyta tyrime, yra 476,8 g/kWh. Priimta, kad 60 % variklio mechaninių nuostolių sudaro trintis (Butkus 2007). Paveiksle pavaizduotas lyginamųjų vidutinių degalų sąnaudų mažėjimo intensyvumas santykinai mažinant trinties nuostolius. Grafike matome, kad vidutinės lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos variklio vidiniams mechaniniams nuostoliams nugalėti sumažėja nuo 95,4 g/kWh iki 91,9 g/kWh (≈ 3,5 g/kWh), kaip ir nustatyta naudojant alyvų priedą „Tufoil“, trinčiai variklyje sumažėjus ≈ 6 %.

Išvados

Atlikti eksperimentiniai variklio tyrimai, naudojant alyvą 5W-30, skirtą automobiliui „Toyota Corolla“ su kibirkštinio uždegimo varikliu 3ZZ-FE, ir į šią alyvą įpylus alyvų priedą „Tufoil“, bei variklių veikimo rodiklių pokyčio analizė, leidžia įvertinti šio priedo, įtaką variklio energetiniams rodikliams:

1. Antifrikciniai alyvos priedai „Tufoil“ neleidžia staigiai vystytis fretinkorozinei trinčiai, ką įrodo mažesni tyrimų patikimų rezultatų sklaidos svyravimai.
2. Didesnis lyginamųjų efektyviųjų degalų sąnaudų mažėjimas nustatytas didinant variklio apkrovą, nes alyvos tepimo savybes pagerina „Tufoil“ priede esantys molibdeno ir fosfatų junginiai.
3. Alyvų priedas „Tufoil“ trintį variklyje sumažino ≈ 6 % ir vidutinės lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos sumažėjo ≈ 3,5 g/kWh (≈ 0,8 %).

Literatūra

18. Butkus, A. 2007. *Vidaus degimo varikliai*. Vilnius: Technika, 186 p.
19. Heywood, J. B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals.* McGraw Hill Series, 930 p.
20. Tanga, Z., Lia, S. A review of recent developments of friction modifiers for liquid lubricants. *Current Opinion in Solid State and Materials Science.* Volume 18, Issue 3, June 2014, Pages 119–139.
21. Snap-on Equipment GmbH. *CARTEC Chassis dynamometers LPS for cars*. Germany, 8 p.
22. Bosch, R. 2000. *Автомобильный справочник*. Москва: Зарулём, 895 p.

23. ES Baltoji Knyga. 2011. Interaktyvus:< http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:LT:PDF> [Žiūrėta 2016 kovo 25 d.].
24. Shahnazar, S., Bagheri, S., Bee Abd Hamid, S. 2016 Enhancing lubricant properties by nanoparticle additives. *International Journal of Hydrogen Energy*. Volume 41, Issue 4, Pages 3153–3170.
25. SAFETY DATA SHEET (SDS) Industrial Tufoil. Interaktyvus:<http://tufoil.com/tufoilms.pdf> [Žiūrėta 2016 kovo 25 d.].

EFFECTIVENESS RESEARCH OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE OIL ADDITIVE „TUFOIL“

Summary

There was presented the comparative research of energetic brake specific fuel consumption meanings of spark engine „Toyota Corolla“ 1.6 l (3ZZ-FE) using the oil 5W-30 suitable for this type of engine and put to the oil engine oil additive „Tufoil, and drive 1000 km run, necessary for to show the effect of material which are belongs to oil additives. The composition analyzes of oil additive rates the influence of composition materials to the friction, the neutralization of attrition products and formation of a tar. The experimental researches performing with a driving condition closely to real engine running conditions. There was established, that the engine oil additive “Tufoil” the mostly influence to decreasing of brake specific fuel consumption had increasing the engine torque. The oil additive “Tufoil” influence to decreasing the friction loss had been established evaluating average variation of brake specific fuel consumption in the engine caloric balance.

Keywords: spark engine, oil additive, friction, brake specific fuel consumption.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Alfredas Rimkus.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto Automobilių transporto katedros docentas. VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių transporto katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 61571161, a.rimkus@vtdko.lt, alfredas.rimkus@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Saulis Stravinskas.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorius.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto Automobilių transporto katedros lektorius.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto techninis eksploatavimas, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 66209649, s.stravinskas@vtdko.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Donatas Kriaučiūnas.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorius.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto Automobilių transporto katedros lektorius.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto techninis eksploatavimas, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 64557538, d.kriauciunas@vtdko.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Tadas Vipartas.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorius.
Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto Automobilių transporto katedros lektorius.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto techninis eksploatavimas, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 67413254, t.vipartas@vtdko.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Petras Kaikaris.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorius.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto Automobilių transporto katedros lektorius.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto techninis eksploatavimas, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 67616303, p.kaikaris@vtdko.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Jonas Matijošius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto Automobilių transporto katedros docentas. VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių transporto katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 67385890, j.matijosiu@vtdko.lt, jonas.matijosius@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Alfredas Rimkus.
Science degree and name: associated professor.
Workplace and position: Vilnius Technology and Design College, Technical faculty Automobile Transport department associated professor. Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department associated professor.
Author's research interests: Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.
Telephone and e-mail address: +370 61571161, a.rimkus@vtdko.lt, alfredas.rimkus@vgtu.lt

Author name, surname: Saulis Stravinskas.
Science degree and name: master, lector
Workplace and position: Vilnius Technology and Disign College, Technical faculty Automobile Transport depatment lector.
Author's research interests: Technical exploitation of transport, alternative energy.
Telephone and e-mail address: +370 66209649, s.stravinskas@vtdko.lt

Author name, surname: Donatas Kriaučiūnas.
Science degree and name: master, lector
Workplace and position: Vilnius Technology and Disign College, Technical faculty Automobile Transport depatment lector.
Author's research interests: Technical exploitation of transport, alternative energy.
Telephone and e-mail address: +370 64557538, d.kriauciunas@vtdko.lt

Author name, surname: Tadas Vipartas.
Science degree and name: master, lector
Workplace and position: Vilnius Technology and Disign College, Technical faculty Automobile Transport depatment lector.
Author's research interests: Technical exploitation of transport, alternative energy.
Telephone and e-mail address: +370 67413254, t.vipartas@vtdko.lt

Author name, surname: Petras Kaikaris.
Science degree and name: master, lector
Workplace and position: Vilnius Technology and Disign College, Technical faculty Automobile Transport depatment lector.
Author's research interests: Technical exploitation of transport, alternative energy.
Telephone and e-mail address: +370 67616303, p.kaikaris@vtdko.lt

Author name, surname: Jonas Matijošius.
Science degree and name: associated professor.
Workplace and position: Vilnius Technology and Design College, Technical faculty Automobile Transport department associated professor. Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department associated professor.
Author's research interests: Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.
Telephone and e-mail address: +370 67385890, j.matijosius@vtdko.lt, jonas.matijosius@vgtu.lt

KIBIRKŠTINIO UŽDEGIMO VARIKLIO VEIKIMO RODIKLIŲ GERINIMAS NAUDOJANT BIODEGALUS IR VANDENILĮ

Alfredas Rimkus[1,2], Saugirdas Pukalskas[1]
[1]Vilniaus Gedimino technikos universitetas, [2]Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

Anotacija

Straipsnyje pateikti automobilio Honda Civic su kibirkštinio uždegimo varikliu D14A3 energetinių ir ekologinių rodiklių tyrimo rezultatai varikliui veikiant benzinu A98 bei biodegalais E85 ir papildomai tiekiant vandenilio (H_2) dujas. Dujos gaminamos elektrolizės būdu iš vandens ir į variklio įsiurbimo kolektorių tiekiamas H_2 ir O_2 (HHO) dujų mišinys. Tyrimas atliktas automobiliui važiuojant pastoviu 50 km/h greičiu ir varikliui veikiant liesu mišiniu. HHO dujos pagerina mišinio degimą ir sumažina nepilnai sudegusių angliavandenilių koncentraciją deginiuose, bet padidina azoto oksidų emisiją. Variklio energetinis efektyvumas išauga iki 2 % benziną pakeitus E85 degalais ir tiekiant 1,5 l/min HHO dujų.

Reikšminiai žodžiai: vandenilis, kibirkštinio uždegimo variklis; energetiniai ir ekologiniai rodikliai.

Įvadas

Šiuolaikinio transporto degalų pagrindinis žaliavos šaltinis yra nafta (Lee et al., 2007). Jos ištekliai šiuo metu yra iki 500 milijardų barelių, kas sudaro nuo 14 % iki 16 % visų kada nors iššvalgytų naftos telkinių. Per metus naftos suvartojimas siekia apie 30 milijardų barelių (Curley, 2012). Tai rodo, kad naftos ištekliai neišvengiamai išseks, todėl intensyviai vyksta naujų, alternatyvių energijos šaltinių paieška. Ateityje didelę perspektyvą turi vandenilinė energetika. Tikėtina, kad labiausiai vartotina jos šaka bus vandenilio gamyba iš vandens elektrolizės būdu, nes tai sąlygoja neriboti žaliavos ištekliai ir nesudėtinga gamybos technologija (Gupta, 2009). Vandens elektrolizės metu gaunamų degiųjų vandenilio ir deguonies dujų mišinys yra pavadintas jas tyrusio mokslininko Yull Brown garbei Brauno dujomis. Šios dujos žymimos HHO. Jose esantis H_2 efektyviai kaupia ir perneša energiją, o jo degimo produktas yra netaršūs vandens garai. Vandenilis yra aktyvus cheminis elementas ir vidaus degimo variklyje (VDV). Degdamas su kitais degalais, jis gerina ne tik jų degimą, bet ir ekologinius ir energetinius variklio rodiklius (Whiete et al., 2006).

Vandenilio naudojimo perspektyvos. Vandenilio energetika atitinka ES Baltosios knygos „Bendros Europos transporto erdvės kūrimo planas. Konkurencingos efektyviu išteklių naudojimu grindžiamos transporto sistemos kūrimas“ nuostatas. Vandenilio energijos šaltinių naudojimo didinimas yra skatinamas „Europa 2020“ strategijoje, kurioje pateiktos alternatyvių degalų naudojimo gairės (ES baltoji knyga, 2011; Europos komisija, 2013). Investicijos į vandenilio panaudojimą transporto, pramonės ir energetikos srityse numatytos ES mokslinių tyrimų ir inovacijų programoje „Horizon 2020“. Vystant minėtas programas, būtina pasitelkti visus žinomus vandenilio energijos resursus, pritaikant juos transporto sektoriui. Vandenilio kaupimui ir transportavimui automobilyje reikia sudėtingos, brangios, daug sveriančios įrangos. Tai padidina automobilio kainą, svorį, išauga eksploatacijos išlaidos. Norint išvengti šių trūkumų vandenilį racionalu gaminti važiuojančiame automobilyje ir saugoti tik minimalius jo kiekius, o pagamintas dujas iš karto tiekti į variklio cilindrus kartu su oru ir kitais degalais. Paprasčiausias vandenilio gamybos būdas yra vandens elektrolizė, kuriai reikalinga nuolatinė elektros srovė gali būti išgaunama panaudojant VDV arba alternatyvią energiją.

Pastaraisiais metais sutelkiamas dėmesys į alternatyvių degalų naudą gerinant VDV energetinius ir ekologinius rodiklius. Pagrindiniai teršalai, sąlygojami įprastų angliavandenilinių degalų, yra nesudegę bei dalinai sudegę angliavandeniliai (CH), anglies viendeginis (CO), azoto oksidai (NO_x) (Wang et al., 2011) ir sveikatai kenksmingos kietosios dalelės. Yra labai svarbu sumažinti išmetamųjų dujų teršalų emisiją ir padidinti efektyvųjį naudingumo koeficientą. Tarp kitų degalų rūšių vandenilis išsiskiria kaip ilgalaikio naudojimo atsinaujinantis energijos šaltinis; be to, jis yra tinkamas pakartotinai naudoti ir nesukeliantis taršos energijos šaltinis. Lyginant su angliavandeniliniais degalais, vandenilis turi specifinių savybių ir neturi anglies (Momirlan ir Veziroglu, 2005).

Vandenilio naudojimo transporte tyrimų apžvalga. Daugelis mokslininkų tyrė HHO dujų panaudojimo VDV efektyvumą. Dulger ir Ozcelik (2000) keturiuose benzinu varomų automobilių modeliuose atliko tyrimus papildomai tiekiant HHO dujas į degųjį mišinį ir nustatė, kad degalų sąnaudos 100 km ridos sumažėjo nuo 26 % iki 43 %, CO, CO_2, CH emisijos sumažėjo 40–50 %. Musmar ir Al-Rousan (2011) atliktuose tyrimuose HHO dujų generavimo schema buvo sukurta ir integruota į Honda G 200. Rezultatai rodo, kad HHO, oro ir benzino mišinys sąlygojo taršos koncentracijos emisijoje sumažėjimą ir variklio naudingumo koeficiento padidėjimą. Emisijos testai buvo atliekami keičiant variklio sūkius. Rezultatai parodė, kad NO_x koncentracija sumažėjo apie 50 %, CO – apie 20 %. Taip pat buvo pastebėtas ir degalų sąnaudų sumažėjimas, kuris svyravo tarp 20 % ir 30 %. Remiantis EL-Kassaby et al., 2016 tyrimų

rezultatais, į degųjį mišinį tiekiant HHO dujas variklio šiluminis efektyvumas išaugo iki 10 %, degalų sąnaudos sumažėjo iki 34 %, o NO_x, CO ir CH dujų koncentracija sumažėjo atitinkamai iki 15 %, 18 % ir 14%.

2/3 HHO dujų, iš vandens išgautų elektrolizės būdu, tūrio sudaro vandenilis (Rimkus, 2013). Lyginant su kitais degalais vandenilio (H_2) ir oro mišinio užsiliepsnojimo ribos yra labai plačios (1 lentelė). Atsižvelgiant į šią savybę galima teigti, kad H_2 gali degti vidaus degimo variklyje esant skirtingiems degalų – oro mišinio santykiams. Tad naudojant vandenilį galima liesinti degųjį mišinį ir pasiekti didelę ekonomiją bei pilnesnį degimą. Taip pat galutinio degimo temperatūra yra mažesnė, todėl sumažėja išsiskiriančių azoto oksidų kiekiai. H_2 užsiliepsnojimui reikia apie šešis kartus mažiau energijos palyginus su benzinu, todėl tai ir leidžia uždegti labai liesus vandenilio ir oro mišinius VDV ir užtikrinti greitą degimą.

1 lentelė

Degalų savybės

Degalai / Fizinės ir cheminės savybės	Benzinas A98	Degalai E85	Vandenilis
Žemutinis šilumingumas $H_ž$, MJ/kg	43,5	29,2	120
Tankis ρ, kg/m^3 prie t = 0°C ir p = 0.1 MPa	~750	785	~0,09
Santykinis tankis palyginus su oru	~577	~600	~0.0695
Pagrindinių elementų sudėtis pagal masę, %	86 C, 14 H	57 C, 13 H, 30 O	100 H
Virimo temperatūra, °C	95	78	–253
Užsiliepsnojimo temperatūra, °C	300...400	~360	~560
Užsiliepsnojimo energija, mJ	0,25	*	0,02
Oktaninis skaičius (tiriamuoju būdu) RON	98	106	90
Liepsnos sklidimo greitis, m/s	~0,3	~0,5	~2,7
Oro kiekis, reikalingas sudeginti 1 kg degalų, kg/kg	14,7	10	34,5
CO_2 dujų emisija, g/MJ degalų	71,9	71,7	0
Oro – degalų mišinio degimo ribos, λ	0,3...1,5	0,3...1,7	0,14...9,85
Difuzijos koeficientas, cm^2/s	0,08	-	0,63

* Degalų savybės priklauso nuo angliavandenilių procentinės dalies ir tipo.

Šaltinis: Jučas, 1992; Gupta, 2009; Surygala 2008

Deja, maža energija reikalinga užsiliepsnojimui sukelia ir problemų. Vandenilio ir oro mišinys gali užsiliepsnoti cilindre nepageidaujamu metu net paveiktas karštų dujų ar karštų cilindro sienelių. Šios problemos sprendimas įgalintų plačiau naudoti vandenilį VDV. Nepageidaujamo H_2 dujų užsiliepsnojimo sąlygos gali būti išspręstos naudojant degiojo mišinio skiedimo metodus pvz.: išmetamųjų dujų recirkuliacijos (EGR) arba mišinio maišymo su inertinėmis dujomis – heliu, azotu arba vandens įpurškimu (Roy et al., 2010).

Bioetanolio naudojimo transporte tyrimų apžvalga. Kitas būdas, mažinantis žalingą deginių poveikį aplinkai, sukeliantį šiltnamio efektą, ir mažinantis energetinę priklausomybę nuo naftinės kilmės degalų, yra benzino ir bioetanolio (pagaminto iš atsinaujinančių energijos šaltinių – biomasės) mišinio naudojimas. E85 (85 % bioetanolio + 15 % benzino), palyginus su benzinu, turi didesnį tankį, didesnį oktaninį skaičių, tačiau mažesnį žemutinį šilumingumą, todėl maksimali degimo temperatūra ir slėgis cilindre yra mažesni (1 lentelė). Degdamas E85 sumažina CO, CH, CO_2 variklio emisiją, nes juose mažesnis C/H santykis ir yra 30 % deguonies (Janulis ir kt., 2005). Kiti autoriai taip pat pastebi, kad naudojant bioetanolį, pagamintą iš atsinaujinančių energijos šaltinių, žymiai sumažėja ir NO_x emisija. Taip pat pastebimas CO, CH sumažėjimas. Bioetanolis ženkliai sumažina, nepilno degimo produktų koncentraciją, CO_2 emisiją (Šimėnas, 2003). Tačiau nėra išsamių tyrimų, analizuojančių etanolio ir vandenilio priedo įtaką variklių rodikliams.

Tyrimo tikslas – ištirti vandenilio H_2 ir bioetanolio (E85) degalų įtaką kibirkštinio uždegimo (KU) variklio rodikliams.

Tyrimo uždaviniai:

4. Apžvelgti mokslinius tyrimus, nagrinėjančius HHO ir bioetanolio įtaka KU variklių veikimo rodikliams.
5. Atlikti KU variklio veikimo rodiklių eksperimentinius tyrimus keičiant HHO koncentraciją degalų mišinyje ir naudojant benziną bei E85 degalus.
6. Atlikti HHO dujų priedo naudojimo KU variklyje, veikiančiame benzinu bei E85 degalais, eksperimentinių tyrimų rezultatų analizę ir pateikti moksliškai pagrįstas apibendrintas išvadas.

Tyrimo įranga ir metodika

HHO dujų panaudojimo efektyvumas tirtas automobilio Honda Civic KU variklyje D14A3 (2 lentelė). Automobilis bandomas traukos stende MAHA LPS 2000. Degalų sąnaudų įvertinimui naudotas automobilio maitinimo sistemoje sumontuotas elektroninis degalų sąnaudų matuoklis AIC – 1304, kurio paklaida

± 0,5 %. CO, CO_2, CH, NO_x koncentracijai deginiuose ir λ parametro matavimui naudojamas išmetamųjų dujų analizatorius AVL DiCom 4000.

2 lentelė

Honda Civic variklio techniniai rodikliai

Variklis / Rodiklis	D14A3
Variklio tipas	Kibirkštinis uždegimas
Oro tiekimas	Atmosferinis
Degaus mišinio ruošimo būdas	Degalų įpurškimas į įsiurbimo kolektorių
Cilindrų skaičius	4
Darbinis tūris V_H, cm^3	1396
Suslėgimo laipsnis, ε	12,5 (padidintas)
Variklio galia P_e, kW	114 (6300 min^{-1})
Sukimo momentas M_e, Nm	141 (4800 min^{-1})
Cilindro skersmuo D, mm	75
Stūmoklio eiga S, mm	79
Dujų skirstymas	OHC

Šaltinis: Honda Civic variklio D14A3 techniniai rodikliai

3 lentelė

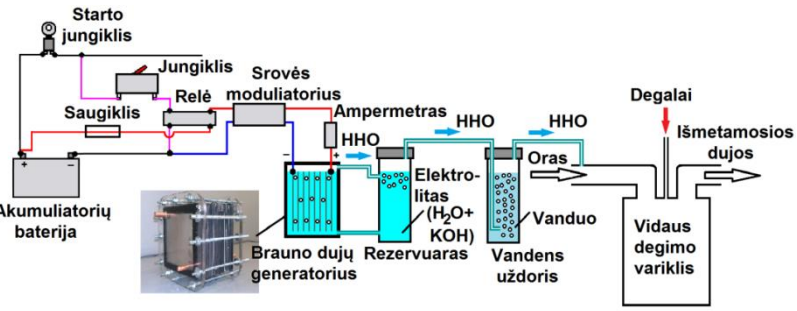
Variklio apkrovos stendo techniniai rodikliai

Įrenginys / Rodiklis	Automobilio traukos stendas MAHA LPS 2000
Apkrovos įrenginys	Elektromagnetinis sūkurinių srovių stabdys
Ašies apkrova, t	2,5
Didžiausias matavimo greitis, km/h	260
Maksimali matuojama apkrova, kN	6 (traukos jėga)
Didžiausia stendo stabdymo galia, kW	260
Matavimo paklaida	± 2

Šaltinis: Automobilio traukos stendo MAHA LPS 2000 techniniai rodikliai

Bandomame automobilyje sumontuota HHO dujų gamybos sistema (1 pav.). Automobilio elektros tinklo įtampa yra ≈14 V ir šios įtampos pakanka maitinti sekciją sudarytą iš septynių nuosekliai išdėstytų elektrolizės elementų, kurių kiekvienam tenka ≈ 2 V įtampa (2 pav.). Prie kraštinių sekcijos plokštelių prijungiama maitinimo įtampa, o tarp jų yra šešios neutralios elektrodų plokštelės. Visos elektrodų plokštelės yra 0,8 mm storio ir pagamintos iš nerūdijančio plieno 316 L. Vienos plokštelės aktyvus plotas yra 0,0144 m^2, suminis sekcijos aktyvus plokštelių plotas 0,1 m^2. Plokšteles skiria 1,5 mm storio tarpinės pagamintos iš šarmams ir rūgštims atsparios gumos. Bandymų metu KOH koncentracija elektrolite 4 %. Įrenginyje sumontuotos penkios analogiškos sekcijos ir siekiant reguliuoti HHO dujų gamybos našumą keičiamas veikiančių sekcijų kiekis. Pagamintos dujos tiekiamos tiesiai į įsiurbimo kolektorių.

1 pav. Honda Civic automobilyje sumontuotas HHO dujų generatorius
Šaltinis: sudaryta autorių



2 pav. HHO dujų gamybos sistema
Šaltinis: sudaryta autorių

HHO dujose vandenilio ir deguonies dujų tūrio santykis 2 : 1. Iš 1 kg vandens pagaminama ≈ 1240 l vandenilio ir ≈ 620 l deguonies dujų mišinio, kurių bendras tūris ≈ 1860 l. Prie p = 0,1 MPa slėgio ir T = 0°C temperatūros deguonies dujų tankis ρ_{O_2} = 1,43 kg/m^3, vandenilio tankis ρ_{H_2} = 0,09 kg/m^3, HHO dujų tankis ρ_{HHO} = 0,54 kg/m^3. Viename litre HHO dujų yra 0,67 l H_2 dujų, kurių masė $m_{H_2/l}$ = 0,06 g ir O_2 dujų, kurių masė $m_{O_2/l}$ = 0,48 g (Rimkus, 2013). HHO dujų generatoriaus naudingumo koeficientas:

$$\eta_{HHO} = \frac{E_{H_2}}{E_{el.}}, \quad (1)$$

čia $E_{el.}$ – litrui HHO dujų pagaminti sunaudotas elektros energijos kiekis, J:

$$E_{el.} = \frac{U \cdot I \cdot t}{Q_{HHO}}, \quad (2)$$

čia U – elektros įtampa kurią naudoja elektrolizės įrenginys, V; I – vartojamas elektros srovės stipris, A; t – elektrolizės įrenginio veikimo laikas, s; Q_{HHO} – per laiką t pagamintas HHO dujų kiekis, l.

$$E_{el.} = \frac{12,75 \cdot 37 \cdot 60}{2,3} = 12306 \text{ J}.$$

E_{H_2} – šiluminės energijos kiekis, kurį degdamas gali išskirti 1 litre HHO dujų esantis vandenilis, J:

$$E_{H_2} = H_{ž.H_2} \cdot m_{H_2/l}, \quad (3)$$

čia $H_{ž.H_2}$ – vandenilio žemutinis šilumingumas, $H_{ž.H_2}$ = 120 MJ/kg.

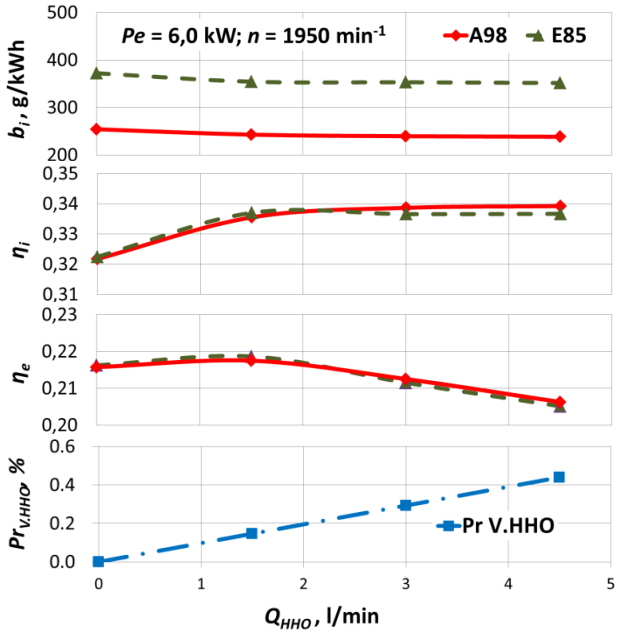
E_{H_2} = 7200 J; $\eta_{HHO} \approx 0{,}6$. Likusi elektros energijos dalis HHO dujų generatoriuje pavirsta į šilumą.

Automobilio Honda Civic bandomas pastoviu v = 50 km/h greičiu, kas būdinga važiuojant mieste. Automobiliui važiuojant šiuo pastoviu greičiu lygiame kelyje, jį veikia 5,5 kW suminė riedėjimo pasipriešinimo ir oro pasipriešinimo apkrovos galia. Šią apkrovą varantiesiems automobilio ratams sukuria traukos stendo elektromagnetinis stabdys. Įvertinus transmisijos nuostolius, varikliui tenka P_e = 6,0 kW apkrova. Variklio veleno sukimosi dažnis n = 1950 min^{-1}. Bandymai atliekami varikliui veikiant benzinu A98 bei degalais E85 ir keičiant papildomai tiekiamų HHO dujų kiekį (0 l/min, 1,5 l/min, 3 l/min ir 4,5 l/min).

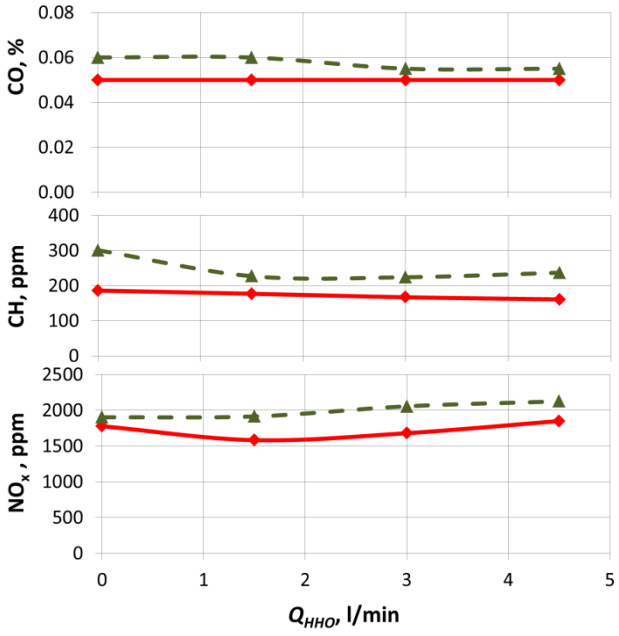
Siekiant maksimalaus energetinio efektyvumo ir įvertinant, kad vandenilis užtikrina lieso mišinio degimą, atlikus variklio elektroninio valdymo algoritmo korekciją, nustatytas liesas degusis mišinys (λ = 1,35). Uždegimo paskubos kampas sumažintas nuo 30° prieš viršutinį galinį tašką (pVGT) iki 20° pVGT.

Eksperimentiniai tyrimai ir jų rezultatų analizė

Į degalus A98 ir E85 papildomai tiekiant HHO dujas Q_{HHO} nuo 0 l/min iki 4,5 l/min, HHO koncentracija įsiurbiamame ore $Pr_{V.\,HHO}$ kinta nuo 0 iki 0,44 % (3 pav.).



3 pav. HHO dujų įtaka energetiniams rodikliams (b_i, η_i, η_e) varikliui veikiant 6 kW apkrova
Šaltinis: sudaryta autorių



4 pav. HHO dujų įtaka ekologiniams rodikliams (CO, CH, NO_x) varikliui veikiant 6 kW apkrova
Šaltinis: sudaryta autorių

3 paveiksle matome, kad HHO kiekį didinant nuo 0 iki 4,5 l/min indikatoriniai energetiniai variklio rodikliai gerėja. Naudojant A98 degalus lyginamosios indikatorinės degalų sąnaudos b_i mažėja nuo 254 g/kWh iki 238 g/kWh (6,3 %), o indikatorinis naudingumo koeficientas auga η_i nuo 0,322 iki 0,339 (5,0 %). Varikliui veikiant E85 degalais b_i mažėja nuo 372 g/kWh iki 351 g/kWh (5,6 %), o η_i auga nuo 0,322 iki 0,337 (4,7 %). Tačiau, įvertinus Brauno dujų gamybos ir panaudojimo VDV energetinį efektyvumą, nustatyta, kad, efektyviesiems rodikliams HHO dujos, viršijus optimalų jų tiekiamą kiekį, turi neigiamą įtaką. Varikliui veikiant E 85 degalais ir padidinus HHO dujų kiekį nuo 0 l/min iki 1,5 l/min, variklio efektyvusis naudingumo koeficientas η_e neženkliai išauga (nuo 0,216 iki 0,219), tačiau papildomai tiekiamų dujų kiekį didinant iki 4,5 l/min η_e mažėja iki 0,205 (6,4 %). Tiriamam KU varikliui veikiant nustatytu režimu, optimalus Brauno dujų kiekis $Q_{HHO} \approx 1{,}5$ l/min sudaro $Pr_{V.\,HHO} \approx 0{,}15$ % įsiurbiamo oro tūrio. Brauno dujose esančio vandenilio masė, tenkanti vienam darbo ciklui $m_{c\,H2} \approx 0{,}023$ mg/cikl. Varikliui veikiant A98 degalais, degalų masė tenkanti ciklui $m_{c.d}$ = 9,65 mg/cikl. ir vandenilio masė sudaro

$Pr_{m.\,H2} \approx 0{,}24$ % degalų masės. Varikliui veikiant E85 degalais $m_{c.d}$ = 14,07 mg/cikl., vandenilio masė sudaro $Pr_{m.\,H2} \approx 0{,}17$ % degalų masės.

4 paveiksle matome, kad varikliui veikiant A98 degalais ir HHO kiekį didinant nuo 0 iki 4,5 l/min, CH koncentracija tolygiai mažėja nuo 196 ppm iki 161 ppm (18 %). Naudojant E85 degalus, HHO kiekį padidinus nuo 0 iki 1,5 l/min, CH koncentracija sumažėja nuo 301 ppm iki 227 ppm (24,5 %). Degalų degimo kokybė gerėja, nes vandenilis pakelia degimo temperatūrą, liepsnos frontas geriau pasiekia degimo kameros periferiją. Didinant HHO dujų kiekį nuo 1,5 l/min iki 4,5 l/min, CH koncentracija nežymiai auga, nes HHO dujų gamybai sunaudojama energija didina degalų sąnaudas, mažėja oro pertekliaus koeficientas. CO kiekiui deginiuose tai daro nedidelę įtaką, nes, esant paliesintam mišiniui, CO koncentracija išmetamosiose dujose yra maža ir neviršija 0,06 %.

Didinant HHO dujų tiekimą 0 iki 1,5 l/min, NO_x koncentracija išmetamosiose dujose mažai kinta, o tiekiant Brauno dujų nuo 1,5 l/min iki 4,5 l/min – išauga, nes didėja degalų degimo intensyvumas ir temperatūra. Šilumos išsiskyrimą didina aukštesnė vandenilio degimo temperatūra ir tai, kad HHO dujų gamybai variklis naudoja daugiau degalų. HHO kiekį padidinus nuo 1,5 iki 4,5 l/min, naudojant A98 degalus, NO_x koncentracija padidėja nuo 1582 ppm iki 1850 ppm (16,9 %), naudojant E85 degalus nuo 1914 ppm iki 2125 ppm (10,8 %). NO_x koncentracija deginiuose yra aukšta ir dėl perteklinio deguonies kiekio esant paliesintam mišiniui.

Išvados

Atlikus automobilio, važiuojančio 50 km/h greičiu, kibirkštinio uždegimo variklio, veikiančio liesais mišiniams (λ = 1,35) ir naudojant benziną bei E85 degalus, esant papildomam H_2 ir O_2 (HHO) dujų mišinio tiekimui, eksperimentinių tyrimų analizę nustatyta, kad:

1. Didinant HHO dujų tiekimą nuo 0 l/min iki 4,5 l/min, HHO koncentracija įsiurbiamame ore kinta nuo 0 iki ≈ 0,44 %. Vandenilis HHO dujose sudaro 2/3 tūrio.
2. Variklyje, vietoje degalų A98 panaudojus degalus E85 ir 1,5 l/min HHO dujų (HHO sudaro ≈ 0,15 % įsiurbiamo oro tūrio bei vandenilio masė sudaro ≈ 0,17 % degalų masės), variklio efektyvus naudingumo koeficientas išauga iki 2%. Didinant HHO tiekimą energetinis variklio efektyvumas mažėja.
3. Naudojant A98 bei E85 degalus ir papildomai naudojant 1,5 l/min HHO dujų, CH koncentracija deginiuose sumažinama atitinkamai nuo 196 ppm iki 161 ppm (≈ 18 %) ir nuo 301 ppm iki 227 ppm ≈ 24 %, nes vandenilis pagerina degimo procesą.
4. CO emisijai deginiuose HHO turi nedidelę įtaką, nes, esant paliesintam mišiniui, CO koncentracija išmetamosiose dujose yra maža ir neviršija 0,06 %.
5. Didinant HHO dujų tiekimą 0 iki 1,5 l/min, NO_x koncentracija išmetamosiose dujose mažai kinta, o tiekiant Brauno dujų nuo 1,5 l/min iki 4,5 l/min – išauga, nes didėja degalų degimo intensyvumas ir temperatūra. NO_x koncentracija yra aukšta ir dėl perteklinio deguonies kiekio.
6. Siekiant pagerinti variklio ekonominius ir ekologinius rodiklius, reikia tęsti tyrimus plačiame variklio veikimo diapazone, keičiant į variklį tiekiamą HHO dujų kiekį, optimizuojant uždegimo paskubos kampą ir mišinio sudėtį.

Literatūra

26. Dulger Z.; Ozcelik, K. R. 2000. Fuel economy improvement by on-board electrolytic hydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy* 25: 895–897.
27. EL-Kassaby, M. M.; Eldrainy, Y. A.; Khidr, M. E.: Khidr, K. I. 2016. Effect of hydroxy (HHO) gas addition on gazoline engine performance and emissions, *Alexandria Engineering Journal* 55: 243–251.
28. Europos Komisija. *Baltoji knyga*. 2011. Bendros Europos transporto erdvės kūrimo planas. Konkurencingos efektyviu išteklių naudojimu grindžiamos transporto sistemos kūrimas. Briuselis: 28–31.
29. Europos Komisija. Komisijos komunikatas Europos parlamentui, tarybai, Europos ekonomikos ir socialinių reikalų komitetui ir regionų komitetui. 2013. Transportui – švari energija. *Europinė alternatyviųjų degalų strategija*. Briuselis, 24 COM (2013) 17 final.
30. *Fossil fuels*/edited by Robert Curley. Published in 2012 by Britannica Educational Publishing. ISBN 978–1–61530–540–7 (eBook). 142 p.
31. Gupta R, B. 2009. *Hydrogen fuel: production, transport, and storage*. Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-4200-4575-8. 601 p.
32. Janulis, P.; Markevičienė, V. 2004. *Biodegalų ir bioalyvų naudojimas Lietuvoje*, 132 p.
33. Jučas, P. 1992. *Degalai ir tepalai*: *Chimotologija*. Vilnius: Mokslas, 256 p.
34. Lee, S.; Speight, J. G.; Loyalka, S. K. 2007. *Handbook of alternative fuel technologies*. Taylor & Francis Group. ISBN-13: 978-0-8247-4069-6. 523 p.
35. Momirlan, M. and Veziroglu, T. N. 2005. The properties of hydrogen as fuel tomorrow in sustainable energy system for a clean planet, *International Journal of Hydrogen Energy* 30: 795–802.

36. Musmar, S, A. and Al-Rousan, A. A. 2011. Effect of HHO gas on combustion emissions in gasoline engines, *Fuel* 90: 3066–3070.
37. Rimkus A. 2013. *Vidaus degimo variklio darbo efektyvumo didinimas panaudojant Brauno dujas*, Vilnius: Technika, 2013. 156 p.
38. Roy, M. M.; Tomita, E.; Kawahara, N.; Harada, Y., Sakane, A. 2010. An experimental investigation on engine performance and emissions of a supercharged H_2–diesel dual-fuel engine, *International Journal of Hydrogen Energy* 35: 844–853.
39. Šimėnas, J. 2003. *Etanolis. Naujas kuras šaliai ir piliečiams*. 48 p.
40. Surygala, J. *Wodorod joko paliwo*. Warszawa: Widawnictwa naukowo-techniczne, 2008, 177 p. ISBN 978-83-204-3457-6.
41. Wang, S.; Ji, C.; Zhang, J.; Zhang, B. 2011. Comparison of the performance of a spark-ignited gasoline engine blended with hydrogen and hydrogeneoxygen mixtures, *Energy* 36: 5832–5837.
42. Whiete, C. M., Steeper, R. R.; Lutz, A. E. 2006. The hydrogen-fueled internal combustion engine: a technical review, *International Journal of Hydrogen* Energy 31:1292–1305.

IMPROVEMENT OF SPARK IGNITION ENGINE WORK PARAMETERS USING BIOFUELS AND HYDROGEN

Summary

Paper presents the research results of efficient and ecological indicators of Honda Civic vehicle spark ignition engine D14A3 which was using petrol A98, biofuels E85 and additionally supplied hydrogen gas. H_2 gas was produced by electrolysis from water. The O_2 and H_2 (HHO) gas mixture was supplied into engine intake manifold. Research was performed when vehicle was running at constant 50 km/h speed and engine was working with lean fuel mixture. HHO gas improve mixture combustion and reduce hydrocarbons concentration in exhaust gases, but it increases nitrous oxide emission. Engine efficiency increases by 2% when petrol is replaced by E85 fuel and additionally 1.5 l/min of HHO gas is supplied.

Key words: hydrogen, spark ignition engine, efficient and ecological indicators.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Alfredas Rimkus.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių transporto katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 61571161, alfredas.rimkus@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Saugirdas Pukalskas.
Mokslo 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 65529573, saugirdas.pukalskas@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Alfredas Rimkus.
Science degree and name: associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport 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

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 65529573, saugirdas.pukalskas@vgtu.lt

BIOMETANO IR VANDENILIO MIŠINIŲ PANAUDOJIMO KIBIRKŠTINIO UŽDEGIMO VARIKLYJE MODELIAVIMAS

Mindaugas Ročys, Mindaugas Melaika, Alfredas Rimkus, Saugirdas Pukalskas
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija
Straipsnyje pateikti automobilio Nissan kibirkštinio uždegimo variklio HR 16DE energetinių ir ekologinių rodiklių modeliavimo rezultatai varikliui veikiant biometano ir vandenilio mišiniu. Modeliavimas atliktas su skaitinio modeliavimo programa *AVL BOOST*. Modeliavimo metu įvertinti įvairios sudėties mišiniai (CH_4; CH_4+5 % H_2; CH_4+10 % H_2; CH_4+15 % H_2; CH_4+20 % H_2; CH_4+25 % H_2; CH_4+30 % H_2). Modeliavimo metu analizuota degimo proceso temperatūra ir slėgis, degalų sąnaudos bei deginių emisija. Šio tyrimo tikslas yra nustatyti optimalios sudėties biometano ir vandenilio mišinį, kuris užtikrintų mažiausias degalų sąnaudas ir didžiausią ekologiją.
Reikšminiai žodžiai: biometanas, vandenilis, kibirkštinio uždegimo variklis, modeliavimas.

Įvadas

Transporto sektorius yra vienas iš keturių daugiausiai suvartojančių energijos visame pasaulyje. Tai sudaro apie 20 % visos pasaulyje sunaudotos energijos. Iki šiol, didžiausia energijos dalis transportui yra gaunama iš iškastinių šaltinių, kurių atsargos ilgainiui senka ir anksčiau ar vėliau pasibaigs. Dėl šios priežasties, pagrindinis visame pasaulyje transporto sektoriaus uždavinys išlieka alternatyvių energijos šaltinių pritaikymo galimybių paieška (Europos Komisija, 2013).

Jau nuo automobilizmo istorijos pradžios yra dirbama su elektrinėmis automobilių pavaromis ir vis dar tikimasi, kad elektromobiliai bus sausumos transporto ateitis, tačiau, kol kas masiškai pritaikyti elektrinės pavaros automobiliuose nepavyksta dėl per mažos šiuolaikinių akumuliatorių baterijų talpos. Tad ieškoma ir kitų energijos kaupiklių, tinkančių transporto priemonių varymui. Vienas iš tokių – vandenilis. Jam šiuo metu yra prognozuojama įspūdinga ateitis, nes jau net ir dabar daugelis transporto priemonių gamintojų yra sukūrę ne vieną 100 kilometrų vienu degalų bako papildymu galinčius įveikti automobilius, tačiau vandeniliu varomų automobilių projektai stringa dėl sudėtingos vandenilio gavybos ir degalų talpyklų problemos.

Tad šio darbo tikslas yra teorinėmis priemonėmis išanalizuoti atsinaujinančių energijos šaltinių (biometano ir vandenilio mišinių) panaudojimo kibirkštinio uždegimo variklyje galimybes, ir rasti optimalią atsinaujinančių degalų mišinio sudėtį, užtikrinančią kuo didesnį veikimo efektyvumą ir ekologiškumą.

Literatūros apžvalga

Šiame darbe tiriamo alternatyvių degalų mišinio komponentai pasirinkti siekiant atsiriboti nuo iškastinių šaltinių. Pagrindinė degalų mišinio dalis yra biometanas. Tai dujos, kurios yra gaunamos iš bioreaktoriuje pagamintų biodujų pašalinus priemaišas iki gryno metano, tad tai yra atsinaujinantis energijos šaltinis. Antrasis komponentas yra vandenilis. Tai taip pat yra atsinaujinantis energijos šaltinis, nes jį galima išgryninti iš įvairių junginių, tokių kaip vanduo, bioetanolis ar kiti biojunginiai (Demirbas, 2009).

Korėjos mokslininkų (Kyungtaek et al., 2010) atlikti tyrimai su keturių cilindrų kibirkštinio uždegimo vidaus degimo varikliu, pritaikytu veikti biodujomis, parodė, kad variklio terminio naudingumo koeficiento skirtumas tarp veikiančio vien biodujomis ir su 15 % (pagal tūrį) vandenilio priedu siekia net 2 %. Tai leidžia daryti prielaidą, kad net santykinai nedidelis vandenilio priedas degaluose pastebimai pagerina variklio terminį naudingumą, o kartu ir dinamines savybes, mažindamas CO_2 emisiją.

Kitų Korėjos mokslininkų (Cheaolwoong et al., 2011) atlikto tyrimo metu, kuomet buvo bandomas vieno cilindro dyzelinis perdarytas variklis, buvo pastebėta, kad dėl aukštesnio suslėgimo laipsnio vandenilio priedas degaluose turi dar didesnę įtaką terminio naudingojo veikimo koeficiento pagerėjimui. Jis padeda išnaudoti tiriamų degalų aukštą oktaninį skaičių, lyginant su benzinu. Taip pat nustatyta, kad pridedant į degalus vandenilio, jis, dėl savo ypač gerų užsidegimo savybių, padidina degalų degimo greitį, todėl reikia atitinkamai koreguoti uždegimo paskubos kampą, kad maksimalus slėgis cilindre būtų pasiektas tinkamu metu ir nesukeltų detonacijos.

Lietuvos mokslininkų (Sendzikiene et al., 2015) atlikto tyrimo metu buvo siekiama nustatyti suslėgimo laipsnio įtaką kibirkštinio uždegimo variklio darbui veikiant biodujomis ir vandeniliu. Pastebėta, kad padidinus suslėgimo laipsnį, variklio šiluminis efektyvumas bei dinaminės savybės pagerėja, tačiau, per daug padidinus variklio suslėgimo laipsnį, padažnėja detonacijos atvejų ir padidėja HC ir NO_x junginių kiekiai išmetamosiose dujose.

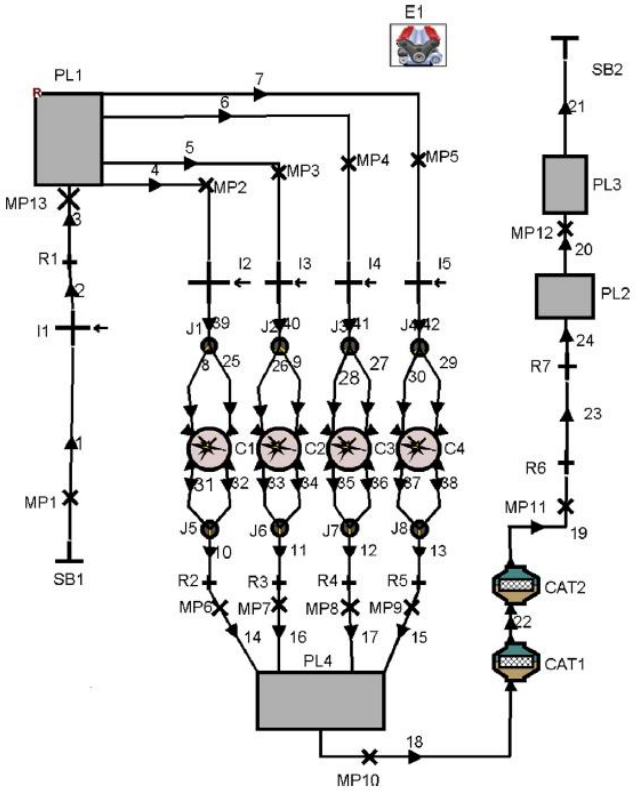
Biometanas, dėl savo paprastos molekulinės struktūros, mažos molinės masės ir geresnio garavimo sudega geriau nei benzinas, todėl išmetamosiose dujose sumažėja HC junginių net 16 % – 24 %

(Cheaolwoong et al., 2009). Tačiau NO_x emisija, naudojant didelės koncentracijos vandenilio-metano degalus, didėja, nes išauga degimo temperatūra (Cheaolwoong et al., 2012). Siūlomi šios problemos sprendimai yra uždegimo paskubos kampo vėlinimas arba degiojo mišinio liesinimas (Ilbas et al., 2006). Karim ir Shrestha (1999) atlikti tyrimai parodė, kad geriausi variklio dinaminių savybių rezultatai, vengiant detonacijos, buvo pasiekiami tuomet, kai vandenilio koncentracija metano dujose buvo apie 20 % – 25 % (pagal tūrį). Porpatham ir kitų mokslininkų (Porpatham et al., 2007) atliktų eksperimentinių tyrimų rezultatai parodė, kad vandenilio įmaišymas į dujinius degalus ne tik padidina liepsnos sklidimo greitį, bet ir praplatina lieso degimo ribas.

Tyrimo metodika

Šiame darbe optimali alternatyvių degalų sudėtis ieškoma atliekant kompiuterinį vidaus degimo variklio modeliavimą, pasitelkus „AVL“ programinės įrangos paketą BOOST™. BOOST™ paketas, tai pažangus ir pilnai integruotas virtualus variklio modeliavimo įrankis, leidžiantis tiksliai prognozuoti projektuojamo variklio dinamines savybes, akustiką, išmetamųjų dujų emisiją ir t.t. Tiriamojo variklio modelis sudarytas pagal „NISSAN HR 16DE“ variklio parametrus (1 pav.).

Šiame darbe buvo siekiama nustatyti optimalią biometano ir vandenilio mišinio sudėtį, tenkinant mažiausių degalų sąnaudų ir mažiausių išmetamųjų kenksmingų medžiagų emisijų sąlygas. Siekiant šio tikslo buvo modeliuojamas variklio veikimo procesas varijuojant šiais rodikliais: H_2 kiekiu mišinyje, uždegimo paskubos kampu, įsiurbiamų degalų kiekiu ir degimo proceso trukme. Variklio alkūninio veleno sūkiai buvo 2000 min^{-1}, o degusis mišinys – stechiometrinis.



1 pav. Tiriamo vidaus degimo variklio modelis sudarytas „AVL BOOST“ programa
Šaltinis: sudaryta autorių

Nors variklio darbo modeliavimo tikslas buvo optimizuoti biometano – vandenilio degalų mišinį mažiausioms degalų sąnaudoms bei mažiausioms kenksmingų medžiagų emisijoms, tačiau buvo stebimi ir kiti svarbūs rodikliai bei variklio charakteristikos (degimo proceso temperatūra, slėgis, degalų sąnaudos, variklio sukuriamas sukimo momentas, galia ir kt.), siekiant aiškiau apibrėžti bendrą tiriamojo degalų mišinio panaudojimo variklyje naudą.

Tyrimo rezultatai

Visų pirma, siekiant įvertinti vandenilio priemaišos biometano dujose naudą bendriems variklio rodikliams, iš „AVL BOOST“ programinės įrangos buvo surinkti duomenys apie degimo proceso slėgį (*p*, bar) ir temperatūrą (*t*, °C) cilindre (1 lentelė).

1 lentelė

Slėgio ir temperatūros cilindre reikšmių priklausomybė nuo vandenilio koncentracijos degaluose

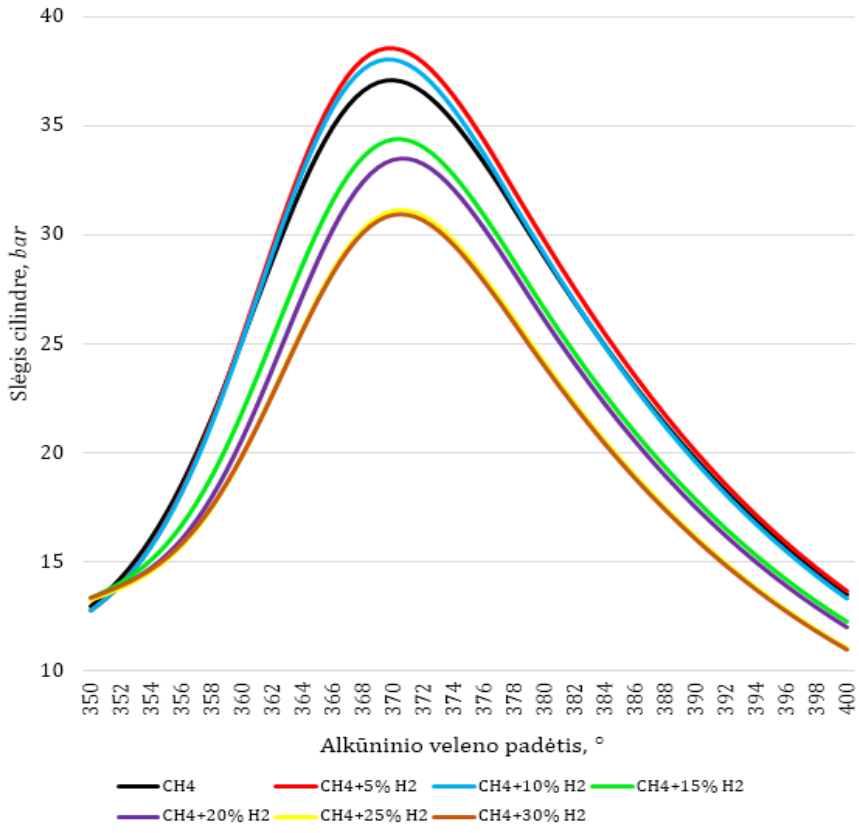
Rodik-liai	Degalų sudėtis						
	CH_4	CH_4 +5% H_2	CH_4 +10% H_2	CH_4+15% H_2	CH_4+20% H_2	CH_4 +25% H_2	CH_4+30% H_2
p, *bar*	37,10	38,43	38,07	34,24	32,40	31,09	30,97
t, *°C*	2205	2275	2329	2480	2560	2597	2627

Šaltinis: sudaryta autorių

Atlikus modeliavimą nustatyta, kad geriausi variklio rodikliai pasiekiami tuomet, kai vandenilio koncentracija biometano – vandenilio mišinyje siekia 10 % – 15 %. Labiau didinant vandenilio dujų koncentraciją degaluose pastebima, kad slėgis cilindre ne tik nedidėja, lyginant su grynu biometanu, tačiau net ir sumažėja. Vandenilio koncentraciją didinant iki 30 % variklio parametrai pradeda blogėti. Ir nors maksimalaus slėgio ir temperatūros reikšmės kinta santykinai nedaug, tačiau net menkas pokytis turi didelę reikšmę galutiniams variklio dinaminiams parametrams, nes būtent aukščiausias slėgis ir aukščiausia temperatūra cilindre labiausiai lemia sukuriamą variklio momentą, o taip pat ir galią.

Degimo proceso slėgio kitimas cilindre vaizdžiai matomas 2 paveikslo grafike. Į degalus įmaišius 5 % vandenilio dujų, maksimalus slėgis cilindre padidėja 3,58 % (nuo 37,10 bar iki 38,43 bar). Naudojant 10 % vandenilio koncentracijos degalus, slėgio padidėjimas yra mažesnis – 2,61 %. Vandenilio koncentraciją didinant dar labiau, maksimalus slėgis cilindre sumažėja net labiau, nei veikiant grynu biometanu varomame variklyje.

Programinė įranga taip pat suteikė galimybę prognozuoti variklio taršos rodiklius (2 lentelė). Pagal „AVL BOOST“ programinės įrangos modeliavimą, didinant vandenilio koncentraciją degaluose NO_x kiekis išmetamosiose dujose didėja, o CO ir CO_2 kiekiai kinta santykinai nedaug. Pagal LAND 14-2000 ir LAND 15-2000 Lietuvos apsaugos normatyvinius dokumentus Lietuvoje NO_x kiekis išmetamosiose automobilio dujose kol kas nėra normuojamas. Normuojami tik CO ir HC kiekiai išmetamosiose dujose, kurie pagal reikalavimus automobiliams su trijų komponentų kataliziniais neutralizatoriais yra atitinkamai 3000 ppm ir 100 ppm (Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas, 2000). Modeliuojamas variklis atitinka CO normas, tačiau HC junginių tiriamu atveju yra apie 3 kartus daugiau nei leistina.



2 pav. Slėgio cilindre priklausomybė nuo alkūninio veleno padėties, keičiant degalų sudėtį
Šaltinis: sudaryta autorių

2 lentelė

Išmetamų kenksmingų medžiagų kiekiai ir degalų sąnaudos, priklausomai nuo degalų sudėties

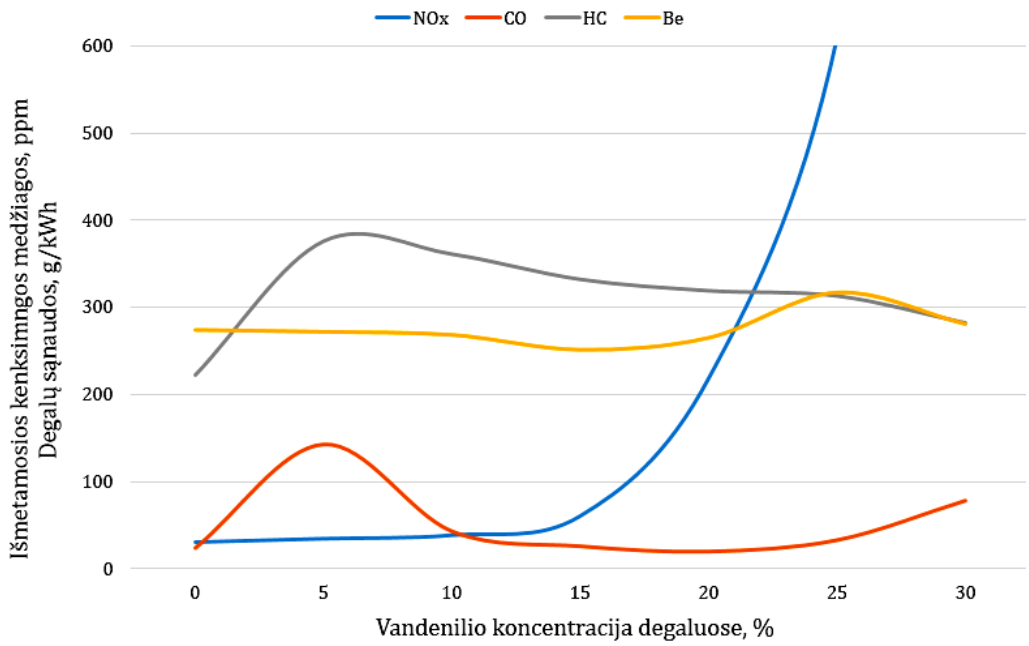
Rodikliai	Degalų sudėtis						
	CH_4	CH_4 +5% H_2	CH_4 +10% H_2	CH_4 +15% H_2	CH_4 +20% H_2	CH_4 +25% H_2	CH_4 +30% H_2
NO_x, ppm	31	35	39	61	219	610	1584
CO, ppm	24	142	43	26	20	33	78
HC, ppm	222	376	361	332	319	313	282
b_e, g/kWh	274	272	268	251	265	318	281

Šaltinis: sudaryta autorių

Taip pat 2 lentelėje pateikiamos variklio degalų sąnaudų (b_e, g/kWh) reikšmės, modeliuojant variklio veikimą skirtingais mišiniais. Mažiausios degalų sąnaudos – 250,98 g/kWh užfiksuotos vandenilio koncentracijai degaluose esant 15 %. Didinant ar mažinant vandenilio koncentraciją degaluose, degalų sąnaudos didėja, kai kuriais atvejais net labai ženkliai.

3 paveiksle pavaizduota kenksmingų išmetamųjų medžiagų kiekio ir variklio degalų sąnaudų priklausomybė nuo vandenilio koncentracijos degalų mišinyje. Paveiksle matyti, kad didinant vandenilio koncentraciją iki 10 % degalų sąnaudos kinta labai nežymiai, tačiau ties 15 % riba pastebimas staigesnis degalų sąnaudų kritimas apie 18 g/kWh. Vandenilio koncentraciją didinant virš 15 % degalų sąnaudos vėl ima didėti. Paveiksle matyti kad NO_x junginių kiekis išmetamosiose dujose, didinant vandenilio koncentraciją degaluose, iš pradžių didėja pamažu, tačiau vandenilio koncentracijai pasiekus 15 % ribą ir didinant ją daugiau, NO_x kiekis išmetamosiose dujose ima didėti labai staigiai. Tai gali būti paaiškinama išaugusia degimo proceso temperatūra.

Nagrinėjant CO kitimą pastebima, kad, pridėjus 5 % vandenilio į biometaną, CO kiekis šokteli nuo 24 ppm iki 142 ppm, o vandenilio koncentraciją didinant virš 5 % nusistovi tarp 20 ppm – 78 ppm. Naudojant 5 % vandenilio koncentracijos degalų mišinį pastebima, kad HC junginių kiekis šokteli nuo 222 ppm iki 376 ppm, o vandenilio koncentraciją toliau didinant, kiekis pamažu mažėja iki 282 ppm, vandenilio koncentracijai degaluose esant 30 %.



3 pav. Degalų sąnaudų ir išmetamųjų kenksmingų medžiagų kiekio priklausomybės nuo vandenilio koncentracijos degaluose
Šaltinis: sudaryta autorių

Iš gautų rezultatų akivaizdžiai matyti, kad optimali degalų sudėtis, tenkinanti mažiausias degalų sąnaudas ir mažiausias kenksmingų medžiagų emisijas, yra 85 % biometano ir 15 % vandenilio. Naudodamas tokius degalus tiriamas variklis pasiekė mažiausias degalų sąnaudas, o visų išmetamų kenksmingų medžiagų minimalūs kiekiai taip pat pasiekiami tokiais pat degalais.

Išvados

Tyrimo metu, naudojantis programine įranga „AVL BOOST“, buvo modeliuojamas variklio veikimas alternatyviais degalais, pagamintais iš atsinaujinančių energijos šaltinių. Modeliuojant buvo nustatyta optimali degalų sudėtis, tenkinanti tiek mažiausių degalų sąnaudų tiek mažiausių kenksmingų medžiagų emisijų sąlygas. Gauti modeliavimo rezultatai parodė, kad optimali degalų sudėtis yra 85 % biometano ir 15 % vandenilio. Nors naudojant tokius degalus nebuvo pasiekta variklio dinaminių savybių pagerėjimo, tačiau svarbiausi ekologiniai ir ekonominiai rodikliai buvo minimalūs, ko ir buvo siekta.

Padėka

Straipsnyje atlikto 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.

Literatūra

1. Cheaolwoong Park *et. al., Generating efficiency and emissions of a spark-ingintion gas engine generator fuelled with biogas-hydrogen blends*, International journal of hydrogen energy 34 (2009) 9620-9627, Republic of Korea: Seoul, 2009.
2. Cheaolwoong Park *et. al., Performance and emission characteristics of a SI engine fueled by low calorific biogas blended with hydrogen*, International journal of hydrogen energy 36 (2011) 10080-10088, Republic of Korea, 2011.
3. Cheaolwoong Park, Changgi Kim, Young Choi. *Power output characteristics of hydrogen-natural gas blend fuel engine at different compression ratios*, International journal of hydrogen energy 37 (2012) 8681-8687, Republic of Korea: Daejeon, 2012.
4. Demirbas, A. *Biohydrogen. For Future Engine Fuel Demands*. Springer. 2009. e-ISBN 978-1-84882-511-6.
5. Europos Komisija. Komisijos komunikatas Europos parlamentui, tarybai, Europos ekonomikos ir socialinių reikalų komitetui ir regionų komitetui. 2013. Transportui – švari energija. *Europinė alternatyviųjų degalų strategija*. Briuselis, 24 COM (2013) 17 final.
6. Ilbas M., et. al., *Laminar burning velocities of hydrogen-methane-air mixture: an experimental study*, Int. J Hydrogen Energy 2006; 31:1768-79.
7. Karim G., A, Shrestha B., *Hydrogen as an additive to methane for spark ignition engine applications.*, Int. J Hydrogen Energy 1999; 24:577-86.
8. Kyungtaek Lee, *et. al., Generating efficiency and NO_x emissions of a gas engine generator fueled with a biogas-hydrogen blend and using an exhaust gas recirculation system*, International journal of hydrogen energy 35 (2010) 5723-5730, Republic of Korea: Seoul, 2010.
9. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas, *Dėl aplinkos apsaugos normatyvinių dokumentų LAND 14-2000 ir LAND 15-2000 patvirtinimo*, Lietuva: Vilnius, 2000.
10. Porpatham, E., Ramesh, A., Nagalingam, B. *Effect of hydrogen addition on the performance of a biogas fuelled spark ignition engine*. International journal of hydrogen energy 32 (2007) 2057-2065, India: Chennai, 2006.
11. Sendzikiene, E., Rimkus, A., Melaika, M., Makareviciene, V., Pukalskas, S. *Impact of biomethane gas on energy and emission characteristics of a spark ignition engine fuelled with stoichiometric mixture at various ignition advance angles*, Fuel 162 (2015) 194-201, Lithuania, 2015.

THE SIMULATION OF BIO-METHANE AND HYDROGEN MIXTURES USE IN SPARK IGNITION ENGINE

Summary

Paper presents the numerical simulation results of efficient and ecologic parameters of spark ignition engine Nissan HR16DE, which was using bio-methane and hydrogen fuel mixtures. Numerical simulation software *AVL BOOST* was used to evaluate different composition fuel mixtures (CH_4; CH_4+5% H_2; CH_4+10% H_2; CH_4+15% H_2; CH_4+20% H_2; CH_4+25% H_2; CH_4+30% H_2). The analysis included combustion temperature and pressure, fuel consumptions and exhaust gas emission data. The aim of this research is to determine the optimum fuel composition of bio-methane and hydrogen, which could let to obtain lowest fuel consumptions and best ecology level.

Key words: bio-methane, hydrogen, spark ignition engine, simulation.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Mindaugas Ročys.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistrantas.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto, Transporto inžinerijos vadybos katedros magistrantas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: alternatyvieji degalai, biodujos, vidaus degimo varikliai.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 62745987, min.rocys@gmail.com
Autoriaus vardas, pavardė: Mindaugas Melaika.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras.
Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių transporto katedros asistentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: mindaugas.melaika@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Alfredas Rimkus.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.
Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių transporto katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 61571161, alfredas.rimkus@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Saugirdas Pukalskas.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.
Darbo vietą 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 65529573, saugirdas.pukalskas@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Mindaugas Ročys.
Science degree and name: master student.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department master student.
Author's research interests: alternative fuels, biogas, internal combustion engines.
Telephone and e-mail address: +370 62745987, min.rocys@gmail.com

Author name, surname: Mindaugas Melaika.
Science degree and name: Master degree.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department, assistent.
Author's research interests: Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.
Telephone and e-mail address: mindaugas.melaika@vgtu.lt

Author name, surname: Alfredas Rimkus.
Science degree and name: associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport 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

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 65529573, saugirdas.pukalskas@vgtu.lt

ROTORINIŲ MAZGŲ SU SKIRTINGŲ KONSTRUKCIJŲ GUOLIAIS VIBRODIAGNOSTINIAI TYRIMAI

Audrius Čereška[1,2], Gražina Strazdienė[2]
[1]Vilniaus Gedimino technikos universitetas, [2]Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

Anotacija

Straipsnyje pateikti rotorinių mazgų su skirtingų konstrukcijų guoliais vibrodiagnostiniai tyrimai. Tirti rotoriniai mazgai su riedėjimo, slydimo su adaptyviais segmentais ir slydimo įvoriniais guoliais. Aprašytos visos tiriamąją sistemą sudarančios dalys. Pateikta vibrodiagnostinių tyrimų stendo principinė schema kurioje parodytas ryšys tarp atskirų tiriamojo stendo dalių. Tyrimams atlikti sudaryta eksperimentinių tyrimų metodika. Tyrimų metu matuoti rotorinių mazgų virpesiai ir gauti pirminiai signalai kurie naudojant kompiuterines programas transformuoti į reikalingus analizei duomenų formatus. Gauti tyrimų rezultatai įvertinti ir atlikta jų palyginamoji analizė. Nustatytos priklausomybės ir pateiktos tyrimų rezultatų išvados.

Reikšminiai žodžiai: vibrodiagnostika, riedėjimo guolis, slydimo segmentinis guolis, slydimo įvorinis guolis.

Įvadas

Guolis – mechaninis įtaisas, esantis tarp rotoriaus ir korpuso ir užtikrinantis rotoriaus sukimąsi. Guoliai skirstomi į riedėjimo ir slydimo trinties. Guoliai yra vieni svarbiausių įvairių mechaninių dinaminių sistemų su rotoriniais mazgais mašinų konstrukcijos elementų. Jie yra plačiai paplitę įvairiose mechaninėse dinaminėse sistemose. Jie besisukančius rotorius išlaiko reikiamoje padėtyje ir priimdami veikiančias apkrovas, perduoda jas korpusui.

Riedėjimo guoliai nuo slydimo guolių skiriasi tuo, kad tarp dviejų žiedų yra riedėjimo kūnai, kurie, velenui sukantis, rieda žiedais. Ši sandara slydimo trintį pakeičia riedėjimo trintimi, todėl riedėjimo guolių trinties koeficientas 20-25 % mažesnis negu slydimo guolių. Riedėjimo guoliai dirba su mažesniais energijos nuostoliais ir mažina įšyla. Jų trinties momentas mažai priklauso nuo sukimosi dažnio. Juos nesunku tepti, paprasta prižiūrėti. Riedėjimo guoliai yra standartizuoti tarptautiniu mastu, ir tai palengvina jų pakeičiamumą. Jie yra jautrūs smūgiams, labiau nei slydimo guoliai žadina virpesius ir triukšmą (Muszynska 1995). Jų leistinas sukimosi dažnis mažesnis nei slydimo guolių. Riedėjimo guoliams labai svarbi žiedų tarpusavio padėtis, bei ašinis įveržimas. Todėl mašinos yra kruopščiai surenkamos. Riedėjimo guoliai jautrūs dulkėms, dėl to guolių mazgai turi būti kruopščiai sandarinami.

Rotoriai, kurių atramos yra slydimo guoliai, esant tam tikroms apkrovoms ir sukimosi dažniams pasižymi nestabiliu darbu, kuris savo prigimtimi skiriasi nuo nestabilaus riedėjimo guolių darbo rėžimo (Vekteris 2004). Esant tam tikroms darbo sąlygoms, temperatūra guolio darbo zonoje pasiekia kritines reikšmes, tuomet sumažėja tepalo klampumas bei tepimo plėvelės storis. Tada guolis pereina prie pusiau skysto tepimo režimo. Dėl to trumpėja įrenginių darbo ištekliai (Marcinkevičius 2012). Esant tokiems reiškiniams, gali staiga sutrikti darbo procesas ir gali būti patirti dideli nuostoliai. Mechaninių dinaminių sistemų rotorinių mazgų su hidrodinaminiais slydimo trinties guoliais diagnozavimui, kūrimui ir analizei skirta žymiai mažiau darbų negu sistemų su riedėjimo guoliais. Taip yra dėl daugelio priežasčių. Viena iš jų yra ta, kad sunkiai diagnozuojamas tokių guolių degradacijos procesas (Barzdaitis 1998; Bently 2002; Jonušas 2001). Dylant hidrodinaminiams slydimo trinties guoliams didėja tarpas tarp rotoriaus kakliuko ir guolio. Kai tarpas tampa žymus, toliau eksploatuojant sistemą sutrinka tepalo pleišto darbas, padidėja trintis, vibracinis aktyvumas, kinta kiti parametrai (Makowski 2011).

Viso mechanizmo kokybę galima užtikrinti tik garantuojant atskirų ją sudarančių mazgų kokybę. Mechanizmo darbinė būklė visuomet turi būti gera, tai užtikrinti galima atliekant techninės būklės diagnostiką (Vasylius 2008; Vekteris 2002). Techninė diagnostika sudėtingas procesas, jo sudėtingumas priklauso nuo diagnozuojamo objekto. Diagnostika padeda išvengti didelių nuostolių ir siaubingų ekologinę pasekmių, kadangi laiku aptikus problemą galima nesunkiai ją pašalinti. Tačiau kokybiškai diagnostikai atlikti reikia laboratorijų su specialia įrangą (Barzdaitis 2002).

Dinaminiai parametrai yra vieni iš informatyviausių rodiklių, apibūdinančių ne tik atskiro mazgo, bet ir visos mašinos būklę (Bently 1994). Kintant rotorinės sistemos vidiniam ir išoriniam poveikiui jos eksploatavimo metu, keičiasi sistemos dinaminės charakteristikos. Dėl to keičiasi sistemos atskirus elementus veikiančios dinaminės apkrovos ir atsiranda defektų, galinčių peraugti į rimtus gedimus.

Vertinant keletos mechanizmų būklę, galima išrinkti konkrečioms sąlygoms tinkamiausią variantą (Allmaier 2011; Brito 2012; Figliola 1991).

Tyrimo tikslas: atlikti rotorinių mazgų su skirtingos konstrukcijos guoliais vibrodiagnostinius tyrimus, nustatyti rezultatų dėsningumus ir padaryti gautų rezultatų palyginamąją analizę.

Tyrimų objektas

Kiekvienas sudėtingas mechanizmas sudarytas iš atskirų sudaromųjų elementų. Atskiras elementas labai įtakoja viso mechanizmo darbo kokybei. Todėl labai svarbu žinoti būklę ir ypatybes visų pirma kiekvieno elemento darbo ypatybes, norint įvertinti viso mechanizmo galimybes. Tiriami trys skirtingų konstrukcijų guoliai mazgai, jų nuotraukos pateiktos 1 pav.

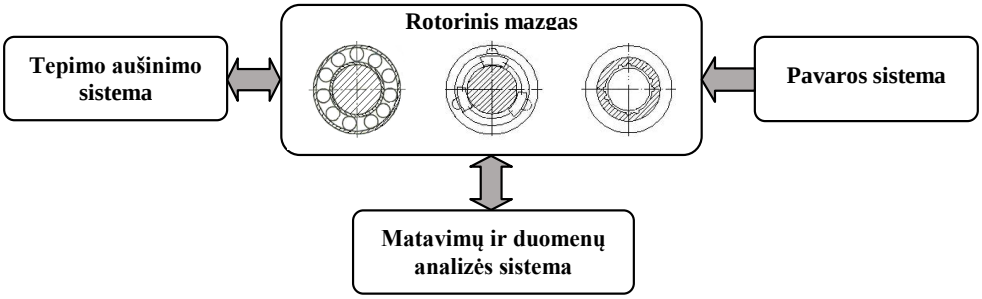
a b c

1 pav. Guoliai: a – riedėjimo, b – slydimo segmentinis, c – slydimo įvorinis

Tyrimų įranga ir eksperimentų atlikimo metodika

Eksperimentiniams tyrimams atlikti buvo naudojamas specialus stendas (2 pav.).

Stendas - tai kompleksas apimantis atskiras sistemas. Sistemos apjungia atskirus elementus nuo kurių darbo kokybės ir priklauso visos sistemos darbas.



2 pav. Principinė tyrimų stendo schema

Stendą sudaro tokios atskiros sistemos: rotorinė sistema – tai mechaninė mechanizmo dalis kuriame sumontuoti guoliai; pavaros sistema – elektros variklis ir variklio valdymo blokas. Ši sistema užtikrina rotorinės sistemos sukamąjį judesį; tepimo – aušinimo sistema, užtikrina slydimo guolių tepimą ir aušinimą; matavimo ir duomenų analizės sistema, kurią sudaro įvairios matavimo priemonės ir kompiuterinės programos.

Rotorinė sistema

Rotorinė sistema – tiriamoji sistema. Rotorinę sistemą sudaro rotoriaus korpusas, rotorius, guoliai.

Pavaros sistema

Ši sistema skirta rotorinės sistemos rotoriaus belaipsnio sukimosi dažnio suteikimui ir valdymui ir kontrolei. Sistemą sudaro 8.0 kW elektros variklis (belaipsnio sukimosi dažnio reguliavimo) ir valdymo blokas, su kuriuo leidžia elektros variklio sukimosi dažnis gali būti belaipsniškai keičiamas nuo 0 – 8000 aps/min.

Tepimo aušinimo sistema

Rotorinės sistemos slydimo guoliams tepti ir aušinti reikalinga tepimo – aušinimo sistema. Šią sistemą sudaro tepalo rezervuaras, tepalo siurblys, manometras, filtrai, vamzdynai tepalo tiekimui į darbo zoną tarp rotoriaus ir guolių.

Matavimo ir duomenų analizės sistema

Matavimo sistema yra tarpinė grandis tarp matuojamo objekto ir gautų duomenų analizės sistemos.

Matavimo sistemą sudaro: bekontakčiai indukciniai vibroposlinkio matavimo keitikliai, fazės matavimo keitiklis – strobas, įvairūs signalų stiprintuvai ir kompiuterinės programos. Eksperimentiniams rotorinės sistemos diagnostiniams matavimams atlikti naudoti du bekontakčiai indukciniai vibroposlinkio matavimo keitikliai ir fazės matavimo keitiklis. Matavimų metu signalai iš keitiklių patenka į kompiuterį. Kompiuteryje sumontuota speciali plokštė DAD1210. Ši plokštė skirta matavimo rezultatų fiksavimui, kaupimui, valdymui bei analizės programų valdymui. Gauti duomenys analizuoti kompiuterinėmis programomis: Origin, Data Master, Ecxel, Matlabe, Statistica, Maple ir kt.

Diagnostinių matavimų metu bekontakčiai indukciniai poslinkių matavimo keitikliai išdėstyti 90° fazės kampu slydimo guolio atramoje ir vienoje veleno skerspjūvio plokštumoje (3 pav.).

Taip išdėsčius keitiklius galima išmatuoti veleno kakliuko padėtį slydimo guolio tarpo atžvilgiu, esant bet kokiam rotoriaus sukimosi dažniui įskaitant ir nulinį. Keitiklių orientacija nebūtinai turi būti vertikali arba horizontali. Parenkama patogi mechanizmo konstrukcijai padėtis.

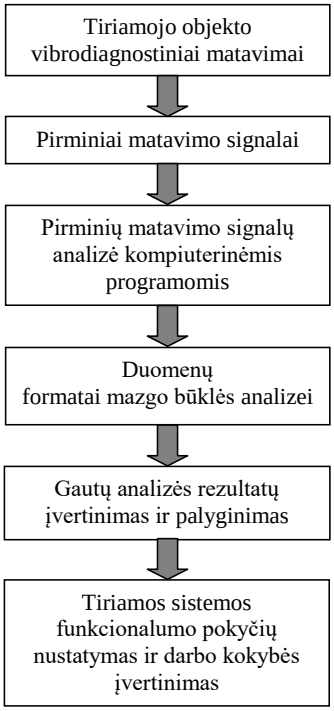
Matavimo keitiklių išdėstymo principas pavaizduotas 3 pav.

3 pav. Matavimo keitiklių išdėstymas: a – principinė matavimo keitiklių išdėstymo schema: 1 - korpusas; 2 - horizontalus bekontaktis indukcinis vibroposlinkio matavimo keitiklis; 3 - vertikalus bekontaktis indukcinis vibroposlinkio matavimo keitiklis; 4 - žymė; 5 - fazės matavimo keitiklis – strobas; 6 – rotorius; b - nuotrauka

Matavimai buvo atliekami tokia tvarka:

1. Atliekamas sistemos derinimas ir matavimo keitiklių kalibravimas;
2. Bekontakčiai indukciniai poslinkio matavimo keitikliai tvirtinami ant stendo;
3. Tvirtinamas fazės matavimo keitiklis;
4. Atliekamas rotoriaus ir variklio veleno ašių bendraašiškumo derinimas;
5. Nustatomas numatytas tarpelis tarp rotoriaus kakliuko ir slydimo guolio segmento (50 μm);5. Įjungiama hidrostotis, kuri paduoda tepalą į slydimo guolių kameras;
6. Įjungiamas elektros variklis (galingumas 8.0 KW), sukantis rotorinę sistemą. Nustatomas rotoriaus sukimosi dažnis 500 aps/min;
7. Įjungiami ir suderinami matavimo kanalų stiprintuvai;
8. Įjungiamas kompiuteris;
9. Paleidžiama kompiuterinė programa “Eksperimentas”;
10. Duomenys kaupiami failuose;
11. Matavimo rezultatai analizuojami kompiuterinėmis programomis.

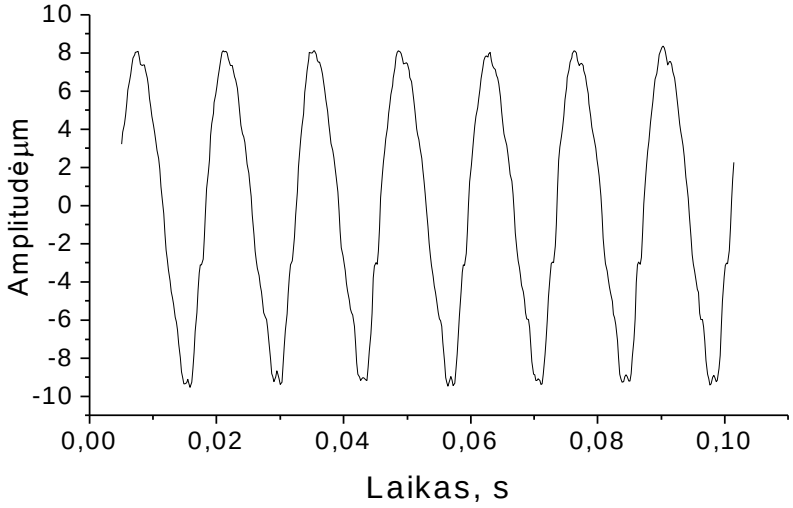
Atlikus matavimus gaunami pirminiai signalai. Vien pirminių matavimo signalų nepakanka įvertinti tiriamos sistemos būklei įvertinti. Todėl pirminiai signalai transformuojami į įvairius duomenų formatus ir analizuojami. Pirminių matavimo signalų analizės struktūra pateikta (4 pav.).



4 pav. Matavimo rezultatų analizės struktūra

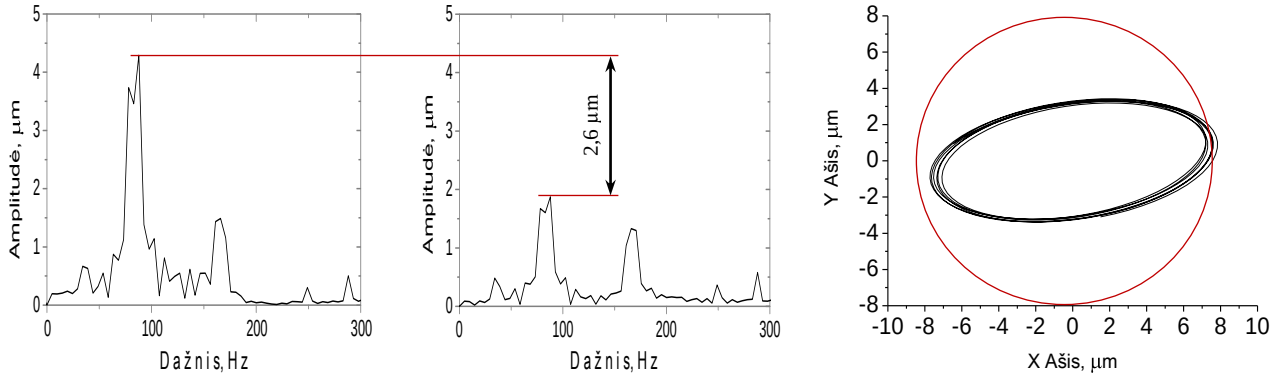
Tyrimų rezultatai ir jų analizė

Pirminis rotorinio mazgo rotoriaus virpesių matavimo signalas dažniausiai reikalingas tik tolimesniems duomenų formatas gauti (Barzdaitis 1997) (5 pav.).



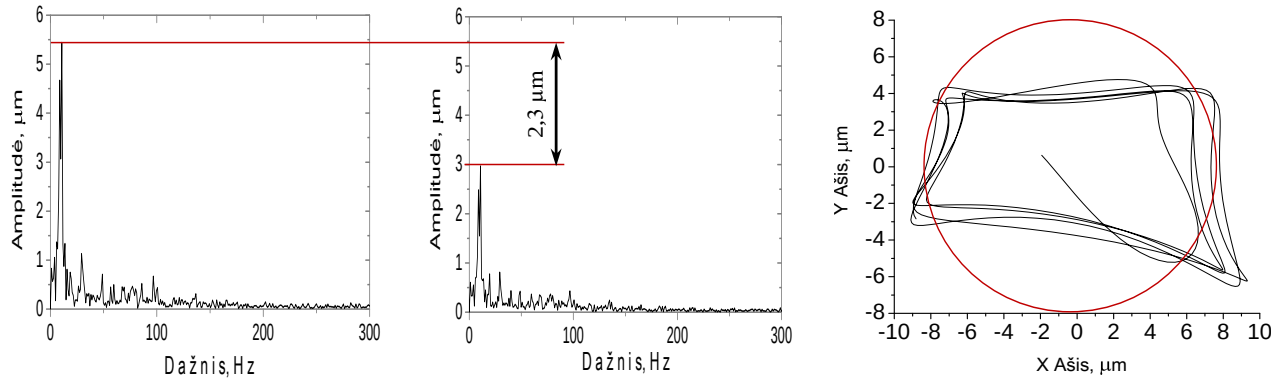
5 pav. Pirminis rotoriaus vibroposlinkio signalas

Atlikus pirminių signalų analizę gauti spektrų ir rotoriaus sukimosi orbitų grafikai (6, 7, 8 pav.).



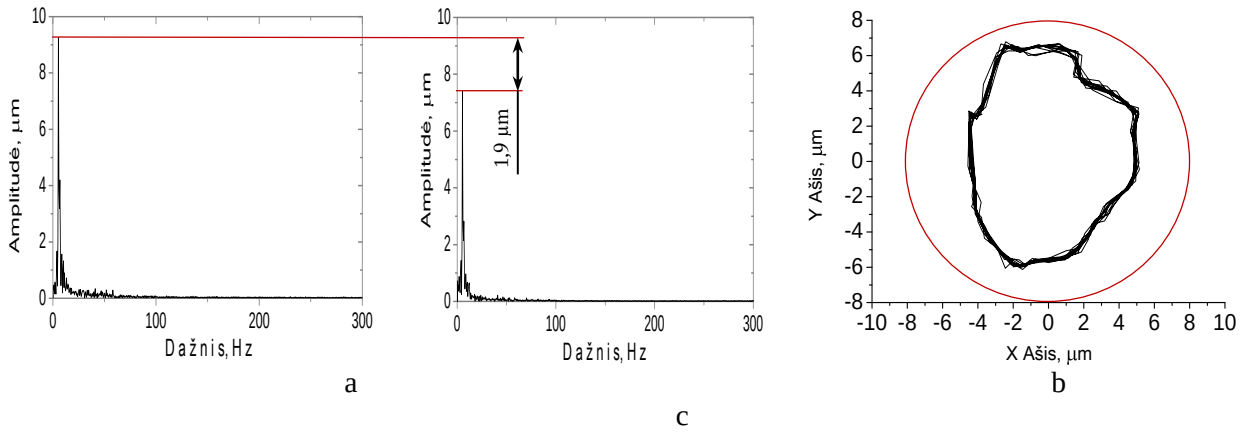
a b c

6 pav. Rotorinio mazgo su riedėjimo guoliais vibroposlinkio signalo spektras: a – horizontalia kryptimi, b – vertikalia kryptimi, c – orbitos grafikas



a b c

7 pav. Rotorinio mazgo su slydimo segmentiniais guoliais vibroposlinkio signalo spektras: a – horizontalia kryptimi, b – vertikalia kryptimi, c – orbitos grafikas



8 pav. Rotorinio mazgo slydimo įvoriniais guoliais vibroposlinkio signalo spektras: a – horizontalia kryptimi, b – vertikalia kryptimi, c – orbitos grafikas

Pagal duomenų formatus: spektrų grafikus matoma, kad signalai matuojant horizontalia ir vertikalia kryptimis nesutampa, tokia tendencija vyrauja visų trijų konstrukcijų guolių mazguose. Didžiausias amplitudžių skirtumas matomas riedėjimo guolių spektrų grafikuose 2,6 µm (6a, 6b pav.), slydimo segmentinių guolių 2,3 µm (7a, 7b pav.) ir slydimo įvorinių guolių tik 1,9 µm (8a, 8b pav.). Tai reiškia, kad matuojant guolių vibroposlinkius statmenimis viena kitai ašimis mažiausias nukrypimas gautas mazgo su įvoriniais slydimo guoliais. Spektro amplitudžių skirtumas tarp riedėjimo ir įvorinių slydimo guolių yra net 0,7 µm.

Sukantis rotoriui jo ašis teoriškai sukasi viename taške, tačiau praktiškai rotorius sukasi aplink savo ašį, o orbita dar brėžia savo orbitą. Nors orbitų skersmenys labai maži, tačiau tai vis tiek nepageidaujami reiškiniai. Žinant, kad rotoriaus ašis brėžia tam tikro dydžio ir formos orbitas siekiama, kad tai artėtų prie kuo mažesnių dydžių ir būtų formų artėjančių prie idealaus apskritimo.

Lyginant pagal orbitų grafikus matome (6c, 7c, 8c pav.), kad iš trijų orbitų grafikų, labiausiai prie idealaus apskritimo artėja riedėjimo guolio orbita (8c pav.). Tai reiškia, kad 500 aps/min dažnio pakanka stabiliam rotoriaus darbui, o segmentiniam ir įvoriniam slydimo guoliui turi būti žymiai didesni sukimosi dažniai. Prie tokių sukimosi dažnių neveikia hidrodinaminiai dėsniai ir vietoje normalaus sukimosi rotorius tiesiog blaškosi guolyje.

Išvados

1. Rotoriaus sukimosi orbitos grafikas labai informatyvus diagnostikos duomenų formatas, kadangi turint orbitos grafiką galima nustatyti rotoriaus darbo dėsningumus.
2. Atlikus rotorinių mazgų su skirtingų konstrukcijų guoliais vibrodiagnostinius tyrimus nustatyta, kad guolio konstrukcija labai įtakoja rotorinio mazgo darbo rėžimams.
3. Rotoriniuose mazguose su riedėjimo guoliais, rotoriui sukantis 500 aps/min rotorius dirba stabiliau negu mazguose su slydimo segmentiniais ir įvoriniais guoliais. Tai reiškia, kad slydimo guolius reikia naudoti tuose rotoriniuose mazguose kuriuose rotorius sukasi dideliais sukimosi dažniais.
4. Didžiausią įtaką rotoriaus sukimosi stabilumui turi įtakos guolio konstrukcija ir rotorius sukimosi dažnis.

Literatūra

1. Allmaier, H., Priestner, C., Six,C., Priebsch, H. H., Forstner, C., Novotny-Farkas, F. 2011. *Predicting friction reliably and accurately in journal bearings-a systematic validation of simulation results with experimental measurements*. Tribology International. Volume 44(10), pages 1151-1160.
2. Barzdaitis, V., Činikas G. 1998. *Rotorinių mašinų monitoringas ir diagnostika*. Kaunas: Technologija, 364 p.
3. Barzdaitis, V., Gečys, S., Šeštakauskas, D., Gargasas, A. 2002. *Investigation of vibration of turbogenerator*. Mechanika. Volume 7(42), pages 50–54.
4. Barzdaitis, V., Cinikas, G. 1997. *Condition monitoring data formats used in rotating machinery diagnostics*. Mechanika. Volume 2(9), pages 40–48.
5. Bently, D. E. 1994. Rotating Machinery Measurements 101. – Orbit, June, Volume 15, pages 4–6.
6. Bently, D.E., Hatch, CH. T. 2002. *Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics*. Bently Pressurized Bearing Company, printed in Canada, first printing, 726 pages.
7. Brito, F. P., Miranda, A. S., Claro, J. C. P., Fillon, M. 2012. *Experimental comparison of the performance of journal bearing with a single and twin axial groove configuration*. Tribology International. Volume 54, pages 1-8.

8. Figliola, R.S., Beasley, D.E. 1991. Theory and design for Mechanical Measurements: John Willey and Sons, New York, 450 p.
9. Jonušas, R., Jurkauskas, A., Volkovas, V. 2001. Rotorinių sistemų dinamika ir diagnostika. Kaunas. – Technologija, – 295 p.
10. Marcinkevičius, A. H. 2012. *Automatic regulation of clearance in a tilting pad journal bearing*. Mechanika. Volume. 18(2), pages 5-9.
11. Makowski, R. A., Zimroz, R. 2011. *Adaptive Bearings Vibration Modelling for Diagnosis*. Adaptive and Intelligent Systems. Volume 6943, pages 248–259.
12. Muszynska, A. 1995. *Vibrational diagnostics of rotating machinery malfunctions*. International Journal of rotating machinery. Volume 1(3-4), pages 237–266.
13. Vasylius, M., Didžiokas, R., Mažeika, P., Barzdaitis V. 2008. *The rotating system vibration and diagnostics*. Mechanika. 72(4): 54–58.
14. Vekteris, V., A. Čereška. 2002. *Diagnostics of Functioning Quality of the Systems with Sliding Bearings*. Mechanika. No.2 (34) Kaunas: Technologija. pages 51-56.
15. Vekteris, V., Čereška, A. 2004. *Diagnostic errors of rotating systems with sliding bearing*. - Scientific Symposium: Metrology and Metrology Assurance.-Sozopol, Bulgaria, pages 142-146.

VIBRODIAGNOSTIC RESEARCHES OF ROTOR COMPONENTS WITH DIFFERENT CONSTRUCTIONS BEARINGS

Summary

This paper presents vibrodiagnostic researches of the rotary components with bearings of different construction. There are explored rotor assemblies with rolling, sliding adaptive segments and sliding sleeve bearings. There are described all parts that are formed the research system. There is presented vibrodiagnostic research stand principal scheme which shows the connection between the individual parts of the test stand. The experimental research methodology is created for doing researches. There are measured the vibrations of rotor component and received initial signals that are transformed to necessary data formats for analysis using computer programs during researches. The obtained researches results are evaluated and carried out their comparative analysis. There are identified dependencies and presented conclusions of researches results.

Key words: Vibrodiagnostic, rolling bearing, sliding adaptive segments bearing, sliding sleeve bearing.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Audrius, Čereška
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, profesorius
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos fakulteto, Mechanikos 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

Autoriaus vardas, pavardė: Gražina, Strazdienė
Mokslo laipsnis ir vardas: daktarė, docentė
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto, Mechanikos inžinerijos katedros docentė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: gamybos technologijos procesų tyrimai
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 640 52928, g.strazdiene@vtdko.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Audrius, Čereška
Science degree and name: doctor, professor
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Mechanics faculty, Mechanical 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

Author name, surname: Gražina, Strazdienė
Science degree and name: doctor, associated professor
Workplace and position: Vilnius Technology and Design College, Technical faculty, Mechanical engineering department associated professor
Author's research interests: Research of manufacturing technologies processes
Telephone and e-mail address: +370 640 52928, g.strazdiene@vtdko.lt

M1 KLASĖS AUTOMOBILIŲ STABDYMO PARAMETRŲ TYRIMAS

Saulius Nazarovas, Saulius Nagurnas, Vidas Žuraulis, Paulius Skačkauskas
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija
Šiuo metu privalomojoje techninėje apžiūroje lengvųjų automobilių darbinių stabdžių efektyvumas vertinamas pagal stabdymo jėgų, tenkančių atitinkamai ašiai, reikšmes. Tačiau stabdžių paminos nuspaudimo jėga dažnai nėra vertinama. Todėl, šiame straipsnyje pateiktame tyrime siekiama įvertinti lengvųjų automobilių darbinių stabdžių funkcionavimo efektyvumą, atsižvelgiant į stabdžių paminą veikiančią jėgą bei automobilio masę. Šiam tikslui pasiekti, pirmiausia atlikti eksperimentiniai lengvųjų automobilių bandymai ant būgninio stabdžių efektyvumo patikros stendo. Remiantis gautais rezultatais nustatytos priklausomybės tarp stabdžių paminą veikiančios jėgos ir stabdymo metu automobilio ratus veikiančių jėgų. Gautų eksperimentinių tyrimų rezultatų apdorojimui sudarytas matematinės statistikos modelis, kurio rezultatai gali būti panaudojami praktinėje techninių apžiūrų veikloje, tikrinant lengvųjų automobilių stabdžių sistemų efektyvumą. Tam panaudotas *Microsoft Visual Studio* programinis paketas.
Reikšminiai žodžiai: lengvasis automobilis, stabdymo efektyvumas, stabdymo jėga, stabdžių pamina, būgninis stabdžių patikros stendas.

Įvadas

Lietuvos keliuose nuo 2015 m. pradžios iki gruodžio mėn. užregistruoti 2854 eismo įvykiai (Policijos departamentas prie Vidaus reikalų ministerijos, 2016). Didžioji dalis (net 1572) eismo įvykių įvyko dėl lengvųjų automobilių vairuotojų kaltės. Svarbu paminėti, kad dalį šių eismo įvykių lėmė techninių reikalavimų neatitinkančių transporto priemonių eksploatavimas. Atsižvelgiant į tai, kad stabdžių sistema yra pagrindinė aktyviojo saugumo priemonė, būtina nuolat kontroliuoti jos techninę būklę, nes po ilgos eksploatacijos prarandamos pradinės savybės ir nebegalima visiškai užtikrinti saugios transporto priemonės kontrolės kelyje (Albatlan, 2011: 279–287; Farmer et al., 2006: 745–757; Petersen et al., 2006: 905–917; Sokolovskij, 2005: 91–95;). Todėl, atliekant privalomąją techninę apžiūrą, svarbu atlikti išsamią lengvųjų automobilių stabdžių sistemų patikrą, įvertinant pagrindinius stabdžių efektyvumo rodiklius (automobilio masę, stabdymo jėgas ant ratų, stabdžių paminos nuspaudimo jėgą).

Tyrimo objektas – lengvieji (M1) klasės automobiliai.

Tyrimo tikslas – atliekant lengvųjų automobilių stabdžių efektyvumo patikrą, nustatyti ryšį tarp vairuotojo tam tikra jėga spaudžiamos stabdžių paminos ir jėgų, tenkančių ratams. Pateikti priklausomybes grafiniu pavidalu bei skaitinėmis reikšmėmis. Nustatyti teorinius koeficientus, preliminariai nusakančius tvarkingą stabdžių sistemos techninę būklę.

Tikslui pasiekti iškelti šie uždaviniai:

– Nustatyti stabdomų lengvųjų automobilių masę, tenkančią priekinei ir galinei ašims.
– Išmatuoti stabdomų lengvųjų automobilių stabdžių paminos nuspaudimo jėgos reikšmes tam tikrais laiko momentais.
– Išmatuoti stabdomų lengvųjų automobilių stabdymo jėgų reikšmes ratuose tam tikrais laiko momentais.
– Sudaryti teorinį modelį, skirtą eksperimentinių tyrimų rezultatams apdoroti.

Naudojami metodai:

– Eksperimentiniai tyrimai.
– Modeliavimas programiniu paketu.

Straipsnio struktūra. Straipsnyje pateikiamas eksperimentinių tyrimų aprašymas (naudota įranga, automobiliai, bandymų atlikimo tvarka), eksperimentinių tyrimų rezultatai, taip pat palyginamoji analizė, naudojant *Microsoft Visual Studio* programinį paketą (juo sudaromas matematinės statistikos modelis, kuriuo apdorojami eksperimentinių tyrimų rezultatai). Išvedami teoriniai koeficientai, įvertinantys ryšį tarp eksperimentinių tyrimų rezultatų ir modelio.

Eksperimentinių tyrimų metodika

Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami stabdant lengvuosius automobilius ant būgninio stabdžių patikros stendo („Saxon“ B 60, 1 pav.). Bandymams naudoti įvairių gamintojų (*BMW, Opel, Seat* ir *Volkswagen*) lengvieji automobiliai, komplektuojami diskiniais ratų stabdžių mechanizmais ir kurių amžius atitinka šiuo metu vidutinį Lietuvoje eksploatuojamų automobilių amžių (apie 15 metų).

Bandymų atlikimo tvarka:

1. Pirmiausia automobiliai sveriami ant firmos „Dini Argeo“ svėrimo plokščių (1 pav.). Taip nustatoma kiekvienam iš automobilio ratų tenkanti automobilio masės dalis. Gauti duomenys įvedami į aukščiau minėto stabdžių patikros stendo kompiuterį.

2. Patikrinamas oro slėgis padangose, kad jo dydis padangose atitiktų gamyklos gamintojos nurodymus.

3. Automobilis užvaromas ant stabdžių patikros stendo būgnų. Ant stabdžių paminos uždedamas firmos „HKM“ nuspaudimo jėgos jutiklis (2 pav.) ir automobilis pradedamas testuoti (Senabre, 2012: 735 – 742), – stabdžių stendo būgnai ima suktis ir vairuotojas tolygiai spaudžia stabdžių paminą iki to momento, kai užsiblokuoja atitinkamos ašies ratai.

4. Stabdymo bandymai atliekami po 3 kartus kiekvienai ašiai kiekvienam bandytam automobiliui.

1 pav. Stabdžių patikros stendo „Saxon“ B 60 centrinis ekranas (kairėje) ir svėrimo plokštės „Dini Argeo“ (dešinėje)
Šaltinis: sudaryta autorių

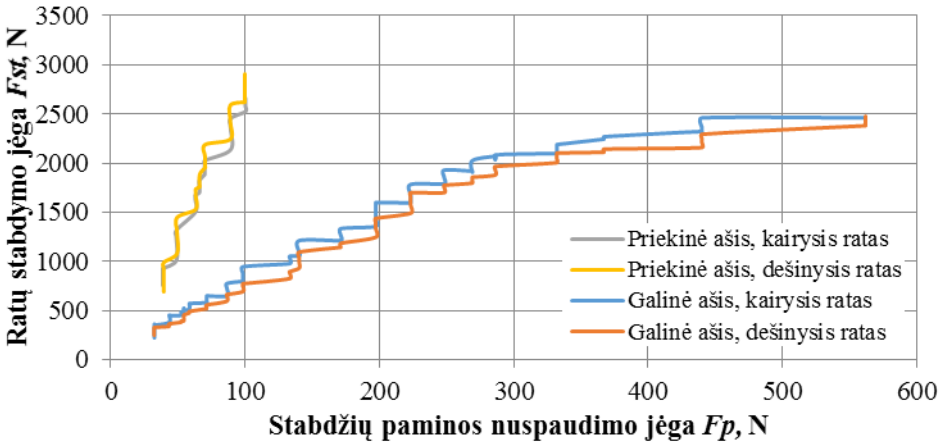
2 pav. Stabdžių paminos nuspaudimo jėgos jutiklis
Šaltinis: Force measurement technology made in Germany (2013). Prieiga per internetą: <http://www.hkm-messtechnik.com/en/products/hanging-scales>

Bandymų metu gaunamos kiekvieno iš automobilio ratų stabdymo jėgų priklausomybės nuo stabdžių paminos nuspaudimo jėgos. 3 paveiksle kaip pavyzdys pateikta automobilio *Opel Vectra* (2001 m.) ratų stabdymo jėgų *Fst* priklausomybė nuo stabdžių paminos nuspaudimo jėgos *Fp*. Taip pat gaunami šie duomenys: maksimalios ratų stabdymo jėgos Fst_{max}, maksimali stabdžių paminos nuspaudimo jėga Fp_{max}, bendrasis automobilio stabdymo efektyvumas.

Analizuojant aukščiau minėtus eksperimentinių tyrimų rezultatus bei sudarant matematinės statistikos modelį buvo vertinami tik techniškai tvarkingų automobilių stabdžių sistemos parametrai remiantis ES direktyvos 96/96 EB nuostatomis.

Eksperimentinių tyrimų rezultatai ir matematinės statistikos modelio sudarymas.

Atliktų bandymų metu pastebėta, kad lengvųjų automobilių su techniškai tvarkinga darbine stabdžių sistema, stabdymo metu pirmiausiai maksimalią stabdymo jėgą pasiekia ir užsiblokuoja priekinė ašis, o vėliau – galinė ašis. Visais atvejais priekinė ašis išvystė didesnę stabdymo jėgą (vidutiniškai 5700 N) už galinę automobilio ašį (vidutiniškai 4860 N). Taip pat visų bandymų metu, siekiant išgauti maksimalią stabdymo jėgą galinei ašiai, stabdžių paminą teko spausti didesne (vidutiniškai 392 N) jėga, nei tą patį bandymą atliekant su priekine ašimi (vidutiniškai 74 N) (3 pav.).



3 pav. Automobilio *Opel Vectra* stabdymų bandymo rezultatai
Šaltinis: sudaryta autorių

Remiantis eksperimentinių tyrimų rezultatais sudaromas matematinės statistikos modelis *Microsoft Visual Studio* programinio paketo aplinkoje. Šiuo modeliu siekiama nustatyti, kokios vidutinės stabdžių paminos nuspaudimo jėgos reikšmės dominuoja. Taip pat šiuo modeliu galima nustatyti stabdymo paminos nuspaudimo jėgos ir stabdymo jėgų ratuose santykines reikšmes (koeficientus) įvairiuose stabdymo etapuose ir kai ratai blokuojasi. Šios reikšmės galėtų būti taikomos techninių apžiūrų praktikoje ir pagal jas būtų galima spręsti apie tvarkingą lengvojo automobilio darbinių stabdžių techninę būklę.

Pirmiausia, sudarant minėtą modelį, reikia nustatyti, pagal kokį pasiskirstymo dėsnį išsibarsčiusios stabdžių paminos nuspaudimo jėgos reikšmės. Apskaičiavus vidutinį kvadratinį nuokrypį (priekinės ašies $\sigma = 14{,}48$ N; galinės ašies $\sigma = 32{,}4$ N) ir matematinį vidurkį (priekinės ašies $\bar{t} = 45{,}7$ N; galinės ašies $\bar{t} = 104$ N), skaičiuojame variacijos koeficientą (Jonaitis, 1998: 101–110):

$$v = \frac{\sigma}{\bar{t}}, \quad (1)$$

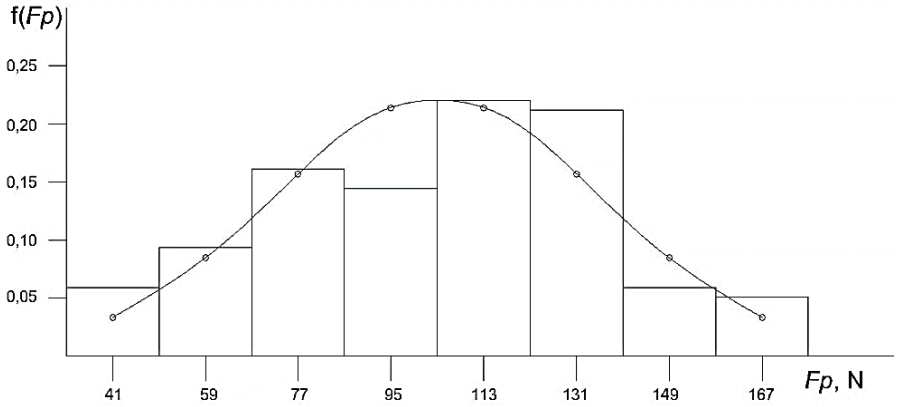
Nustatyta, jog duomenys išsidėstę pagal Normalųjį (Gauso) pasiskirstymo dėsnį, kadangi variacijos koeficiento reikšmės neviršijo 0,33 (priekinės ir galinės ašies $v = 0{,}31$) (Jonaitis, 1998: 101–110).

Analizuojant surinktus duomenis iš visų atliktų bandymų ir siekiant nustatyti, kurios stabdžių paminos nuspaudimo reikšmės yra labiausiai dominuojančios, buvo apskaičiuojamas Gauso pasiskirstymo dėsnio stabdžių paminos nuspaudimo tikimybės tankis *f(Fp)* pagal formulę (Jonaitis, 1998: 101–110):

$$f(Fp) = \frac{A}{\sigma}\varphi_0\left(\frac{t_{vid}-\bar{t}}{\sigma}\right), \quad (2)$$

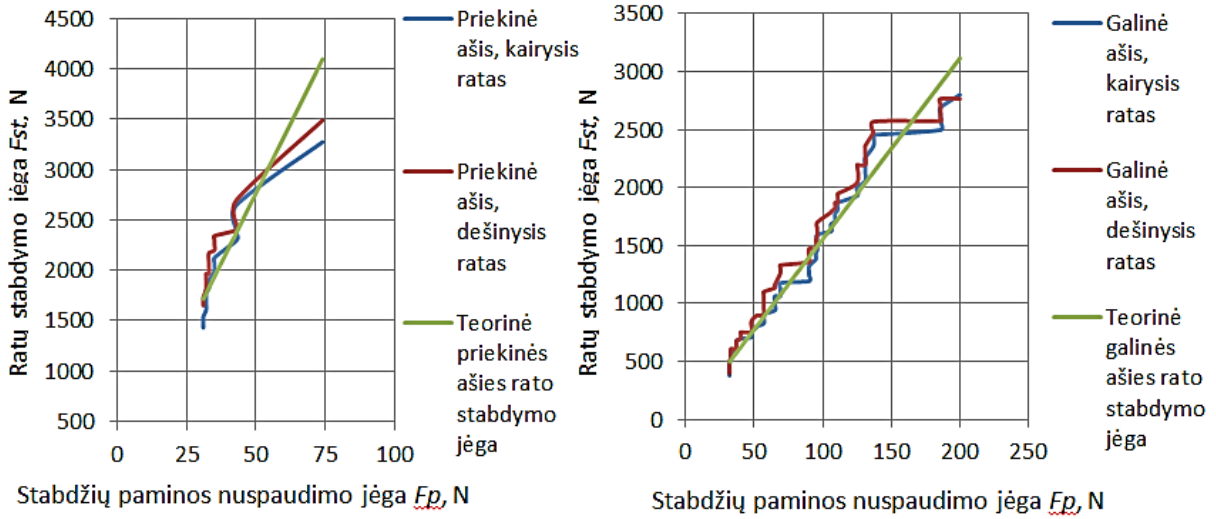
čia A – intervalo ribinių reikšmių skirtumas, t_{vid} – intervalo vidurio reikšmė, φ_0 – Gauso skirstinio koeficientas, kurio reikšmės randamos matematinės statistikos lentelėse.

Grafiškai *f(Fp)* reikšmės pasiskirsčiusios, kaip parodyta 4 paveiksle (kaip pavyzdys pateiktas automobilių galinės ašies stabdymo grafikas). Remiantis šiuo grafiku matome, kad daugiausia tyrimo duomenų susitelkę 41,5 – 50,5 N intervale (stabdant priekine ašimi) bei atitinkamai 95 – 113 N intervale, stabdant galine automobilio ašimi. Tolesniuose skaičiavimuose, kaip vidutinės, priimtos atitinkamai priekinei ir galinei ašims 46 ir 104 N stabdžių paminos nuspaudimo reikšmės.



4 pav. Gauso pasiskirstymo dėsnio stabdžių paminos nuspaudimo jėgų tikimybės tankio grafikas (automobilių galinės ašies stabdymo bandymai)
Šaltinis: sudaryta autorių

Remiantis eksperimentiniais tyrimais ir sudarytuoju modeliu išvestos santykinės reikšmės (toliau – koeficientai) priekinei ašiai (*kp*) ir galinei ašiai (*ku*) bei nubraižyti palyginamieji teorinio modelio ir praktinių rezultatų grafikai (5pav.).



5 pav. Eksperimentinių tyrimų ir modeliavimo rezultatų sugretinimas (kairėje – stabdant priekine ašimi, dešinėje – stabdant galine ašimi)
Šaltinis: sudaryta autorių

Koeficientų *kp* ir *ku* reikšmės gaunamos skaičiuojant santykį tarp matematinės statistikos modeliu nustatytos dominuojančios stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir stabdymo bandymų metu gautos vidutinės atitinkamos ašies rato sugeneruojamos stabdymo jėgos tuo paminos nuspaudimo momentu.

Išvedant šiuos koeficientus pirmiausia buvo vertinami bandymų duomenys, kai fiksuotas automobilių bendras stabdymo efektyvumas buvo 81 %. Kadangi šiuo metu techninės apžiūros stotyse reikalaujamas mažiausias bendras M1 klasės automobilio stabdymo efektyvumas, stabdant darbiniais stabdžiais, yra 50 %, koeficientai *kp* ir *ku* buvo atitinkamai pakoreguoti. Gauta, kad techniškai tvarkingos transporto priemonės priekinės ašies koeficientas neturėtų viršyti $kp \leq 0{,}293$, o galinės ašies $ku \leq 0{,}104$. Priešingu atveju galima teigti, jog darbinės stabdžių sistemos stabdymo efektyvumas yra mažesnis už 50 % ir ji yra prilyginama techniškai netvarkingai. Pavyzdžiui, automobilio *Volkswagen Jetta* (2005 m.) šių koeficientų reikšmės atitinkamai gautos tokios: $kp = 0{,}01808$, $ku = 0{,}0642$.

Lyginant teorinį ratų stabdymo jėgos grafiką (5 pav.) su atliktų bandymų grafikais galima nustatyti stabdžių paminos darbingumą. Techniškai tvarkingos transporto priemonės grafikas tūrėtų būti artimas teoriniam bei kirstis su juo. Jeigu eksperimentinis grafikas būtų kairėje teorinio grafiko pusėje, būtų galima daryti prielaidą, jog stabdžių pamina yra jautri. Jeigu eksperimentinis grafikas būtų dešinėje pusėje, tuomet – priešingai, stabdžių pamina sunkiai reaguoja į išorinį poveikį.

Išvados

Atlikus eksperimentinius bei analizinius stabdomų lengvųjų automobilių tyrimus formuluojamos šios išvados:

1. Sulyginus teorines ir bandymais gautas stabdžių paminos nuspaudimo jėgos priklausomybes nuo stabdymo jėgų ratuose pastebėta, kad visame stabdymo diapazone, išskyrus stabdymo pabaigą, teorinio ir eksperimentinio modelio reikšmės skiriasi 2-10 %. Tai rodo pakankamai tikslų sudaryto teorinio stabdymo parametrų skaičiavimo modelio atitikimą eksperimentų duomenims.
2. Vertinant teorinio modelio ir praktinių rezultatų grafikų neatitikimą stabdymo pabaigoje, konstatuojame, kad taip yra todėl, kad lengvojo automobilio stabdžių sistema tuo metu nebegeneruoja didesnės stabdymo jėgos nepriklausomai nuo smarkiau spaudžiamos stabdžių paminos.
3. Nustatyta, kad vidutinė stabdžių paminos nuspaudimo jėga dominuoja 41,5 – 50,5 N intervale, stabdant priekine automobilių ašimi ir 95 – 113 N intervale, stabdant galine automobilių ašimi.
4. Nustatyti teoriniai koeficientai (įvertinant stabdžių paminos nuspaudimo jėgos ir stabdymo jėgų ratuose santykį), pagal kuriuos preliminariai galima vertinti, ar automobilio stabdymo efektyvumas tenkina šiuo metu galiojančius techninės apžiūros reikalavimus. Techniškai tvarkingos transporto priemonės priekinės ašies koeficientas stabdymo metu neturėtų viršyti $kp \leq 0{,}293$ reikšmės, o galinės ašies – $ku \leq 0{,}104$ reikšmės.

5. Teorinis modelis tiksliau aprašo eksperimentinių tyrimų rezultatus tuomet, kai nagrinėjame stabdymo bandymus galine automobilių ašimi. Taip yra todėl, kad stabdymo bandymai buvo atliekami apytiksliai 2 kartus ilgiau, negu priekinei ašiai, kadangi galinės ašies ratams užblokuoti reikalinga daug didesnė paminos nuspaudimo jėga.

Literatūra

1. Albatlan Alyazeed Abu Saeed, 2011. Ain Shams Engineering Journal 3. *Automotive brake pipes characteristics and their effects on brake performance*. 279-287 p.
2. Farmer, C.; Lund, A.; Trempel, R.; Braver, E., 2006. Elsevier Science Ltd., Vol:29. *Fatal crashes of passenger vehicles before and after adding antilock braking systems*. 745-757 p.
3. Jonaitis, L., 1998. *Mašinų servisas*. Kaunas, 310 p.
4. Petersen, A.; Barrett, R.; Morrison, S., 2006. ScienceDirect. *Driver training and emergency brake performance in cars with antilock braking systems*. 905-917 p.
5. Policijos departamentas prie Vidaus reikalų ministerijos [interaktyvus]. Eismo įvykių statistika [žiūrėta 2016 m. vasario 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.policija.lt/index.php?id=23469>.
6. Senabre, C.; Valesco, E.; Valero, S., 2012. International Journal of Automotive Technology, Vol. 13, No. 5. *Comparative analysis of vehicle brake data in the Ministry of Transport test on the roller brake tester and on flat ground*. 735-742 p.
7. Sokolovskij, E., 2005. Transport 20(3). *Experimental investigation of the braking process of automobiles*. 91-95.
8. Transporto pasaulis [interaktyvus]. Nuodugnesnė stabdžių patikra [žiūrėta 2016 m. sausio 24 d.]. prieiga per internetą: <http://www.tp.cargo.lt/content.php?art_id=471>.

RESEARCH OF BRAKING PARAMETERS OF M1 CLASS VEHICLES

Summary

Currently, during an obligatory periodic technical inspection, the efficiency of service brakes of light vehicles is evaluated according to the values of braking forces that distribute to a certain axle. However, the pressing force of a brake pedal is usually not evaluated. Thus, in the research presented in this work it is aimed to evaluate the efficiency of light vehicles' service brakes functionality based on the force that affects the brake pedal and the mass of a vehicle. To reach this aim, first of all, experimental tests of light vehicles are done on a roller brake test stand. Based on the obtained results, dependencies between the force affecting the brake pedal and the forces affecting the vehicle's wheels during braking were determined. For the processing of the obtained experimental tests' results, a mathematical statistics model was created, and its results can be used in the activities of a technical inspection while checking the efficiency of the vehicles' brake system. For this, a *Microsoft Visual Studio* software package was used.

Key words: car, braking efficiency, braking force, brake pedal, roller brake test stand.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Saulius Nazarovas.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistrantas.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros magistrantas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: eismo saugumo problemų tyrimai.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 641 00638, saulius.nazarovas@stud.vgtu.lt
Autoriaus vardas, pavardė: Saulius Nagurnas.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto 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

Autoriaus vardas, pavardė: Vidas Žuraulis.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, lektorius.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros lektorius.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: automobilių dinamikos ir eismo saugumo problemų tyrimai.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 652 00486, vidas.zuraulis@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Paulius Skačkauskas.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistrantas.
Darbo vieta ir pozicija: Všį Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros magistrantas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: eismo saugumo problemų tyrimai.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 642 71493, paulius.skackauskas@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Saulius Nazarovas.
Science degree and name: postgraduate.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department postgraduate.
Author's research interests: research of traffic safety problems.
Telephone and e-mail address: +370 641 00638, saulius.nazarovas@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 Transport 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

Author name, surname: Vidas Žuraulis.
Science degree and name: doctor, lector.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department lector.
Author's research interests: research of automobile dynamics and traffic safety problems.
Telephone and e-mail address: +370 652 00486, vidas.zuraulis@vgtu.lt

Author name, surname: Paulius Skačkauskas.
Science degree and name: postgraduate.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department postgraduate.
Author's research interests: research of traffic safety problems.
Telephone and e-mail address: +370 642 71493, paulius.skackauskas@vgtu.lt

VIBRACIJŲ METODO TAIKYMAS AUTOMOBILIO RATO GUOLIO DIAGNOSTIKAI JAM DIRBANT SKIRTINGAIS REŽIMAIS

Vidas Žuraulis, Paulius Skačkauskas, Vaidas Vadluga
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

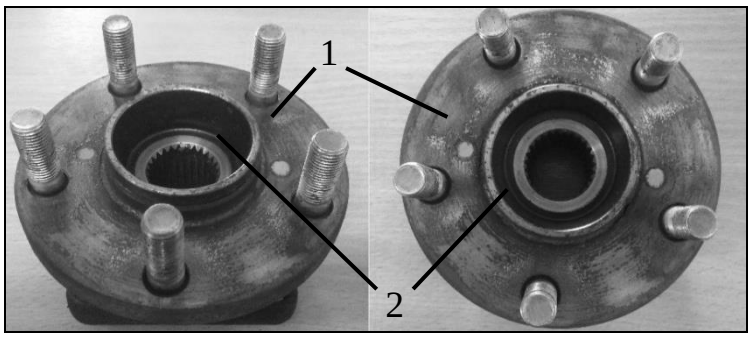
Straipsnyje pristatoma automobilio rato guolių diagnostika vibracijų metodu. Atlikus eksperimentinį tyrimą 500 Hz dažniu matuojant rato stebulę veikiančius pagreičius guoliui dirbant minimalia apkrova (automobilis pakeltas) ir automobiliui važiuojant keliu skirtingais greičiais bei apskritiminėmis trajektorijomis, gauti matavimo rezultatai analizuojami laiko skalėje, o pritaikius greitąją Furje transformaciją analizė tęsiama pagal gautas mechaninės sistemos dažnines charakteristikas. Atlikus tyrimus nustatytos ir pateikiamos rekomendacijos tinkamų ir mažiau tinkamų matavimo principų ir tiriamos sistemos darbo režimų pasirinkimui objektyviai diagnostikai neatliekant jokių pirminių guolio išmontavimo darbų.

Reikšminiai žodžiai: Vibracijų metodas, rato guolis, stebulė, diagnostika, pažaida, pagreitis, dažninė analizė**.**

Įvadas

Visų transporto priemonės elementų darbingumo užtikrinimas ir palaikymas yra esminis uždavinys, nuo kurio priklauso transporto priemonės eksploatavimo sklandumas ir saugumas. Rato stebulės riedėjimo guoliai yra vienas iš svarbiausių automobilio pakabos elementų, darančių įtaką automobilio saugumui eksploatavimo metu, kadangi jie turi priimti veikiančias apkrovas ir užtikrinti, kad automobilio ratai būtų lengvai pasukami, nepriklausomai nuo veikiančių išorinių veiksnių. Pažaida guolyje ar kitoks guolio gedimas gali sukelti papildomą mazgo kaitimą, strigimą, pasipriešinimo momento padidėjimą, triukšmą, vibracijas, kurios daro įtaką vairuotojo ir keleivių sveikatai kenksmingų apkrovų susidarymui (Kilikevičienė, 2015) (žmogaus jautrumas vibracijoms didėja kėbulo savajam dažniui esant nuo 3 Hz iki 8 Hz (Žuraulis, Levulytė, 2014)) ar sudėtingesnį gedimą, dėl kurio transporto priemonės eksploatacija gali būti nebeįmanoma, t. y. mechaninės struktūros gali rezonuoti – mažos jėgos gali sukelti dideles deformacijas ir gali atsirasti pavojus struktūrai (Kilikevičienė, 2015). Literatūros šaltinyje (Gurumoorthy et al., 2015) yra nurodoma, kad riedėjimo guoliai yra vieni iš dažniausiai gendančių elementų įvairiuose besisukančiuose mazguose. Remiantis literatūros šaltiniais (Gurumoorthy et al., 2015; Kurfess et al., 2006), galima išskirti šias pagrindines guolių gedimų priežastis: ištrupėjimas dėl nuovargio, abrazyvinis dilimas, netinkamo guolio naudojimas, dinaminės, statinės ir temperatūrinės perkrovos. Taip pat, šaltiniuose (Kurfess et al., 2006; Li et al., 2009; Skrickij, 2014) yra teigiama, kad guolių keitimas naujais pagal planinius remontus yra neefektyvus ir neapsaugo naudojamų guolių nuo neplanuotų gedimų, todėl transporto priemonės eksploatavimo metu labai svarbų vaidmenį užima guolių diagnostika ir remonto darbų atlikimas pagal faktinę jų būklę. Įvertinant taikomą guolių faktinės būklės nustatymo būdą, guolių diagnostikos metodai klasifikuojami (Kurfess et al., 2006): 1. Temperatūrinis diagnostikos metodas. Taikant šį metodą, naudojant termoelementą, stebima ir fiksuojama temperatūra išoriniame guolio paviršiuje. Vis dėlto, nurodoma, kad šis metodas yra tinkamesnis guolį veikiančių apkrovų, sukimosi greičio ir tepimo sąlygų, o ne pažaidų atsiradimų, nustatymui; 2. Dilimo proceso liekanų / dalelių stebėjimo diagnostikos metodas. Dilimo proceso liekanos susidaro, kai tarp riedėjimo kūnų paviršių yra nepageidaujamas kontaktas. Įvertinus atsiradusių dilimo proceso liekanų kiekį ir dydį, yra nustatoma guolių gedimo priežastis. Pavyzdžiui, sferinės dilimo proceso dalelės reiškia guolio gedimą dėl metalo nuovargio (ištrupėjimas dėl nuovargio); 3. Vibracijų įvertinimo diagnostikos metodas. Dėl technologinio gamybos proceso netobulumo, net ir nauji guoliai skleidžia tam tikro dydžio vibracijas. Kuo tiriamojo guolio pažaidos, t. y., ištrupėjimai, įdubos, įtrūkimai yra didesni, tuo ir skleidžiamos guolio vibracijos yra didesnės, taip pat didėja ir rezonanso reiškinys. Kadangi rezonansas yra daugelio struktūrų ir mechanizmų valdymo problemų, kurios susijusios su vibracijomis, priežastis ar bent veiksnys, literatūros šaltinyje (Kilikevičienė, 2015), norint geriau suprasti vibracijų sukeliamas problemas, siūloma atlikti modalinę analizę. Taikant įvairius vibracijų įvertinimo diagnostikos metodus, išanalizavus tyrimo metu gautų amplitudžių dydį, galima spręsti apie guolio pažaidas ir faktinę jo būklę. Yra sudaryti įvairūs standartai, skirti objektyviam transporto priemonės eksploatavimo metu atsirandančių važiavimo vibracijų įvertinimui. Pavyzdžiui, vibracijų vertinimo bendrosios gairės pateiktos pirmojoje standarto ISO 2631-1 dalyje, kuri šiuo metu plačiausiai naudojama atliekant transporto priemonių vibracijų matavimus, taip pat angliškas BS 6841 ar vokiškas VDI 2057 standartai (Kilikevičienė, 2015).

Literatūros šaltinyje (Norton, Karczub, 2007) yra nurodoma, kad vibracijų įvertinimo diagnostikos metodas yra efektyvus ir tikslus, nustatinėjant bendrąją faktinę guolio būklę. Dėl šios priežasties, šio darbo tyrimo objektas – lengvojo automobilio *Subaru Outback* rato stebulė su kūginiu ritininiu guoliu (1 pav.)

a) b) 

1 pav. Tiriamoji automobilio *Subaru Outback* (a) rato stebulė (1) su kūginiu ritininiu guoliu (2) (b)
Šaltinis: sudaryta autorių

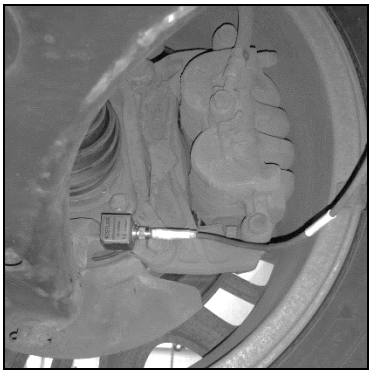
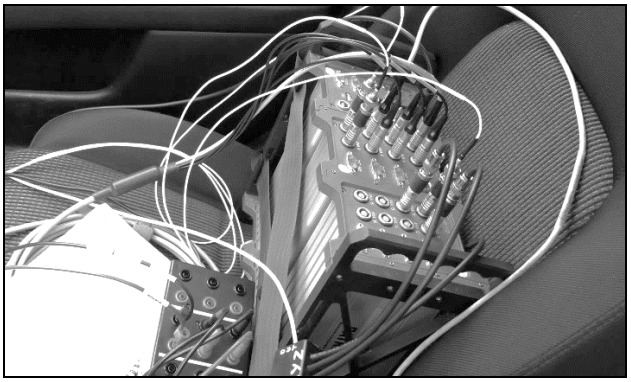
Tyrimo tikslas – ištirti lengvojo automobilio *Subaru Outback* rato stebulės guolio vibracijas automobiliui judant skirtingais režimais ir įvertinti guolio diagnostiką taikant vibracijų metodą.

UŽdaviniai tikslui pasiekti: atlikti eksperimentinį tyrimą skirtingais darbo režimais matuojant rato stebulės vibracijas, palyginti naujo ir susidėvėjusio rato guolio sukeliamas vibracijas laiko ir dažninėje skalėje, apibendrinti nustatytus guolio diagnostikos dėsningumus.

Eksperimentinis tyrimas

Siekiant įvertinti rato guolio vibracijas jo neišmontavus iš stebulės, buvo pasirinktas eksperimentinis tyrimas taikant vibracijų matavimo metodą. Vibracijos matuotos prie rato stebulės pritvirtinus triašį pagreičių jutiklį *Kistles 8395A050A* (2 pav. a), kurio matavimo ribos siekia 500 m/s^2, dažnis – iki 1 kHz, jautrumas 80 mV/g. Kad minimizuoti vibracijas dėl kelio nelygumų, analizei naudojami pagreičiai, veikiantys išilgine automobilio ašimi. Matavimo duomenys buvo surenkami ir įrašomi *Corrsys-Datron DAS-3* sistema (2 pav. b), 500 Hz dažniu. Surinkti duomenys apdoroti kompiuterine programa *TurboLab 6.0*. Parenkant jutiklio tvirtinimo vietą buvo siekiama išvengti tarpinių automobilio konstrukcijos elementų, kurie galėtų lemti netiesioginius matuojamo objekto (guolio) vibracijų charakteristikų pakitimus (Norton, Karczub, 2007).

Tyrimui naudotas 2005 m. pagamintas lengvasis automobilis *Subaru Outback*, turintis pastovią visų varančiųjų ratų pavarą (1 pav. a). Tyrimui pasirinkto automobilio rato konstrukcija nėra išskirtinė, todėl pristatomas metodas yra taikytinas ir kitiems automobiliams. Prieš tyrimą, kairės pusės priekinio rato stebulė su kūginiu guoliu buvo pakeista nauja (originalaus gamintojo), o dešinės pusės stebulė su guoliu dar nebuvo keista nuo automobilio pagaminimo ir kėlė įtarimą, kad jos guolis taip pat sudilęs. Šių įtarimų objektyviam įvertinimui pasirinktas nurodytas vibracijų diagnostikos metodas. Vienas iš šio metodo privalumų – nereikalingas guolio išmontavimas ir galimybė guolį tikrinti įprastiniu jo darbo metu (važiuojant automobiliu).

a)  b) 

2 pav. Įranga naudota eksperimentinio tyrimo metu: pagreičių jutiklis prie tiriamos rato stebulės (a), duomenų surinkimo sistema automobilio salone (b)
Šaltinis: sudaryta autorių

Prieš matavimus automobiliui judant įprastinėmis sąlygomis keliu, buvo atlikti palyginamieji matavimai automobilį pakėlus keltuvu, t. y. tiriamasis guolis minimaliai apkrautas radialine jėga.

Tolesni tyrimai buvo atliekami automobiliu važiuojant tiesiai ir tolygiais (be išilginio pagreičio) sauso asfalto dangos keliu, 25, 50 ir 80 km/h greičiais. Bandomieji važiavimai kiekvienu atveju kartoti po tris kartus, matuota tiek dešinės, tiek kairės pusės ratų stebulių vibracijos. Siekiant detaliau įvertinti naujo ir susidėvėjusio guolių vibracijų charakteristikas, buvo atlikti papildomi važiavimai apskritimine trajektorija,

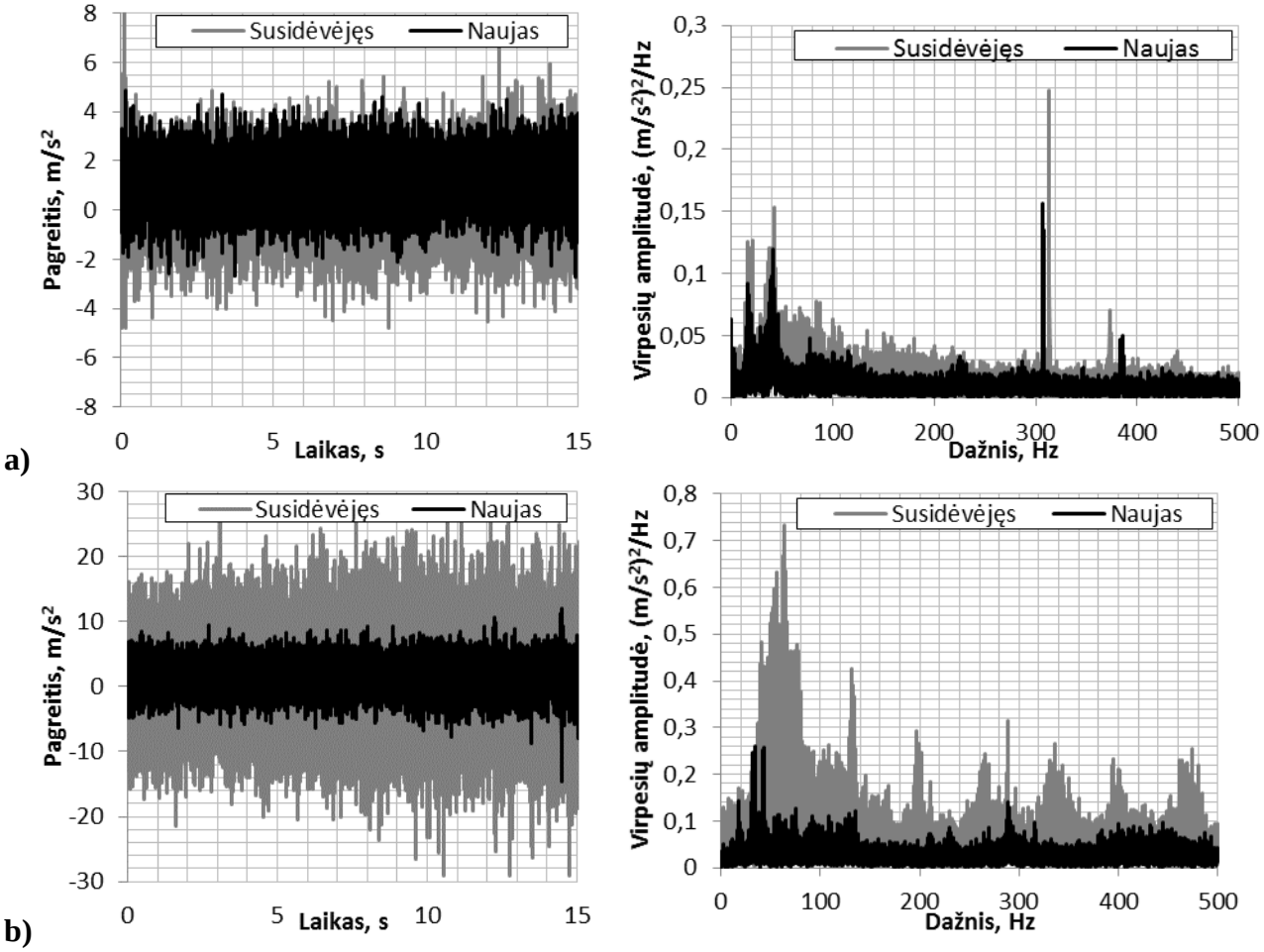
kai automobilį veikiantis skersinis pagreitis siekė 5-5,5 m/s^2. Šiuo atveju nebuvo siekiama įvertinti važiavimo greičio įtaką, todėl važiuojant apskritimine trajektorija greitis siekė 30 km/h.

Tyrimo rezultatai ir analizė

Mechaninės sistemos diagnostiką vibracijų įvertinimo metodu įprasta atlikti analizuojant išmatuotas pagreičių charakteristikas. Paprastai naudojami trys tipiniai metodai: duomenų dydžio arba didumo analizė, duomenų analizė laiko skalėje ir duomenų dažninė analizė (Norton, Karczub, 2007). Šio tyrimo duomenų dydžio arba didumo analizei naudojamos vibracijų amplitudės ir pikinės reikšmės, o statistinis duomenų įvertinimas nenaudojamas. Duomenų analizė laiko skalėje naudojama tik išmatuotų pagreičių atvaizdavimui ir minėtų amplitudžių įvertinimui. Ši analizė labiau tinkama, kai mechaninė sistema dirba laike kintančiais režimais arba vibracijos pakankamai sparčiai kinta ir tas kitimas būtų įmanomas identifikuoti naudojamoje laiko skalėje. Šio tyrimo atveju matavimai yra trumpalaikiai (15-20 s trukmės), todėl taikomas duomenų dažninės analizės metodas.

Išmatuotas pagreičių reikšmes transformuoti iš laiko į dažnių skalę naudojama greitoji Furje transformacija (Skrickij, 2014). Vibracijų amplitudžių kitimas pagal dažnį rodo ne tik pažeistos konstrukcijos darbą, bet tai yra ir bet kokios tinkamai veikiančios sistemos charakteristika. Būdingos amplitudžių reikšmės ir jų kitimas rodo sistemos savuosius dažnius konkrečiu darbo režimu arba sąlygomis. Esant toms pačioms sąlygoms pakitusios amplitudžių ar jas atitinkančių dažnių reikmės rodo galimai sutrikusį sistemos darbą kas šio tyrimo atveju atitinka rato guolio diagnostiką.

Atlikus greitąją Furje transformaciją pagal tolygiai važiuojančio automobilio stebulę veikiančio pagreičio duomenis, charakteristikos laiko ir dažnių skalėse vaizduojamos 3 pav. Pasirinktos charakteristikos, atitinkančios važiavimus tiesia trajektorija 25 km ir 80 km/h greičiais, nes esant pakankamam greičių skirtumui aiškiau pastebimi charakteristikų skirtumai. Kiekviename grafike vaizduojamos naujojo ir senojo (susidėvėjusio) guolio su stebule charakteristikos.



3 pav. Rato stebulės vibracijos išreikštos pagreičiu laiko ir dažnio skalėje, automobiliui važiuojant 25 km/h (a) ir 80 km/h (b) greičiu

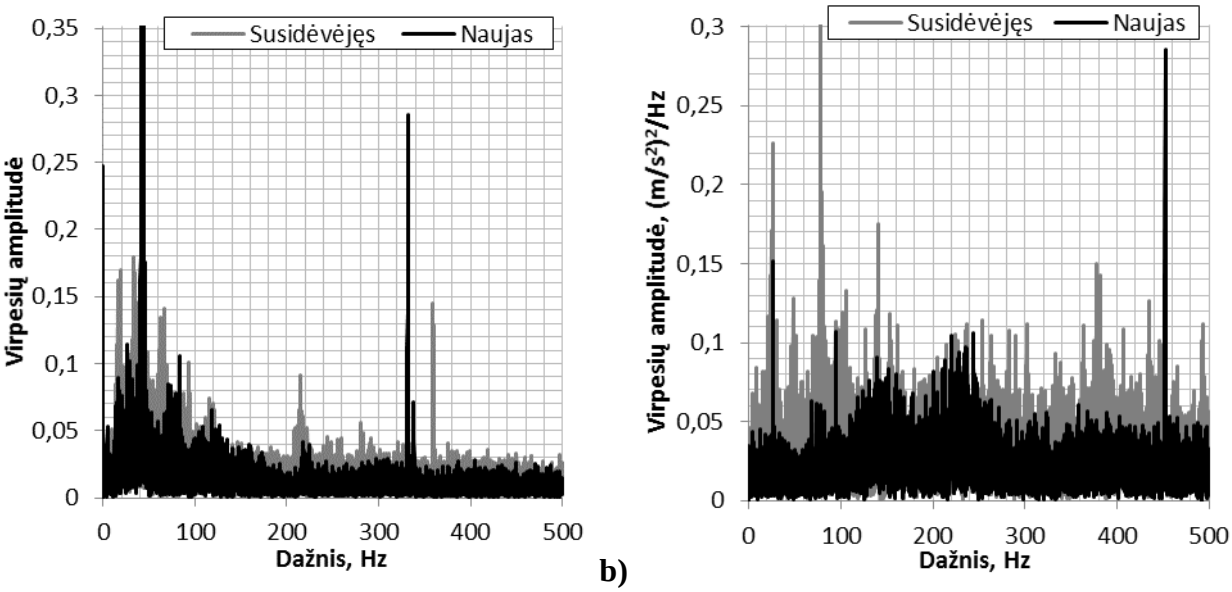
Šaltinis: sudaryta autorių

Grafikai laiko skalėse (3 pav. kairieji) rodo skirtingas išmatuotų pagreičių amplitudes: važiuojant 25 km/h greičiu susidėvėjusio ir naujo guolio su stebule pagreičių amplitudės padidėja ~1,5 m/s^2, o važiuojant 80 km/h greičiu padidėja jau ~10 m/s^2. Taigi didesnis greitis leidžia gauti iki 6,7 karto skirtumą, nors naujojo guolio su stebule pagreičių amplitudės padidėjus greičiui padidėja ne daugiau kaip 2 kartus.

Stebint dažninių charakteristikų grafikus (3 pav. dešinieji), taip pat didesni skirtumai tarp naujojo ir susidėvėjusio guolio su stebule pastebimi iš rezultatų, gautų važiuojant didesniu greičiu. Iš važiavimo 25 km/h greičiu duomenų gauta, kad matuojamos mechaninės sistemos pastebimi savieji dažniai (5 Hz, 20 Hz, 40 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 120 Hz, 220 Hz, 280 Hz, 310 Hz, 380 Hz) išliko tokie patys arba persislinko minimaliai, tačiau savieji dažniai važiuojant 80 km/h greičiu akivaizdžiai persislinko (pvz. nuo 40 Hz į ~60 Hz). Aiškiai pastebimas virpesių amplitudžių padidėjimas net iki 3,5 karto, o svarbiausia – atsirado naujų. Tai rodo pakitusį konstrukcijos darbą, kas konkrečiu atveju reiškia guolio darbo netolygumą (pažaidas) ir gedimo vystymosi progresą.

Virpesių amplitudžių padidėjimas dėl matavimo važiuojant didesniu greičiu taip pat akivaizdus susidėvėjusio guolio atveju: esant 25 km/h greičiui pagrindinė charakteristikos dalis neviršija 0,1 $(m/s^2)^2/Hz$ reikšmės, o ant tos pačios kelio dangos esant 80 km/h greičiui didžiausia amplitudė siekia ~0,7 $(m/s^2)^2/Hz$, tuo tarpu likusių savųjų dažnių amplitudės pasiekia 0,25-0,4 $(m/s^2)^2/Hz$ reikšmes. Minimalią važiavimo greičio įtaką (kaip kelio nelygumų vibracijoms žadinimo) guolio diagnostikai patvirtina ir minimalus naujojo guolio su stebule vibracijos reikšmių padidėjimas – nuo 0,12 $(m/s^2)^2/Hz$ iki 0,26 $(m/s^2)^2/Hz$ padidėja tik savojo dažnio vibracijas dėl kelio žadinimo (~40 Hz) atitinkančio amplitudės.

Lyginant dažnines vibracijų charakteristikas automobiliui važiuojant 30 km/h greičiu apskritimine trajektorija skirtumas gautas tik atliekant manevrą į naujojo guolio pusę (4a pav.). Priešingu atveju (sukant į susidėvėjusio guolio pusę) dėl automobilį veikiančio skersinio pagreičio sumažėja diagnozuojamojo (susidėvėjusio) guolio normalinė apkrova ir vibracinio metodo taikymas reikalauja detalesnio tyrimo. Neturint pradinės informacijos apie skirtingų pusių guolių būklę, matuojant vibracijas automobiliui judant apskritimine trajektorija, svarbu atlikti manevrus abiejomis kryptimis ir įvertinti faktą dėl atsirandančios dinaminės apkrovos. Kaip pastebima pagal gautų virpesių amplitudžių pokytį (4a pav.), važiavimas apskritimine trajektorija nėra toks efektyvus arba važiavimo greičiai turi prilygti aptartiems judant tiesiai (3 pav.).



4 pav. Rato stebulės vibracijos išreikštos dažnio skalėje, automobiliui važiuojant 30 km/h apskritimine trajektorija į naujojo guolio pusę (a) ir automobilį pakėlus, kai greitis atitinka 80 km/h greitį (b)

Šaltinis: sudaryta autorių

Rato guolio diagnostika vibracijų metodu ratams judant su minimalia apkrova (automobilį pakėlus keltuvu) negali būti taikoma, kai rato sukimasis atitinka nedidelį automobilio greitį (iki ~50 km/h). 4b pav. vaizduojamos susidėvėjusio ir naujojo guolių virpesių amplitudės dažnių skalėje, kai ratų sukimosi greitis atitinka 80 km/h automobilio greitį. Šiuo atveju 0-140 Hz ir >260 Hz dažnio srityse gaunamos arti dviejų kartų didesnės virpesių amplitudės. Svarbu atkreipti dėmesį, kad šiuo atveju nebūdingas išskirtinis virpesių padidėjimas 40-60 Hz dažnio zonoje, nes rato neveikia kelio nelygumai.

Išvados

Atliktas eksperimentinis lengvojo automobilio rato stebulės su guoliu palyginamasis tyrimas siekiant įvertinti guolio diagnostiką vibracijų metodu jo neišmontavus, galima daryti šias išvadas:

1. Guolio būklės įvertinimas vibracijų metodu yra patikimas būdas nereikalaujantis pirminio konstrukcijos ardymo ar kito specialaus paruošimo išskyrus reikiamo jautrumo pagreičio jutiklio primontavimo kuo arčiau guolio;
2. Automobilio svorio ir dinaminėmis jėgomis neapkrautas (pakeltas) ratas nesuteikia galimybės objektyviai diagnozuoti guolio būklę arba tam turi būti naudojami ypač jautrūs jutikliai.
3. Rato stebulės su diagnozuojamu guoliu vibracijų matavimas važiuojant tolygiai ir tiesia trajektorija ne mažesniu kaip 25 km/h greičiu leidžia lengviau nustatyti guolio pažaidas nei vibracijas matuojant važiuojant apskritimine trajektorija – šiuo atveju diagnozuoti įmanoma tik keičiant važiavimo trajektoriją į priešingą pusę nei tikrinamas guolis;
4. Išmatuotų vibracijų reikšmių dažninė analizė parodo ne tik guolio su pažaidomis vibracijų amplitudžių padidėjimą, bet ir naujų savųjų dažnių atsiradimą;

Literatūra

1. Gutumoorthy, K., Dayma, J.P., Rawat, V., Khairem, M.V., 2015. *Failure Investigation of Differential Pinion Tapered Roller Bearing*. Journal of Failure Analysis and Prevention, Vol. 15, No. 5. 593-599 p.
2. Kilikevičienė, K., 2015. *Žemagrindžio autobuso pakabos ir kėbulo dinaminės sistemos tyrimas*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, daktaro disertacija. 138 p.
3. Kurfess, T.R., Billington, S., Liang, S.Y., 2006. *Advanced Diagnostic and Prognostic Techniques for Rolling Element Bearings*. Condition Monitoring and Control for Intelligent Manufacturing. 137-165 p.
4. Li, R., Sopon, P., He, D., 2009. *Fault features extraction for bearing prognostics.* Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 23, No. 2. 313-321 p.
5. Norton, M.P., Karczub, D.G., 2007. *Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers, Second Edition*. Cambridge University Press. 651 p.
6. Skirckij, V., 2014. *Transporto mašinų transmisijos elementų dinaminių procesų tyrimas*. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, daktaro disertacija. 126 p.
7. Žuraulis, V.; Levulytė, L. 2014. *The Influence of Comfort and Sport Driving Modes of Modern Vehicles on the Vibration of Sprung and Unsprung Masses*. Proceedings of 18th International Conference Transport Means 2014. 15–19 p.

APPLICATON OF THE VIBRATION METHOD TO THE DIAGNOSTICS OF THE BEARING OF THE VEHICLE WHEEL WHILE OPERATING IN DIFFERENT REGIMES

Summary

In this work, diagnostics of the bearings of the vehicle wheels using the vibration method is presented. After doing an experimental research, measuring in a frequency of 500 Hz the accelerations affecting the hub of a wheel when the bearing is operating under a minimal load (the vehicle is lifted) and while the vehicle is moving on a road at different speeds and in circular trajectories, the obtained measurement results are analysed in a time scale, and after applying the fast Fourier transform, the analysis is continued based on the obtained frequentative characteristics of the mechanical system. After doing the researches, the recommendations of the choice of suitable and less suitable measurement principles and operation regimes of the researched system for the objective diagnostics, without performing any initial dismantlement works of the bearing, are determined and presented.

Key words: vibration method, wheel bearing, hub, diagnostics, acceleration, defect, frequentative analysis

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Vidas Žuraulis
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto inžinerijos fakultetas, Automobilių transporto katedra, docentas
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto priemonių dinamika ir modeliavimas, saugaus eismo problemos
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 65200486, vidas.zuraulis@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Paulius Skačkauskas
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, doktorantas
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto inžinerijos fakultetas, Automobilių transporto katedra, lektorius
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto priemonių dinamika ir modeliavimas, autonominės transporto priemonės
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 64271493, paulius.skackauskas@vgtu.lt
Autoriaus vardas, pavardė: Vaidas Vadluga

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto inžinerijos fakultetas, Automobilių transporto katedra, docentas
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto priemonių dinamika ir modeliavimas
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 65784999, vaidas.vadluga@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author's name, surname: Vidas Žuraulis
Science degree and name: doctor's degree
Workplace and position: Vilnius Gediminas technical university, Faculty of Transport Engineering, Department of Automobile Transport, Associated professor
Author's research interests: Dynamics and modelling of vehicles, road safety issues
Telephone and e-mail address: +370 65200486, vidas.zuraulis@vgtu.lt

Author's name, surname: Paulius Skačkauskas
Science degree and name: Master's degree, Ph.D. Student
Workplace and position: Vilnius Gediminas technical university, Faculty of Transport Engineering, Department of Automobile Transport, Lector
Author's research interests: Dynamics and modelling of vehicles, autonomous vehicles
Telephone and e-mail address: +370 64271493, paulius.skackauskas@vgtu.lt

Author's name, surname: Vaidas Vadluga
Science degree and name: doctor's degree
Workplace and position: Vilnius Gediminas technical university, Faculty of Transport Engineering, Department of Automobile Transport, Associated professor
Author's research interests: Dynamics and modelling of vehicles
Telephone and e-mail address: +370 65784999, vaidas.vadluga@vgtu.lt

APDIRBIMO CENTRO „HAAS MINIMILL“ DINAMIKOS TYRIMAI

Darius Vainorius, Artūras Kilikevičius, Jonas Matijošius, Jurijus Tretjakovas
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija
Gaminant detales pagrindinis uždavinys yra gauti užduotus matmenis, paviršiaus mikrogeometrinius ir makrogeometrinius parametrus. Nors sparčiai tobulėjant technologijoms naudojami nauji medžiagų apdirbimo metodai, tačiau iki šiol vienas pagrindinių išlieka – mechaninis apdirbimas pjovimo įrankiais. Straipsnyje pateikiami eksperimentiškai gauti apdirbimo centro „HAAS MINIMILL“dinamikos tyrimų rezultatai.
Reikšmingi žodžiai: frezavimas, CNC centras, virpesiai.

Įvadas

Naudojant universalias stakles didelę įtaką galutiniam rezultatui daro žmogiškasis faktorius (darbuotojo patirtis, jo fizinė būklė), atskirų staklių grandžių netikslumai, ilgesnis gamybos laikas, reikia daugiau skirtingų įrenginių. Todėl šiuolaikinėje gamyboje detalės gaminamos CNC centrais, staklėmis su programiniu valdymu. Tokie centrai pasižymi standumu (viena pagrindinių staklių savybių), dideliu našumu ir tikslumu, todėl patogūs tiek masinėje, tiek vienetinėje gamyboje.

Metalo apdirbimo pramonė nuosekliai siekia precizinio detalių apdirbimo, didelio gamybos našumo taip pat ir trumpesnio aptarnavimo bei pasiruošimo gamybai laiko. Esant tokioms tendencijoms, vibracijų sukeltos problemos apdirbimo metu gali tapti dar rimtesnėmis ypatingai kokybei, tikslumui, įrankių tarnavimo laikui, staklių naudojimui ir detalių gamybos našumui. Be to sunkinantis įrankio dilimas gali sukelti jo lūžimą ir pačių staklių sugadinimą. Taigi analizuojant pjovimo proceso sukeltas vibracijas galima praplėsti dinaminio pjovimo pritaikymą šioje srityje be to tai būtų naudinga skaičiuojant pjovimo rėžimus ir planuojant pjovimo paviršius.

Apdirbant ruošinius pjovimu, įrankis su ruošiniu ir dar nenupjauta drožle liečiasi nedideliu kelių kvadratinių milimetrų plotu. Temperatūra ir slėgis kontakto zonoje yra palyginti aukšti (temperatūra gali siekti 1200 C, o slėgis apie 3000 N/mm^2) todėl įrankio dilimas yra neišvengiamas reiškinys. Atsižvelgiant į nenupjautos drožlės storio kitimą laike ir pjovimo gylį galime teigti, jog procesas yra dinaminis (Rmili 2009; Maia 1997). Dėl išvardintų parametrų kitimo, apdirbant delteles staklėse dėl pjovimo jėgos, tarp pjovimo įrankio ir ruošinio atsiranda poslinkis, o dėl grįžtamos reakcijos, judesys tarp įrankio ir ruošinio įtakoja pjovimo jėgas, pjovimo operacijos metu gali kilti staklių vibracijos kas veda į gamybos našumo mažėjimą dėl sumažintų pjovimo greičių ir tai taip pat turi įtakos apdirbtiems ruošinio paviršiams, nes paviršiai tampa nelygūs (banguoti). Virpesių žymės paliktos ruošinyje įtakoja sekančios pjovimo eigos pjovimo jėgas ir veda į sistemos virpesių padidėjimą, jei procesas nėra savaime stabilus dėl didelio pjovimo pločio, didelių pjovimo rėžimų koeficientų ar dėl lanksčios staklių konstrukcijos (Anyet 2009; Eynian 2010). Pjovimo jėgos priklauso ir nuo įrankio geometrijos ir medžiagos, įrankio laikiklio įtvirtinimo, ruošinio medžiagos, pastūmos ir pjovimo greičio. Esant nestabiliam pjovimo procesui staklių virpesių amplitudė gali augti eksponentiškai kol pasiekia dydį lygų ar artimą drožlės storiui. Šie įrankio virpesiai ruošinio atžvilgiu vadinami – staklių nestabilumu, tai sukelia pjovimo jėgų padidėjimą, kurios gali sugadinti stakles, pjovimo įrankį ir ruošinį. Todėl yra labai svarbu nustatyti net ir mažiausias vibracijas (Patwari 2009; Merdol 2008; Lin, 2008). Ilgą laiką tai buvo galima padaryti analintiu arba eksperimentiniu metodais. Tobulėjant kompiuterių technologijoms modalinei analizei atlikta galima taikyti skaitinį metodą.

Kaip jau minėta aukščiau jau yra aišku, kad vibracijos reiškinys pjovime turi didelę įtaką paviršiaus šiurkštumui ir detalės matmenų tikslumui kaip ir įrankio bei įrengimų ilgaamžiškumui. Išskiriami aukšto dažnio garsai taip pat gali sukelti aplinkos taršą triukšmu ir sumažėjusį produktyvumą. Todėl vibracija tapo vienu pagrindinių objektų nagrinėjamų pjovimo procese.

Tyrimo **tikslas** – atlikti apdirbimo centro „HAAS MINIMILL“ dinamikos tyrimus.

Tikslui pasiekti išsikelti **uždaviniai**:

1. Nustatyti staklių stabilumo įtaką staklių darbingumo rodikliams ir jų įtakojančius veiksnius;
2. Nustatyti gręžimo operacijos įtaką staklių staliuko virpesiams;
3. Nustatyti frezavimo operacijos įtaką staklių staliuko virpesiams.

Tyrimo priemonių ir metodų aprašymas

Virpesių parametrų matavimui buvo panaudotos „Brüel & Kjær“ virpesių matavimo priemonės. 1 paveiksle parodytos virpesių matavimo priemonės: 1. Kilnojama matavimo rezultatų apdorojimo įranga „3660-D“ su kompiuterių DEEL (1 pav. c). 2. Du trijų ašių akcelerometrai 4506 (1 pav. e). 3. Du akcelerometrai 8341 (1 pav. a).

1 pav. Abdirbimo centro virpesių parametrų matavimo ir analizės priemonės

Gauti matavimo signalai kompiuteriu buvo apdorojami, panaudojant programinius paketus Origin 6 ir Pulse. Buvo apskaičiuoti signalų spektrai, skirstiniai ir statistiniai parametrai:

Aritmetinis vidurkis:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \, . \qquad (1)$$

Standartinis nuokrypis:

$$S_X = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}\ . \tag{2}$$

Standartinis vidurkio nuokrypis (aritmetinio vidurkio vidutinė kvadratinė paklaida):

$$S_{\bar{X}} = \frac{S_X}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}\ . \tag{3}$$

Sklaida:

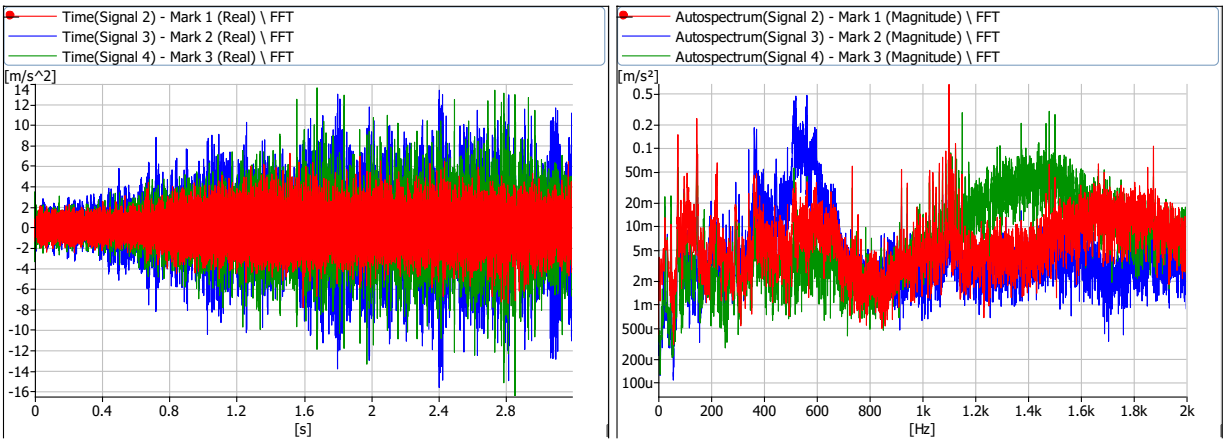
$$x_{sklaida} = x_{\max} - x_{\min}\,, \tag{4}$$

čia: n – matavimo rezultatų skaičius, x_i – i-asis matavimo rezultatas.

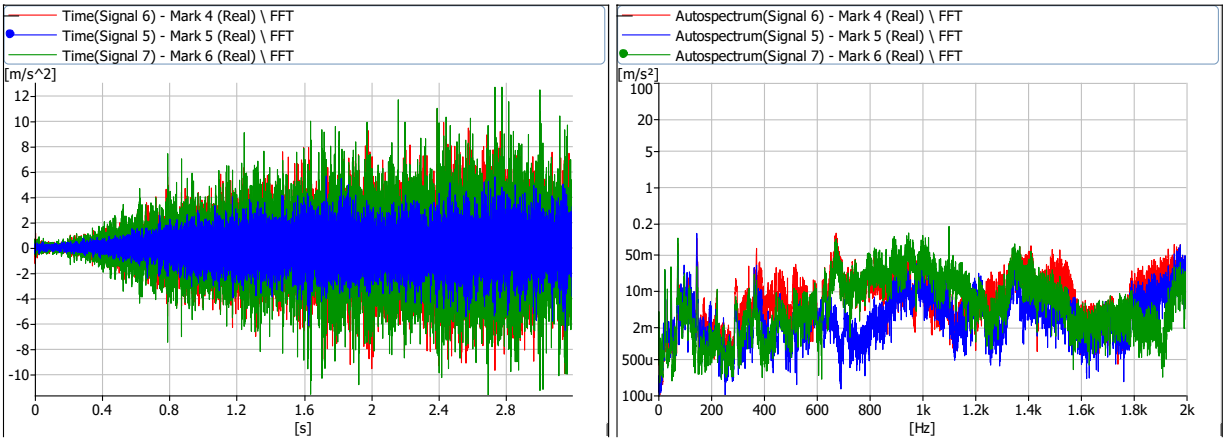
Apdirbimo staklių sūklio ir staliuko virpesiai

Virpesių matavimai buvo atlikti ant apdirbimo staklių sūklio ir staliukio (1 pav. d), kai buvo naudojami skirtingi apdirbimo būdai, t. y. gręžimas ir frezavimas. Matavimai atlikti trimis kryptimis, matavimams buvo naudojami 4506 triašiai akceleromektrai. Matavimo rezultatai pateikti 2 ir 3 paveiksluose.

2 paveiksle pateikti staklių sūklio (2 pav. a) ir staliukio (2 pav. b) atsakų rezultatai, kai staklės yra darbinėje būsenoje (atliekama gręžimo procedūra). 3 paveiksle pateikti staklių sūklio (3 pav. a) ir staliukio (3 pav. b) atsakų rezultatai, kai staklės yra darbinėje būsenoje (atliekama frezavimo procedūra).



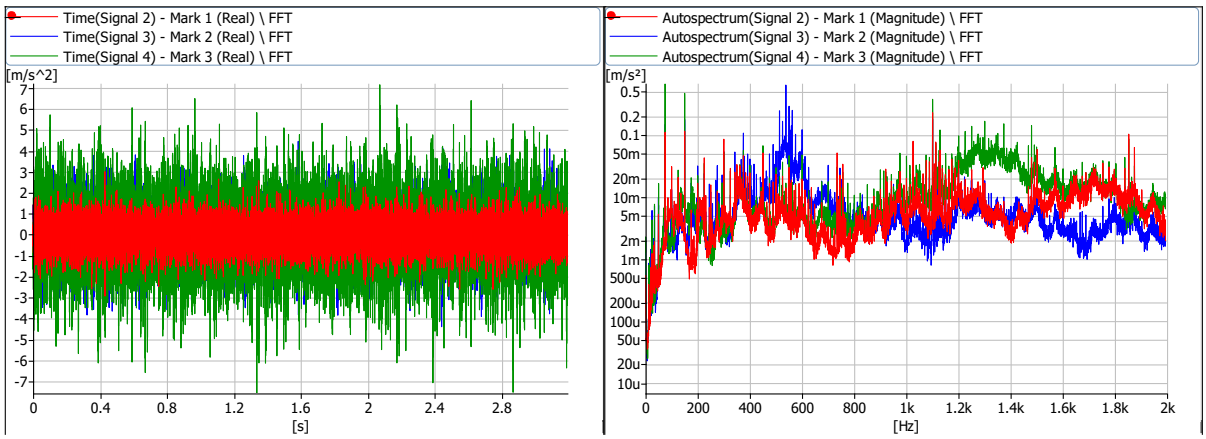
a)



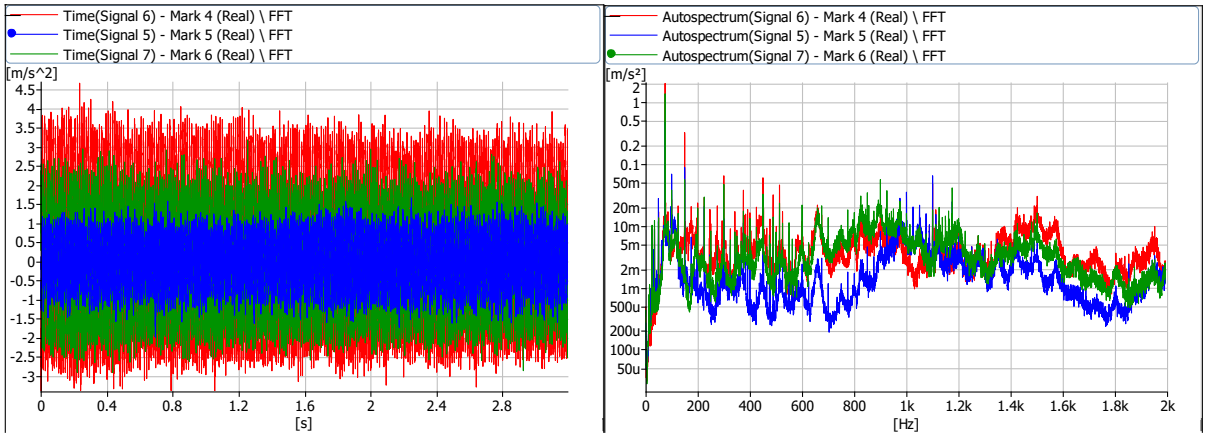
b)

2 pav. Staklių sūklio (a) ir staliukio (b), kai staklės yra darbinėje būsenoje (t.y. atliekama gręžimo procedūra), absoliučių virpesių pagreičio amplitudės laikinio signalo ir spektrinio tankio grafikai

2 paveikslo grafikai (kai staklės yra darbinėje būsenoje ir yra atliekama gręžimo procedūra) rodo, kad staklių sūklio virpesiai trimis kryptimis yra panašus, vertinant staklių staliuko virpesius trimis kryptimis matyti, kad horizontaliomis kryptimis virpesiai yra panašus, o vertikalia kryptimi yra mažesnės apie 30 %.



a)



b)

3 pav. Staklių sūklio (a) ir staliukio (b), kai staklės yra darbinėje būsenoje (t.y. atliekama frezavimo procedūra), absoliučių virpesių pagreičio amplitudės laikinio signalo ir spektrinio tankio grafikai

3 paveikslo grafikai (kai staklės yra darbinėje būsenoje ir yra atliekama frezavimo procedūra) rodo, kad staklių sūklio virpesiai horizontaliomis kryptimis virpesiai yra panašus, o vertikalia kryptimi yra mažesnės apie 30 %, vertinant staklių staliuko virpesius trimis kryptimis matyti, kad horizontaliomis kryptimis virpesiai yra panašus, o vertikalia kryptimi yra mažesnės apie 40 %.

Išvados

1. Atlikus informacijos šaltinių analizę nustatyta, jog staklių stabilumas yra labai svarbus reiškinys, siekiant didesnio gamybos našumo, staklių ilgaamžiškumo, ilgesnio įrankio tarnavimo laiko, tikslesnių pagamintų detalių matmenų ir mažesnio detalės paviršiaus šiurkštumo. Staklių stabilumui didelę įtaką taip pat turi pjovimo greitis, staklių konstrukcijos ir staklių elementų virpesiai.
2. Nustastyta, kad kai atliekamas gręžimas vertinant staklių staliuko virpesius trimis kryptimis matyti, kad horizontaliomis kryptimis virpesiai yra panašus, o vertikalia kryptimi yra mažesnės apie 30 %.
3. Nustastyta, kad kai atliekamas frezavimas staklių sūklio virpesiai horizontaliomis kryptimis virpesiai yra panašus, o vertikalia kryptimi yra mažesnės apie 30 %, vertinant staklių staliuko virpesius trimis kryptimis matyti, kad horizontaliomis kryptimis virpesiai yra panašus, o vertikalia kryptimi yra mažesnės apie 40 %.

Literatūra

1. Rmili W., Ouahabi A., Serra R., Kiuos M. Tool wear monitoring in turning processes using vibratory analysis. International Journal of Acoustics and Vibrations. 2009, Vol. 14, p. 4 – 11.
2. Maia N. M. M. and Silva J. M. M. E. Theoretical and Experimental Modal Analysis, John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 1997.
3. Anyet U. Patwari, Weleed F. Faris, A. K. M. Nurul Amin, S. K. Loh. Dynamic modal analysis of vertical machining centre components. Advances in Acoustics and Vibration. 2009, Vol. 2009, p. 125 – 136.
4. Eynian M. Chatter stability of turning and milling with process damping: Summary of the doctoral dissertation. The University of British Columbia. Vancouver, 39 p. 2010.

5. Patwari A. U., Faris W. F., Nurul Amin A. K. M. and Loh S. K. Dynamic modal analysis of vertical machining centre components. Advances in acoustics and vibrations. 2009, Vol. 2009, p. 10.
6. Merdol S. D. Virtual three-axis milling process simulation and optimization: Summary of the doctoral dissertation. The University of British Columbia. Vancouver. 2008, p. 48.
7. Lin S. Y., Chang R. W., Chung C. T., Chan C. K. Cutting stability investigation on a complicated free surface machining. Journal of achievements in materials and manufacturing engineering. 2008, Vol. 31. p. 531 – 539.

DYNAMICS RESEARCH OF HAAS MACHINING CENTER „MINIMILL"

Summary

The production of details there are the main challenge is to get the task dimensions, surface and macro geometric settings. While the rapidly developing technologies used in new materials, processing methods, but to date remains one of the key - machining cutting tools. The article presents the experimentally obtained HAAS machining center "MINIMILL" dynamic studies.

Key words: milling, CNC center, vibration.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Darius Vainorius.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos inžinerijos fakulteto Mechanikos inžinerijos katedros asistentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Mechanika, virpesiai, guolių diagnostika.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 6861 72389, darius vainorius@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Arturas Kilikevičius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos inžinerijos fakulteto Mechanikos inžinerijos katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Mechanika, virpesiai, guolių diagnostika.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 677 55819, arturas.kilikevicius@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Jonas Matijošius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 684 04169, jonas.matijosius@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Jurijus Tretjakovas.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto Mechanikos katedros docentas. VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Fundamentinių mokslų fakulteto Medžiagų atsparumo ir teorinės mechanikos katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Mechanika, aplinkosauga.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 686 21859, j.tretjakovas@vtdko.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Antanas Fursenko.
Science degree and name: master of science.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Mechanical Engineering Faculty Mechanical Engineering department assistant.
Author's research interests: Mechanics, vibrations, diagnostic of rolling.
Telephone and e-mail address: 8 6861 72389, darius vainorius@vgtu.lt

Author name, surname: Arturas Kilikevičius.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Mechanical Engineering Faculty Mechanical Engineering department associated professor.
Author's research interests: Mechanics, vibrations, diagnostic of rolling.
Telephone and e-mail address: 8 677 55819, arturas.kilikevicius@vgtu.lt
Author name, surname: Jonas Matijošius.

Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering Faculty Automobile Transport department associated professor.
Author's research interests: Transport ecology, alternative energetics.
Telephone and e-mail address: 8 684 04169, jonas.matijosius@vgtu.lt

Author name, surname: Jurijus Tretjakovas.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Technology and Design College, Technical faculty Mechanics department associated professor. Vilnius Gediminas Technical University, Fundamental Sciences Faculty Strength of Materials and Engineering Mechanics department associated professor.
Author's research interests: Mechanics, environmental.
Telephone and e-mail address: 8 686 21859, j.tretjakovas@vtdko.lt

TIESIAEIGĖS POZICIONAVIMO SISTEMOS VALDYMO METODŲ TYRIMAS

Artur Piščalov, Artūras Kilikevičius, Jonas Matijošius, Jurijus Zaranka
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

Šiame darbe bus pateikiami eksperimentiniais duomenimis paremti tiesiaeigės pozicionavimo sistemos, bei sistemos reguliatoriaus dinaminio modeliavimo, bei sistemos identifikavimo dažnių srityje rezultatai. Pozicionavimo sistemą, sudaro tiesiaeigis sinchroninis variklis, kreipiančiosios, padėties keitiklis, bei srovės kontūro reguliavimas. Reguliatorių sudaro pavaldaus greičio, padėties ir srovės valdymo kontūrai, bei filtrai. Remiantis literatūra, bei iteraciniais matematinės analizės metodais, buvo nustatyta, kad studijuojama pozicionavimo sistema galima aproksimuoti naudojant 6 eilės perdavimo funkcija. Remiantis literatūra, bei matematinės analizės metodais, atvirą sistemą galima aproksimuoti 6 eilės perdavimo funkcija

Reišminiai žodžiai: dinamika, dinaminis modeliavimas, identifikavimas dažnių srityje, nuolatinės srovės variklis, sub-mikro tiesiaeigė pozicionavimo sistema, skaitmeniniai reguliatoriai, PID, PIV, skaitmeniniai filtra, juostiniai filtrai, žemų dažnių filtrai.

Įvadas

Tiesiaeigės pavaros (TP) yra labai paplitusios įvairiose žmogaus veiklos srityse: gamyboje, metrologijoje, transportavime ir pan. (Jacek *et al.* 2004; Rimkevičienė *et al.* 2005; Persson 2006). Tiksliosios mechanikos, lanksčiosios gamybos, optinių komponentų gamybos, lazerių gamybos pramonėje, ypač svarbus tiesiaeigio judesio pakartojamumas, bei tikslumas.

Siekiant sumažinti kinematinių porų skaičių, bei iš to sekančius neapibrėžtumus (trintis, savieji virpesiai, dilimas ir t.t.), pramonėje vis plačiau taikomi tiesiaeigiai sinchroniniai varikliai (TSV). Remiantis TP teorija, TSV pagrindu kuriamos tiesiaeigės pozicionavimo sistemos (TPS) (Ruben 2010, Wang 2005; Kim *et al.* 2005). Šio uždavinio sprendimas, tampa aktualus tik tuo atveju, jei siekiamą pasiekti nano metrų (5...300nm) pozicionavimo pakartojamumą ir tuo pačių, mažus atstumus (50..500mm), judėti sąlyginai dideliu greičiu (300-2000 mm/s), esant mažesniems preciziškumo reikalavimams, būtina ir pakanka taikyti klasikinius sukiųjų variklių pagrindų suprojektuotas TPS .

Darbe **tikslas** – atlikti tiesiaeigės pozicionavimo sistemos valdymo metodų tyrimą.

Tikslui pasiekti išsikelti šie **uždaviniai**:

1. Sudaryti, fizinį objektą atitinkanti TPS matematinį modelį;
2. Atlikti eksperimentus taikant skirtingus reguliatorius, bei juos lydinčius signalą formuojančius filtrus.

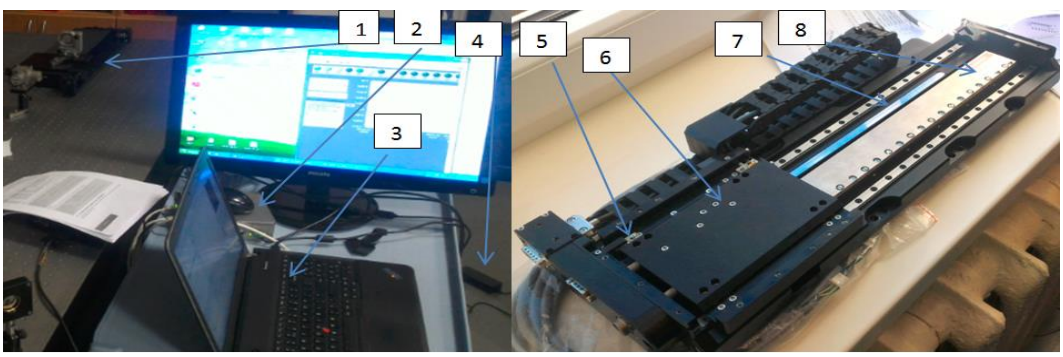
Analizuoti elektromechaninę sistemą laiko srityje yra patogu, tačiau neefektyvu, todėl darbui su mažas dydžiais, bei skaitmeninėm valdymo sistemom (SVS), literatūroje rekomenduojama dirbti su TVS modeliais dažnių srityje (Jamaludin 2008; Yin *et al.* 2009; Saiki *et al.* 2010). Tai supaprastina analizę, bei leidžia nuspėti sistemos dinamiką, žadinant ją įvairiais dažniais. Šiame tyrime didžiausias dėmesys skirtas būtent šio uždavinio sprendimui, bei perdavimo funkcijos nustatymui.

Sudarant TPS, bei reguloiatoriaus dinaminį modelį, būtina priimti tam tikras prielaidas, elektromechaninės sistemos analizei supaprastinti (Rimkevičienė *et al.* 2005).

Taikant klasikinę, dažnyje apriboto žadinimo (DAŽ) metodiką (Pintelon ir Schoukens 2001), nustatytas TPS, bei jo reguliatoriaus elgesys dažnių srityje, bei palyginta su analitiniu TPS modeliu.

Eksperimentinis stendas ir objektas

Darbe nagrinėjamas objektas yra precizinė tiesiaeigė, sub-mikro, pozicionavimo sistema 8MT140-300 (žr. 1 pav.).



1 pav. Eksperimentinis TPS stendas (kairėje); precizinė TPS (dešinėje): 1) MPS; 2) Keitiklis ir valdiklis; 3) PK; 4) Maitinimo šaltinis; 5) Priartėjimo jutikliai; 6) padėties keitiklis; 7) rastrinė liniuotė; 8) tiesiaeigis variklis.

TPS techninės charakteristikos yra nurodytos lentelėje 1 žemiau:

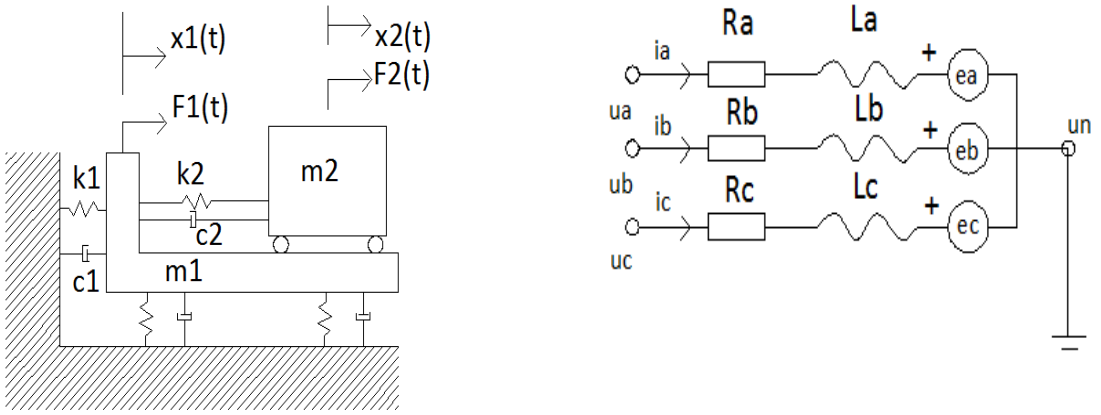
1 lentelė

TPS techninės charakteristikos

Parametras	Simbolis	Matavimo vienetai	Reikšmė
Srovės reguliatoriaus proporcinis koeficientas	SLKPI	-	74,1211E-4
Srovės reguliatoriaus integralinis koeficientas	SLKPI	-	39,0000E-2
Variklio apvijų varža,	R	Ω	6,5000
Variklio apvijų induktyvumas, H	L	H	0,8700E-3
Variklio elektro-mechaninė konstanta	K_M	N/A	13,9600
Vibro-izoliuojančios sistemos rezonansinis dažnis	f_r	Hz	47,8000
Vibro-izoliuojančios sistemos pagrindo masė	m_1	kg	175,7000
TPS judančios dalies masė	m_2	kg	1,2000
Vibro-izoliuojančios sistemos slopinimas	d_1	mms^2/N	1000,0000
Vibro-izoliuojančios sistemos standumas	k_1	mm/N	3,0080E+05
Žingsnis tarp variklio polių	t	mm	16,0000
Optinio keitiklio skiriamoji geba	K_E	mm	2,0000E-4

TPS elektro-mechaninės struktūros matematinis modeliavimas.

Modeliuojant precizines TPS sistemas, judesio kokybei įtakos turi be galo daug dedamųjų. Paprastai priimama, kad sistema dirba laboratorinėm sąlygom, o tai yra: aplinkos temperatūra stabili, pagrindo dinamiką yra žinoma, elektro-mechaninės sistemos dinamiką yra žinoma. TPS mechaninė (žr. 2 Pav.a), bei elektrinė (žr. 2 Pav. b) atstojamosios dinaminės schemos yra pateiktos žemiau (žr. 2 Pav.):



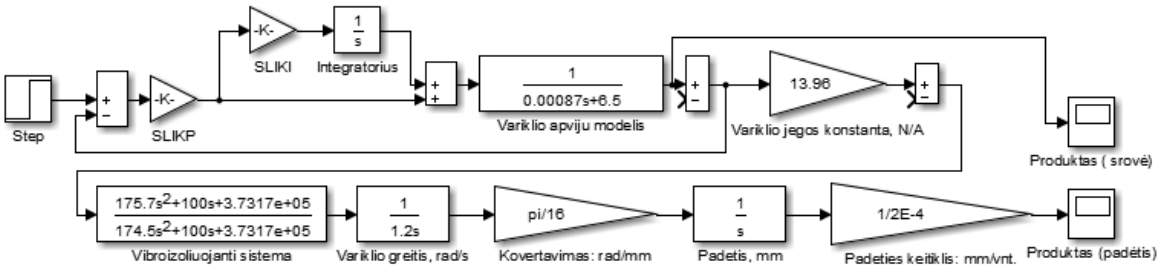
a b

2 pav. Dinaminės schemos: a – mechaninė TPS dalis; b – elektrinė TPS dalis

Prieš sudarant galutinį sistemos modelį, bei perdavimo funkciją, remiantis literature, būtina padaryti šias prielaidas TPS modelio supaprastinimui:

1. Variklio apvijos yra ne fero-magnetineje terpėje, tad apvijų įsisotinimas atmetamas (Jacek *et al.* 2004; Persson 2006).
2. Jeigu yra tenkinama pirmoji sąlyga, apvijų induktyvumas yra pastovus, o jo išvestinė laiko atžvilgiu lygi nuliui: dL/dt=0 (Jacek *et al.* 2004; Persson 2006)
3. Galios nuostoliai apvijose yra pastovus ir nuliniai dėl komutavimo sinusu (Persson 2006)
4. Paviršiaus efektas yra nevertinamas (Persson 2006).
5. Priešpriešinė elektromagnetinė jėga $e_{a,b,c}$, yra sinusinė ir simetriška įtampos ir srovės atžvilgiu.
6. Komutavimui naudojant padėties keitiklius $e_{a,b,c}$ nevertinama (Persson 2006).
7. Liekamasis induktuvumas kiekvienoje apvijoje yra pastovus ir lygus nuliui: $L_{al}=L_{bl}=L_{cl}= 0$ (Persson 2006).
8. Dėl specifinės variklio konstrukcijos, stūmos jėga, atsirandanti dėl tarpelio tarp rotoriaus ir statoriaus yra pastovi ir lygi nuliui: F= 0. (Persson 2006).
9. Statines ir dinaminė trintis yra lygi arba artima nuliui (Persson 2006).
10. Trintis yra tiesinė funkcija ir kinta tolygiai (Persson 2006).
11. Įtampos ir sroves yra simetrinės viena kitos atžvilgiu (Persson 2006).
12. Variklio mechaninė geometrija yra simetrine (Persson 2006).
13. Varža visose apvijose yra lygios ir laiko atžvilgiu pastovios: $R_a=R_b=R_c=R$ (Persson 2006).
14. Variklio fazės yra simetrinės, tad sistema galima nagrinėti kaip vienos fazės sinchroninę pavarą (Persson 2006).

Rezultate, Matlab Simulink aplinkoje sudaromas galutinis TPS modelis (žr. 2 Pav.):



3 pav. TPS dinaminis modelis

Taip pat, užrašoma sistemos perdavimo funkcija Laplaso srityje 1, remiantis :

$$\frac{U(s)}{X_1(s)} = \left(\frac{\left(\frac{K_{IP}s + K_{II}}{s}\right)\cdot\left(\frac{1}{Ls+R}\right)}{1+\left(\frac{K_{IP}s + K_{II}}{s}\right)\cdot\left(\frac{1}{Ls+R}\right)}\right)\cdot(K_M)\cdot\left(\frac{1}{m_2 s^2}\left(\frac{(m_2+m_1)s^2 + C_1 s + K_1)}{(m_1)s^2 + C_1 s + K_1)}\right)\right)\cdot\frac{K_{PP}}{2\pi}\cdot K_E = \tag{1}$$

$$= \frac{3.27e06s^3 + 1.722e8s^2 + 5.595e09s + 2.938e11}{0.1822s^6 + 1377s^5 + 1209s^4 + 2.367e06s^3 + 1.404e06s^2}$$

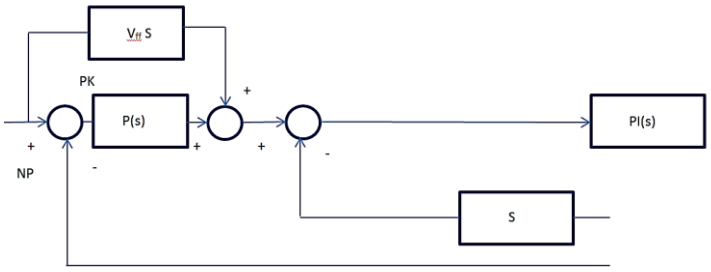
Reguliatoriaus dinaminis modeliavimas

Parenkant reguliatorių, būtina atkreipti dėmesį į tai, kad LADCh turi turėti kuo aukštesnį slopinimą, žemų dažnių srityje, bei turi turėti kuo mažiau rezonansų galinčių išvesti sistemą iš stabilumo būsenos aukštų dažnių srityje. Tuo pačių kontruoliuojamos sistemos fazės atsarga turi būti tarp 20 ir 30 laipsnių.

Šiame darbe, paprastumo dėlei, bus pasirinkti, klasikiniai, dviejų tipų pavaldauv valdymo reguliatoriai:

- Proporcinio tipo padėties reguliatorius su koreguojančia greičio grandimi, bei proporcinis-integralinis greičio reguliatorius (žr. 4 pav.)
- Proporcinio tipo padėties reguliatorius su koreguojančia greičios grandimi, bei proporcinio-integralinio tipo greičio reguliatorius su žemų dažnių filtrų greičio kontūre. (žr. 5 pav.).

Iš anksto eliminuojama diferencijuojanti grandis ir pakeičiama, koregavimo grandimi, dėl diferencialinio reguliatoriaus savybių: galimybės išvesti sistemą iš stabilumo , bei reguliatoriaus paprastumo.



4 pav. Proporcinio tipo padėties reguliatorius su koreguojančia greičio grandimi, bei proporcinis-integralinis greičio reguliatorius

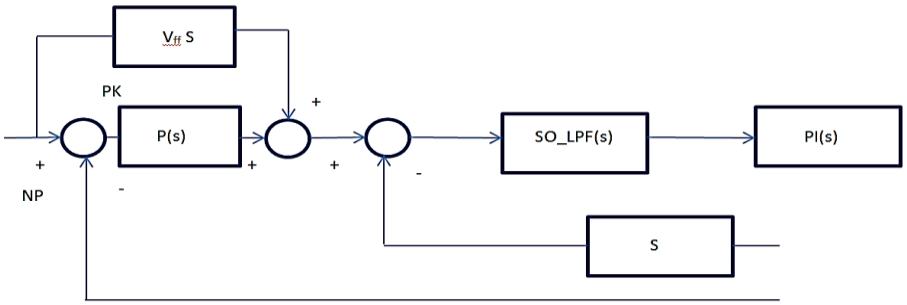
Aukščiau pavaizduota reguliatoriu galima aprašyti, nesudėtinga antros eilės perdavimo funkcija, su dviem realiai nuliais ir vienu nuliniu poliu, 2:

$$\frac{NP(s)}{FS(s)} = K_V\frac{(s+K_P)(s+K_I)}{s} =$$

$$= (1.1/2^{10})\cdot 1.986448E+2\cdot\frac{(s+4.712389\text{E+1})(s+(1.2/2^2)\cdot 3.088311E+2)}{s} =$$

$$= \frac{0.2134s^2 + 29.83s + 931.7}{s} \tag{2}$$

Taip pat, dažnai literatūroje sutinkamas, analogiškas patobulintas reguliatorius su greičio kontūre įterptu žemu dažniu filtru, mechaninių disbalansu eliminavimui.



5 pav. Proporcinio tipo padėties reguliatorius su koreguojančia greičios grandimi, bei proporcinio-integralinio tipo greičio reguliatorius su žemų dažnių filtrų greičio kontūre

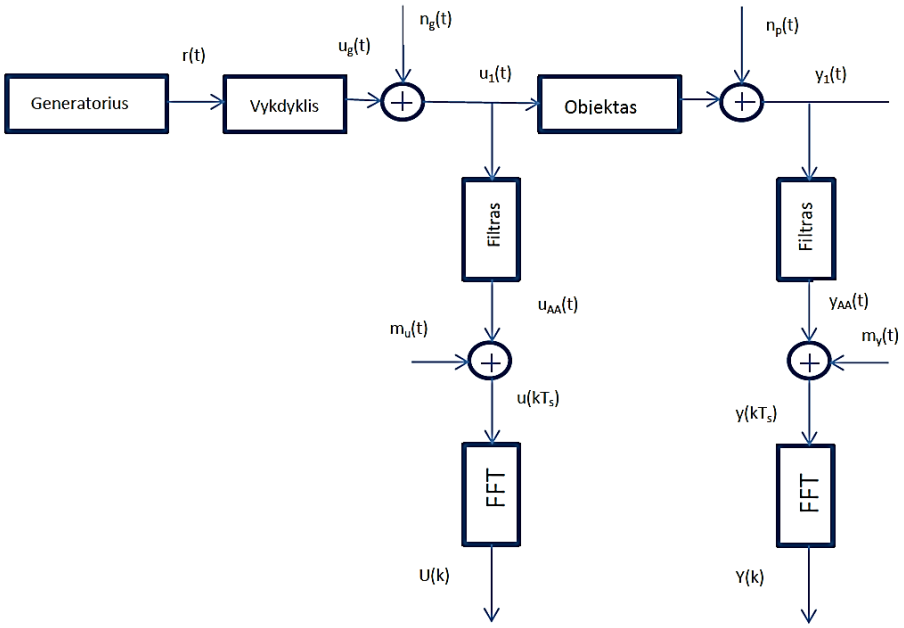
Aukščiau pavaizduota reguliatoriu galima aprašyti, nesudėtinga treičios eilės perdavimo funkcija, su dviem realiai nuliais, vienu nuliniu poliu, ir dviem realiais, nelygiais nuliui poliais, 3:

$$\frac{NP(s)}{FS(s)} = K_V \cdot \frac{(s+K_P)\cdot(s+K_I)}{s} \cdot \frac{1}{(\omega_c^{-1})^2 s^2 + 2\xi_D \omega_c^{-1} s + 1} =$$
$$= (1/2^{10}) \cdot 1.986448E+2 \cdot \frac{(s+4.712389\text{E+1})\cdot(s+(1.2/2^2)\cdot 3.088311E+2)}{s} \cdot \frac{1}{2.814\text{e-}07 s^2 + 0.0007502 s + 1} = \quad (3)$$
$$= \frac{0.194 s^2 + 27.11 s + 847}{2.814\text{e-}07 s^3 + 0.0007502 s^2 + s}$$

Verta pastebėti, kad šio tipo reguliatorius, padidina fazės vėlinimą, tačiau leidžia lengviau kontroliuoti slopinimą žemų dažnių srityje, bei sumažina žemų dažnių rezonansų galimybę.

Eksperimento schema

Sistemos perdavimo funkcijai, bei LADCh ir LFDCh, eksperimentiniu kelių nustatyti taikoma anksčiau minėtas, klasikinis periodinio žadinimo DAZ metodas, šio metodo schema pateikta žemiau (žr. 4 pav.):



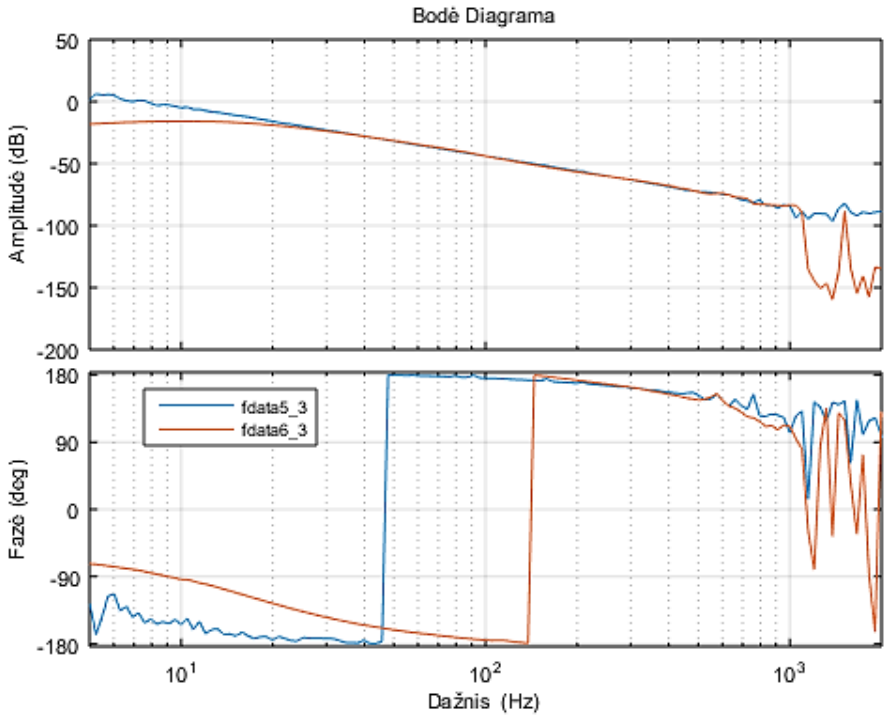
6 pav. DAZ metodinė schema

Dažnyje apriboto signalo generatorius jungiamas tiesiogiai prie nagrinėjamos sistemos. Generatorius formuoja sinuso signalą, kuris priklausomai nuo eksperimentų skaičiaus taške, keičią sinuso dažnį. Vykdyklis šiuo atveu yra srovės šaltinis kuris žadina sistema. Tariame, kad sistema žadinama srovės signalu. Signalo įėjime $u_1(t)$ generuojama jėga, o išėjime $y_1(t)$ gaunamas padėties pokytis. Pastarieji signalai yra filtruojami (paprastumo dėlei, atliekant eksperimentą priimame, kad filtrai yra tiesiniai), vėliau, taikant greitąją *Furjė* transformacija (FFT) gaunamas spektras arba sistemos LADCh ir LFDCh, kurie iliustruoją sistemos dinamiką dažnių srityje.

Šis metodas ne visada patogus (nes reikalauja daug atminties saugoti duomenis), bei finansiškai efektyvus, kai nagrinėjamos paprastos sistemos, tačiau būtinas, kai reikia nustatyti pažangių sistemų dinamines charakteristikas ir parinkti reikiamus valdymo dėsnius.

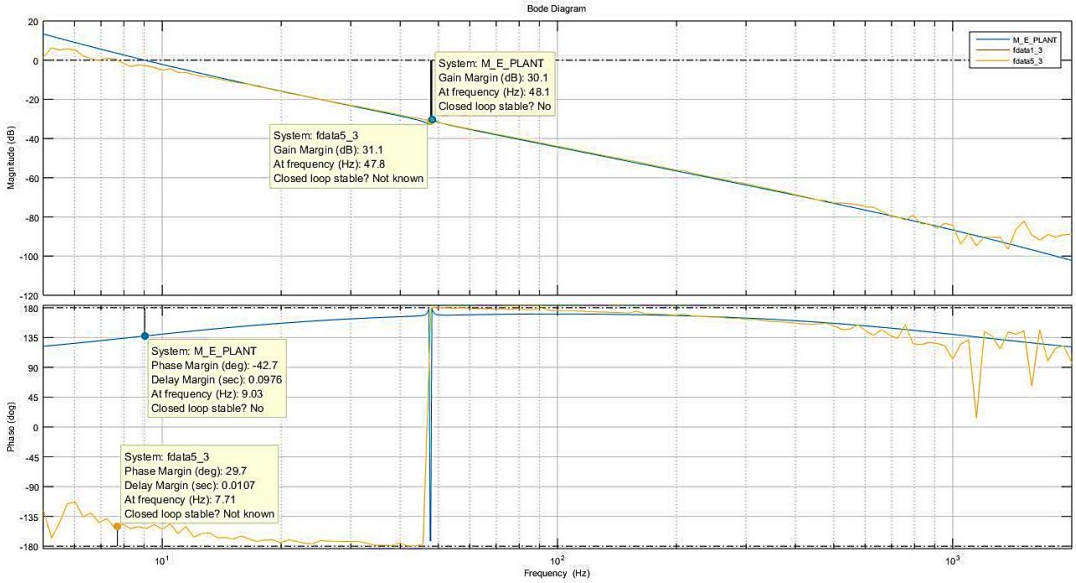
Elektromechaninės dalies identifikavimas

Taikant anksčiau aprašyta (DAZ) bandymo schemą, bei naudojant pirmajame skyriuje aprašytą bandymo stendą, buvo atlikti eksperimentai kurių rezultatai iliustruoti pavyzdyje (žr. 7 pav.):



7 pav. Eksperimentniu būdu nustatytos TPS perdavimo funkcijos: *fdata5-3* – TPS judėjimo režime; *fdata6-3* – TPS rimties režime

Atlikus du eksperimentus, nesunku pastebėti, kad rimties būsenoje esančios TPS LADCh ir LFDCh turi esminių skirtumų. Rimties būsenoje esančios sistemos slopinimas yra pastovus, rezonansų skaičius aukštų dažnių srityje ženkliai padaugėja, taip pat sistemos fazės persisukimas pasislenka beveik per 150 Hz dažnių ašyje. Tolesniame pavyzdyje (žr. 8 Pav.) yra iliustruoti eksperimentiniu, bei trečiajame skyriuje aprašytu analitinių kelių gautų perdavimo funkcijų LADCh ir LFDCh.

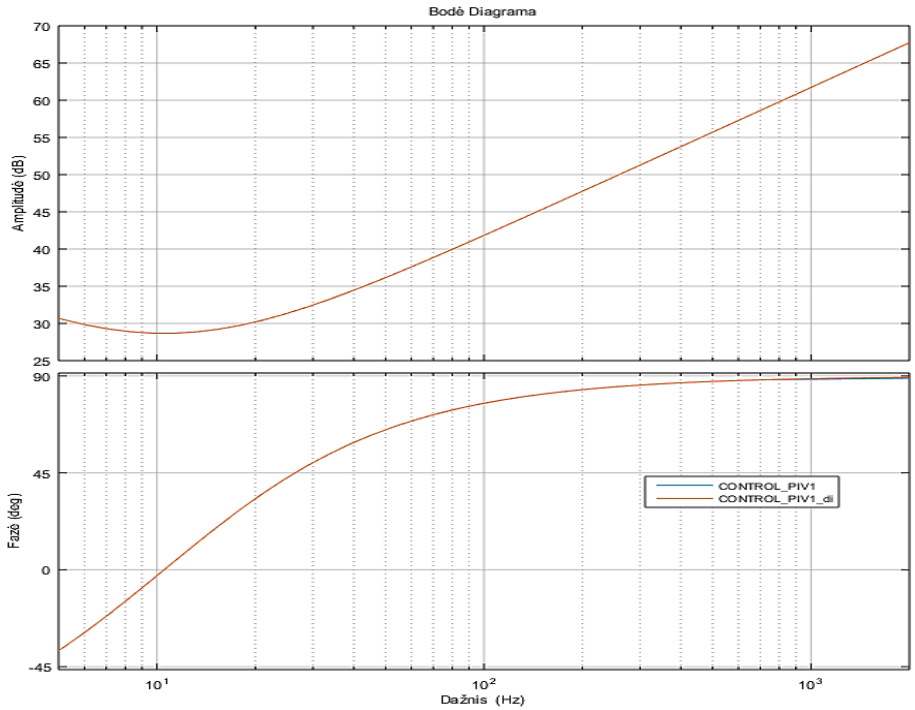


8 pav. Eksperimentiniu ir analitinių keliu gautos perdavimo funkcijų LADCh ir LFDCh

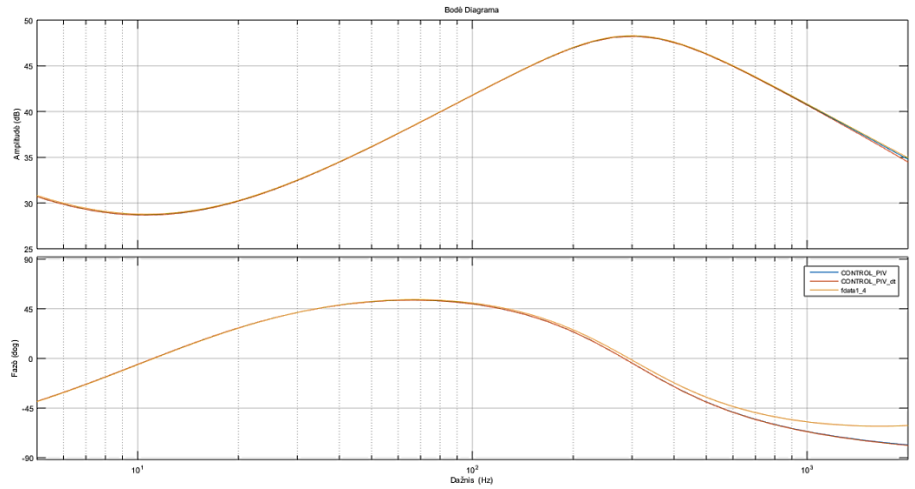
Iš aštuntame pavyzdyje iliustruoto analitinio, bei eksperimentinio modelių funkcijų LADCh ir LFDCh matyti, kad TPS modelio dinamiką yra artima realios fizinės TPS dinamika.

Reguliatorių identifikavimas

Taikant anksčiau aprašyta (DAZ) bandymo schemą, bei naudojant pirmajame skyriuje aprašytą bandymo stendą, buvo atlikti eksperimentai, reguliatorių LADCh ir LFDCh nustatyti. Eksperimentų rezultatai iliustruoti pavyzdžiai (žr.: 9 pav.: a ir b):



a



b

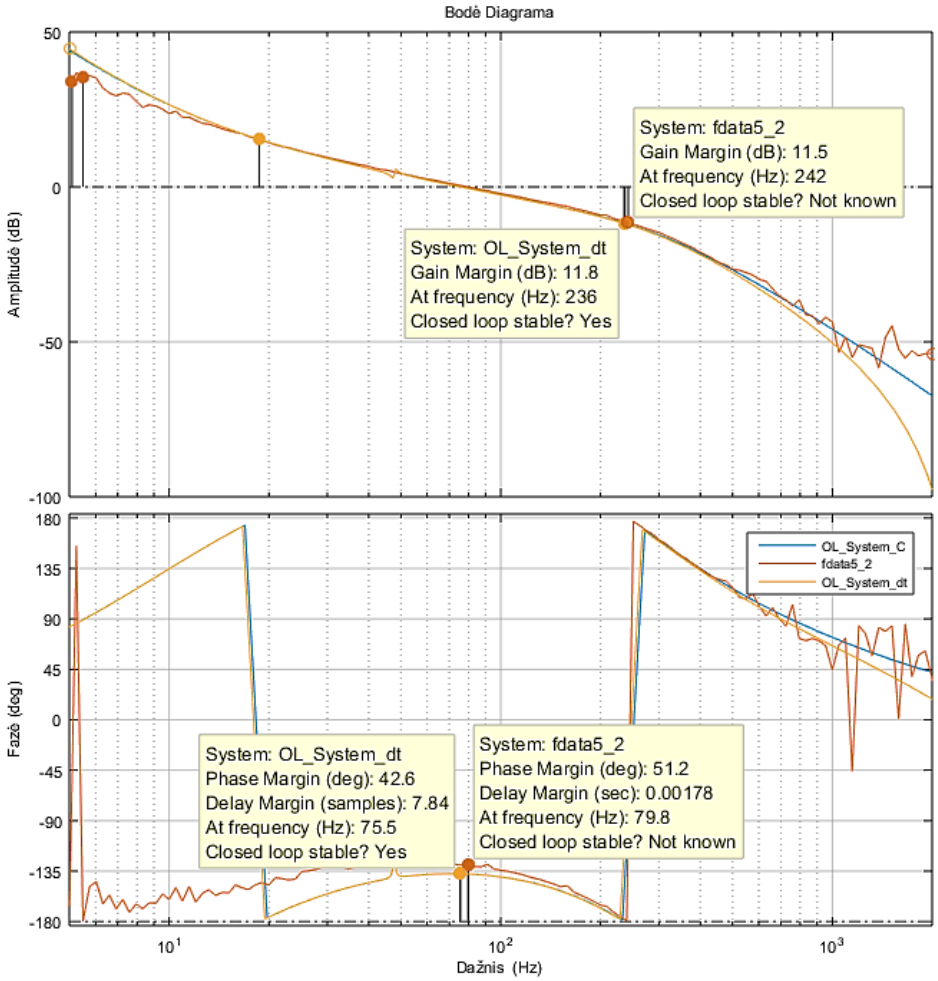
9 pav. Eksperimentiniu būdų nustatytos reguliatorių dažninių charakteristikų lyginimas su analitinėmis išraiškomis: a) Proporcinio tipo padėties reguliatorius su koreguojančia greičio grandimi, bei proporcinis-integralinis greičio reguliatorius; b) Proporcinio tipo padėties reguliatorius su koreguojančia greičio grandimi, bei proporcinio-integralinio tipo greičio reguliatorius su žemų dažnių filtrų greičio kontūre

Remiantis atliktais eksperimentais, bei analitiniais duomenimis, galima daryti prielaida, kad :

- Proporcinio tipo padėties reguliatorius su koreguojančia greičio grandimi, bei proporcinis-integralinis greičio reguliatorius, iš principo veikia kaip stiprintuvas, todėl būtina atsiranda galimybė sistemai tapti ne stabilia.
- Proporcinio tipo padėties reguliatorius su koreguojančia greičio grandimi, bei proporcinio-integralinio tipo greičio reguliatorius su žemų dažnių filtrų greičio kontūre veikia kaip paprasčiausias žemų dažnių filtras, todėl gali būti taikomas valdyti TPS.

Atviros, TPS ir TPS reguliatoriaus, identifikavimas

Remiantis atliktais eksperimentais, bei TPS ir reguliatorių identifikavimo duomenimis ir padarytomis prielaidomis, buvo sudarytas suminis modelis charakterizuojantis atvira TPS sistemą. Nauojant periodinį DAZ metodą, buvo atliktas sistemos identifikavimas (žr. 10 pav.):



10 pav. Atviros TPS sistemos, bei proporcinio tipo padėties reguliatorius su koreguojančia greičio grandimi, bei proporcinio-integralinio tipo greičio reguliatorius su žemų dažnių filtrų greičio kontūre eksperimentiniai, bei analitiniai rezultatai

Iš dešimtame pavyzdyje iliustruoto analitinio, bei eksperimentinio modelių funkcijų LADCh ir LFDCh matyti, kad atviro TPS modelio dinamiką yra artima realios, fizinės, atviros TPS dinamikai.

Išvados

- Remiantis literatūra, bei literatūroje siūlomais supaprastinimais ir prielaidomis, buvo sudarytas TPS, bei dviejų tipų reguliatorių matematiniai, bei simuliaciniai modeliai.
- Taikant periodinį DAZ metodą, buvo atlikti penki eksperimentai: TPS esant rimties būsenoje, TPS judant, reguliatoriui su ŽDF, reguliatoriaui be ŽDF, bei atvirtos TPS sistemos su reguliatorium (su ŽDF). Eksperimentų metu nustatyta, kad žadinant TPS rimties būsenoje, slopinimas žemų dažnių srityje yra pastovus, fazės persisukimas pasislenka per 150Hz dažnio ašyje, o rezonansų skaičius aukštų dažnių srityje yra didelis. Iš šių rezultatų, galime daryti prielaidą, kad dėl komutavimo metų atsirandančių trikdžių, bei statinės ir dinaminės trinties, rimties būsenoje nagrinėjamos sistemos dinamiką gali būti klaidingai interpretuota. Norint gauti objektyvius rezultatus, būtina taikyti du atskirus modelius, bei papildomai aprašyti trinties įtaką.
- Nagrinėjant klasikinių reguliatorių LADCh ir LFDCH, matyti, kad reguliatoriai su ŽDF veikia efektyviau ir turi teigiama slopinimą dažnių atžvilgiu (galima traktuoti, kaip žemų dažnių filtra), reguliatoriai be ŽDF turi pastovu stiprinimą ir gali išvesti dinaminę sistemą iš stabilumo būsenos.
- Nagrinėjant atviros TPS, bei reguliatoriaus su ŽDF dažnines chakateristikas matyti, kad jos yra labai artimos analitiniu būdu nustatytoms charakteristikoms.

- Lyginant analitinių, bei eksperimentiniu keliu gautas perdavimo funkcijų LADCh ir LFDCh, galima teigti, kad analitiniu keliu nustatytas TPS modelis yra artimas fizinės sistemai, todėl sudaryta modelį galima taikyti tolesniem sistemos dinamikos tyrimams.

Literatūra

1. Jacek F. Gieras, Zbigniew J. Piech, "Linear Synchronous Motors: Transportation and Automation Systems", CRC, 2004
2. R. Rinkevičienė, A. J. Poška, A. Smilgevičius, „Tiesiaeigės mechatroninės sistemos. Teorija ir taikymas", Monografija, VGTU leidykla Technika, 2006
3. J. Persson, "Innovative standstill position detection combined with sensorless contro synchronous motors", M. Sc. Thesis, 2005
4. S. D. Ruben , „Modeling, Control, and Real Time Optimization for a Nano-Precision System", disertation University of California, 2010
5. J. Wang, "Robust tracking controller design with application to the motion control of an x-y feed table for high-speed machining", Disertation, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, 2004.
6. W-J. Kim, T. Hu, and N.D. Bhat. "Design and Control of a 6-DOF High-Precision Integrated Positioner." In Proceedings of the American Control Conference, 2004.
7. Zamberi Jamaludin*, „DISSTRUBANCE COMPENSATION FOR MACHINE TOOLS WITH LINEAR MOTOR", disertation, Katholieke Universiteit Leuven. Belgium, 2008*
8. Wensheng Yin, Yu Zhu, Yixu Song, Jianfa Wang, Kaiming Yang, *„A dual-stage control system for high-speed, ultra-precise linear motion"* Springer-Verlag London Limited, 2009
9. *Kazuaki Saiki, Atsushi Hara, Koichi Sakata, Hiroshi Fujimoto, „A Study on High-Speed and High-Precision Tracking Control of Large-Scale Stage Using Perfect Tracking Control Method Based on Multirate Feedforward Control" , IEEE, 2010.*
10. R. Pintelon and J. Schoukens, "System identification – a frequency domain approach", IEEE Press, New Jersey, pp. 199-227, 2001.
11. A. Susperregui, G. Tapia and A. Tapia, „Application of two alternative sliding-mode control approaches to DC servomotor position tracking" IET Electric Power Applications, 2007.
12. Mingwei Sun, Zenghui Wang, Yongkun Wang, and Zengqiang Chen, „On Low-Velocity Compensation of Brushless DC Servo in the Absence of Friction Model", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 60, NO. 9, 2013

LINEAR POSITIONING SYSTEM MANAGEMENT RESEARCH METHODS

Summary

There was presented experimental data to support the linear positioning system, and the system controller dynamic modeling and system identification in the frequency domain results at this work. The positioning system consists of synchronous linear motor, guide rails, positioner, and the current loop control. The controller has a subordinate speed, position and current control circuits, and filters. According to the literature, and the iterative mathematical analysis, it founded that the positioning system could be studied using approximate six consecutive transfer function. According to the literature, and mathematical analysis methods, an open system can approximate six consecutive transfer function.

Key words: dynamic, dynamic modeling, identification in the frequency domain, DC motor, sub-micro linear positioning system, digital controllers, PID, PIV, digital filters, band filters, low pass filters.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Artur Piščalov.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos inžinerijos fakulteto Mechanikos inžinerijos katedros magistrantas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Mechanika, virpesiai, guolių diagnostika.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 654 21678, artur pisčalov@studvgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Arturas Kilikevičius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos inžinerijos fakulteto Mechanikos inžinerijos katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Mechanika, virpesiai, guolių diagnostika.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 677 55819, arturas.kilikevicius@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Jonas Matijošius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 684 04169, jonas.matijosius@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Jurijus Zaranka.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, lektorius
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros lektorius.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 699 33742, jurijus.zaranka@vilniausvt.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Artur Piščalov.
Science degree and name: master student.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Mechanical Engineering Faculty Mechanical Engineering department master student.
Author's research interests: Mechanics, vibrations, diagnostic of rolling.
Telephone and e-mail address: 8 654 21678, artur pisčalov@studvgtu.lt

Author name, surname: Arturas Kilikevičius.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Mechanical Engineering Faculty Mechanical Engineering department associated professor.
Author's research interests: Mechanics, vibrations, diagnostic of rolling.
Telephone and e-mail address: 8 677 55819, arturas.kilikevicius@vgtu.lt

Author name, surname: Jonas Matijošius.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering Faculty Automobile Transport department associated professor.
Author's research interests: Transport ecology, alternative energetics.
Telephone and e-mail address: 8 684 04169, jonas.matijosius@vgtu.lt

Author name, surname: Jurijus Zaranka.
Science degree and name: doctor, lector.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering Faculty Automobile Transport department lector.
Author's research interests: Transport ecology, alternative energetics.
Telephone and e-mail address: 8 699 33742, jurijus.zaranka@vilniausvt.lt

TIESIAEIGĖS POZICIONAVIMO SISTEMOS IDENTIFIKAVIMO TYRIMAS

Artur Piščalov, Artūras Kilikevičius, Jonas Matijošius, Kristina Čižiūnienė
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija
Šiame darbe bus pateikiami eksperimentiniais duomenimis paremti tiesiaeigės pozicionavimo sistemos dinaminio modeliavimo, bei sistemos identifikavimo dažnių srityje rezultatai. Pozicionavimo sistemą, sudaro tiesiaeigis sinchroninis variklis, kreipiančiosios, padėties keitiklis, bei srovės kontūro reguliavimas. Remiantis literatūra, bei iteraciniais matematinės analizės būdais, buvo nustatyta, kad studijuojama pozicionavimo sistema galima aproksimuoti naudojant 6 eilės perdavimo funkcija.
Reikšminiai žodžiai: dinaminis modeliavimas, identifikavimas dažnių srityje, nuolatinės srovės variklis, tiesiaeigės pozicionavimo sistema, mechatronika.

Įvadas

Tiesiaeigės pavaros (TP) yra labai paplitusios įvairiose žmogaus veiklos srityse: gamyboje, metrologijoje, transportavime ir pan. (Jacek *et al.* 2004; Rimkevičienė *et al.* 2005; Persson 2006). Tiksliosios mechanikos, lanksčiosios gamybos, optinių komponentų gamybos, lazerių gamybos pramonėje, ypač svarbus tiesiaeigio judesio pakartojamumas, bei tikslumas.

Siekiant sumažinti kinematinių porų skaičių, bei iš to sekančius neapibrėžtumus (trintis, savieji virpesiai, dilimas ir t.t.), pramonėje vis plačiau taikomi tiesiaeigiai sinchroniniai varikliai (TSV). Remiantis TP teorija, TSV pagrindu kuriamos tiesiaeigės pozicionavimo sistemos (TPS) (Ruben 2010, Wang 2005; Kim *et al.* 2005). Šio uždavinio sprendimas, tampa aktualus tik tuo atveju, jei siekiamą pasiekti nanometrų (5...300nm) pozicionavimo pakartojamumą ir tuo pačių, mažus atstumus (50..500mm), judėti sąlyginai dideliu greičiu (300-2000 mm/s), esant mažesniems preciziškumo reikalavimams, būtina ir pakanka taikyti klaisikinius sūkiųjų variklių pagrindų suprojektuotas TPS.

Darbe **tikslas** – atlikti tiesiaeigės pozicionavimo sistemos identifikavimo tyrimą.

Tikslui pasiekti išsikelti šie **uždaviniai**:

1. Sudaryti, fizinį objektą atitinkanti TPS matematinį modelį;
2. Sudaryti TPS matematinį bei simuliacinį modelį;
3. Atlikti eksperimentinius TPS tyrimus sistemai esant rimties būsenoje, bei sistemai judant;
4. Palyginti analitiniu bei eksperimentiniu keliu gautas perdavimo funkcijas LADCh ir LFDCh.

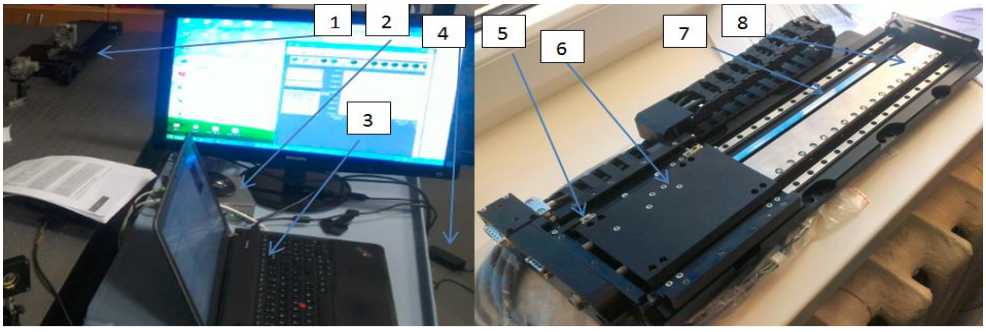
Tyrimo metodai: mokslinės literatūros analizė, periodinis DAZ metodas, eksperimentinis tyrimas.

Analizuoti elektromechaninę sistemą laiko srityje yra patogu, tačiau neefektyvu, todėl darbui su mažais dydžiais bei skaitmeninėm valdymo sistemom (SVS), literatūroje rekomenduojama dirbti su TVS modeliais dažnių srityje (Jamaludin 2008; Yin *et al.* 2009; Saiki *et al.* 2010). Tai supaprastina analizę, bei leidžia nuspėti sistemos dinamiką, žadinant ją įvairiais dažniais. Didžiausias dėmesys skiritas būtent šio uždavinio sprendimui, bei perdavimo funkcijos nustatymui.

Sudarant TPS dinaminį modelį, būtina priimti tam tikras prielaidas, elektromechaninės sistemos, analizei supaprastinti (Rimkevičienė *et al.* 2005).Taikant klasikinę, dažnyje apriboto žadinimo (DAŽ) metodiką (Pintelon ir Schoukens 2001), nustatytas TPS elgesys dažnių srityje, bei palyginta su analitiniu TPS modeliu.

Eksperimentinis stendas ir objektas

Darbe nagrinėjamas objektas yra precizinė tiesiaeigė, sub-mikro, pozicionavimo sistema 8MT140-300 (žr. 1 pav.).



1 pav. Eksperimentinis TPS stendas (kairėje); precizinė TPS (dešinėje): 1) MPS; 2) Keitiklis ir valdiklis; 3) PK; 4) Maitinimo šaltinis; 5) Priartėjimo jutikliai; 6) padėties keitiklis; 7) rastrinė liniuotė; 8) tiesiaeigis variklis.

TPS techninės charakteristikos yra nurodytos lentelėje 1 žemiau:

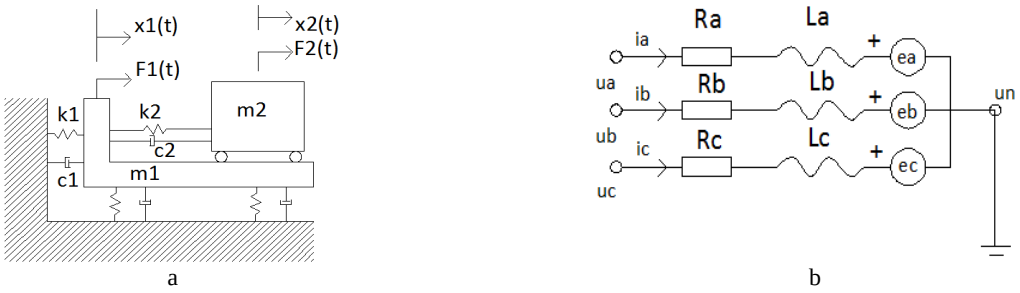
1 lentelė

TPS techninės charakteristikos

Parametras	**Simbolis**	**Matavimo vienetai**	**Reikšmė**
Srovės reguliatoriaus proporcinis koeficientas	SLKPI	-	74,1211E-4
Srovės reguliatoriaus integralinis koeficientas	SLKPI	-	39,0000E-2
Variklio apvijų varža,	R	Ω	6,5000
Variklio apvijų induktyvumas, H	L	H	0,8700E-3
Variklio elektro-mechaninė konstanta	K_M	N/A	13,9600
Vibro-izoliuojančios sistemos rezonansinis dažnis	f_r	Hz	47,8000
Vibro-izoliuojančios sistemos pagrindo masė	m_1	kg	175,7000
TPS judančios dalies masė	m_2	kg	1,2000
Vibro-izoliuojančios sistemos slopinimas	d_1	mms^2/N	1000,0000
Vibro-izoliuojančios sistemos standumas	k_1	mm/N	3,0080E+05
Žingsnis tarp variklio polių	t	mm	16,0000
Optinio keitiklio skiriamoji geba	K_E	mm	2,0000E-4

TPS elektro-mechaninės struktūros matematinis modeliavimas

Modeliuojant precizines TPS sistemas, judesio kokybei įtakos turi be galo daug dedamųjų. Paprastai priimama, kad sistema dirba laboratorinėm sąlygom, o tai yra: aplinkos temperatūra stabilį, pagrindo dinamiką yra žinoma, elektro-mechaninės sistemos dinamiką yra žinoma. TPS mechaninė (žr. 2 pav., a), bei elektrinė (žr. 2 pav., b) atstojamosios dinaminės schemos yra pateiktos žemiau (žr. 2 pav.):



2 pav. Dinaminės schemos: a – mechaninė TPS dalis; b – elektrinė TPS dalis

Aukščiau parodytą mechaninę (žr. 2 Pav.a), sistemą, galima aprašyti antros eilės diferencialinių lygčių sistema 1:

$$\begin{cases} m_1\ddot{x}_1(t) + (c_1 + c_2)\dot{x}_1(t) + (k_1 + k_2)x_1(t) - c_2\dot{x}_2(t) - k_2x_2(t) = F_1(t) \\ m_2\ddot{x}_2(t) + c_2\dot{x}_2(t) + k_2x_2(t) - c_2\dot{x}_1(t) - k_2x_1(t) = F_2(t) \end{cases} \quad (1)$$

čia $m_{1,2}$ – pagrindo, bei judančios TPS judančios dalies masės, kg; $c_{1,2}$ – pagrindo, bei judančios TPS dalies slopinimas, Nm/s^2; $k_{1,2}$ – pagrindo, bei TPS judančios dalies standumas m/N; $x_{1,2}(t)$ – pagrindo, bei judančios TPS dalies padėtis, m; $\dot{x}_{1,2}(t)$ - pagrindo, bei jundačios TPS dalies greitis, m/s; $\ddot{x}_{1,2}(t)$ - pagrindo, be jundačios TPS dalies pagreitis, m/s^2; $F_{1,2}(t)$ – pagrindo, be judančios TPS dalies generuojama jėga, N.

Literatūroje dažnai sutinkami elektromechniniai TPS modeliai, patvirtina tai, kad nei slopinimas, nei standumas pačioje pavaroje, yra nevertinami arba vertinami retai. Nors nagrinėjama TPS yra pakankamai paprasta kinematikos atžvilgiu, tyrinėjant nano ir sub-mikro dydžius, statinės ir dinaminės trinties dėsniai bus aprašomi sudėtingais ne tiesiniais modeliais, todėl toliau trintis nebus vertinama, o dinaminė sistema bus aprašoma dviguba integruojančia grandimi. Kita vertus, gerai žinomą pagrindo dinamika bus aprašyta diferencialine lygtimi.

Aukščiau nurodyta elektrinę (žr. 2 Pav.b) sistemos dalį modeliuojame, kaip klasikinį trifazi nuolatinės srovės variklį:

$$\begin{cases} u_a = R_a i_a + L\dfrac{di_a}{dt} + e_a \\ u_b = R_b i_b + L\dfrac{di_b}{dt} + e_b \\ u_c = R_c i_c + L\dfrac{di_c}{dt} + e_c \end{cases} \quad (2)$$

čia: $u_{a,b,c}$, $R_{a,b,c}$, $i_{a,b,c}$, $L_{a,b,c}$, $e_{a,b,c}$, atitinkama variklio apvijų įtampa,V; varža, Ohm; srovė, *A*; induktyvumas, *H*; galinės elektrovarą nusakanti konstantą, Vs/m.

Kadangi, galinės elektrovaros kuriama magnetinė jėga (BEMF), vertinama tik, tais atvejais, kai nagrinėjama sistema be fizinio grįžtamojo ryšio (angl.: sensorless), $e_{a,b,c}$ eliminuojame.

Elektrinę, bei mechaninę sistema tarpusavyje susieją lygtis 3:

$$F_M = K_m i_{a,b,c} = \frac{\pi \lambda_M i_{a,b,c}}{\tau} \tag{3}$$

čia F_M – variklio generuojama jėga, N; K_m – variklio jėgos konstanta N/A; λ_M - elektromagnetinio srauto konstanta *Vm;* τ - atstumas tarp skirtingo poliškumo polių, m.

Idealiu atveju, pozicionavimo sistemų srovių kontūrui valdyti naudojami analoginiai tiesiniai stiprintuvai (angl.: analog linear amplifier). Šių stiprintuvų naudojimas leidžia išvengti, dėl komutavimo atsirandančių švitavimų, bei supaprastiną sistemos modelį. Kita vertus, tiesiniai stiprintuvai yra brangus ir nepatikimi, todėl dažniausiai naudojami IGBT pagrindų veikiantis IPM keitikliai, kurių tranzistorių per perjungimo laikas (angl.: deadtime) nykstamai mažas (<5ns). Taikant skaitmeninius valdymo metodus, net ir gerai suderinti IPM gali veikti kaip analoginiai tiesiniai stiprintuvai. Remiantis tuo, kas pasakyta, pravartų elektrinės dalies modelyje, papildomai naudoti proporcini-integralinį (PI) reguliatorių, kurio deka srovės stipris apvijose bus efektyviai valdomas. PI reguliatorių, galima aprašyti lygtimi 4:

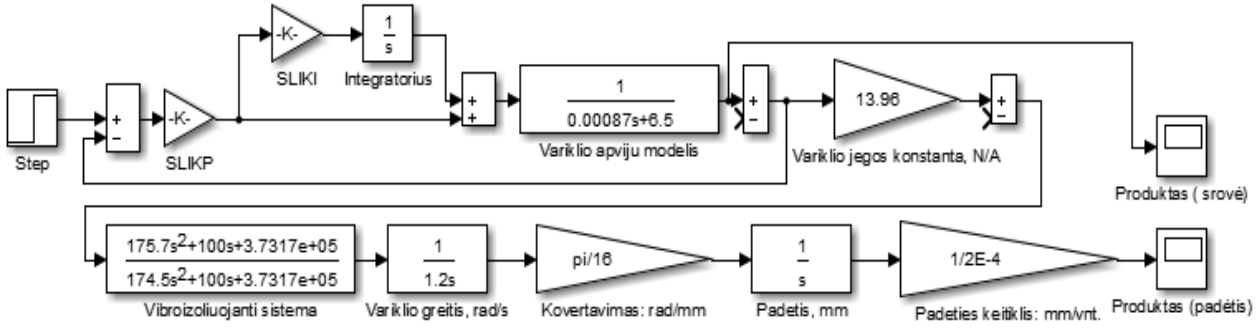
$$x(t) = K_P y(t) + K_i \int_0^{\infty} y(t)dt \tag{4}$$

čia *x(t)* – formuojantis (išėjimo) signalas; K_p – proporcinis stiprinimo koeficientas; K_i – integralinis stiprinimo koeficientas; *y(t)* formuojamas (įėjimo) signalas.

Prieš sudarant galutinį sistemos modelį, bei perdavimo funkciją, remiantis literature, būtina padaryti šias prielaidas TPS modelio supaprastinimui:

1. Variklio apvijos yra ne fero-magnetineje terpėje, tad apvijų įsisotinimas atmetamas (Jacek *et al.* 2004; Persson 2006).
2. Jeigu yra tenkinama pirmoji sąlyga, apvijų induktyvumas yra pastovus, o jo išvestinė laiko atžvilgiu lygi nuliui: dL/dt=0 (Jacek *et al.* 2004; Persson 2006).
3. Galios nuostoliai apvijose yra pastovus ir nuliniai dėl komutavimo sinusu (Persson 2006)
4. Paviršiaus efektas yra nevertinamas (Persson 2006).
5. Priešpriešinė elektromagnetinė jėga $e_{a,b,c}$, yra sinusinė ir simetriška įtampos ir srovės atžvilgiu.
6. Komutavimui naudojant padėties keitiklius $e_{a,b,c}$ nevertinama (Persson 2006).
7. Liekamasis induktuvumas kiekvienoje apvijoje yra pastovus ir lygus nuliui: $L_{al}=L_{bl}=L_{cl}= 0$ [3].
8. Dėl specifinės variklio konstrukcijos, stūmos jėga, atsirandanti dėl tarpelio tarp rotoriaus ir statoriaus yra pastovi ir lygi nuliui: F= 0. (Persson 2006).
9. Statines ir dinaminė trintis yra lygi arba artima nuliui (Persson 2006).
10. Trintis yra tiesinė funkcija ir kinta tolygiai (Persson 2006).
11. Įtampos ir sroves yra simetrinės viena kitos atžvilgiu (Persson 2006).
12. Variklio mechaninė geometrija yra simetrine (Persson 2006).
13. Varža visose apvijose yra lygios ir laiko atžvilgiu pastovios: $R_a=R_b=R_c=R$ (Persson 2006).
14. Variklio fazės yra simetrinės, tad sistema galima nagrinėti kaip vienos fazės sinchroninę pavarą (Persson 2006).

Rezultate, Matlab Simulink aplinkoje sudaromas galutinis TPS modelis (žr. 2 pav.):



3 pav. TPS dinaminis modelis

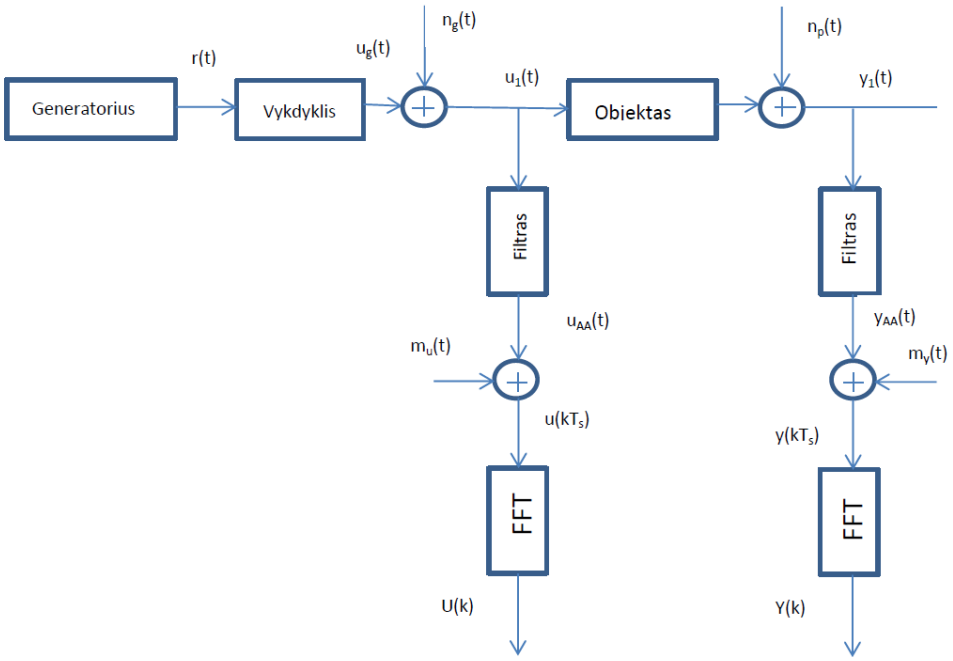
Taip pat, remiantis (1),(2),(3),(4) užrašoma sistemos perdavimo funkcija Laplaso srityje 5, remiantis :

$$\frac{U(s)}{X_1(s)} = \left(\frac{\left(\frac{K_{IP}s + K_{II}}{s}\right)\cdot\left(\frac{1}{Ls+R}\right)}{1+\left(\frac{K_{IP}s + K_{II}}{s}\right)\cdot\left(\frac{1}{Ls+R}\right)}\right)\cdot(K_M)\cdot\left(\frac{1}{m_2 s^2}\left(\frac{(m_2+m_1)s^2 + C_1 s + K_1}{(m_1)s^2 + C_1 s + K_1}\right)\right)\cdot\frac{K_{PP}}{2\pi}\cdot K_E = \quad (5)$$

$$= \frac{3.27e06s^3 + 1.722e8s^2 + 5.595e09s + 2.938e11}{0.1822s^6 + 1377s^5 + 1209s^4 + 2.367e06s^3 + 1.404e06s^2}$$

Eksperimento schema

Sistemos perdavimo funkcijai, bei LADCh ir LFDCh, eksperimentiniu kelių nustatyti taikoma anksčiau minėtas, klasikinis periodinio žadinimo DAZ metodas, šio metodo schema pateikta žemiau (žr. 4 Pav.):



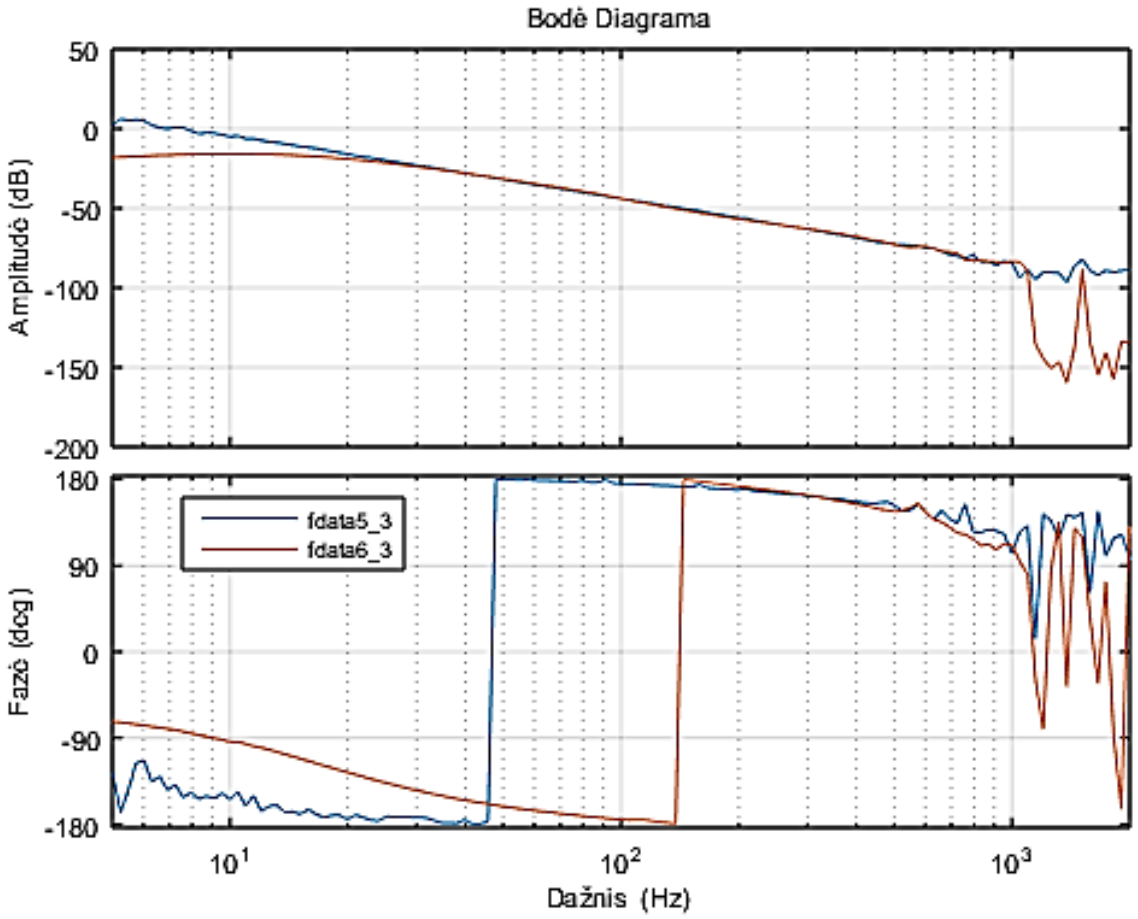
4 pav. DAZ metodinė schema

Dažnyje apriboto signalo generatorius jungiamas tiesiogiai prie nagrinėjamos sistemos. Generatorius formuoja sinuso signalą, kuris priklausomai nuo eksperimentų skaičiaus taške, keičią sinuso dažnį. Vykdyklis šiuo atveu yra srovės šaltinis kuris žadina sistema. Tariame, kad sistema žadinama srovės signalu. Signalo įėjime $u_1(t)$ generuojama jėga, o išėjime $y_1(t)$ gaunamas padėties pokytis. Pastarieji signalai yra filtruojami (paprastumo dėlei, atliekant eksperimentą priimame, kad filtrai yra tiesiniai), vėliau, taikant greitąją *Furjė* transformacija (FFT) gaunamas spektras arba sistemos LADCh ir LFDCh, kurie iliustruoją sistemos dinamiką dažnių srityje.

Šis metodas ne visada patogus (nes reikalauja daug atminties saugoti duomenis), bei finansiškai efektyvus, kai nagrinėjamos paprastos sistemos, tačiau būtinas, kai reikia nustatyti pažangių sistemų dinamines charakteristikas ir parinkti reikiamus valdymo dėsnius.

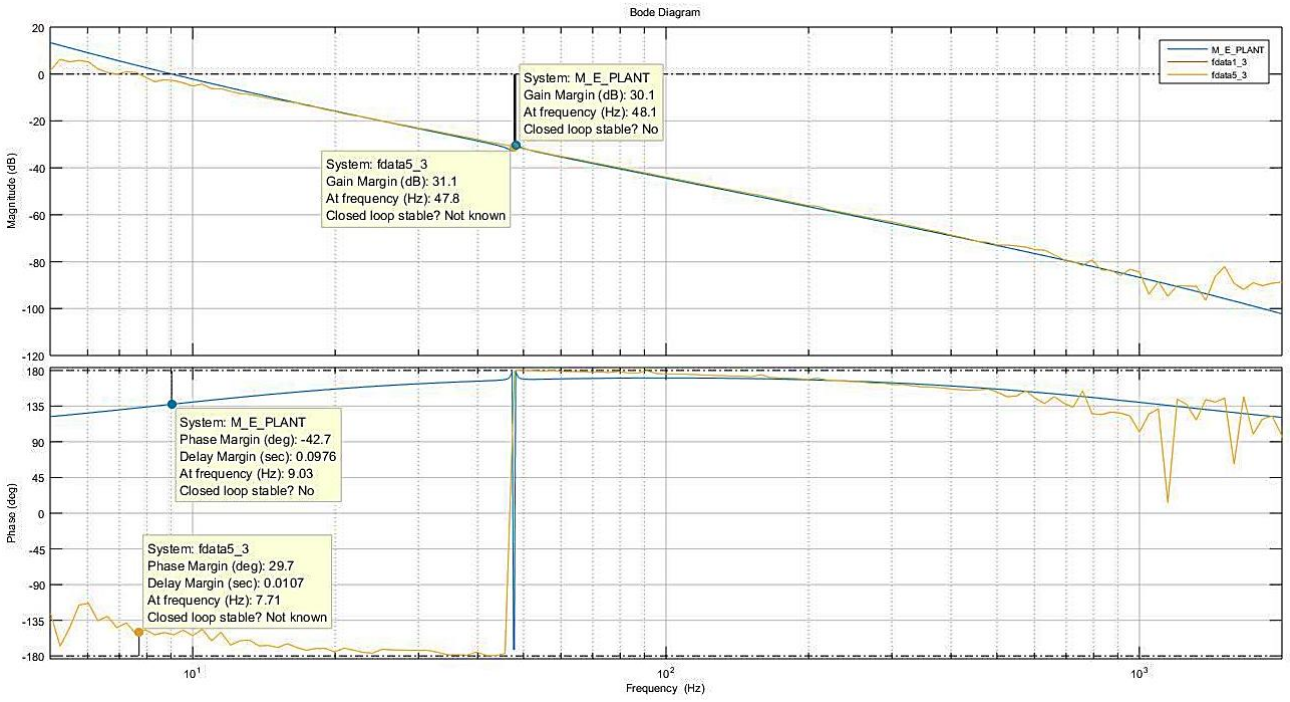
Eksperimento rezultatai

Taikant anksčiau aprašyta (DAZ) bandymo schemą, bei naudojant pirmajame skyriuje aprašytą bandymo stendą, buvo atlikti eksperimentai kurių rezultatai iliustruoti pavyzdyje (žr. 5 pav.):



5 pav. Eksperimentniu būdu nustatytos TPS perdavimo funkcijos: *fdata5-3* – TPS judėjimo režime; *fdata6-3* – TPS rimties režime.

Atlikus du eksperimentus, nesunku pastebėti, kad rimties būsenoje esančios TPS LADCh ir LFDCh turi esminių skirtumų. Rimties būsenoje esančios sistemos slopinimas yra pastovus, rezonansų skaičius aukštų dažnių srityje ženkliai padaugėja, taip pat sistemos fazės persisukimas pasislenka beveik per 150 Hz dažnių ašyje. Tolesniame pavyzdyje (žr. 6 Pav.) yra iliustruoti eksperimentiniu, bei trečiajame skyriuje aprašytu analitinių kelių gautų perdavimo funkcijų LADCh ir LFDCh.



6 pav. Eksperimentiniu ir analitinių keliu gautos perdavimo funkcijų LADCh ir LFDCh

Iš šeštame pavyzdyje iliustruoto analitinio, bei eksperimentinio modelių funkcijų LADCh ir LFDCh matyti, kad TPS modelio dinamiką yra artima realios fizinės TPS dinamika.

Išvados

1. Remiantis literatūra, bei literatūroje siūlomais supaprastinimais ir prielaidomis, buvo sudarytas TPS matematinis, bei simuliacinis modeliai.
2. Taikant periodinį DAZ metodą, buvo atlikti du eksperimentai: sistemai esant rimties būsenoje, bei sistemai judant. Eksperimentų metu nustatyta, kad žadinant TPS rimties būsenoje, slopinimas žemų dažnių srityje yra pastovus, fazės persisukimas pasislenka per 150Hz dažnio ašyje, o rezonansų skaičius aukštų dažnių srityje yra didelis. Iš šių rezultatų, galime daryti prielaidą, kad dėl komutavimo metų atsirandančių trikdžių, bei statinės ir dinaminės trinties, rimties būsenoje nagrinėjamos sistemos dinamiką gali būti klaidinga ir ne objektyvi. Norint gauti objektyvius rezultatus, būtina taikyti du atskirus modelius, bei papildomai aprašyti trinties įtaką.
3. Lyginant analitinių, bei eksperimentiniu keliu gautas perdavimo funkcijų LADCh ir LFDCh, galima teigti, kad analitiniu keliu nustatytas TPS modelis yra artimas fizinės sistemai, todėl sudaryta modelį galima taikyti tolesniem sistemos dinamikos tyrimams.

Literatūra

13. Jacek F. Gieras, Zbigniew J. Piech, "Linear Synchronous Motors: Transportation and Automation Systems", CRC, 2004
14. R. Rinkevičienė, A. J. Poška, A. Smilgevičius, „Tiesiaeigės mechatroninės sistemos. Teorija ir taikymas", Monografija, VGTU leidykla Technika, 2006
15. J. Persson, "Innovative standstill position detection combined with sensorless contro synchronous motors", M. Sc. Thesis, 2005
16. Shalom Dover Ruben, „Modeling, Control, and Real Time Optimization for a Nano-Precision System", disertation University of California, 2010
17. J. Wang, "Robust tracking controller design with application to the motion control of an x-y feed table for high-speed machining", Disertation, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, 2004.
18. W-J. Kim, T. Hu, and N.D. Bhat. "Design and Control of a 6-DOF High-Precision Integrated Positioner." In Proceedings of the American Control Conference, 2004.
19. *Zamberi Jamaludin, „DISSTRUBANCE COMPENSATION FOR MACHINE TOOLS WITH LINEAR MOTOR", disertation, Katholieke Universiteit Leuven. Belgium, 2008*
20. Wensheng Yin, Yu Zhu, Yixu Song, Jianfa Wang, Kaiming Yang, *„A dual-stage control system for high-speed, ultra-precise linear motion"* Springer-Verlag London Limited, 2009
21. *Kazuaki Saiki, Atsushi Hara, Koichi Sakata, Hiroshi Fujimoto, „A Study on High-Speed and High-Precision Tracking Control of Large-Scale Stage Using Perfect Tracking Control Method Based on Multirate Feedforward Control", IEEE, 2010.*
22. R. Pintelon and J. Schoukens, "System identification – a frequency domain approach", IEEE Press, New Jersey, pp. 199-227, 2001.

LINEAR POSITIONING SYSTEM IDENTIFICATION TEST

Summary

There were presented experimental data to support the linear positioning system dynamic modeling and system identification in the frequency domain results this work. The positioning system consists of synchronous linear motor, guide rails, positioner, and the current loop control. From literature, and iterative methods of mathematical analysis, it founded that the positioning system could be studied using approximate six consecutive transfer function.

Key words: dynamic modeling, identification in the frequency domain, DC motor, linear positioning system, mechatronics.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Artur Piščalov.
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras.
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos inžinerijos fakulteto Mechanikos inžinerijos katedros magistrantas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Mechanika, virpesiai, guolių diagnostika.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 654 21678, artur pisčalov@studvgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Arturas Kilikevičius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos inžinerijos fakulteto Mechanikos inžinerijos katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Mechanika, virpesiai, guolių diagnostika.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 677 55819, arturas.kilikevicius@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Jonas Matijošius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Automobilių transporto katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Transporto ekologija, alternatyvioji energetika.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 684 04169, jonas.matijosius@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Kristina Čižiūnienė.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktarė, lektorė
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Technikos fakulteto Automobilių transporto katedros lektorė. VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto Logistikos ir transporto vadybos katedros docentė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Mechanika, aplinkosauga, logistika.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 653 62824, k.ciziuniene@vtdko.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Artur Piščalov.
Science degree and name: master student.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Mechanical Engineering faculty Mechanical Engineering department master student.
Author's research interests: Mechanics, vibrations, diagnostic of rolling.
Telephone and e-mail address: 8 654 21678, artur pisčalov@studvgtu.lt

Author name, surname: Arturas Kilikevičius.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Mechanical Engineering faculty Mechanical Engineering department associated professor.
Author's research interests: Mechanics, vibrations, diagnostic of rolling.
Telephone and e-mail address: 8 677 55819, arturas.kilikevicius@vgtu.lt

Author name, surname: Jonas Matijošius.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Automobile Transport department associated professor.
Author's research interests: Transport ecology, alternative energetics.
Telephone and e-mail address: 8 684 04169, jonas.matijosius@vgtu.lt

Author name, surname: Kristina Čižiūnienė.
Science degree and name: doctor, lector.
Workplace and position: Vilnius Technology and Design College, Technical faculty Automobile Transport department lector. Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty Logistics and Transport Management department associated professor.
Author's research interests: Mechanics, environmental, logistics.
Telephone and e-mail address: 8 653 62824, k.ciziuniene@vtdko.lt

GIROELEKTRINIŲ BANGOLAIDŽIŲ MODELIŲ ELEKTRODINAMINIŲ PARAMETRŲ PROGNOZAVIMAS TAIKANT DIRBTINIŲ NEURONŲ TINKLUS

Darius Plonis, Audrius Krukonis, Andrius Katkevičius, Dalius Matuzevičius
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

Girotropiniai *n* ir *p* tipo bangolaidžiai dažniausiai tiriami tradiciniais analitiniais ir skaitiniais metodais. Konkretaus bangolaidžio modelio skaičiavimo laikas gali užtrukti net iki kelių parų. Pirmame tyrimų etape modelio konstrukciją ir skaičiavimus gali tekti kartoti daug kartų, todėl skaičiavimų laikas turi daug įtakos bendram tyrimo laikui. Siekiant taupyti tyrimo laiką tyrimams buvo pritaikyti dirbtinių neuronų tinklai (DNT). Tyrimas parodė, kad vidutinis skirtumas tarp rezultatų, naudojant tradicinius ir DNT metodus, neviršija 6,5 %. Toks skirtumas nedaro įtakos galutiniam sistemos darbui. Kita vertus, naudojant DNT prognozavimas atliekamas apie 3000 kartų greičiau nei tradiciniais metodais.

Reikšminiai žodžiai: Iteraciniai skaičiavimai, dažninės charakteristikos, bangolaidžiai, neuronų tinklai.

Įvadas

Bangolaidžiai plačiai naudojami antenose (Vukomanovic, 2015: 2055–2060), fazės keitikliuose (Nataraj, 2016: 1–3), fazės moduliatoriuose (Song-Jin, 2016: 1–8) ir kituose mikrobangų įtaisuose. Kadangi kuriami vis sudėtingesni įtaisai, jiems įgyvendinti reikia vis sudėtingesnių bangolaidžių struktūrų modelių. Vienas iš jų būtų giroelektriniai bangolaidžiai (Serrano, 2015: 951–960). Tokius naujo tipo bangolaidžius sudaro dielektrinis pagrindas su anizotropiniu dielektriniu sluoksniu. Tokio tipo bangolaidžiai gali būti panaudoti telekomunikacijose (Rivera-Lavado, 2015: 882–890) bei fotoninėse perdavimo linijose (Yang, 2015: 221–224). Tokio tipo bangolaidžių tyrimams taikomi tradiciniai analitiniai ir skaitiniai metodai. Skaitiniais metodais bangolaidžiai dažniausiai modeliuojami taikant komercinius programų paketus. Pavyzdžiui GaAs puslaidininkio pagrindo keitiklis modeliuotas, taikant *CST Microwave Studio®*, kurio pagrindą sudaro baigtinių skirtumų laiko srities metodas (Chaturvedi, 2013: 201–209). (Kelebekler, 2011: 1084–1088) plazminių cilindrinių bangolaidžių tyrimuose taikė momentų metodą. (Liu, 2000: 231-259) apskritojo bangolaidžio su laidžiu paviršiumi, kuris užpildytas giroelektrine medžiaga, tyrimuose naudojo Gryno funkcijas.

Kiekvieno aukščiau pateikto bangolaidžio modelio skaičiavimo laikas, taikant tradicinius analitinius ir iteracinius metodus gali užtrukti net iki kelių dienų. Tokiu būdu visas vieno modelio tyrimo laikas gali būti dar ilgesnis, nes pirmame tyrimo etape ieškant optimalių bangolaidžio konstrukcinių parametrų, skaičiavimus gali tekti kartoti daug kartų. Tokiu atveju ilgas skaičiavimo laikas tampa problema. Be to, taikant iteracinius skaičiavimus susiduriama su problema, kai skaičiavimo metu dispersinė lygtis neturi sprendinių, arba turi kelis sprendinius, iš kurių reikia atrinkti teisingąjį.

Anksčiau išvardintiems sunkumams spręsti gali būti taikomi dirbtinių neuronų tinklai (Sivia, 2013: 251–267). Antenos gali būti analizuojamos taikant daugiasluoksnio perceptronų neuronų tinklo variantą. Pavyzdžiui, (Ghayoula, 2016: 45–58) modeliuotas antenų gardelių kryptingumas, taikant dirbtinių neuronų tinklus. Dirbtinių neuronų tinklas tiesiogine sklidimo kryptimi buvo taikytas antenos dizainui, o atgaline sklidimo kryptimi – sukurtos antenos analizei. (Freire, 2014: 125–133) su bendraautoriais panaudojo dirbtinių neuronų tinklą kartu su Furjė metodais antenų gardelių sintezei. (Michalski, 2010: 173–188) pristatė tyrimus, kuriuose galios stiprintuvus modeliavo taikydami kombinaciją kelių dirbtinių neuronų tinklų, kai kiekvienas tinklas prognozavo atskirus parametrus. Taipogi dirbtiniai neuronų tinklai plačiai taikomi projektuojant filtrus (Chen, 2015: 1849–1853). Kaip vienas iš pagrindinių visų autorių minimas privalumas, kad teisingai apmokius dirbtinių neuronų tinklą, galima atsisakyti iteracinių skaičiavimų.

Šiame straipsnyje pateikiamas algoritmas, leisiantis *n*-GaAs girotropinių bangolaidžių tyrimuose pereiti nuo tradicinių analitinių ir skaitinių metodų prie dirbtinių neuronų tinklų metodų ir taipogi galimybes išvengti modeliavimo problemų, kurias lemia tradicinių metodų naudojimas. Apmokytas neuronų tinklas prognozuos
n-GaAs girelektrinio apskritojo bangolaidžio, turinčio temperatūrai jautrų anizotropinį dielektrinį sluoksnį, elektrodinaminius parametrus, kurie yra: f_c – centrinis bangolaidžių darbo dažnis (GHz); Δf – bangolaidžių darbo dažnių juosta (GHz); α_c – bangų silpimo koeficientas, ties centriniu bangolaidžių dažniu (1/m); $\delta_f^p = (\Delta f \,/\, f_c)\cdot 100$ – plačiajuostiškumas (%).

Atvirųjų cilindrinių giroelektrinių bangolaidžių su anizotropiniu dielektriko sluoksniu (jautriu temperatūrai) elektrodinaminis modelis gerai aprašytas darbuose (Plonis, 2014: 218–223; Plonis, 2016: 414–424).

Elektrodinaminių parametrų prognozės algoritmas

Skaičiavimų trukmė ilgėja, sprendžiant sudėtingas dispersines lygtis (Plonis, 2014: 218–223; Plonis, 2016: 414–424). Dispersinių lygčių dydis priklauso nuo giroelektrinių bangolaidžių modelių. Didėjant išorinių dielektriko sluoksnių skaičiui, giroelektrinių bangolaidžių modelių dispersinė lygtis sudėtingėja. Esant vienam išoriniam dielektriko sluoksniui giroelektrinių bangolaidžių modelio dispersinė lygtis bus determinantas, kurį sudarys 8 stulpeliai ir 8 eilutės (8×8), pridėjus dar vieną papildomą dielektriko sluoksnį dispersinė lygtis padidėja per 4 stulpelius ir 4 eilutes (12×12). Tačiau dispersinių lygčių sprendimo ir gautų rezultatų analizės etapai gali būti sutrumpinti, taikant dirbtinių neuronų tinklus (DNT). Bendrasis giroelektrinių bangolaidžių modelių modeliavimo algoritmas pateiktas žemiau (1 algoritmas). Giroelektrinių bangolaidžių modelių modeliavimas gali būti suskirstytas į keturias dalis: A – parametrų parinkimas; B – daugiasluoksnių perceptronų tinklo (DPT) mokymo procedūra; C – modeliavimas, taikant DPT; D – rezultatų koregavimas.

1 algoritmas. Giroelektrinių bangolaidžių modelių modeliavimo algoritmas

A. Įtaiso parametrų parinkimas.
   1. Bangolaidžio modelio tipo nustatymas.
   2. Išorinio dielektriko sluoksnių skaičius (0 arba 1). Kai tiriamas bangolaidis su išoriniu anizotropiniu dielektriku sluoksniu, kurio dielektrinės savybės priklauso nuo temperatūros.
   3. Temperatūra.
   4. Krūvininkų tankis.
B. DPT mokymo procedūra.
   1. Įėjimų susiejimas su išėjimais.
   2. DPT mokymas.
   3. Tikrinimas.
C. Modeliavimas, taikant DPT.
D. Rezultatų koregavimas.

Giroelektrinių bangolaidžių modelių elektrodinaminių parametrų prognozėms buvo parinktas daugiasluoksnių perceptronų tinklas. Supaprastintas giroelektrinių bangolaidžių modelių modeliavimo algoritmas pateiktas žemiau (2 algoritmas). Pirmojoje A dalyje renkami pavyzdžiai (giroelektrinių bangolaidžių modelių elektrodinaminiai parametrai) DPT tinklo mokymui. Pavyzdžiai yra renkami sprendžiant dispersines lygtis iteraciniais metodais, pvz., taikant algoritmą, pateiktą straipsnyje (Plonis, 2016: 414–424).

2 algoritmas. Supaprastintas giroelektrinių bangolaidžių modelių elektrodinaminių parametrų prognozavimo algoritmas

A. Pavyzdžių rinkimas DPT tinklo mokymui.
   - Renkami giroelektrinių bangolaidžių modelių elektrodinaminiai parametrai.
B. DPT tinklo mokymas.
   - Konstrukciniais parametrais: išorinio dielektriko sluoksnių skaičius (0 arba 1); temperatūra; krūvininkų tankis.
   - Tinklas apmokomas su surinktais giroelektrinių bangolaidžių modelių elektrodinaminiais parametrais: bangolaidžių darbo dažnių juosta; centriniu bangolaidžių darbo dažniu; bangų silpimo koeficientu ir plačiajuostiškumu.
C. DPT tikrinimas.
   - Tinklas tikrinamas su duomenimis, nenaudotais tinklo mokymui. Jei rezultatų tikslumas netenkina. Mokymo procesas kartojamas.
D. Modeliavimas, taikant DPT.
   - Jei patikros rezultatai tenkina, tinklas naudojamas elektrodinaminių parametrų (f_c, Δf, α_c, δ_f^p) prognozavimui.

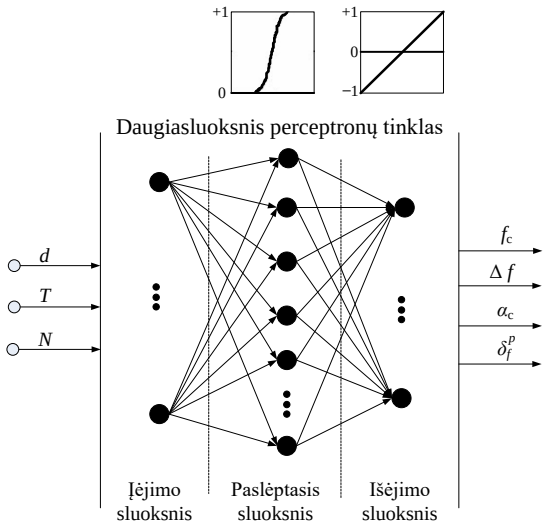
B dalyje yra mokomas DPT tinklas. Pirmiausiai yra pasirenkama tinklo struktūra, kuri priklauso nuo mokymui skirtų duomenų. DPT tinklo struktūra gali būti adaptuota (keičiant neuronų skaičių paslėptajame sluoksnyje). Ji pateikta (1 pav.).

DPT sudaro trys sluoksniai: įėjimo sluoksnis, paslėptasis sluoksnis (jo neuronų svorio koeficientai yra derinami, įvertinant įėjimo duomenis ir taikant konkrečią aktyvavimo funkciją) ir išėjimo sluoksnis. Paslėptajame sluoksnyje taikoma aktyvavimo funkcija:

$$\operatorname{logsig}(n) = \frac{1}{(1+\mathrm{e}^{-n})}, \tag{1}$$

čia n – tinklo įėjimų vektorių matrica.

Paslėptojo sluoksnio aktyvavimo funkcija pavaizduota virš paslėptojo sluoksnio (1 pav.). Išėjimo sluoksnio svorio koeficientai yra paslėptojo sluoksnio svorių koeficientų suma ir jame taikoma tiesinė aktyvavimo funkcija, kuri taip pat pateikta virš išėjimo sluoksnio (1 pav.).



1 pav. Daugiasluoksnių perceptronų tinklo struktūra
Šaltinis: sudaryta autorių

2 algoritmo D dalyje yra prognozuojami giroelektrinių bangolaidžių modelių (GeBM) elektrodinaminiai parametrai.

Dirbtinių neuronų tinklų mokymas

GeBM elektrodinaminių parametrų prognozei yra taikomas DPT tinklas. Temperatūra, krūvininkų tankis ir išorinio dielektriko sluoksnio storis, visi šie išvardinti parametrai yra siunčiami į DPT tinklo įėjimą, o išėjime yra tikimasi gauti GeBM elektrodinaminius parametrus.

Pirmiausiai, naudojant iteracinius metodus, surenkami 36 pavyzdžių rinkiniai, įvertinant GeBM elektrodinaminius parametrus. Kiekvieną pavyzdžių rinkinį sudaro 1×3 įėjimo ir 1×4 dydžio tikslo matricos. Bendriausiu atveju didesnės mokymo duomenų pavyzdžių sekos padidina DPT mokymo ir GeBM elektrodinaminių parametrų prognozavimo tikslumą. Tačiau, norint užtikrinti patikimą tinklo mokymo procesą ir sumažinti bandymų skaičių, yra svarbu teisingai parinkti duomenis mokymui.

DPT įėjimo sluoksnį sudaro 3 neuronai, atitinkantys: temperatūrą – T; krūvininkų tankį – N ir išorinio dielektriko sluoksnio storį – d. Išėjime prognozuojami GeBM elektrodinaminiai parametrai: centrinis bangolaidžių darbo dažnis – f_c; bangolaidžių darbo dažnių juosta – Δf; bangų silpimo koeficientas – α_c, ties centriniu bangolaidžių dažniu; plačiajuostiškumas – δ_f^p, todėl išėjimo sluoksnį sudaro 4 neuronai. Bendras įvesties matricos dydis 36×3, bendras tikslo matricos dydis 36×4. DPT paslėptąjį sluoksnį sudaro 3 neuronai, kurių aktyvacijos funkcija yra sigmoidinė, taip pat taikytas atgalinio sklidimo mokymo algoritmas. Išėjimo sluoksnio neurono aktyvavimo funkcija yra tiesinė. Atliekant mokymą, DPT mokytas su kiekvienu GeBM parametru rinkiniu (T, N ir d) po 10 kartų, iš jų išrenkant geriausią variantą, kai prognozės rezultatai mažiausiai skiriasi nuo rezultatų, gautų iteraciniais metodais.

Sukurta metodika leidžia prognozuoti GeBM elektrodinaminius parametrus. GeBM elektrodinaminiai parametrai gali būti prognozuojami, kai temperatūra $T = \{125, 150, 175, 200\}$ K; elektronų tankis $N = \{5\cdot10^{18}, 5\cdot10^{19}, 5\cdot10^{20}\}$ m^{-3}; $d = \{0, 3\cdot10^{-4}\}$ m, puslaidininkio tipas n-GaAs, kurio parametrai: elektronų judris priklausomai nuo temperatūros: $\mu(125\text{ K}) = 2{,}04$ m^2/V·s; $\mu(150\text{ K}) = 1{,}70$ m^2/V·s; $\mu(175\text{ K}) = 1{,}46$ m^2/V·s; $\mu(200\text{ K}) = 1{,}28$ m^2/V·s; efektinė elektronų masė $m^* = 0{,}067m_e$ (čia m_e elektrono masė) ir santykinė n-GaAs puslaidininkio dielektrinė skvarba $\varepsilon_r = 13{,}1$.

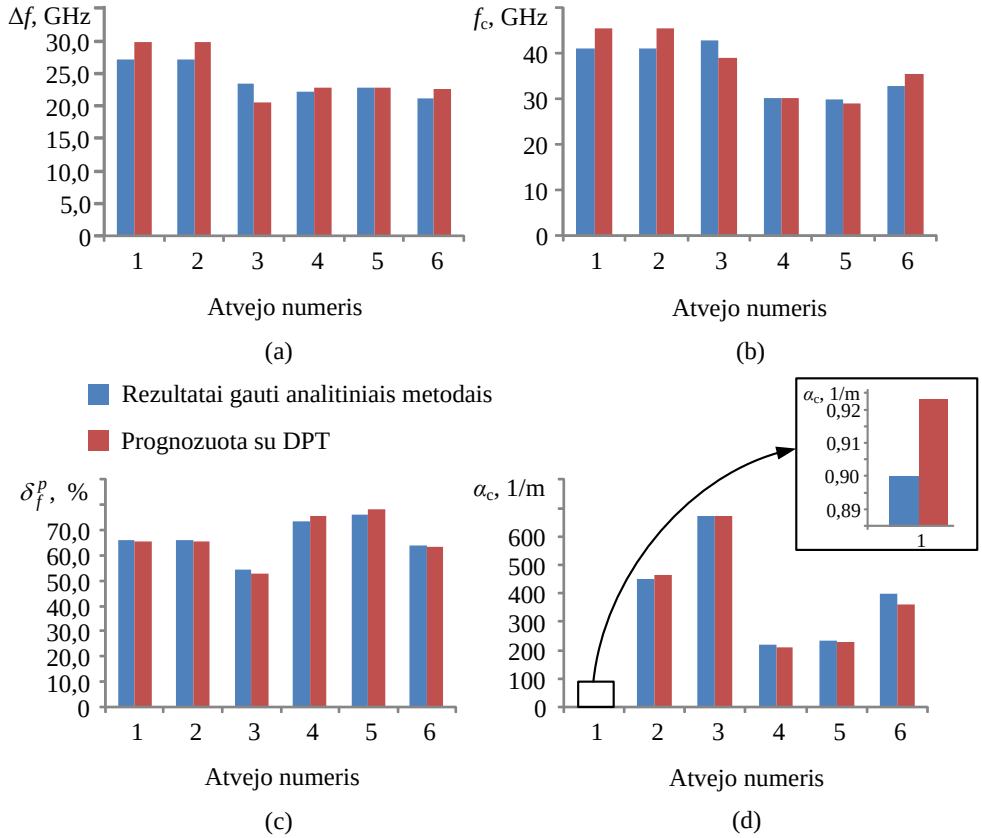
Rezultatų aptarimas

GeBM elektrodinaminių parametrų prognozavimas atliktas šešiais skirtingais atvejais, nepaliekant didelių skirtumų tarp mokymo duomenų ir prognozės rezultatų. Prognozės metu į DPT įėjimus paduotos parametrų vertės:

1. $T = 175$ K; $N = 10^{17}$ m^{-3}; $d = 0$ m (1 atvejis).
2. $T = 175$ K; $N = 5\cdot10^{18}$ m^{-3}; $d = 0$ m (2 atvejis).
3. $T = 150$ K; $N = 10^{20}$ m^{-3}; $d = 0$ m (3 atvejis).
4. $T = 150$ K; $N = 10^{17}$ m^{-3}; $d = 3\cdot10^{-4}$ m (4 atvejis).
5. $T = 175$ K; $N = 5\cdot10^{18}$ m^{-3}; $d = 3\cdot10^{-4}$ m (5 atvejis).
6. $T = 150$ K; $N = 10^{20}$ m^{-3}; $d = 3\cdot10^{-4}$ m (6 atvejis).

Apskaičiuoti taikant analitinius metodus ir prognozuoti, taikant DPT, GeBM elektrodinaminių parametrų prognozavimo rezultatai pateikti (2 pav.). Iš rezultatų yra matyti, kad didžiausias skirtumas tarp apskaičiuotų ir prognozuotų rezultatų yra gaunamas tuomet, kai yra prognozuojama bangolaidžių darbo dažnių juosta – Δf skirtumas siekia 12,4 %, kai T = 150 K; $N = 10^{20}$ m^{-3}; d = 0 m (3 atvejis), (2 pav., (a)), o mažiausias skirtumas gaunamas, kai T = 175 K; $N = 5 \cdot 10^{18}$ m^{-3}; $d = 3 \cdot 10^{-4}$ m (5 atvejis), skirtumas yra tik 0,44 %. Pirmu ir antru tyrimo atvejais skirtumai yra tokie patys, nes bangolaidžių darbo dažnių juostos nepasikeičia.

Prognozuojant centrinį bangolaidžių darbo dažnį – f_c, didžiausias skirtumas tarp metodų yra 10,7 %, pirmuoju ir antruoju tyrimo atvejais. O mažiausias skirtumas tarp metodų yra gaunamas – 0,17 %, kai T = 150 K; $N = 10^{17}$ m^{-3}; $d = 3 \cdot 10^{-4}$ m (4 atvejis), (2 pav., (b)).

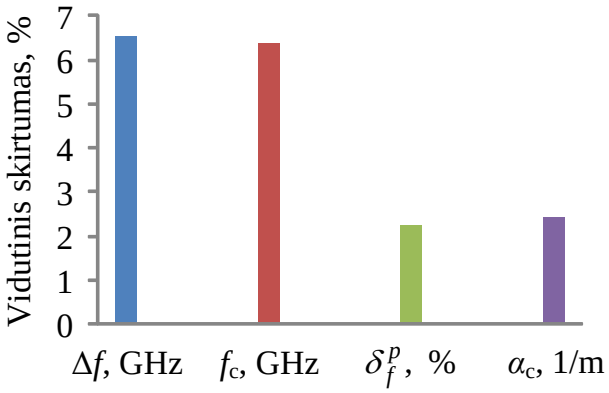


2 pav. Rezultatai, gauti skaičiuojant analitiniais metodais ir taikant DPT: (a) – bangolaidžių darbo dažnių juosta; (b) – centrinis bangolaidžių darbo dažnis; (c) – plačiajuostiškumas; (d) – bangų silpimo koeficientas
Šaltinis: sudaryta autorių

Prognozuojant plačiajuostiškumą – δ_f^p, didžiausias skirtumas tarp metodų yra 3,3 %, kai T = 150 K; $N = 10^{20}$ m^{-3}; d = 0 m (3 atvejis), (2 pav., (c)), o mažiausias skirtumas gaunamas, kai T = 150 K; $N = 10^{20}$ m^{-3}; $d = 3 \cdot 10^{-4}$ m (6 atvejis) skirtumas siekia 0,86 %. Toks žymus skirtumų sumažėjimas tarp analitinių ir prognozavimo metodų yra todėl, kad bangolaidžių plačiauostiškumo parametras yra santykis tarp bangolaidžių darbo dažnių juostos ir centrinio bangolaidžių darbo dažnio, todėl ir skirtumas santykinai sumažėja.

Mažiausias skirtumas yra gaunamas prognozuojant bangų silpimo koeficientą α_c, ties centriniu bangolaidžių dažniu 4-uoju tyrimo atveju. Šiuo atveju skirtumas siekia tik 0,04 %. Didžiausias skirtumas yra gaunamas 5-uoju tyrimo atveju ir jis pasiekia 5 % ribą (2 pav., (d)).

Vidutiniai skirtumai tarp GeBM elektrodinaminių parametrų rezultatų, gautų taikant analitinius metodus ir prognozuotų su DNT, yra pateikti (3 pav.). Iš pateiktų rezultatų yra matyti, kad didžiausi vidutiniai skirtumai tarp rezultatų yra gaunami, prognozuojant bangolaidžių darbo dažnių juostą (6,53 %) ir centrinį bangolaidžių darbo dažnį (6,36 %). Mažiausi skirtumai gaunami tarp iteracinių analitinių metodų ir prognozavimo metodų, prognozuojant plačiajuostiškumą (2,26 %) ir bangų silpimo koeficientą (2,40 %).



3 pav. Vidutiniai skirtumai tarp metodų
Šaltinis: sudaryta autorių

GeBM elektrodinaminių parametrų skaičiavimas iteraciniais analitiniais metodais ir prognozė, taikant DPT, buvo atlikta, naudojant personalinį kompiuterį kurio parametrai: procesoriaus tipas: Intel® Core™ i5-2410M CPU @ 2,30 GHz; operatyvioji atmintis: 4 GB; vaizdo plokštės tipas NVIDIA® GeForce® GT 520M; vaizdo plokštės atmintis1 GB.

Skaičiuojant iteraciniais analitiniais metodais bendra skaičiavimo trukmė buvo 60 sekundžių, kai naudojama buvo 50 elektromagnetinės bangos dažnio iteracijų; 5000 elektromagnetinės bangos fazių koeficiento iteracijų; 3000 elektromagnetinės bangos silpimo koeficiento iteracijų. Taikant daugiasluoksnių perceptronų tinklus prognozavimo trukmė yra 0,02 sekundės t. y. 3000 kartų greičiau lyginant su iteraciniais analitiniais metodais.

Išvados

1. Dirbtinių neuronų tinklai (DNT) gali būti naudojami giroelektrinių bangolaidžių tyrimuose. DNT leidžia sutrumpinti giroelektrinių bangolaidžių su temperatūrai jautriu anizotropiniu dielektriko sluoksniu modeliavimo trukmę ir išspręsti kai kurias specifines problemas, kylančias taikant iteracinius analitinius metodus.
2. Atlikus tyrimą nustatyta, kad sukurtas algoritmas leidžia 3000 kartų greičiau prognozuoti giroelektrinių bangolaidžių su anizotropiniu dielektriko sluoksniu elektrodinaminius parametrus. Vidutinis didžiausias giroelektrinių bangolaidžių su anizotropiniu dielektriko sluoksniu elektrodinaminių parametrų prognozavimo skirtumas, lyginant su tradiciniais analitiniais ir skaitiniais metodais gautais rezultatais, yra tik 6,36 %, o mažiausias (2,26 %).
3. Skirtumas tarp prognozuotų ir tradiciniais metodais gautų elektrodinaminių parametrų rezultatų svyruoja dėl parinktų mokymo duomenų masyvų. Siekiant didesnio prognozavimo tikslumo reikia tinkamai pasirinkti žingsnį tarp apmokymo duomenų ir ribines apmokymo duomenų vertes.

Literatūra

1. Chaturvedi S., Saravanan G. S., Bhat M. K., Bhalke S., Badnikar S. L., Muralidharan R., Koul S. K. 2013. Design and Electrical Characterization of Waferlevel Micro-Package for GaAs-based RFMEMS Switches. *IETE Journal of Research*, 59(1): 201–209.
2. Chen J., Kang X., Liu Y., Wang Z. J. 2015. Median Filtering Forensics Based on Convolutional Neural Networks. IEEE Signal Processing Letters, 22(11): 1849–1853.
3. Freire L. B. C., Franca C. , Lima E. G. 2014. Low-Pass Equivalent Behavioral Modeling of RF Power Ampliers Using Two Independent Real-Valued Feed-Forward Neural Networks. *Progress In Electromagnetics Research C*, 52(1): 125–133.
4. Ghayoula E., Ghayoula R., Haj-Taieb M., Chouinard J. Y., Bouallegue A. 2016. Pattern Synthesis Using Hybrid Fourier-Neural Networks for IEEE 802.11 MIMO Application. *Progress In Electromagnetics Research B*, 67(1): 45–58.
5. Yang H., Ye N., Gocalinska A., Manganaro M., Thomas K., Pelucchi E., Roycroft B., Peters F., Corbett B. 2015. High Speed AlInGaAs Quantum Well Waveguide Photodiode for Wavelengths Around 2 Microns. *Indium Phosphide and Related Materials (IPRM) International Conference, Santa Barbara, USA*: 221–224.
6. Kelebekler E., Yener N. 2011. Backward Wave Modes of Partially Plasma Column Loaded Cylindrical Waveguide. *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*: 1084–1088.

7. Liu S., Li L. W., Leong M. S., Yeo T. S. 2000. Theory of Gyroelectric Waveguides. *Progress In Electromagnetics Research*, 29(1): 231–259.
8. Michalski J. J. 2010. Artificial Neural Networs Approach in Microwave Filter Tuning, *Progress In Electromagnetics Research M*, 13(1): 173–188.
9. Nataraj. B, Gayathri. M. D., Deepa. D., Arthi. G. 2016. Small Size Low Loss RF Mems Phase Shifter. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, 2(2): 1–3.
10. Plonis D., Mališauskas V. 2014. Giroelektrinių bangolaidžių su anizotropiniu dielektriko sluoksniu tyrimas. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 2: 218–223.
11. Plonis D., Katkevičius A., Mališauskas V., Serackis A., Matuzevičius D. 2016. Investigation of New Algorithms for Estimation of Losses in Microwave Devices Based on a Waveguide or a Meander Line. *Acta Physica Polonica A*, 129(3): 414–424.
12. Rivera-Lavado A., Preu S., García-Muñoz L. E., Generalov A., Montero-de-Paz J., Döhler G., Lioubtchenko D., Méndez-Aller M., Sedlmeir F., Schneidereit M., Schwefel H. G. L., Malzer S., Segovia-Vargas D., Räisänen A. V. 2015. Dielectric Rod Waveguide Antenna as THz Emitter for Photomixing Devices. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 63(3): 882–890.
13. Serrano D. C., Gomez-Diaz J. S., Alù A., Melcón A. A. 2015. Electrically and Magnetically Biased Graphene-Based Cylindrical Waveguides: Analysis and Applications as Reconfigurable Antennas. *IEEE Transactions on tetrahertz science and technology*, 5(1): 951–960.
14. Sivia J. S., Pharwaha A. P. S., Kamal T. S. 2013. Analysis and Design of Circular Fractal Antenna Using Artificial Neural Networks. *Progress In Electromagnetics Research B*, 56(1): 251–267.
15. Song-Jin. I., Gum-Song H., Da-Jie Y., Zhong-Hua H., Li Z., Nam-Chol K., Il-Gwang K., Qu-Quan W. 2016. Plasmonic Phase Modulator based on Novel Loss-Overcompensated Coupling Between Nanoresonator and Waveguide. *Scientific Reports*: 1–8.
16. Vukomanovic M., Vazquez-Roy J. L., Quevedo-Teruel O., Rajo-Iglesias E., Sipus Z. 2015. Gap Waveguide Leaky-Wave Antenna. *IEEE Transactions on Antennas*, 64(5): 2055– 2060.

Prediction of electrodinamical parameters of gyroelectric waveguides models using artificial neural networks

Summary

Gyroelectric waveguides with or without external layers are usually investigated using traditional analytical and numerical methods. Computation time of this kind of gyroelectric waveguides might take the significant period of time by using one of these traditional methods. The calculation time may have a lot of influence to the overall investigation time because module design and calculation may be necessary to repeat many times until the right model of gyroelectric waveguide will be found. The artificial neural networks (ANN) were adjusted for the investigation of gyroelectric *n-GaAs* waveguides in order to save investigation time in this paper. Differences between results, calculated with traditional and predicted with ANN methods, do not differ by more than 6.5% in our investigation. The input parameters of ANN are: type of external layer, temperature T and density of impurities N. The predicted parameters are: the central operating frequency f_c, working frequency band Δf, wave attenuation coefficient α_c and bandwidth δ. These differences do not affect the final operation of the waveguide. On the other hand prediction using ANN is performed about 3000 times faster than using traditional methods.

Key words: Numerical calculations, frequency characteristics, waveguide, neural networks.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Darius Plonis.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras.
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto Elektroninių sistemų katedros docentas.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto Telekomunikacijų mokslo instituto direktorius.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: mikrobangų ir aukštųjų dažnių technologijos, signalų apdorojimo technologijos, multimedija, įterptinės sistemos.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 5 251 2145, darius.plonis@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Audrius Krukonis.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras.
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto Elektroninių sistemų katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: mikrobangų ir aukštųjų dažnių technologijos, įterptinės sistemos.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 5 274 4766, audrius.krunkonis@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Andrius Katkevičius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras.

Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto Elektroninių sistemų katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: mikrobangų ir aukštųjų dažnių technologijos, įterptinės sistemos.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 5 274 4766, andrius.katkevicius@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Dalius Matuzevičius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto Elektroninių sistemų katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: mašinų mokymasis.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 5 274 4766, dalius.matuzevicius@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Darius Plonis.
Science degree and name: doctor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics Department of Electronic Systems associated professor.
Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics Telecommunications Science Institute
the head of institute.
Author's research interests: microwaves and high frequency technologies, signal processing technologies, multimedia and embedded systems.
Telephone and e-mail address: 8 5 251 2145, darius.plonis@vgtu.lt

Author name, surname: Audrius Krukonis.
Science degree and name: doctor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics Department of Electronic Systems associated professor.
Author's research interests: microwaves and high frequency technologies, embedded systems.
Telephone and e-mail address: 8 5 274 4766, audrius.krunkonis@vgtu.lt

Author name, surname: Andrius Katkevičius.
Science degree and name: doctor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics Department of Electronic Systems associated professor.
Author's research interests: microwaves and high frequency technologies, embedded systems.
Telephone and e-mail address: 8 5 274 4766, andrius.katkevicius@vgtu.lt

Author name, surname: Dalius Matuzevičius.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics Department of Electronic Systems associated professor.
Author's research interests: machine learning.
Telephone and e-mail address: +370 5 274 4766, dalius.matuzevicius@vgtu.lt

MAGNETOREOLOGINIŲ SKYSČIŲ DARBO REŽIMAI BEI JŲ DIEGIMAS ĮRENGINIUOSE

Viktorija Mačiukienė, Rasa Muleravičienė
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Sumanių skysčių „atstovai“ magnetoreologiniai ir elektroreologiniai skysčiai (MRS ir ERS) vis plačiau naudojami įvairiuose mechatroniniuose įrenginiuose. Naudojant šiuos skysčius gali būti sumažintos energijos sąnaudos ir masė bei padidėti reikiami greičiai bei prietaisų tarnavimo laikas. Tokie mechanizmai pradedami naudoti ypač svarbiose, su gyvybės saugumu susijusiose sistemose, tokiose kaip automobilių pakabos elementai, smūgių ribotuvai ir t.t. Šie skysčiai yra labai perspektyvi ir inovatyvi medžiaga.

Reikšminiai žodžiai: Magnetoreologiniai skysčiai, elektroreologiniai skysčiai, darbo režimai, magnetoreologinis stabdis.

Įvadas

MR skysčių atradimas ir išvystymas priskiriamas Jacob‘ui Rainbow‘ui, dirbusiam Jungtinių Valstijų standartų biure. XX amžiaus 4-5 dešimtmetyje šis mokslininkas ištyrė ir aprašė pagrindines formuluotes, kurios pasiteisino ir išliko iki šių dienų. MR skysčiai priklauso valdomo klampumo skysčių grupei. Svarbiausia šių skysčių charakteristika – jų savybė iš laisvai plaukiančių skysčių pavirsti į tirštus, paveikus juos magnetiniu lauku. Šiuo metu sukurta daug įrenginių su MRS – tai movos, stabdžiai, slopintuvai ir kt. Pagrindinė šių skysčių savybė yra iš skystos būsenos pavirsti į kietą kelių milisekundžių bėgyje. Takumas yra valdomas keičiant magnetinio lauko stiprumą. Šie skysčiai dar nėra iki galo ištirti. Dar iki dabar yra kuriami vis naujesnės cheminės sudėties ir skirtingų fizikinių savybių skysčiai, laboratorijose atliekami įvairūs tyrimai ir bandymai panaudojimui įvairiuose prietaisuose.

Nustatyti faktiniai duomenys ir keliamos hipotezės leidžia teigti, kad šie skysčiai yra tobulintini ir labai svarbūs naujų, kompaktiškesnių konstrukcijų gamyboje.

Mokslinio tyrimo tikslas - magnetoreologinių skysčių analizė ir tobulinimas.

Mokslinio tyrimo uždaviniai:

1. Atlikti reologinių skysčių palyginamąją analizę.
2. Ištirti magnetoreologinių skysčių reologiją bei pritaikomumo spektrą.
3. Ištirti ir sugrupuoti pagrindinius magnetoreologinių prietaisų darbo režimus.
4. Remiantis reikiamu darbo režimu, atlikti magnetoreologinio stabdžio veikimo tyrimą.

Magnetoreologinių ir elektroreologinių skysčių palyginimas

Pirmiau buvo atrasti ir paminėti magnetoreologiniai (MR) skysčiai, bet atsiradus elektroreologiniams (ER) skysčiams buvo manoma, kad jie geresni ir MR skysčiai buvo kuriam laikui pamiršti dėl jų neigiamos savybės – sedimentacijos. Bet vėliau, vėl imta juos tyrinėti ir paaiškėjo, kad jie turi labai daug teigiamų savybių ir šiomis dienomis jie yra ženkliai pirmaujantys praktiniam pritaikyme. Pagrindinis ER ir MR skysčių skirtumas yra tas, kad dalelės yra sužadinamos skirtingai: ER skysčiuose jas sužadina elektrinis laukas, o MR skysčiuose jos yra sužadinamos paveikus jas magnetiniu lauku. ER skysčiams yra naudojama žema srovė ir aukšta įtampa. MR skysčiams yra naudojama aukšta srovė ir žema įtampa t.y. aukštą elektros srovė tiekiant ritės apvijomis sukuriamas magnetinis laukas, tam, kad poliarizuotų daleles. Šiuo atžvilgiu MR skysčiai yra pranašesni, kadangi naudojant žemesnę įtampą sistema yra saugesnę bei pigesnė. Šių skysčių cheminės ir fizinės sudėtys yra labai panašios, bet truputi ir skirtingos. Kaip jau buvo minėta, viena pagrindinių MR skysčių neigiamų savybių yra skysčio sedimentacija – t.y. reikšmingam dalelių kiekiui sutirštėjus yra sudėtinga jas vėl išsklaidyti. Abiem skysčiams priskiriama neigiama savybė yra ta, kad juose dažnai naudojamas organinis nešantysis skystis. Organiniai skysčiai turi problemų su spartesniu skysčių susidėvėjimu, polinkiu į degumą, bakterijų vystymusi ir augimu, sunkiau suderinami su kitomis reologinių skysčių sudedamosiomis dalimis [1].

MR skysčiai yra daug plačiau taikomi praktikoje, nei ER skysčiai. Svarbiausi prietaisų, kuriose naudojami šie skysčiai, pranašumai yra tie, kad jie pasižymi greitaveika ir plačiu kontrolės diapazonu. Dar labai svarbi priežastis, kodėl šie skysčiai tampa vis populiaresni, - tai minimalus tiekiamos galios išeikvojimas. Tiesiogiai palyginti šių skysčių privalumus ir trūkumus yra pakankamai sudėtinga, bet vienas ryškesniu pranašumų lyginant skysčius yra tas, kad MR skysčiai yra nuo 20 iki 50 kartų „stipresni“, nei ER skysčiai. Jie gali priešintis daug didesnėms jėgoms, nei ER skysčiai. Tai reiškia, kad galime naudoti mažesnę įtampą tam pačiam efektui pasiekti įtempimai gali būti didinami, didinant magnetinių dalelių kiekį arba magnetinio lauko intensyvumą. Didesnė dalelių gausa padidina skysčio klampumą, o pastarųjų skysčių

pranašumas yra tas, kad prietaisuose, kurie jie naudojami, dalelėms sužadinti yra reikalingi tik du elektrodai, priešingai nei MR prietaisams, kuriems konstrukcijose reikia patalpinti nemažų matmenų magnetus. ER skysčiai ypatingai tinkami naudoti prietaisuose, kuriuose reikalingos santykinai mažos jėgos. Natūralu, kad šie skysčiai turi tiek teigiamų, tiek neigiamų savybių. Bet globaliai pažiūrėjus į atliktu įvairių bandymų rezultatus, galime teigti, kad pritaikyti ER skysčius yra sudėtingiau. ER skysčiai yra pakankamai jautrūs temperatūriniams pokyčiams, bei jų darbinis temperatūrinis diapazonas yra siauresnis, nei MR skysčių. Bei jie yra linkę sugerti drėgmę iš aplinkos, kuri gali įtakoti neigiamai. Dėl to, pritaikant juo praktikoje, atsiranda papildomų uždavinių šioms problemoms pašalinti. Bendra problema tiek ER skysčiams, tiek MR skysčiams – polinkis magnetinių dalelių nusėdimui bei sukibimui. Ši problema yra sprendžiama į skystį įvedant įvairių priemaišų tam, kad įveikti gravitacinį dalelių nusėdimą ir pagerinti dalelių chaotišką išsidėstymą visame skysčio tūryje, kuomet jie nėra paveikti magnetiniu ar elektriniu lauku. Taip yra stengiamasi maksimaliai sumažinti dalelių nusėdimą. Kompanija „LORD“ gamindama šiuos skysčius naudoja priedus, tam, kad padidintų „nešančiojo“ skysčio riebumą, pakeistų klampumą bei užkirstų kelią dėvėjimuisi, taip prailginant skysčio ilgaamžiškumą. Iki šiol daugelyje laboratorijų yra bandoma pagaminti įvairiausios sudėties skysčių, būtent tam, kad išvengti pastarųjų problemų. Taip pat siekiant kuo mažesnio dalelių nusėdimo ir mažesnio neigiamo poveikio aplinkai, šiai dienai yra bandoma sukurti ER skystį skystos kristalinės būsenos ir polimerinės sistemos pagrindu [2].

Labai svarbus faktorius skysčiams yra temperatūros svyravimai. Kadangi klampumas yra atvirkščiai proporcingas temperatūros didėjimui, t.y. didėjant temperatūrai mažėja skysčio klampumas. Taip pat mažėja įtempimai, bet šis reiškinys yra labiau būdingas ER skysčiams nei MR skysčiams. Temperatūros didėjimas įtakoja ir elektros srovės laidumą ir jos tankį. Temperatūrinės įtakos priežastis ER skysčiams yra vanduo t.y. viena iš sudėtinių šio skysčio dalių. Todėl bandant išspręsti šią problemą, laikui bėgant buvo sukurti ER skysčiai, kurių sudėtyje nebūtų vandens. Juos specialiai ir pavadino „bevandeniais“ ER skysčiais [3].

1 lentelė

Tipinės valdomų skysčių savybės [3]

Savybė	Magnetoreologinis	Elektroreologinis
Maksimalūs įtempimai	50 – 100 kPa	2 – 5 kPa
Maksimalus laukas	iki 250 kA/m (ribojamas magnetinio prisotinimo)	Iki 4 kV/mm (ribojamas elektrinio pramušimo)
Klampumas	0,1 – 1,0 Pa-s 0,2 – 0,3 Pas, 25ºC	0,1 – 1,0 Pa·s 0,2 – 0,3 Pas, 25 ºC
Darbinės temperatūros diapazonas	nuo – 40 iki + 1500 ºC (ribojamas nešančiojo skysčio)	nuo + 10 iki 90 ºC (joninis, DC) nuo – 25 iki + 125 (ne joninis, AC)
Stabilumas	nesikeičia dėl priemaišų	netoleruoja priemaišų
Reakcijos laikas	Milisekundės	Milisekundės
Tankis	3 – 4 g/cm^3	1 – 2 g/cm^3
$\eta_p / \tau^2_{y(field)}$	$10^{-10} - 10^{-11} s/Pa$	$10^{-7} - 10^{-8} s/Pa$
Maksimalus energijos tankis	0,1 J/cm3	0,001 J/cm3
Tiekiama galia	2 – 25 V; 1 – 2A, 2- 50 W	2 – 5 kV; 1 – 10mA, 2- 50 W
Srovės tankis	Aktyvuojamas magnetais	2-15 mA/cm2 (4kV/mm, 25 ºC)
Pagalbinės medžiagos	Geležis/Plienas	Bet kokios (laidūs paviršiai)
Spalva	Ruda, juoda ar pilka/matinė	Bet kokia, matinė ar skaidri

Matematinės išraiškos šių skysčių fizikinėms reikšmėms apskaičiuoti pateikiamos antroje lentelėje.

2 lentelė

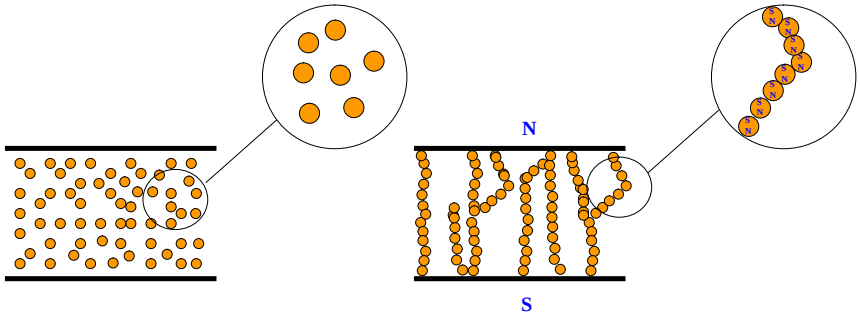
Matematinės fizikinių dydžių išraiškos [4]

	Vožtuvo režimas	Tiesioginės šlyties režimas
Pagrindinės priklausomybės		
Klampumo jėga	$\Delta P_\eta = \frac{12 \cdot \eta \cdot Q \cdot L}{g^3 w}$ (1)	$F_\eta = \frac{\eta \cdot S \cdot L \cdot w}{g}$ (2)
Lauko sukelta jėga	$\Delta P_\tau = \frac{c \cdot \tau \cdot L}{g}$ (3)	$F_\tau = \tau \cdot L \cdot w$ (4)
Išvestinės priklausomybės		
Minimalus skysčio tūris (=LW$_g$)	$V = \frac{12}{c^2} \cdot (\frac{\tau}{\tau^2}) \cdot (\frac{\Delta P_\tau}{\Delta P_\eta}) \cdot Q \cdot \Delta \cdot P_\tau$ (5)	$V = (\frac{\eta}{\tau^2}) \cdot (\frac{F_\tau}{F_\tau}) \cdot F_\tau \cdot S$ (6)

Magnetoreologiniai skysčiai

MR skysčiai yra plačiai naudojami įvairiose konstrukcijose, tokiose kaip valdomi slopintuvai, stabdžiai, movos ir kt. Naudojant šiuos skysčius gali būti sumažintos energijos sąnaudos ir masė bei padidėti reikiami greičiai bei prietaisų tarnavimo laikas. Šie skysčiai yra brangūs, tačiau plečiant pritaikymo sritį ir tobulinant jų struktūrą galima pasiekti mažesnių eksploatacinių išlaidų.

Pagrindinės MR skysčio sudedamosios dalys yra įmagnetinamos mikro dalelės ir tam tikras nešantysis skystis. Tai lengvai tekantys skysčiai. Pridedant magnetinį lauką, geležies dalelės įgauna dipolį magnetinį momentą, kuris susilygina su išoriniu lauku. Tuomet lygiagrečiai laukui (1 pav. b) dalelės išsidėsto į linijines grandines [5].



1 pav. MRS veikimo schema: a-neveikiamas magnetinio lauko; b-dalelių išsidėstymas magnetiniame lauke [5].

Tekant skysčiui jos jau neteka kartu su juo ir taip stabdo ir skysčio tekėjimą. Skysčio klampumas, pridėjus magnetinį lauką, gali pasikeisti tik per kelias milisekundes.

Nagrinėjant tipinių MR skysčių sandarą galima būtų teigti, kad juos sudaro apie 20-40% plastiškų ir santykinai grynų geležies dalelių. Kaip pavyzdys galėtų būti geležies dalelės, kurios patalpinamos mineraliniuose ar sintetiniuose tepaluose, glikolyje arba vandenyje. Kabančių (patalpintų skystyje) dalelių magnetinio įsotinimo laipsnis leidžia nustatyti maksimalų MR skysčių klampumą. Siekiant riboti MR skysčių jėgos stiprumą, parenkamos dalelės su dideliu įmagnetinimo įsotinimu. Vienos kokybiškiausių ir labiausiai atitinkančios įmagnetinimo įsotinimą dalelės yra geležies lydiniai ir kobaltas (kurio magnetinis įsotinimas apie 2,4 T). Tačiau norint gauti maksimalią finansinę naudą šie lydiniai netaikomi praktinėje veikloje, kadangi pernelyg brangūs. Praktikoje, siekiant didžiausio ekonomiškumo ir kokybės santykio, kaip tinkamiausios dalelės gali būti naudojamos paprasčiausios grynos geležies dalelės. Jų magnetinis įsotinimas lygus 2,15 T. Kuomet reikalingi žymiai silpnesni MR skysčiai naudojamos kitų lydinių dalelės, nes metalo ir oksidų magnetinis įsotinimas yra žymiai mažesnis. Dažniausiai MR skysčiuose įmagnetinamų dalelių skersmuo yra nuo 3 iki 5 μm. Nors, padidėjus dalelių dydžiui, jų susikibimas tampa sudėtingesnis praktiškai MR skysčiai gali būti gaminami ir su didesnėmis dalelėmis. Kaip žinoma, mažesnės dalelės sukimba geriau, tačiau jos naudojamos retai, nes sudėtinga gamyba. Kaip žymiai mažesnės feromagnetinės dalelės, gali būti naudojami tik oksidai, tokie kaip pigmentai yra magnetinio įrašymo laikmenose. Tokių pigmentų pagrindu suformuoti MR skysčiai pakankamai stabilūs. Jų dalelių skersmuo tik 30 nm. Tačiau tokie skysčiai turi labai ribotas jėgas ir didelį klampumą, nes dalelių magnetinis įsotinimas yra mažas. Didžiausias MR skysčių gamintojas – kompanija. LORD (JAV) [6].

Išskiriami tokie MR skysčių privalumai:

• platus eksploatacijos temperatūrinis diapazonas (nuo –4 iki +130ºC);
• skystis yra ne abrazyvus;
• mažas magnetinių dalelių nusėdimas;
• nesudėtingas skysčio permaišymas;
• maža reakcijos trukmė į magnetinio lauko pasikeitimus;

ir trūkumai:

• didelė skysčio kaina;
• ilgą laiką nenaudojant skysčio jo dalelės nusėda.

Magnetoreologiniams skysčiams keliami tokie reikalavimai:

• MR skystis turi tenkinti aplinkosaugos reikalavimus – t.y. jis turi būti netoksiškas ir ekologiškas;
• būtinai turi būti neabrazyvus (kad nepaveiktų vamzdžių sienelių, stūmoklių ir t.t);
• mažo klampumo kuomet neveikia magnetinis laukas;
• didelė takumo riba;
• skysta fazė ir kieta fazė turi būti kuo panašesnės savo tankiu;
• lengvai permaišomas.

Magnetoreologinių skysčių darbo režimai

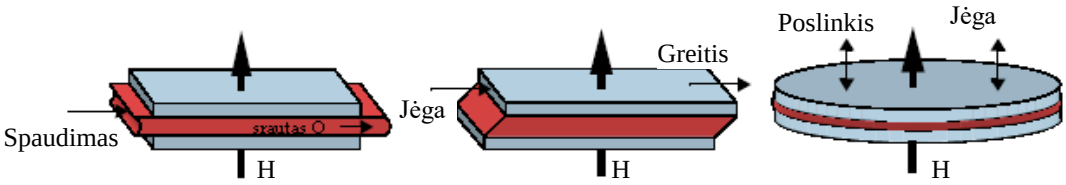
Klampieji įtaisai (smūgio slopintuvai, hidrauliniai amortizatoriai, movos ir t.t.) priklauso nuo klampumo jėgų skystyje norint sugerti ar perduoti energiją. Galimybė staiga keisti klampumą leidžia beveik akimirksniu valdyti šias jėgas [7].

Rezultatas gali būti paprastas ir efektyvus šioms priemonėms:

• aktyvioms pakaboms;
• jėgos atoveiksmiui;
• kintamo sukimo momento perdavimui;
• energijos valdymui;
• valdomiems slopintuvams;
• stabdžiams su maža trintimi.

Didžiausios jėgos, kurias gali išvystyti MR slopintuvas, priklauso nuo MR skysčio ir slopintuvo dydžio. Iš esmės visi mechanizmai, kurie naudoja MR skysčius, klasifikuojami pagal veikimo pobūdį:

a) vožtuvo režimas,
b) tiesioginės šlyties režimas,
c) slėgimo režimas arba visų trijų režimų kombinacija.



a) Vožtuvo režimas b) Tiesioginės šlyties režimas c) Slėgimo režimas

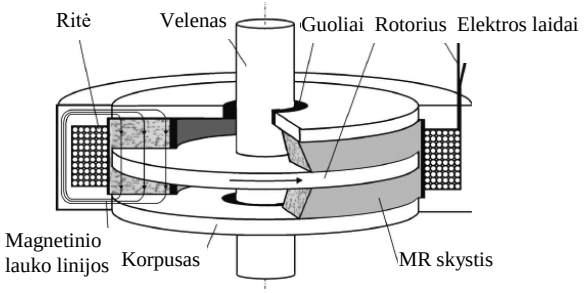
2 pav. Pagrindiniai valdymo režimai valdomų skysčių įtaisams [8]: a) Vožtuvo režimo mechanizmų pavyzdžiai yra valdomi vožtuvai, slopintuvai ir pavaros; b) Tiesioginės šlyties mechanizmų pavyzdžiai – movos, stabdžiai, laikikliai ir fiksavimo įtaisai; c) Slėgimo režimas naudojamas mažos vibracijų amplitudės slopintuvuose.

MR skysčiu paremti slopintuvai ir rotaciniai stabdžiai paprastai yra labai efektingi maišymo įrenginiai. Kai stūmoklis slankioja MR slopintuve skystis juda per tarpelius pakankamai greitai sukeldamas sūkurius ir verpetus. Jie sukeliami net tada kai stūmoklis juda pakankamai lėtai. Panašius skysčio judėjimus sukuria ir MR stabdžiuose atsiradęs tiesioginio poslinkio režimas. Kol MR skystis netampa kietos būsenos, įprastiniai įrengimo judesiai sukelia greitą permaišymą, kuris neleidžia susidaryti MR skysčio nuosėdoms. Pavyzdžiui mažiems MR skysčių slopintuvams, tokiems kaip Lord Motion Master RD-1005, užtenka dviejų ar trijų stūmoklio perstūmimų, kad skystis grįžtų į visiškai sumaišytą būseną po ilgesnio nei kelių mėnesių stovėjimo [9].

Magnetoreologinio stabdžio veikimo principas

3 paveiksle yra pateikiama MR stabdžio konstrukcijos schema. MR skystis patalpintas tarpelyje tarp korpuso ir rotoriaus. Rotorius pritvirtintas prie veleno, kuris patalpinamas tarp guolių ir turi sukamąjį judesį. Laidais teka srovė, kuri ritės apvijose sukuria magnetinį lauką. Magnetinio lauko dėka galime keisti MR skysčio fizikines savybes – t.y. skysčio klampumą, kurio dėka ši konstrukcija veikia kaip didelį valdomumo laipsnį turintis stabdis.

Kadangi šioje konstrukcijoje korpusas yra stacionarus, o rotorius turi sukamąjį judesį, tai atsiranda šlyties reiškinys, dėl to atsiranda papildomos šlyties jėgos ir įtempimai. Tai pavaizduota 4 paveiksle. Ir MR stabdis ir MR mova turi vieną bendrą panašumą, - tai atsirandanti šlytis. Bet jų skaitinės reikšmės šiek tiek skiriasi, nes MR movose atsirandanti šlytis yra didesnė, nei MR stabdžiuose [10].

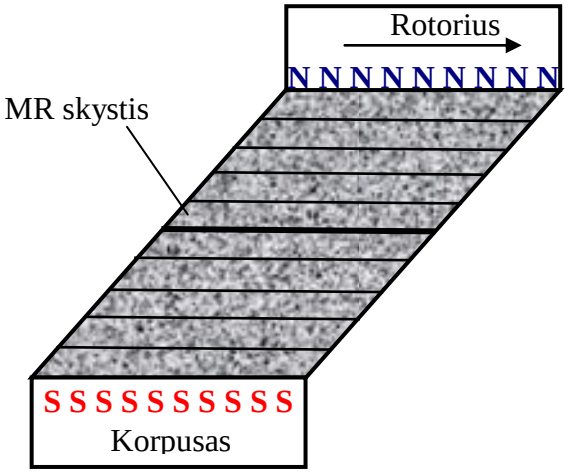


3 pav. MR stabdžio schema [11]

MR stabdis gali veikti nepertraukiama eiga ir tuomet, kai sukimo momento reikšmė yra keičiama. Kai elektromagneto ritės apvijose esanti elektros srovė lygi nuliui, magnetinis laukas taip pat lygus nuliui. Sukimo momento reikšmė nėra lygi nuliui, minimali jos reikšmė siekia M_{min}=0,34 Nm. Sukimo momento reikšmė nėra lygi nuliui. Minimali sukimo momento reikšmė, kuomet srovė tekanti ritėmis lygi nuliui, atsiranda nuo guolių, sandarinimo, nešančiojo skysčio klampumo reikšmės. Pakitus srovei iki maksimalios I_{max}=1 A, MR stabdžio sukimo momento reikšmė yra taip pat maksimali M_{max}=5,65 Nm. MR stabdžio konstrukcijai pakanka tokių srovės ir sukimo momento maksimalių skaitinių reikšmių šio prietaiso normaliai eksploatacijai. Tai yra pats optimaliausias variantas tenkinantis ne tik precizišką ir optimalų veikimą, bet ir tenkinantis visus darbo ir žmogaus saugos reikalavimus.

Magnetoreologinis skystis susideda iš magnetinių dalelių, nešančiojo skysčio ir „rišiklio“. magnetinės dalelės tai dažniausiai būna geležies dalelės, o nešantįjį skystį gali sudaryti, pavyzdžiui silikonas, vanduo. Šio skysčio pasirinkimas priklauso ir nuo MR stabdžio darbinių sąlygų.

MR stabdis yra prietaisas perduodantis sukimo momentą per MR skysčio šlyties įtempimus. MR stabdis turi teigiamą savybę tokią, jog jo sukimo momentas gali būti valdomas keičiant magnetinio lauko stiprumą. Grafiškai veikimo principas yra pavaizduotas 4 pav. [11].



4 pav. MR skysčiuose atsirandanti šlytis [11]

MR skystis užpildo tarpelį tarp stacionaraus išorinio cilindro ir rotoriaus. Rotorius sukasi kampiniu greičiu. Kuomet magnetinis laukas yra lygus nuliui, magnetinės dalelės negali apriboti ar kaip kitaip suvaržyti judesio tarp išorinio cilindro ir rotoriaus. Kai magnetinis laukas yra didesnis už 0 tuo metu, kai ritės apvijomis pradeda tekėti elektros srovė ir ritėse sukuria magnetinį lauką. Rezultate magnetinės dalelės esančios skystyje išsidėlioja į taisyklingas grandinėles, dėl to skysčio klampumas padidėja ir judesys yra apribojamas. Sukimo momento reikšmė yra reguliuojama valdant magnetinio lauko stiprumą.

Išvados

1. Atlikus elektroreologinių ir magnetoreologinių skysčių palyginamąją analizę, paaiškėjo, kad įrenginiuose dažniau naudojami ir lengviau pritaikomi yra magnetoreologiniai skysčiai.
2. Išanalizuota magnetoreologinių skysčių dalelių fizika, MR skysčių projektavimo bei gamybos kelias. Nustatyti faktai leidžia teigti, kad šie skysčiai turi labai daug privalumų ir yra plačiai taikomi, bet vis dar tobulintini praktikoje.
3. Išskirti trys pagrindiniai magnetoreologinių skysčių darbo režimai. Remiantis šios analizės duomenimis suformuluojami MR skysčių ir MR mechanizmų privalumai ir trūkumai.
4. Atliktas magnetoreologinio stabdžio veikimo tyrimas. Remiantis juo gauta, kad magnetoreologiniai stabdžiai turi kampinio sukimosi greičio apribojimą (1500 aps/min), tad egzistuoja tam tikra dalis sistemų, kuriose negalime panaudoti magnetoreologinio stabdžio.

Literatūra

1. Rongjia Tao. Elektrorheological Fluids and Magnetorheological fluids suspension p.l1
2. J. David Carlson. WHAT MAKES A GOOD MR FLUID? (literature.lord.com/root/ other/rheonetic/What_makes_a_good_MR.pdf) - Lord Corporation, USA. p.198-300
3. Navickaitė Sigita, Rugaitytė Viktorija, Čalkauskaitė Jolita, Dragašius Egidijus Magnetoreologinių skysčių apžvalga. Iš: Mechanikos inžinerija - 2005: jaunųjų mokslininkų konferencija: pranešimų medžiaga, 2005 m. gegužės19 d.. Kaunas, 2005, p. 132-134.

4. LORD Corporation. www.lord.com (2007-11-11)
5. Čalkauskaitė Jolita, Navickaitė Sigita, Rugaitytė Viktorija, Dragašius Egidijus Slopintuvų su magnetoreologiniu skysčiu pritaikymas skalbimo mašinoje. Iš: Mechanikos inžinerija - 2005: jaunųjų mokslininkų konferencija: pranešimų medžiaga, 2005 m. gegužės19 d.. Kaunas, 2005, p. 127-129.
6. S. Genç, " Synthesis and Properties of Magnetorheological (MR) Fluids" Ph.D thesis, 2002 p. 15-47 (2008-02-12)
7. http://www.lord.com/Portals/_default/LordDocuments/root/white_papers/rheonetic/JDC4332-36.pdf (2008-03-11)
8. Phillips, R. W. "Engineering Applications of Fluids with a Variable Yield Stress", Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley (1969). p. 12-42
9. Jolly, M. R., J.W. Bender and J. D. Carlson, "Properties and Applications of MR Fluids," SPIE 5th Annual Int. Symposium on Smart Structures and Materials, San Diego, CA, 15 March, 1994 p. 123-167
10. Carlson J.D., Spronston J.L., 19-21 June 2000, Controllable Fluids in 2000 Status of ER and MR Fluid Technology, "Actuator 2000"- 7-th International Conference on New Actuators. p. 25-49
11. S. BYDOŃ: Construction and Operation of Magnetorheological Rotary Brake, Proceedings of STOC'2002, Ostrava, 2001, April 26-27 p. 125-167

MAGNETORHEOLOGICAL FLUIDS OPERATING MODES AND INSTALATION INTO DEVICES

Summary

Magnetorheological fluids were discovered and developed by Jacob Rainbow. Who has worked in the United States Bureau of Standards. 4-5 decade of the twentieth century, the researcher examined and described the basic formulations which have survived to the present day. Magnetorheological fluids depend to the group of control fluids. The most important characteristic of these fluids is from freely floating fluids become to viscous, when magnetic field is applied. At the present created a lot of devices with magnetorheological fluids – valves, brakes, dampers and others. The main characteristic of the fluid is from liquid state become to solid in a few milliseconds. Fluidity is controlled by changing the magnetic field strength. These fluids are not yet fully investigated. And now these fluids are developed in chemical structure and physical parameters way. In a laboratories conducted various studies and tests used in various devices. Set the actual data and hypotheses suggest, that these fluids are for improvement and very important for new, more compact structures.

Key words: magnetorheological fluids, electrorheological fluids, operating modes, magnetorheological brake.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Viktorija Mačiukienė
Mokslo laipsnis ir vardas: daktarė
Darbo vietą ir pozicija: Kauno technikos kolegija, Transporto ir mechanikos inžinerijos krypčių studijų programų departamento lektorė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: aktyvios ir sumanios medžiagos, magnetoreologiniai skysčiai, pjezoelektrinės medžiagos, matavimo prietaisai.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 60942547, viktorija.maciukiene@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Rasa Muleravičienė
Mokslo laipsnis ir vardas:
Darbo vietą ir pozicija: Kauno technikos kolegija, Elektronikos ir elektros inžinerijos krypties studijų programų departamento lektorė
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Aktyvios ir sumanios medžiagos, magnetoreologiniai skysčiai, pjezoelektrinės medžiagos, matavimo prietaisai.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 67206580, rasa.muleraviciene@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Viktorija Mačiukienė
Science degree and name: doctor.
Workplace and position: Kaunas Technical College, Lecturer of Transport and Mechanics Engineering Field Study Programme Department.
Author's research interests: active and smart materials, magnetorheological fluids, piezoelectric materials, measuring devices.
Telephone and e-mail address: 8 60942547, viktorija.maciukiene@edu.ktk.lt

Author name, surname: Rasa Muleravičienė
Science degree and name:
Workplace and position: Kaunas Technical College, Lecturer of Electronics and Electrical Engineering Field Study Programme Department.
Author's research interests: active and smart materials, magnetorheological fluids, piezoelectric materials, measuring devices.
Telephone and e-mail address: 8 67206580, rasa.muleraviciene@edu.ktk.lt

SEGMENTINIO SKYSTŲJŲ KRISTALŲ INDIKATORIAUS RODMENŲ AUTOMATINĖ PATIKRA

Dalius Matuzevičius, Darius Plonis, Andrius Katkevičius
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

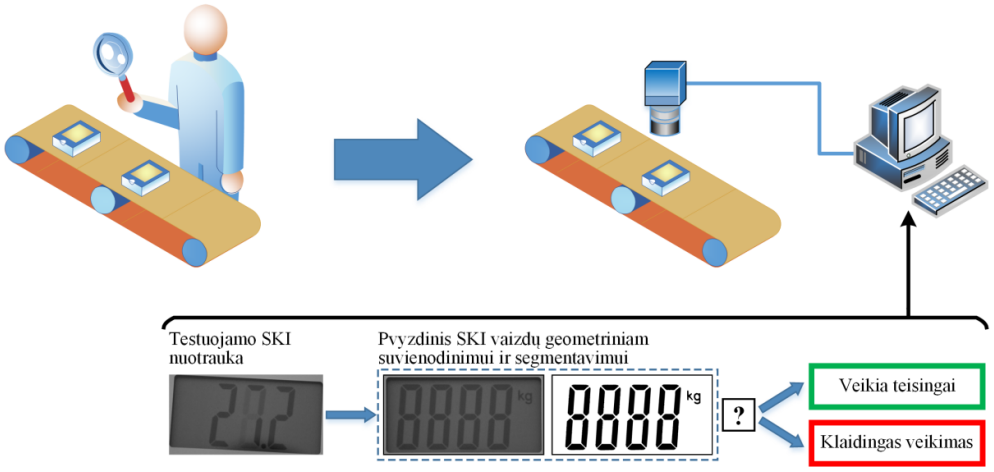
Segmentinio skystųjų kristalų indikatoriaus (SKI) rodmenų automatinė patikra gali būti taikoma įvertinti indikatoriaus ar paties elektroninio prietaiso, išvedančio duomenis per SKI, veikimą ir aptikti klaidas programinėje ar aparatūrinėje įrangoje. Indikatoriaus rodmenų patikra vykdoma automatiškai atliekant SKI nuotraukos analizę. Sudarytame algoritme svarbus automatinės analizės etapas yra dviejų SKI nuotraukų (pavyzdinės ir analizuojamos) sutapdinimas siekiant pašalinti geometrinius iškraipymus. Darbe naudojamas vaizdų sutapdinimo metodas yra grįstas lokalių vaizdo požymių rinkinių (deskriptorių) palyginimu. Šiame darbe taip pat pristatomas naujas deskriptorius, kuris leidžia pasiekti didžiausią teisingai sutapdintų vaizdų skaičių lyginant su kitais žinomais deskriptoriais.

Reikšminiai žodžiai. Segmentinis skystųjų kristalų indikatorius, automatinė rodmenų patikra, vizuali kokybės analizė, vaizdų sutapdinimas, vaizdų segmentavimas.

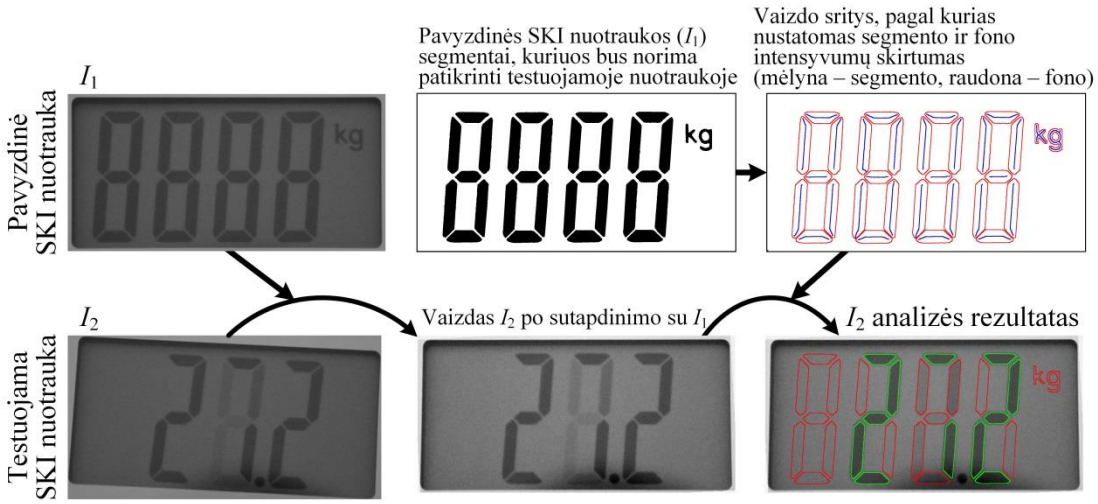
Įvadas

Vartotojo ir elektroninio prietaiso sąsajai labai dažnai naudojamas įrenginys yra segmentinis skystųjų kristalų indikatorius (SKI). Indikatoriuose atvaizduota informacija gali būti panaudota ir prietaiso gamybos brokui, programinės įrangos klaidoms, aparatūros gedimams nustatyti. Automatinė SK indikatoriaus rodmenų vizuali patikra leidžia atlikti minėtus veiksmus sparčiau ir patikimiau, nes pašalinamas žmogiškasis faktorius – žmogus nepatikimai atlieka pasikartojančias, bet dėmesio ir tempo reikalaujančias užduotis (1 pav.). Automatinė SKI rodmenų patikra gali būti įgyvendinta naudojant vaizdų analizės metodus (Navakauskas ir kt., 2014: 445; Batchelor, 2012; Davies, 2012).

Šiame darbe pateikiamas vizualios segmentinio SKI rodmenų automatinės patikros strategija yra sudaryta iš 2 esminių etapų – vaizdų sutapdinimo (testuojamos nuotraukos geometrinis suvienodinimas su pavyzdine) ir vaizdo segmentavimo (analizuojamoje nuotraukoje surandamos dominančių segmentų pozicijos) (2 pav.). Vienas iš sutapdinimo proceso žingsnių yra apskaičiuoti lokalių vaizdo požymių rinkinius (deskriptorius). Straipsnyje pateikiamas naujas iš Gaboro požymių sudarytas deskriptorius ir palyginimas su dažnai naudojamais alternatyviais metodais (Šabanovič et al., 2015). Siekiant vaizdų sutapdinimo algoritmą specializuoti darbui su SKI vaizdais, buvo sudarytas specialus vaizdų rinkinys, kuris leido palyginti įvairius algoritmo žingsnius ir parinkti šiam uždaviniui tinkamiausius. Pabaigoje, atsižvelgiant į palyginimo rezultatus, pateikiamas specializuotas SKI vaizdų analizės algoritmas.



1 pav. Segmentinio skystųjų kristalų indikatoriaus (SKI) vizualios kokybės analizės automatizavimas per rodmenų patikrą. Žmogiškojo faktoriaus pašalinimui SKI nuotrauka apdorojama taikant vaizdų analizės algoritmus. Testuojamo SKI nuotrauka lyginama su paruoštu šablonu, kuriame yra informacija apie pageidaujamą segmentų aktyvavimo būseną. Sistema galiausiai pateikia sprendimą apie teisingą SKI veikimą arba aptiktas klaidas
Šaltinis: sudaryta autorių

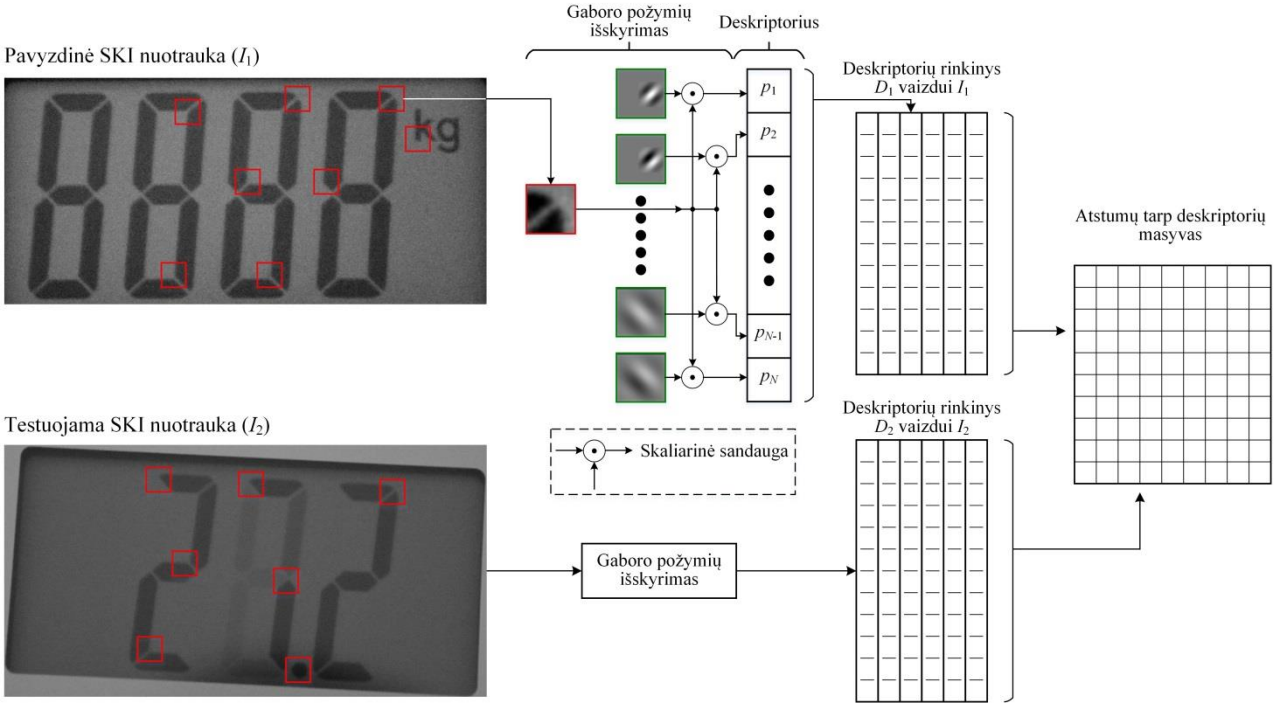


2 pav. Segmentinio skystųjų kristalų indikatoriaus (SKI) nuotraukų automatinės analizės strategijos pagrindinių žingsnių rezultatai: testuojamos nuotraukos sutapdinimas su pavyzdine, sulygiuotos testuojamos nuotraukos segmentavimas atsižvelgiant į pavyzdinės nuotraukos aprašą ir klaidingai išjungtų arba nepilnai aktyvuotų segmentų nustatymas

Šaltinis: sudaryta autorių

SKI nuotraukų analizės strategija

SKI analizės tikslas – nustatyti segmentų būseną (aktyvūs ar ne) ir pateikti atsaką apie teisingą arba klaidingą SKI veikimą (2 pav.). Sprendimas priimamas palyginant testuojamąją nuotrauką su šablonu. Šabloną sudaro pavyzdinė nuotrauka ir tos nuotraukos segmentų vietas nurodantis binarinis vaizdas. Pavyzdinė nuotrauka naudojama testuojamų vaizdų geometriniam suvienodinimui (iš analizuojamos nuotraukos reikia pašalinti geometrinius iškraipymus), o binarinis vaizdas ne tik žymi segmentų vietas, bet ir nurodo, kuriuos segmentus reikia patikrinti (nebūtinai visus segmentus reikia tikrinti dėl klaidingo išsijungimo). SKI nuotraukų analizės strategija užduoda, kad analizės algoritmas turės atlikti tokius veiksmus: a) pašalinti geometrinius iškraipymus iš testuojamosios nuotraukos; b) pašalinti arba sumažinti neigiamą intensyvumo iškraipymų įtaką; c) išskirti analizuojamoje nuotraukoje reikiamus segmentus; d) pateikti sprendimą apie indikatoriaus veikimą (veikia teisingai arba klaidingai).



3 pav. Lokalių požymių išskyrimas (deskriptorių apskaičiavimas) ir atstumų tarp deskriptorių radimas. Deskriptorius apibūdina kiekvieną sritį (simboliškai pažymėta raudonais kvadratais) ties reikšmingais taškais. Pristatomas deskriptorius yra masyvas iš *N* požymių, gautų atlikus Gaboro filtrų ir lokalios vaizdo srities skaliarines sandaugas

Šaltinis: sudaryta autorių

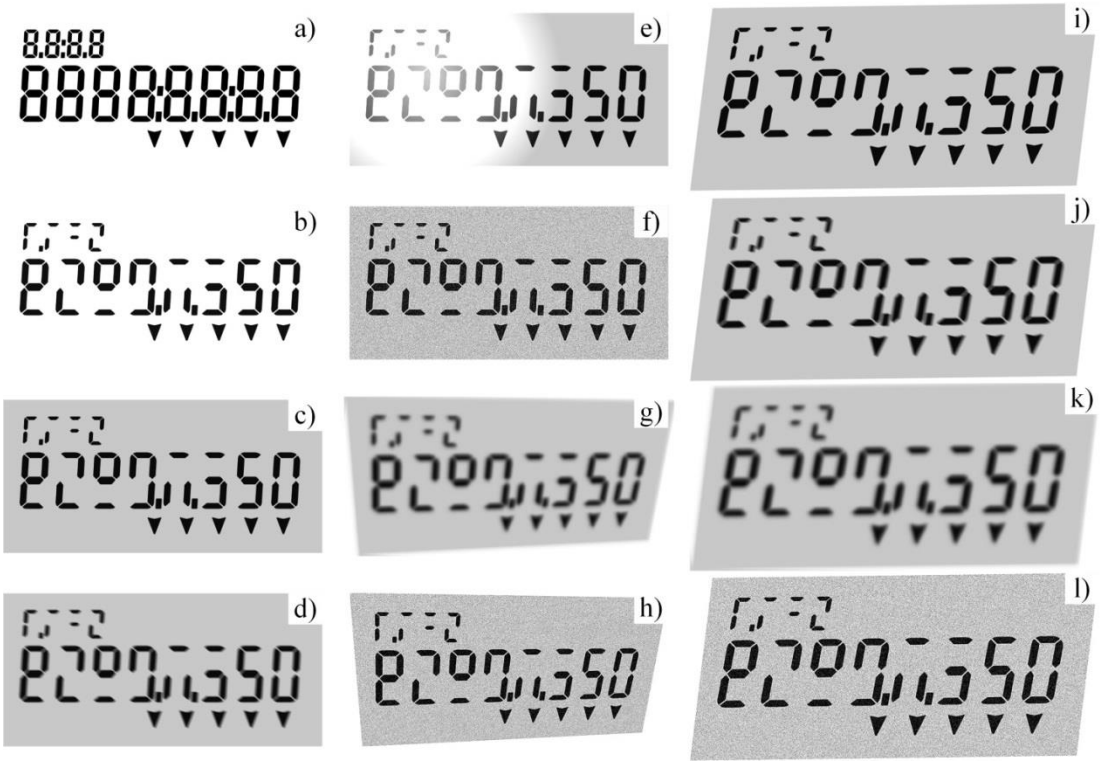
Tuomet, kai testuojamoji nuotrauka sulygiuota su šablonu, šablono binarinio vaizdo segmentai tiksliai sutaps su segmentų vietomis analizuojamoje nuotraukoje. Tokie sutapimai palengvina intensyvumo paskaičiavimą segmentų vietose, o pagal intensyvumą galima nuspręsti, ar segmentai yra aktyvuoti ar ne. Siekiant panaikinti intensyvumo iškraipymų (netolygus SKI fono apšvietimas, atspindžiai nuo SKI paviršiaus, kameros ekspozicijos trukmės pokyčiai) įtaką segmento būsenai nustatyti, tiriamo segmento srities intensyvumas lyginamas tik su to segmento fono intensyvumu. Segmento srities intensyvumas nustatinėjamas tik vidinėje segmento dalyje, kurią žymi segmento skeletas (2 pav. pažymėta mėlynais kontūrais), o atitinkamo segmento fono intensyvumas apskaičiuojamas tik mažoje srityje aplink segmentą (2 pav. pažymėta raudonais kontūrais). Sprendimas apie tinkamą SK indikatoriaus veikimą priimamas, jei visų segmentų ir jų fonų intensyvumų skirtumas viršija nustatytą slenkstinę vertę.

Segmentų būsenos nustatymas yra lengvai įgyvendinamas, jei testuojamoji nuotrauka sulygiuota su šablonu pakankamai tiksliai. Vadinasi visos SKI analizės baigtis iš esmės priklauso nuo tinkamai parinkto vaizdų sutapdinimo algoritmo.

SKI vaizdų sutapdinimo algoritmas

Vaizdų sutapdinimo metodai gali būti grįsti tiesioginiu vaizdų palyginimu arba grįsti lokalių požymių poravimu (angl. *Local Feature Matching*) (Goshtasby, 2012; Li et al., 2008). Algoritmai iš pirmosios grupės vaizdus sutapdina palaipsniui maksimizuodami pikselių panašumą visame vaizde ar srityse. Antro tipo algoritmai vaizdus sutapdina lygindami lokalius požymius, t.y. reikšmingų taškų aplinkose sudaromi lokalią vaizdo sritį aprašantys deskriptoriai ir tuomet ieškomos panašiausių deskriptorių poros, nurodysiančios atitinkančias vaizdų vietas. Pastarieji algoritmai nors ir sudėtingesni, bet greitesni ir pajėgesni pašalinti didesnius ir įvairesnių tipų geometrinius iškraipymus.

Indikatorių nuotraukų analizei pasirinktas lokaliais požymiais grįstas sutapdinimo principas (3 pav.), kuriame svarbiausi žingsniai yra: a) tapdinamuose vaizduose detektuoti reikšmingus taškus; b) reikšmingų taškų vietose išgauti vaizdo sritis apibūdinančius deskriptorius; c) rasti panašiausias deskriptorių poras; d) atmesti klaidingas deskriptorių poras; e) pagal suporuotų deskriptorių padėtis gauti geometrinės transformacijos parametrus (Hartley et al., 2003); f) atlikti geometrinę transformaciją.



4 pav. SKI pavyzdžiai iš pusiau sintetinio vaizdų rinkinio, sugeneruoto testavimui.
Rinkinys sudarytas imituojant galimus vaizdų iškraipymus: a) originalus pradinis vaizdas; b) imitavus dalies segmentų išsijungimą; c) pasikeitęs fono intensyvumas; d) judesio suliejimas; e) netolygus apšvietimas ir atspindžiai; f) Gauso tipo triukšmas; g) projekciniai iškraipymai ir išfokusavimas; h) projekciniai iškraipymai ir triukšmas; i) afinieji iškraipymai; j) afinieji iškraipymai ir judesio suliejimas; k) afinieji iškraipymai ir išfokusavimas; l) afinieji iškraipymai ir triukšmas

Šaltinis: sudaryta autorių

Vaizdų sutapdinimo algoritmų veikimą būtų galima pagerinti pritaikius juos konkretaus tipo (šiuo atveju segmentinio SKI) vaizdų sutapdinimui. Algoritmo specializavimui reikia parinkti tinkamiausią reikšmingų taškų radimo metodą (detektorių) ir lokalių požymių išskyrimo metodą (deskriptorių). Geriausiai detektoriaus ir deskriptoriaus porai atrinkti buvo sudarytas specializuotas pusiau sintetinių SKI vaizdų rinkinys (4 pav.). Atrankos kriterijus yra didžiausias teisingai sutapdintų SKI vaizdų skaičius.

Reikšmingų taškų radimo metodas, arba detektorius, bus parenkamas iš tokios detektorių grupės:

1. Harris kampų detektorius, dar vadinamas Plessey kampų detektoriumi, (Harris et al., 1988).
2. Noble (1989) kampų detektorius, kuris nuo Harris ir Stephens skiriasi naudojama kampų metrika.
3. Mažiausios tikrinės reikšmės kampų detektorius, arba Shi ir Tomasi (1994) detektorius.
4. FAST (angl. *Features from Accelerated Segment Test*) į kampus panašių raštų detektorius (Rosten et al., 2010).
5. BRISK (angl. *Binary Robust Invariant Scalable Keypoints*) į kampus panašių raštų detektorius (Leutenegger et al., 2011), kuris yra patobulintas FAST detektorius.
6. SURF (angl. *Speeded Up Robust Features*) blobų detektorius (Bay et al., 2008), grįstas Hesės matrica.
7. MSER (angl. *Maximally Stable Extremal Regions*) stabilių sričių detektorius (Mikolajczyk et al., 2005; Nistér et al., 2008).

Lokalių požymių rinkinio sudarymo metodas, arba deskriptorius, parenkamas iš tokios grupės:

1. SURF (angl. *Speeded Up Robust Features*) yra iš 64 Haro tipo požymių sudarytas deskriptorius (Bay et al., 2008). Tiriami SURF deskriptoriai (SURF-1, SURF-2 ir SURF-3) skiriasi parinktu mastelio parametru – 2, 5 ir 10 atitinkamai.
2. BRISK (angl. *Binary Robust Invariant Scalable Keypoints*) yra iš dvejetainių požymių sudarytas deskriptorius (Leutenegger et al., 2011), kur reikšmės gaunamos lyginant intensyvumus, paimtus iš lokalios srities aplink reikšmingą tašką.
3. FREAK (angl. *Fast Retina Keypoint*) yra taip pat iš dvejetainių požymių sudarytas deskriptorius (Alahi et al., 2012) ir požymių gavimo principai panašūs į BRISK, bet skiriasi vietų, iš kur surenkamos intensyvumų reikšmės palyginimui, išdėstymo dėsningumas – jis sudarytas pagal akies tinklainės struktūrą, t. y receptyvinių laukų dydžio ir padėties tinklainėje pasiskirstymą.
4. Naujas šiame darbe pasiūlytas deskriptorius, sudarytas iš Gaboro požymių (Lee, 1996). Gaboro požymiai gaunami atliekant vaizdo srities aplink reikšmingą tašką ir Gaboro filtrų skaliarines sandaugas (3 pav.). Gaboro filtrai imami lyginiai ir nelyginiai, paskaičiuoti 2 masteliuose, 4 orientacijose su poslinkiais – viso 272 filtrai ir atitinkamai sugeneruojamas tokio pat dydžio požymių rinkinys (deskriptorius).

Suradus reikšmingus taškus ir juos apibūdinančius deskriptorius, kitu žingsniu atliekamas deskriptorių poravimas. Poruojant deskriptorius įvertinamas jų artumas požymių erdvėje. Šiame eksperimente SURF ir Gaboro deskriptorių panašumas įvertinamas Euklido atstumu, o BRISK ir FREAK – Hamingo atstumu. Siekiant atmesti klaidingas poras, naudojamas MSAC (angl. *M-estimator SAmple Consensus*) algoritmas (Torr et al., 2000).

Rezultatai

Sutapdinimo algoritmui naudotinų detektoriaus ir deskriptoriaus porų palyginimas pateiktas 1 lentelėje. Geriausios poros, bendrai geriausio detektoriaus ir bendrai geriausio deskriptoriaus testų rezultatai lentelėje išskirti tamsesniu fonu. Antri pagal gerumą pasirinkimai išskirti tik paryškintu šriftu.

1 lentelė

Detektorių ir deskriptorių porų palyginimas

(pateikiamas teisingai sutapdintų vaizdų kiekis procentais)

Deskriptoriai (*DS*)	Detektoriai (*DT*)							$\overline{DT}$
	HS	N	ST	FAST	BRISK	SURF	MSER	
BRISK	82,7	94,6	86,9	92,6	66,3	98,0	66,0	83,9
FREAK	76,9	91,2	74,9	79,0	42,5	85,0	52,1	71,7
SURF-1	82,0	95,7	85,4	90,8	55,6	98,2	74,3	83,1
SURF-2	84,4	97,3	88,7	94,8	71,0	**99,6**	82,7	**88,4**
SURF-3	81,1	89,6	82,0	78,3	46,0	89,0	71,7	76,8
Gabor	87,1	**99,0**	90,7	98,1	83,3	**100**	79,5	**91,1**
$\overline{DS}$	82,3	**94,6**	84,8	88,9	60,8	**95,0**	71,1	

Žymėjimai: HS – Harris ir Stephens kampų detektorius; N – Noble kampų detektorius; ST – Shi ir Tomasi kampų detektorius.

Šaltinis: sudaryta autorių

Geriausią detektoriaus ir deskriptoriaus porą nurodo didžiausias teisingai sutapdintų vaizdų skaičius iš viso vaizdų rinkinio. Visas vaizdų poras iš pusiau sintetinių vaizdų rinkinio (4 pav.) teisingai sutapdino algoritmas, sudarytas iš SURF detektoriaus ir naujai pasiūlyto Gabor deskriptoriaus. Ištyrus ir atrinkus tinkamiausią reikšmingų taškų detektoriaus ir deskriptoriaus porą, sudarytas specializuotas segmentinio SK indikatoriaus vaizdų sutapdinimo algoritmas:

1. Pavyzdinėje ir testuojamoje SKI nuotraukose randami reikšmingi taškai pagal SURF metodą.
2. Reikšmingų taškų vietose apskaičiuojami vaizdo sritis apibūdinantys Gabor deskriptoriai.
3. Suporuojami reikšmingi taškai iš lyginamų vaizdų. Pradžioje atmetamos didesniu nei 20 % nuo vaizdo didžiausio matmens pikselių atstumu nutolusios reikšmingų taškų poros. Iš likusių galimų reikšmingų taškų porų randamos tos, kurių deskriptorių Euklido atstumas mažiausias.
4. Taikant MSAC algoritmą atmetami likę klaidingi sutapimai ir randami projekcinės transformacijos parametrai.
5. Atliekama testuojamojo vaizdo geometrinė transformacija.

Išvados

1. Segmentinio skystųjų kristalų indikatorių (SKI) automatinė rodmenų patikra gali būti naudinga nustatant prietaiso gamybos broką, programinės įrangos klaidas ar norint identifikuoti veikimo sutrikimus prietaiso naudojimo metu.
2. Siekiant patikimai atlikti automatinę rodmenų analizę, pasirinkta testuojamąją nuotrauką lyginti su specialiu šablonu, kuriame yra pavyzdinė SKI nuotrauka ir binarinis vaizdas, žymintis vietas segmentų, kuriuos reikia patikrinti. Geometriniai testuojamos nuotraukos iškraipymai šalinami sutapdinant nuotrauką su pavyzdine, o intensyvumo iškraipymų neigiama įtaka pašalinama dominančių segmentų būsenos tikrinimui naudojant binarinį vaizdą iš šablono.
3. Pasiūlytas naujas Gaboro požymiais grįstas deskriptorius (lokalių požymių išskyrimo metodas) yra vidutiniškai geriausias už kito tipo deskriptorius sprendžiant segmentinio SKI vaizdų sutapdinimo uždavinį.
4. Naudojant sudarytą pusiau sintetinių SKI vaizdų rinkinį nustatyta, kad geriausia SKI sutapdinimo algoritmą sudaryti iš SURF tipo reikšmingų taškų detektoriaus ir naujojo Gaboro požymių detektoriaus.

Literatūra

1. Alahi, A.; Ortiz, R.; Vandergheynst, P. 2012. Freak: Fast retina keypoint. In *Computer vision and pattern recognition (CVPR), 2012 IEEE conference on*, 510–517.
2. Bay, H.; Ess, A.; Tuytelaars, T.; Van Gool, L. 2008. Speeded-up robust features (SURF). *Computer vision and image understanding*, 110(3), 346–359.
3. Batchelor, B. G. 2012. *Machine Vision Handbook*. Springer London.
4. Davies, E. R. 2012. *Computer and machine vision: theory, algorithms, practicalities*. Academic Press.
5. Goshtasby, A. A. 2012. *Image registration: Principles, tools and methods*. Springer Science & Business Media.
6. Harris, C.; Stephens, M. 1988. A combined corner and edge detector. In *Alvey vision conference*, Manchester, 15, 147–151.
7. Hartley, R.; Zisserman, A. 2003. *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge university press.
8. Lee, T. S. 1996. Image representation using 2D Gabor wavelets. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 18(10), 959–971.
9. Leutenegger, S.; Chli, M.; Siegwart, R. Y. 2011. BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints. In *2011 International conference on computer vision*, 2548–2555.
10. Li, J.; Allinson, N. M. 2008. A comprehensive review of current local features for computer vision. *Neurocomputing*, 71(10), 1771–1787.
11. Mikolajczyk, K.; Tuytelaars, T.; Schmid, C.; Zisserman, A.; Matas, J.; Schaffalitzky, F., Kadir, T.; Van Gool, L. 2005. A comparison of affine region detectors. *International journal of computer vision*, 65(1–2), 43–72.
12. Navakauskas, D.; Serackis, A.; Matuzevičius, D.; Laptik, R. 2014. *Specializuotos elektroninės intelektualiosios sistemos garsams ir vaizdams apdoroti. Teorija ir taikymai*. Vilnius: Technika, 580 p.
13. Nistér, D.; Stewénius, H. 2008. Linear time maximally stable extremal regions. In *European Conference on Computer Vision*, 183–196.
14. Noble, J. A. 1989. *Descriptions of image surfaces*. Doctoral Dissertation, Oxford University.
15. Rosten, E.; Porter, R.; Drummond, T. 2010. Faster and better: A machine learning approach to corner detection. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 32(1), 105–119.
16. Shi, J.; Tomasi, C. 1994. Good features to track. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'94)*, Seattle, 593–600.
17. Šabanovič, E.; Matuzevičius, D. 2015. Application of human visual system models to LCD image analysis. In *Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE), 2015 IEEE 3rd Workshop on Advances in*, 1–5.

18. Torr, P. H.; Zisserman, A. 2000. MLESAC: A new robust estimator with application to estimating image geometry. *Computer Vision and Image Understanding*, 78(1), 138–156.

AUTOMATIC VERIFICATION OT SECTIONAL LIQUID CRYSTAL DISPLAY READINGS

Summary

Automated verification of segment LCD readings can be applied to inspect operation status of the device (which uses LCD to output data) or LCD itself. Such inspection can expose software of hardware related problems. Inspection of LCD readings is achieved through automated analysis of LCD images. Composed algorithm of automated LCD image analysis includes critical step of image alignment which allows to eliminate geometrical distortions from the image being analysed. Presented method for image alignment is based on local feature (descriptor) matching. Here we describe a new Gabor feature based descriptor, which enables to achieve maximal count of correctly aligned images, compared to other known descriptors.

Key words: Segment LCD, automatic inspection of readings, visual quality control, image alignment, image segmentation.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Dalius Matuzevičius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto, Elektroninių sistemų katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: regos mokslai, mašinų mokymasis.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 5 274 4766, dalius.matuzevicius@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Darius Plonis.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto, Elektroninių sistemų katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: mikrobangų ir aukštųjų dažnių technologijos, signalų apdorojimo technologijos, multimedija, įterptinės sistemos.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 5 251 2145, darius.plonis@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Andrius Katkevičius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras.
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto, Elektroninių sistemų katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: mikrobangų ir aukštųjų dažnių technologijos, įterptinės sistemos.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 5 274 4766, andrius.katkevicius@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Dalius Matuzevičius.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics, Department of Electronic Systems, associated professor.
Author‘s research interests: vision science, machine learning.
Telephone and e-mail address: +370 5 274 4766, dalius.matuzevicius@vgtu.lt

Author name, surname: Darius Plonis.
Science degree and name: doctor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics, Department of Electronic Systems, associated professor.
Author‘s research interests: microwaves and high frequency technologies, signal processing technologies, multimedia and embedded systems.
Telephone and e-mail address: +370 5 251 2145, darius.plonis@vgtu.lt

Author name, surname: Andrius Katkevičius.
Science degree and name: doctor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics, Department of Electronic Systems, associated professor.
Author‘s research interests: microwaves and high frequency technologies, embedded systems.
Telephone and e-mail address: +370 5 274 4766, andrius.katkevicius@vgtu.lt

TRIUKŠMO SUKELIAMO NEIGIAMO POVEIKIO MAŽINIMO PRIEMONIŲ EKSPERTINIS VERTINIMAS

Jūratė Romeikienė[1], Kristina Čižiūnienė[2]
[1]Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, [2]Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija
Transporto srautų keliamas triukšmas skverbiasi į gyvenamąją ir darbinę aplinką, sukeliantis sveikatos sutrikimus ir problemas visuomenei. Triukšmo mažinimui yra teikiamas didelis dėmesys tiek iš Europos Sąjungos institucijų tiek vietinės valdžios. Naudojamos įvairios techninės priemonės šiai problemai spręsti. Šiame straipsnyje siekiama išaiškinti, kaip mokslininkų įvardijamos triukšmo mažinimo priemonės yra vertinamos ekspertų ir kaip moksliniuose šaltiniuose minimi elementai koreliuoja su praktika, kokių priemonių turima imtis pirmiausiai.
Raktiniai žodžiai: Triukšmas, neigiamas poveikis, mažinimas.

Įvadas

Triukšmas – viena svarbiausių ekologinių problemų. Triukšmas trukdo darbui, poilsiui, neigiamai veikia žmonių sveikatą, todėl triukšmo problemą spręsti būtina (Juozaponis G., Grubliauskas, R. 2014).

Šiuolaikiniame pasaulyje, kai mus supanti aplinka nuolat modernėja, didėja transporto srautai miestuose ir gyvenvietėse, daugėja mechanizuotų įrenginių mūsų aplinkoje, sparčiai didėja ir triukšmo zonos bei taršos lygis jose (Klibavičius 2008; Juozaponis, Grubliauskas 2014).

Labiausiai paplitęs triukšmo šaltinis yra automobilių transportas. Jo keliamam triukšmui įrengiami įvairūs inžineriniai įrenginiai (Juodzevičius 2001). Priklausomai nuo vietos, triukšmo lygio ir norimo pasiekti rezultato gali būti projektuojami barjerai, triukšmo sienutės ar dar rengiant projektus numatomi sprendimai dėl augmenijos, sugeriančios ir mažinančios triukšmą (Kaulakys 1999; Kazragis, Gailius 2006; Juozaponis, Grubliauskas, 2014).

Triukšmo sklidimo kelias yra dvejopas: tiesioginis nuo šaltinio iki priėmėjo ir netiesioginis, atsispindėjęs nuo teritorijoje esančių trikdžių. Atsispindėjusio triukšmo galia priklauso nuo teritorijos paviršiaus tipo. (Jensen et al., 2002, Lekavičiūtė, 2007). Didėjantis transporto srautas neišvengiamai didina ir triukšmo lygį, todėl triukšmo mažinimo priemonės ir jų efektyvus panaudojimas tampa viena iš šių dienų aktualių problemų.

Straipsnio tikslas – atlikti triukšmo mažinimo priemonių ekspertinį vertinimą.

Straipsnio objektas – triukšmas ir jo mažinimo priemonės.

Tikslui pasiekti iškelti šie uždaviniai:

- Išanalizuoti triukšmo sukeliamą neigiamą poveikį aplinkai teoriniu aspektu;
- Atlikti ekspertinį tyrimą, siekiant įvertinti kaip mokslinėje literatūroje įvardijamas triukšmo poveikis aplinkai ir jo mažinimo priemonės koreliuoja praktikoje.

Tyrimo metodika

- Mokslinės literatūros analizė;
- Ekspertinis vertinimas.

Mokslinės literatūros šaltinių analizėje nustatytas sukeliamo triukšmo neigiamas poveikis aplinkai, bei įvardintos dažniausiai naudojamos triukšmo mažinimo priemonės. Ekspertinio tyrimo metu buvo siekiama išsiaiškinti ar visos šios priemonės koreliuoja praktikoje, bei ką ekspertai mano apie triukšmo mažinimą didėjant urbanizacijos lygiui.

Triukšmo ir jo sukeliamo neigiamo poveikio teorinė analizė

Triukšmo mastai priklauso nuo eismo intensyvumo. Plečiantis transporto infrastruktūroms, didėja ir aplinkos triukšmas (Baliukonis, Bureika, 2013; Nagelytė *et al.* 2015).

Bene aktualiausia problema žmogui yra ta, kad padidėję transporto priemonių srautai sukelia triukšmo lygį, kuris viršija leistinas normas, taip kenkdamas sveikatai (Nagelytė *et al.* 2015).

Pagrindinis triukšmo šaltinis gyvenamosiose teritorijose – automobilių transporto srautai gatvėse, nuo kurių sklindantis triukšmas kai kuriais atvejais sudaro iki 80–82 % bendro triukšmo lygio. Triukšmo šaltiniai yra varikliai, jėgos bei judesio perdavimo mechanizmai, padangos, besiliečiančios su kelio paviršiumi, tačiau daug įtakos triukšmui turi ir kelių bei gatvių danga ir transporto intensyvumas (Mačiūnas, 1999; Jensen et al., 2002). Garso sklidimui nuo kelio turi įtakos šaltinio tipas, atstumas nuo triukšmo šaltinio, teritorijos paviršius, meteorologinės sąlygos (vėjas, temperatūra, drėgmė, krituliai), atspindinčios kliūtys, ekranavimas (kliūtys kaip barjerai ir pastatai) (Bruel, Kjaer, 2000; Jensen et al., 2002).

Prognozuojama, jog per artimiausius 20–25 metus didžiuosiuose vidurio ir rytų Europos miestuose dėl transporto triukšmas padidės vidutiniškai 0,5–1 dBA per metus. Jei nebus imtasi triukšmo mažinimo priemonių, tai 25 % transporto srauto padidėjimas sukels 1 dBA triukšmo lygio padidėjimą. Tikėtina, kad ši grėsmė dar labiau didės, augant krovinių vežimo apimtims – kuo daugiau krovinių bus gabenama kelių transporto priemonėmis, tuo bus didesnė triukšmo tarša (Apie 2011, Nagelytė *et al.* 2015).

Transporto keliamas triukšmas yra vienas iš dažniausių visuomenės nepasitenkinimą keliančių aplinkos veiksnių Europos Sąjungoje. Europoje atliktos apklausos duomenimis, apie 70 proc. respondentų iš Europos Sąjungos išreiškė nerimą dėl gyvenamosios aplinkos triukšmo. Triukšmas darbo vietoje, veikiantis ne mažiau 25 proc. kasdieninio darbo laiko, vargina trečdalį darbingo amžiaus darbuotojų (Merllie, Paoli, 2001). Ne ką mažesnį diskomfortą triukšmas sukelia vaikams, moksleiviams, ugdymo ir mokymosi bei poilsio teritorijose. Ilgalaikis poveikis triukšmu gali sukelti įvairų poveikį individui: nuo dirginimo, sukelto nuolatinės įtampos ir streso, arterinio kraujospūdžio padidėjimo, iki širdies ir kraujagyslių ligų rizikos padidėjimo (van Kempen et al., 2002; Babisch et al., 2003a, 2003b; Schwela, 2000; Miedema, Vos, 2003).

Esant 60 dB triukšmo lygiui gali išryškėti ir kitokių simptomų: nemiga, pablogėjusi atmintis, susilpnėjęs dėmesys, orientacija (Kindurytė, R. Oškinis, V. 2003). Jei mums tenka ilgesnį laiką būti triukšmingoje aplinkoje, blogėja mūsų darbingumas, judesių koordinacija, didėja nervinė įtampa ir traumų rizika (Pilipavičiūtė, Bakas 1998; Toppila *et al*. 2000).

Triukšmas įsiskverbia į gyvenamuosius namus, visuomeninius pastatus ir kitas žmonių lankomas vietas. Butas, esantis triukšmingoje miesto teritorijoje, gali būti 30 dB(A) triukšmingesnis nei panašus būstas kaimo vietovėje (Soh, 1999). Vertinant šiuos pakitimus, reikia žinoti, kad garso slėgio lygio padidėjimą 10 dB(A) žmogus suvokia, kaip garsumo padidėjimą du kartus (Mačiūnas, 1999; Lekavičiūtė, 2007).

Mokslinės literatūros šaltinių analizė parodė, kad yra nemažai autorių, kurie nagrinėja triukšmą, jo kilmės šaltinius, poveikį aplinkai ir panašius klausimus. Tačiau yra pasigendama duomenų ar visi šie rodikliai kada nors buvo vertinami ekspertų kaip visuma.

Triukšmo sukeliamo neigiamo poveikio mažinimo priemonių tyrimo rezultatai

Tyrime siekiama išaiškinti, kaip mokslininkų įvardijamos triukšmo mažinimo priemonės yra vertinamos ekspertų ir kokių priemonių turima imtis pirmiausiai, t.y. tyrimu siekiama išsiaiškinti, kaip moksliniuose šaltiniuose minimi elementai koreliuoja su praktika. Tyrimui pasirinktas ekspertinis vertinimas, kuriam atlikti pakankama imtis 3-5 ekspertai. Kad būtų tikslesni ekspertinio vertinimo duomenys, apklausti 8 ekspertai iš mokslo ir verslo srities.

Ekspertų buvo prašoma įvertinti ką triukšmas labiausiai veikia žmogaus atžvilgiu ir kokios pasekmės.

1 lentelė

Gautų vertinimų rangų lentelė

Respondento eil. Nr.	Faktoriaus šifravimo simbolis (m=8)*							
	a	**b**	**c**	**d**	**e**	**f**	**g**	**h**
E_1	8	7	3	4	2	6	1	5
E_2	1	5	3	6	4	8	2	7
E_3	4	8	3	6	2	7	1	5
E_4	8	6	3	4	1	7	2	5
E_5	4	5	2	6	3	7	1	8
E_6	5	6	1	8	3	7	2	4
E_7	1	4	3	6	5	7	2	8
E_8	3	1	2	4	5	6	8	7
$\sum_{i=1}^{n} R_{ij}$	34	42	20	44	25	55	19	49
$\bar{R}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_{ij}}{n}$	4.25	5.25	2.500	5.500	3.125	6.875	2.375	6.125
$\sum_{i=1}^{n} R_{ij} - \frac{1}{2} n(m+1)$	-2	6	-16	8	-11	19	-17	13
$\left[\sum_{i=1}^{n} R_{ij} - \frac{1}{2} n(m+1)\right]^2$	4	36	256	64	121	361	289	169

***** Kriterijų kodavimas: Nemiga (a); Pablogėjusi atmintis (b); Susilpnėjąs dėmesys (c); Susilpnėjusi orientacija(d); Blogėja darbingumas (e); Blogėja judesių koordinacija (f); Didėja nervinė įtampa (g); Didėja traumų rizika (h).

Šaltinis: sudaryta autorių.

Apskaičiuotas konkordancijos koeficientas, kai nėra susietų rangų.

$$W = \frac{12S}{n^2\left(m^3 - m\right)} = \frac{12 * 1300}{8^2(8^3 - 8)} = 0{,}4836 .$$

Triukšmo faktoriai, kurie daro įtaką žmogui, skaičius m > 7. Tuomet konkordancijos koeficiento svoris yra apskaičiuojamas pagal formulę ir gaunamas atsitiktinis dydis.

$$\chi^2 = n(m-1)W = \frac{12S}{nm(m+1)} = \frac{12 \times 1300}{8 \times 8(8+1)} = 27{,}0833$$

χ^2 apskaičiuota reikšmė 27,0833 gavosi didesnė už kritinę χ^2_{kr} (lygi 14,0671) reikšmę, dėl to atsakiusiųjų nuomonė laikoma suderinta, o vidutiniai rangai rodo bendrą ekspertų nuomonę.

Apskaičiuota mažiausia konkordancijos W_{min} koeficiento reikšmė, kur teigiama, kad visų 8 respondentų nuomonės apie 8 triukšmo faktorius, darančius įtaką žmogui, vis dar laikomos suderintomis.

$$W_{\min} = \frac{\chi^2_{v,\alpha}}{n(m-1)} = \frac{14{,}0671}{8(8-1)} = 0{,}2512 < 0{,}4836$$

Atlikti skaičiavimai parodė, kad 8 respondentų ir 8 triukšmo faktorių, kurie daro įtaką žmogui, sutampa ir ekspertų nuomonė yra suderinta.

Skaičiuojami triukšmo faktorių, darančių įtaką žmogui, svarbumo rodikliai –Q_j. Gauti duomenys pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė

Rangų vertinimų lentelė

Rodiklio žymuo	Faktoriaus šifravimo simbolis								Suma
	a	b	c	d	e	f	g	h	
$\bar{q}_j$	0.1181	0.1458	0.0694	0.1528	0.0868	0.1910	0.0660	0.1701	1
d_j	0.8819	0.8542	0.9306	0.8472	0.9132	0.8090	0.9340	0.8299	7
Q_j	0.1260	0.1220	0.1329	0.1210	0.1305	0.1156	0.1334	0.1186	1
Q'_j	0.1319	0.1042	0.1806	0.0972	0.1632	0.0590	0.1840	0.0799	1
Faktorių išdėstymas	4	5	2	6	3	8	1	7	

Šaltinis: sudaryta autorių.

2 lentelėje pateikti visi faktoriai ir jų išsidėstymo tvarka nuo svarbiausio iki mažiausiai svarbaus. Remiantis ekspertų vertinimais ir atliktais skaičiavimais, triukšmo poveikis labiausiai žmogų ir jo organizmą veikia šia seka:

1. Didėja nervinė įtampa;
2. Susilpnėjąs dėmesys;
3. Blogėja darbingumas;
4. Nemiga;
5. Pablogėjusi atmintis;
6. Susilpnėjusi orientacija;
7. Didėja traumų rizika;
8. Blogėja judesių koordinacija.

Taip pat ekspertų buvo prašoma įvertinti, kokios iš moksliniuose straipsniuose minimų, priemonių leistų mažinti transporto priemonių triukšmą (3 lentelė).

Apskaičiuotas konkordancijos koeficientas, kai nėra susietų rangų.

$$W = \frac{12S}{n^2\left(m^3 - m\right)} = \frac{12 * 206}{8^2(4^3 - 4)} = 1{,}2875 .$$

Konkordancijos koeficiento svoris yra apskaičiuojamas pagal formulę ir gaunamas atsitiktinis dydis.

$$\chi^2 = n(m-1)W = \frac{12S}{nm(m+1)} = \frac{12 \times 206}{8 \times 4(4+1)} = 15{,}450$$

χ^2 apskaičiuota reikšmė 15,450 gavosi didesnė už kritinę χ^2_{kr} (lygi 7,81473) reikšmę, dėl to atsakiusiųjų nuomonė laikoma suderinta, o vidutiniai rangai rodo bendrą ekspertų nuomonę.

3 lentelė

Gautų vertinimų rangų lentelė

Respondento eil. Nr.	Faktoriaus šifravimo simbolis (m=4)*			
	a	**b**	**c**	**d**
E_1	3	2	1	4
E_2	4	3	1	2
E_3	4	2	1	3
E_4	3	1	2	4
E_5	3	1	2	4
E_6	3	1	2	4
E_7	3	1	2	4
E_8	2	1	3	4
$\sum_{i=1}^{n} R_{ij}$	25	12	14	29
$\bar{R}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_{ij}}{n}$	3.125	1.5	1.750	3.625
$\sum_{i=1}^{n} R_{ij} - \frac{1}{2} n(m+1)$	5	-8	-6	9
$\left[\sum_{i=1}^{n} R_{ij} - \frac{1}{2} n(m+1)\right]^2$	25	64	36	81

***** Kriterijų kodavimas: Barjerai (a); Triukšmo sienutės (b); Augmenija sugerianti triukšmą (c); Gerinama gatvių danga (d).

Šaltinis: sudaryta autorių

Apskaičiuota mažiausia konkordancijos W_{min} koeficiento reikšmė, kur teigiama, kad visų 8 respondentų nuomonės apie 4 triukšmo mažinimo faktorius, vis dar laikomos suderintomis.

$$W_{\min} = \frac{\chi^2_{v,\alpha}}{n(m-1)} = \frac{7{,}81473}{8(4-1)} = 0{,}3256 < 1{,}2875$$

Atlikti skaičiavimai parodė, kad 8 respondentų ir 4 triukšmo mažinimo faktorių, sutampa ir ekspertų nuomonė yra suderinta.

Skaičiuojami triukšmo mažinimo faktorių svarbumo rodikliai – Q_j. Gauti duomenys pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė

Rangų vertinimų lentelė

Rodiklio žymuo	Faktoriaus šifravimo simbolis				Suma
	a	b	c	d	
$\bar{q}_j$	0.3125	0.1500	0.1750	0.3625	1
d_j	0.6875	0.8500	0.8250	0.6375	3
Q_j	0.2292	0.2833	0.2750	0.2125	1
Q'_j	0.1875	0.3500	0.3250	0.1375	1
Faktorių išdėstymas	3	1	2	4	

Šaltinis: sudaryta autorių.

4 lentelėje pateikti visi faktoriai ir jų išsidėstymo tvarka nuo svarbiausio iki mažiausiai svarbaus. Remiantis ekspertų vertinimais ir atliktais skaičiavimais, triukšmą mažinti labiausiai padėtų tokia veiksnių seka:

1. Triukšmo sienutės;
2. Augmenijos, kuri sugeria triukšmą sodinimas;
3. Barjerai;
4. Gerinama gatvių danga.

Be šių, visiems gerai žinomų priemonių leidžiančių mažinti triukšmo lygį, ekspertai įvardino ir šias: elektromobilių naudojimas; dviračių naudojimas; vairuotojų kvalifikavimo kėlimas; transporto srautų mažinimas mieste, įrengiant stovėjimo aikšteles užmiestyje; aplinkkelių rengimas didesniu atstumu nuo mieto; gyvenamųjų rajonų nestatymas šalia intensyvių gatvių; greitkelių miete įrengimas požeme, tuneliuose; hibridinių transporto priemonių naudojimas; metro, požeminis transportas.

Išvados

1. Atlikta mokslinės literatūros analizė parodė, kad ilgalaikis poveikis triukšmu gali sukelti įvairų poveikį individui: nuo dirginimo, sukelto nuolatinės įtampos ir streso, arterinio kraujospūdžio padidėjimo, iki širdies ir kraujagyslių ligų rizikos padidėjimo. Esant dideliam triukšmui išryškėja šie simptomai: nemiga, pablogėjusi atmintis, susilpnėjęs dėmesys, orientacija.
2. Atliktas ekspertinis tyrimas patvirtino, kad mokslinėje literatūroje įvardijamas triukšmo poveikis aplinkai ir jo mažinimo priemonės koreliuoja praktikoje ir ekspertų nuomonės yra suderintos. Tačiau tyrimo rezultatai leido jas suranguoti nuo svarbiausio iki mažai svarbaus.
3. Be mokslinėje literatūroje vardijamų triukšmo mažinimo priemonių, ekspertai įvardijo ir šias, kurios padėtų dar labiau mažinti triukšmą: naujausių transporto priemonių naudojimas; transporto priemonių srauto mažinimas urbanistinėse vietovėse, bei įvairių šiuolaikiškų inžinerinių sprendimų taikymas.

Literatūra

1. *Apie triukšmą* [interaktyvus]. 2011. EAA portalas [žiūrėta 2016 01 19]. Prieiga per internetą: http://www.eea.europa.eu/lt/themes/noise/about-noise
2. Baliukonis, R., Bureika, G. 2013. Automobilių transporto keliamo triukšmo tyrimas Alytaus mieste, *iš Transporto inžinerijos ir vadybos*: 16-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2013 m. gegužės 8 d., pranešimų medžiaga. Vilnius: Technika. 25–29 psl.
3. Bartoševičienė, V. 2010. *Ekonominės statistikos pagrindai: mokomoji knyga.* Kaunas: Technologija. 112 psl.
4. Brueland, K. 2000. *Sound and Vibration Measurements. A/S. Environmental Noise*. 65 p.
5. European Environment Agency report. 2013. *Air quality in Europe – 2013 report.*Copenhagen. 112 psl.
6. Jensen A., Ballisager S., Sørensen P.L., Baltmiškienė I., Švarplienė A., Jankauskienė N. Tetra Plan A/S, Acoustica, Carl Broajs, Transporto ir kelių tyrimo institutas. 2002. *Triukšmo mažinimo užtvarų vadovas*. 79 p.
7. Juodzevičius, E. 2001. Transporto priemonių techninės būklės vertinimas pagal jų skleidžiama triukšmą, *Transport* 16(6): 234–239.
8. Juozaponis G., Grubliauskas, R. 2014. Gokartų keliamo triukšmo sklaidos į gyvenamąją aplinką tyrimai ir vertinimas. Mokslas - Lietuvos ateitis. Prieiga per internetą: http://www.mla.vgtu.lt/index.php/mla/article/viewFile/mla.2014.48/1183
9. Kazragis, A., Gailius, A. 2006. *Kompozicinės medžiagos ir dirbiniai su gamtiniais organiniais užpildais*. Vilnius: Technika.256 p.
10. Kaulakys, J. 1999. *Fizinė technologinė aplinkos tarša. Triukšmas ir vibracija.* Vilnius: Technika.
11. Klibavičius, A. 2008. *Transporto neigiamo poveikio aplinkai vertinimas.* Vilnius: Technika.
12. Kindurytė, R.; Oškinis, V. 2003. Autotransporto triukšmo poveikis gyventoju sveikatai, iš *6-osios Lietuvos jaunųjų Mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“, įvykusios Vilniuje 2003 m. kovo 30 d., pranešimų medžiaga*. Vilnius: Technika, 322–326.
13. Lekavičiūtė, J. 2007.Transporto triukšmas Kauno mieste ir jo įtaka miokardo infarkto rizikai. Daktaro disertacija. Kaunas: Vytauto didžiojo universitetas.
14. Mokslo darbo ataskaita. 2008. *Nuostolių, patiriamų dėl neigiamo transporto poveikio urbanistinėse zonose, įvertinimas*. Vilnius. 205 psl.
15. Mačiūnas E. 1999. *Automobilių ir gyvenamosios aplinkos triukšmo, patenkančio į patalpas, apskaičiavimas ir įvertinimas*. Metodinės rekomendacijos. Vilnius. 17 p.
16. Merllie D, Paoli P. 2001. *Ten years of working conditions in the European Union* (Third Survey). Report European Foundation for Improvement of Living and Working Condition, Dublin, www.eurofound.ie/working/surveys.htm.
17. Nagelytė, M., Čižiūnienė, K., Matijošius, J. 2015. Krovininio transporto sukeliamo triukšmo tyrimas // Inžinerinės ir edukacinės technologijos = Engineering and educational technologies. Kaunas: Kauno technikos kolegija. ISSN 2029-9303. 2015, Nr.1, p. 18-25.
18. Pagrindinių kelių triukšmo prevencijos veiksmų planas. 2013. *Triukšmo prevencijos veiksmų plano sudarymas pagal pagrindinių kelių strateginius triukšmo žemėlapius.* Kaunas. 18 psl.
19. Pilipavičiūtė, J.; Bakas, A. 1998. *Transporto taršos neigiama įtaka gyvenamajai aplinkai*, Aplinkos apsaugos inžinerija. Vilnius: Technika, 133–138.
20. Soh K.B.K. 1999. *Noiseis a public health and social problem in Singapore*. Singapore Medical Journal. 40 (9), p. 561-562.
21. Van Kempen E.E., Kruize H., Boshuizen H.C., Ameling C.B., Staatsen B.A., de Hollander A.E. 2002. *The association between noise exposure and bloodpressure and is chaemicheart disease: a meta-analysis*. Environmental Health Perspectives. 110 (3), p. 307–17.

EXPERT EVALUATION OF THE NOISE NEGATIVE IMPACT REDUCTION MEASURES

Summary

Traffic noise penetrates into the living and working environment, causing health problems and problems of the public. Noise reduction is given great attention by both the European Union institutions and local authorities. Different technical measures are used to address this issue. This article aims to explain how scientists assess the identified noise reduction measures and ways in which elements of measures named in scientific sources correlate with practice, what steps are usual to take the first.

Key words: The noise, the negative impact of the reduction.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Jūratė Romeikienė
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorė
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos, Petro Vileišio geležinkelių transporto fakulteto Transporto vadybos katedros lektorė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: transporto geografija, transporto sistemos elementai, susisiekimo pasekmės ir jų sprendimo būdai.
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 655 09422, j.romeikiene@vtdko.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Kristina Čižiūnienė
Mokslo laipsnis ir vardas: daktarė, docentė
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Transporto inžinerijos fakulteto, Logistikos ir transporto vadybos katedros docentė
Autoriaus mokslinių interesų sritys: žmogiškieji ištekliai ir jų valdymas transporto sektoriuje, transporto vadyba, transporto inžinerija.
Telefonas ir el. pašto adresas: (8 5) 237 0632, kristina.ciziuniene@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Jūratė Romeikienė
Science degree and name: master
Workplace and position: Vilnius College of Technologies and Design, Petras Vileišis Railway transport faculty Transport management department lector.
Author‘s research interests: transport geography, transport system, the consequences of transportation and their solutions.
Telephone and e-mail address: 8 655 09422, j.romeikiene@vtdko.lt

Author name, surname: Kristina Čižiūnienė.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty, Logistics and Transport Management department associated professor.
Author‘s research interests: human resources and their management in the transport sector, transport management, transport engineering.
Telephone and e-mail address: (8 5) 237 0632, kristina.ciziuniene@vgtu.lt

SKIRTINGOMIS SĄLYGOMIS EKSPLOATUOJAMŲ SAULĖS ELEMENTŲ EFEKTYVUMO TYRIMAI

Audrius Čereška
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

Straipsnyje pateikti skirtingomis sąlygomis eksploatuojamų saulės elementų efektyvumo tyrimai. Tyrimams atlikti buvo naudotos dvi saulės elementų sistemos: stacionari ir mobili. Tyrimo metu buvo kaupiama informacija apie stacionariai ir mobiliai eksploatuojamų saulės elementų generuojamą įtampa, srovę, galią, gaminamą elektros energijos kiekį. Atliktas tyrimas, kurio metu išnagrinėtas praktinis saulės elementų efektyvumas priklausomai nuo jų eksploatavimo sąlygų.

Atlikus gautų rezultatų analizę nustatyta, kad esant saulėtoms dienoms stacionariai eksploatuojamo saulės elemento efektyvumas 3,5 kartus didesnis, už mobiliai eksploatuojamo saulės elemento. Bendras pagamintos elektros energijos kiekis, palyginus abu būdus, skyrėsi 4 kartus.

Reikšminiai žodžiai: fotoelemento efektyvumas, fotoelemento galia, saulės elementas, eksploatavimo sąlygos.

Įvadas

Paprasčiausias būdas paversti saulės energiją į elektros energiją yra saulės baterijų naudojimas. Saulės baterija/elementas – tai prietaisas, saulės išspinduliuotą energiją (šviesą) tiesiogiai verčiantis į elektros energiją (Parida 2011). Saulės energijos virsmą į elektros energiją įgalina saulės baterijoje vykstantis fotovoltinis procesas, kitaip dar vadinamas fotovoltiniu efektu (Rosa 2009).

Kiekvieną dieną saulė pagamina didžiulius kiekius energijos. Tai pats galingiausias energijos šaltinis Žemėje. Teorinis metinis pasaulio saulės energijos potencialas sudaro 900 000 000 TWh. Jis yra apie 60 kartų didesnis už teorinį metinį pasaulio vėjo energijos potencialą, apie 2 200 kartų — už teorinį metinį geoterminės energijos potencialą, 36 000 kartų — už hidroenergijos teorinius metinius potencialus. Tačiau didžioji dalis saulės energijos potencialo taip ir lieka nepanaudota. Taip yra dėl kelių priežasčių: saulės energija yra plačiai išsisklaidžiusi, jos parametrai kinta plačiose ribose priklausomai nuo paros ir metų laiko.

Naudoti saulės energiją įvairiuose mažos galios buities įrenginiuose: skaičiuokliuose, laikrodžiuose, žibintuvėliuose, jau seniai yra įprasta. Naudojantis pažangiausiomis technologijomis, realizuoti saulės energijos išteklius tampa vis lengviau. Užsienio šalyse energija, kurią išspinduliuoja saulė, jau ganėtinai seniai sėkmingai naudojama pastatų šildymui, karšto vandens ir elektros gamybai (Šalteikis 2005).

JAV yra numačiusi, kad iki 2050 metų, 69% elektros energijos gaus iš saulės. JAV vejasi Indija, Kinija, kitos šalys. Lietuvoje taip pat vis labiau domimasi saulės energijos išteklių vertimo į elektros energiją galimybėmis.

Nuolat augant šilumos kainoms, mažėjant naftos, dujų, kietojo kuro ištekliams, sparčiai didėjant aplinkos užterštumui, ir Lietuvoje vis didesnis dėmesys yra skiriamas saulės energijai kaip alternatyviam energijos šaltiniui (Abrutis 2009).

Saulės švietimo laikas ilgiausias Lietuvos pajūryje ir trumpėja rytinės sienos link (Perednis 2005). Vidutiniškai Lietuvos pajūryje būna apie 1840–1900 saulėtų val./m., o šalies rytiniame pakraštyje jis neviršija 1700 val./m. Maksimali saulės švietimo trukmė yra Nidoje – apie 1908 val./m. Vilniuje vidutinis suminis saulės energijos kiekis horizontaliojoje plokštumoje yra apie 3500 MJ/m^2 per metus, tai tik šiek tiek mažiau nei Centrinėje Europoje. Įvairiose Lietuvos vietovėse per metus į horizontalaus paviršiaus kvadratinį metrą patenka skirtingas saulės spindulinės energijos kiekis, Biržuose ~ 926 kWh/m^2., o Nidoje ~ 1042 kWh/m^2. Saulės spinduliavimo metinis energijos potencialas Lietuvoje yra apie 1000 kWh/m² (Perednis 2005). Lietuvos teritorija apima 65 200 km^2 plotą, todėl į Lietuvos teritoriją patenka 6,54.10^{13} kWh/metus. Lietuvoje yra ~150 km^2 namų stogų, kurie gali būti panaudoti fotoelektros saulės jėgainėms įrengti. Ant jų krinta 1,5.10^{11} kWh/metus saulės spindulinės energijos. Esant saulės elementų efektyvumui 15%, iš jėgainių, įrengtų ant stogų, galima gauti 2,25.10^{10} kWh/metus. Patenkanti ant žemės paviršiaus saulės spindulinė energija kinta priklausomai nuo metų laikų, paros laiko ir meteorologinių sąlygų (Singh 2015). Energija lapkričio, gruodžio, sausio mėnesiais sudaro tik 10 % gegužės, birželio, liepos mėnesių energijos. Naktį energija artima nuliui, labai apniukusią dieną - sudaro tik kelis procentus nuo giedros dienos energijos (Klevienė 2012).

Palyginimui: Vokietijoje kasmet horizontalusis žemės paviršius gauna nuo 925 kWh/m² šiaurinėje dalyje iki 1170 kWh/m² pietinėje, vadinasi, vidutinis dienos vidurkis yra apie 3 kWh/m² (Eicker 2003), t. y. tris kartus didesnis nei Lietuvoje.

2005 išteklių dalis bendrame Lietuvos pirminės energijos balanse padidėjo iki 8,7%, o 2010 m. buvo pasiektas vienas iš strateginių šalies tikslų – padidėjo iki 12 %, tačiau daugelis šalių lenkė Lietuvą. Lyderė

tarp šių šalių yra Vokietija, kuri 2005 metais turėjo 6,2 mln. m^2 saulės kolektorių plotus, šie plotai didėja su kiekvienais metais (Kytra 2006).

2011–2012 metais Lietuvoje saulės elektrinių pagaminamas elektros kiekis išaugo 20 kartų (EurObserv 2013). 2012–2013 saulės elementų pagaminamas elektros kiekis išaugo dar 22,5 karto iki 45 GWh (EuroObserv 2013, 2014).

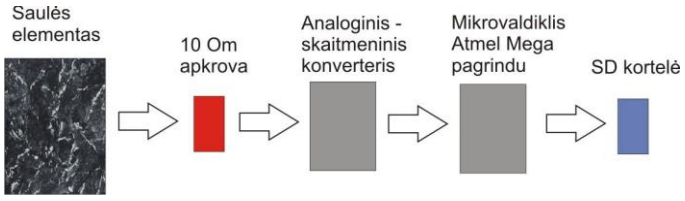
Tyrimo duomenys rodo, kad saulės elementai populiarėja ir sparčiai plinta, pramoniniu ir privataus sektoriaus lygiu. Todėl yra svarbu nustatyti ir pateikti duomenis apie saulės elementų naudojimo efektyvumą priklausantį nuo jų įrengimo būdo (Abromas 2001; Hinsch 2009).

Žmogus įsirengęs net ir labai mažos galios jėgainę, gautą elektros energiją gali panaudoti vandens pašildymui, gyvenamosios erdvės apšvietimui ir įvairioms kitoms reikmėms. Elektros energijos pagaminamas kiekis priklauso ne tik nuo saulės elemento dydžio, bet ir nuo jo eksploatavimo būdo. Tiksliai nėra žinoma, kur įrengti saulės elementai bus efektyvesni ir kiek skirsis jų efektyvumas eksploatuojant skirtingais būdais (Yoon 2011; Саврасов 2012). Stacionariai montuojamų sistemų efektyvumą nustatyti nėra sunku, pakanka kompiuterinės programos. Tačiau norint sužinoti saulės elementų efektyvumą, sumontuotų judančiame objekte, reikia atlikti eksperimentinius tyrimus, kadangi teoriškai galima tik nuspėti galimą efektyvumą.

Darbo tikslas – atlikti skirtingomis sąlygomis (stacionariai ir mobiliai) eksploatuojamų saulės elementų efektyvumo tyrimus, siekiant praplėsti saulės elementų panaudojimo galimybes.

Eksperimentinė įranga ir tyrimų metodika

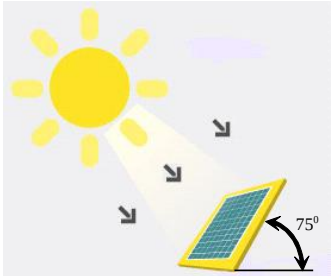
Eksperimentams atlikti naudoti du visiškai vienodi polikristaliniai saulės moduliai. Vieno modulio maksimali galia 20 *W*, įtampa 18,8 V, efektyvumas 15%. Visą tyrimų sistemą sudaro: saulės elementas, jungimo laidynas, varža ir informacijos kaupiklis. Tyrimams atlikti naudoti registravimo prietaisai – informacijos kaupiklis, sukurtas programuojamo mikrovaldiklio pagrindu su SD kortelės laikmena, kurioje kaupta informacija. Saulės elementai ir valdikliai buvo sujungti į uždarą grandinę, kuri buvo apkrauta 10 Ω varža. Informacijos kaupiklio schema pateikta 1 pav.



1 pav. Informacijos kaupimo schema

Saulės elementai įtvirtinti bandymo vietose:

1. Vienas saulės elementas, su informacijos kaupikliu, įrengtas stacionariai, jo padėtis saulės atžvilgiu – 75º nuo horizontalios padėties (2 pav.), kryptis – pietvakariai.
2. Kitas, analogiškas, saulės elementas, su informacijos kaupikliu, įrengtas ant automobilio galinės panelės, tokiu pačiu kampu – 75º. Automobilis buvo pastoviai eksploatuojamas, kai nedalyvavo eisme, automobilis parkuotas įvairiose vietose, priklausomai nuo esamų stovėjimo vietų, taigi elementas buvo orientuotas tiek šiaurės kryptimi, tiek pietų kryptimi, siekiant užtikrinti objektyvias sąlygas.



2 pav. Principinė saulės elemento pastatymo schema

Tyrimas truko 168 dienas t. y. 5 mėnesius ir 17 dienų (2013-12-01–2014-05-17). Tyrimo metu buvo fiksuojama stacionariai ir mobiliai eksploatuojamų saulės elektrinių generuota įtampa (1 sekundės intervalu). Eksperimento metu buvo fiksuojamas laikas, remiantis gautais duomenimis apskaičiuotas pagamintos elektros energijos kiekis.

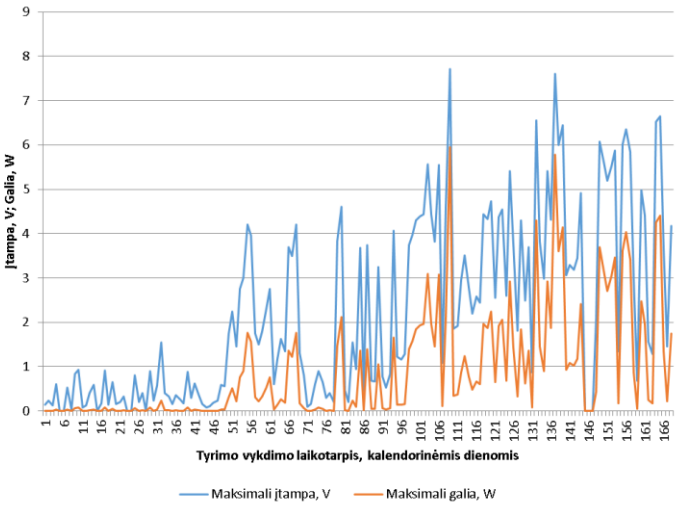
Eksperimentiniai tyrimai atlikti vadovaujantis tokia metodika:

1. Saulės elementai įtvirtinti bandymo vietose;

2. Nustatyta varža;
3. Įranga (elementas, kaupiklis, maitinimo šaltinis, varža) sujungta į grandinę;
4. Įjungtas informacijos kaupiklis ir įdiegta atminties laikmena;
5. Gautų rezultatų analizė.

Tyrimų rezultatai ir jų analizė

Iš tyrimų rezultatų matoma, kad šaltuoju metu laiku, mobiliai eksploatuotas saulės elementas neefektyvūs. Per pirmuosius du tyrimo mėnesius, gruodį ir sausį, maksimali generuojama įtampa retai pasiekdavo 1V įtampą, o generuojama galia 0,2 W. Tačiau sausio mėnesio pabaigoje įtampa šoktelėjo iki 4V, o didžiausia generuota galia pasiekė beveik 2W. Mobiliai eksploatuoto saulės elemento generuotos elektros įtampos ir galios priklausomybė nuo saulėtų dienų, pateikta grafike (3 pav.).

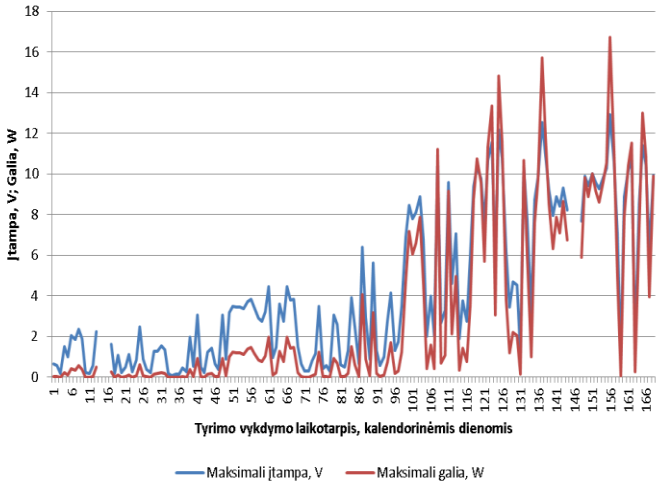


3 pav. Mobiliai eksploatuojamo saulės elemento generuota maksimali galia ir įtampa

Pailgėjus dienai ir pasikeitus saulės intensyvumui, išnykus trukdžiams keliamiems žiemos reiškinių (sniegas, apsnigti langai, pūgos), padidėjo ir mobiliai eksploatuoto saulės elemento generuojama įtampa ir galia. Saulėtų dienų metu gauti žymiai geresni rezultatai. 109 tyrimo dieną užfiksuota maksimali mobiliai eksploatuojamo saulės elemento generuota įtampa – 7,7 V. Viso tyrimo metu mobiliai eksploatuojamo saulės elemento generuojama įtampa tik du kartus viršijo 7 V ribą, 109 ir 137 tyrimo vykdymo dienomis.

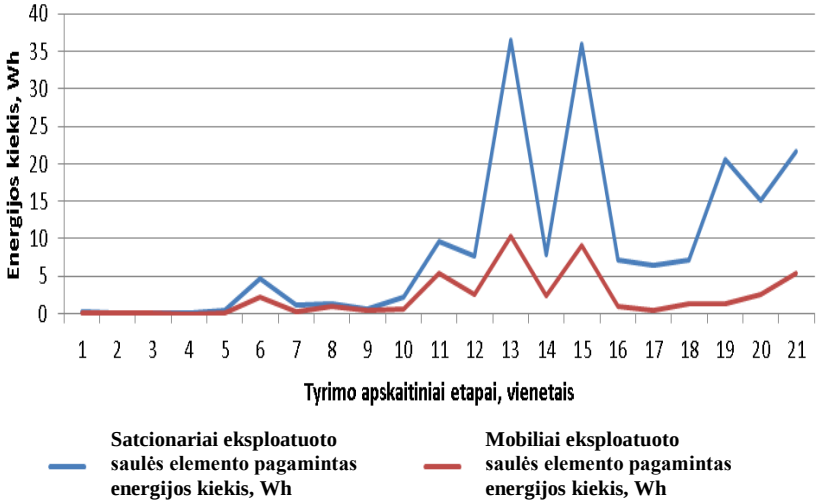
Stacionariai eksploatuoto saulės elemento tyrimų rezultatai žymiai geresni už mobiliai eksploatuoto stendo tyrimo rezultatus, tačiau ir stacionariai eksploatuoto saulės elemento, šaltuoju metu laiku, našumas mažas. Per gruodį ir sausį, maksimali generuota įtampos reikšmė retai priartėdavo prie 2 V dydžio. Sausio mėnesio pabaigoje, įtampa didėjo beveik iki 4 V įtampos, o didžiausia generuota galia buvo beveik 2 W dydžio. Stacionariai eksploatuoto saulės elemento generuotos elektros įtampos ir galios priklausomybė nuo saulėtų dienų, pateikta grafike (4 pav.).

Pailgėjus dienai ir pasikeitus saulės intensyvumui, stacionariai eksploatuoto saulės elementas generavo 16,7 W galią.



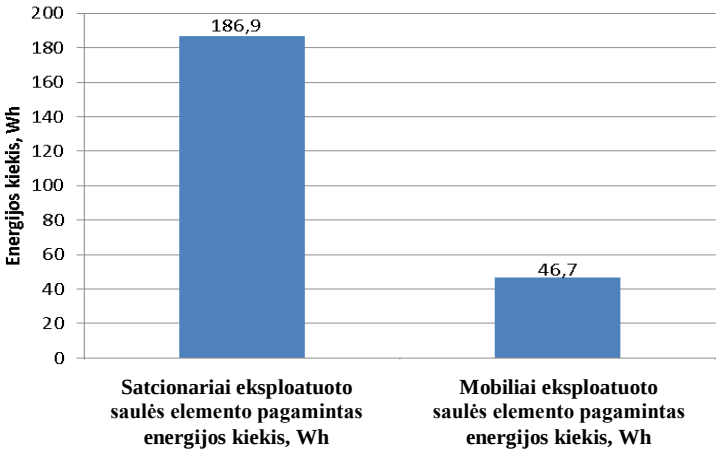
4 pav. Stacionariai eksploatuojamo saulės elemento generuota maksimali galia ir įtampa

Efektyvesnis saulės elementų elektros energijos generavimo etapas prasidėjo nuo vasario mėnesio, pailgėjus dienoms ir pakilus saulei aukščiau virš horizonto. Saulėtomis dienomis stacionariai ir mobiliai eksploatuojamų saulės elementų pagamintas elektros energijos kiekis skyrėsi apie 3,5 kartus (5 pav.).



5 pav. Tyrimo etapų metu pagamintas elektros energijos kiekis

Tyrimo metu, mobiliai ir stacionariai eksploatuotų saulės elementų, pagamintas elektros energijos kiekis pateiktas grafike (6 pav.).



6 pav. Viso tyrimo metu pagamintas elektros energijos kiekis

Atlikus tyrimų metu sukauptų duomenų analizę, nustatyta kad saulės elemento eksploatavimo būdas turi didelę įtaką saulės elemento efektyvumui ir elektros energijos gamybai.

Bendras pagamintos elektros energijos kiekis, palyginus abu būdus, skyrėsi 4 kartus (6 pav.).

Išvados

1. Tyrimų rezultatai parodė, kad saulės elemento eksploatavimo būdas turi didelę įtaką saulės elemento elektros energijos gamybos našumui.
2. Saulėtomis dienomis stacionariai ir mobiliai eksploatuojamų saulės elementų pagamintas elektros energijos kiekis skyrėsi apie 3,5 kartus.
3. Esant blogoms oro sąlygoms ir silpnam apšvietimui stacionariai eksploatuojamo saulės elemento našumas buvo beveik 12,94 kartus didesnis, už mobiliai eksploatuojamo saulės elemento.
4. Bendras pagamintos elektros energijos kiekis, palyginus abu būdus, skyrėsi 4 kartus.

Literatūra

1. Abromas J., Baravykaitė, D. 2011. *Alternatyvios energetikos objektai vakarų Lietuvoje, jų poveikis vizualinei aplinkai ir poveikio optimizavimo galimybės*. Mokslas-Lietuvos ateitis. T. 3(3). 72-76 p.
2. Abrutis, V. 2009. *2009/28/EB dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją.* [interaktyvus], [žiūrėta: 2013-10-30]. Prieiga per internetą: <http://www.lsta.lt/files/seminarai/ 091217_LEI%20seminaras/Abrutis.pdf>.

3. Eicker, U. 2003. *Solar Technologies for Buildings*. Wiley. 336 p.
4. EuroObserv 2013. *Photovaltaic barometre* [interaktyvus], [žiūrėta: 2014-03-10]. Prieiga per internetą: <http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro-jdp9.pdf>.
5. EuroObserv 2014. *Photovaltaic barometre* [interaktyvus], [žiūrėta: 2014-03-12]. Prieiga per internetą: < http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro-jdp11_en.pdf>.
6. Hinsch, A., Brandt, H., Veurman, W., Hemming, S., Nittel, M., Würfel, U., Putyra, P., Lang-Koetz, C., Stabe, M., Beucker, S., Fichter, K. 2009. *Dye solar modules for facade applications: Recent results from project ColorSol*. Solar Energy Materials and Solar Cells. 93 (6–7). 820–824 pages.
7. Yoon, S., Tak, S., Kim, J., Jun, Y., Kang, K., Park, J. 2011. *Application of transparent dye-sensitized solar cells to building integrated photovoltaic systems*. Building and Environment. 46 (10). 1899-1904 pages.
8. Kytra, S. 2006. *Atsinaujinantys energijos šaltiniai*. Kaunas. Technologija. 301 p.
9. Klevienė, A., Perednis, E. 2012. Saulės energijos paklausos didinimo prielaidos. Energetika. T. 58, Nr. 3. 148-157 p. http://mediapro.lt/saules-energijos-panaudojimas/
10. Ozolinčius, O. 2007. *Atsinaujinantys energijos ištekliai*. Kaunas, VDU. 147 p.
11. Parida, B., Iniyan, S., Goic, R. 2011. *A review of solar photovoltaic technologies*, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 15 (3). 1625-1636 pages.
12. Perednis, E., Kavaliauskas, A. 2005. *Saulės energijos naudojimo šilumai gaminti Lietuvoje tyrimai*. Energetika. 2005. Nr. 4. p. 49–53.
13. Rosa, A. 2009. *Fundamentals of renewable energy processes*. 2009. JAV: Academic Press. 864p.
14. Šateikis, I. 2005. *Fotoelektrinių elementų kompleksinio naudojimo elektros ir šilumos gamybai galimybių tyrimas* LŽŪU ŽŪI Instituto ir LŽŪ Universiteto mokslo darbai, 37(3): 99-110 p.
15. Singh, R., Banerjee, R. 2015. *Estimation of rooftop solar photovoltaic potential of a city*. Solar Energy. 115. 589-602 pages.
16. Саврасов Ф. В., Ковалев, И. К. 2012. *Исследование эффективности работы солнечной батареи в полевых условиях.* Энергетика. Т. 321. №. 4. с. 165-168.

EFFICIENCY RESEARCHES OF SOLAR CELLS EXPLOITED WITH DIFFERENT CONDITIONS

Summary

This paper presents efficiency researches of the solar cells exploiting under different conditions. There were used two solar cells systems to do researches: stationary and mobile. The stationary system is installed on the balcony, and the mobile - on the car roof. During research was gathered information about exploiting voltage generated by solar cells stationary and mobile, current, power, produced electrical power quantity. It have done research, which is examined the practical solar cells efficiency depending on its exploiting conditions.

After analysis of getting results it is established, that efficiency of solar cell that is exploiting stationary, being sunny days was 3.5 times higher for the mobile- exploiting solar cell. The total quantity of generated electricity, compared the two methods, is differed by 4 times.

Key words: solar cells, photovoltaic efficiency, photovoltaic power, exploitation conditions.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Audrius, Čereška
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, profesorius
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos fakulteto, Mechanikos 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

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Audrius, Čereška
Science degree and name: doctor, professor
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Mechanics faculty, Mechanical 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

BINOKULINĖS REGOS SKAITINIS MODELIS HORIZONTALIŲ ERDVĖS KOORDINAČIŲ KODAVIMUI

Eldar Šabanovič[1], Dalius Matuzevičius[1], Henrikas Vaitkevičius[2]
[1]Vilniaus Gedimino technikos universitetas, [2]Vilniaus universitetas

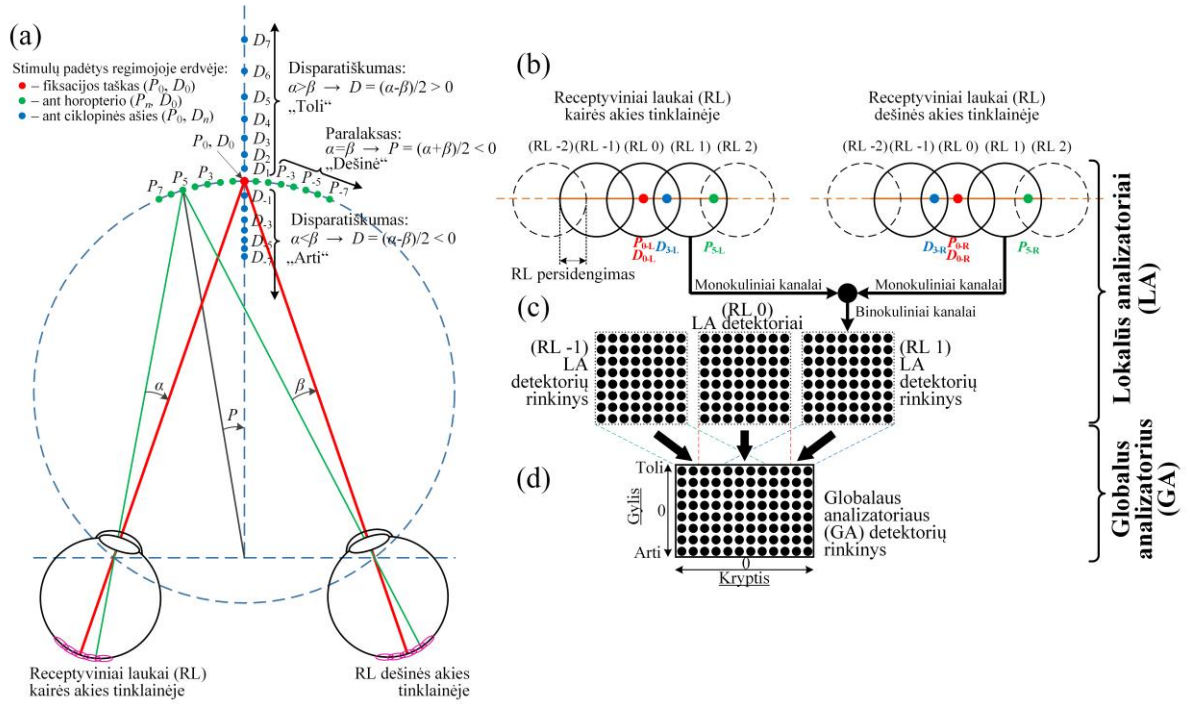
Anotacija

Darbe pristatome binokulinės regos sistemos skaitinį modelį, atliekantį regimosios erdvės atvaizdavimą į jos subjektyvų suvokinį. Objekto, esančio horizontalioje regimosios erdvės plokštumoje, padėtis koduojama trimačio vektoriaus kryptimi. Šis trimatis vektorius yra vidinė išorinės erdvės reprezentacija. Vektoriaus kryptis dekoduojama rinkiniu neuronų detektorių, kurių kiekvienas tampa selektyvus tam tikrai objekto padėčiai plokštumoje regimoje erdvėje. Pasiūlytas modelis leidžia įvertinti subjektyvius atstumus gylyje ir kryptyje, paaiškina tokias žinomas biologinės binokulinės regos sistemos savybes kaip alelotropija, fuzija (Panumo srityje), diplopija, skirtingi gylio suvokimo jautrumai.

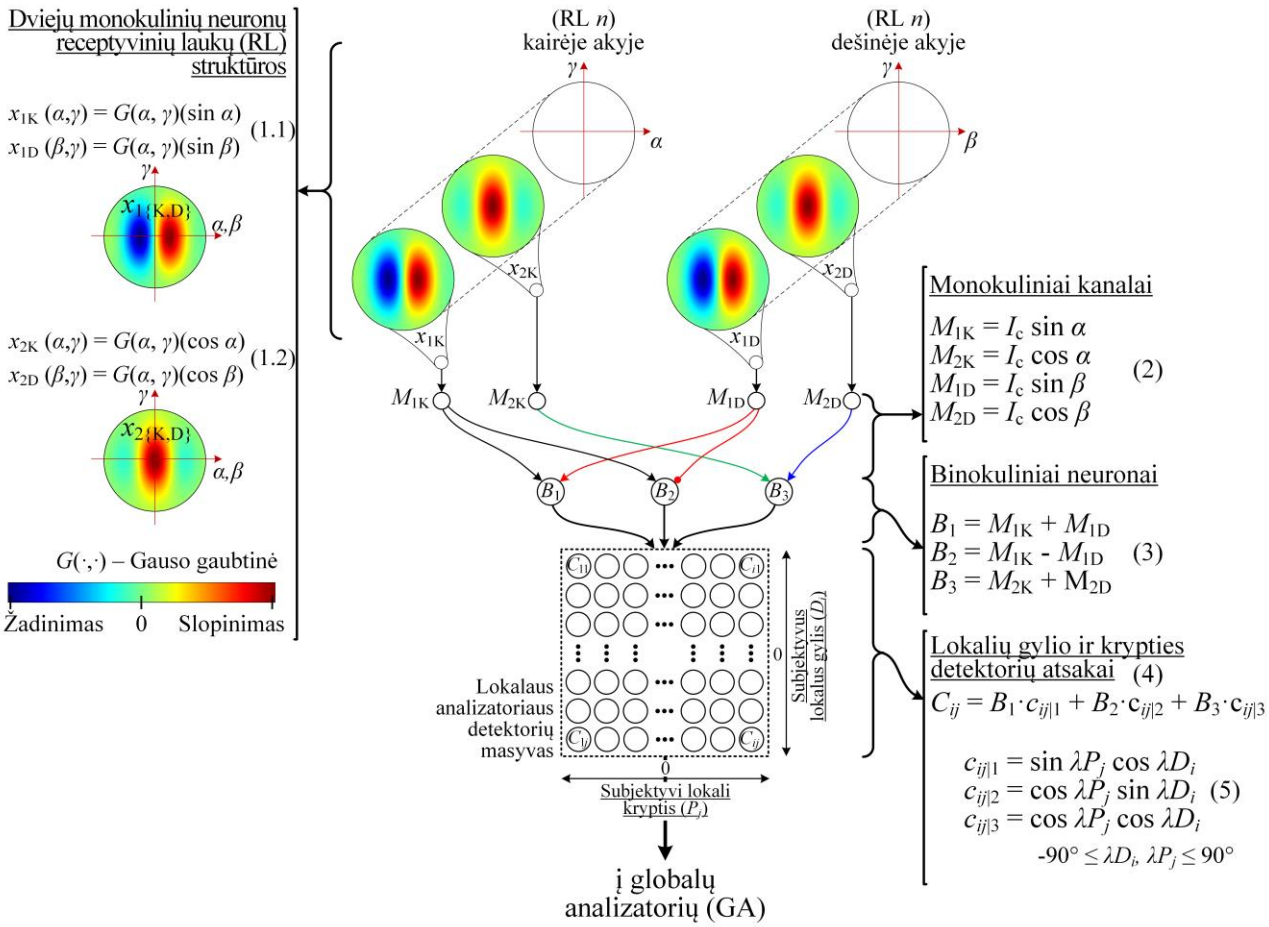
Reikšminiai žodžiai. Binokulinė regos sistema, binokulinis skaitinis modelis, horizontaliosios erdvinės koordinatės.

Įvadas

Daugelyje mokslinių darbų nagrinėjama problema, kaip abiakė (angl. *binocular*) regos sistema suvokia trimatę (3D) regimąją erdvę, analizuodama dvimačių (2D) vaizdų porą – skirtingas matomos scenos projekcijas kairės ir dešinės akių tinklainėse (Barlow et al., 1967; Marr et al., 1979; Pettigrew et al., 1988; Poggio et al., 1988). Šiuo metu plačiai pripažįstami stereoregos modeliai siūlo būdus, kaip sukonstruoti disparatiškumo detektorius, bando paaiškinti disparatiškumo kodavimą (Freeman et al., 1990; Fleet et al., 1996; Ohzawa et al., 1997; Ohzawa, 1998), tačiau disparatiškumas tėra viena iš erdvinių koordinačių, aprašančių regimo objekto padėtį (Mansfield et al., 1996; Vaitkevicius et al., 2013). Be to, pripažintasis energetinis modelis negali paaiškinti ir regėjimo krypties kodavimo mechanizmų, o tokio modelio naudojimu suponuojama, kad disparatiškumo ir krypties kodavimo mechanizmai yra skirtingi. Naudojami modeliai, be minėtų disparatiškumo ir krypties aiškinimo trūkumų, negali būti panaudojami skaitinei diplopijos, alelotropijos, binokulinės fuzijos ir binokulinės regos aštrumo reiškinių analizei (Matuzevicius et al., 2014). Nežinant, kaip regos sistema nustato visas erdvines koordinates, neįmanoma kiekybiškai įvertinti, prognozuoti ir ištirti binokulinės regos savybių ir charakteristikų, kurias būtų galima palyginti su žmogaus binokuline rega.



1 pav. Regimosios erdvės atvaizdavimo į jos subjektyvų suvokinį skaitinis modelis: a) regimosios erdvės geometrija, stimulų padėtys erdvėje ir jų projekcijos į tinklainę; b) tinklainių receptyviniai laukai ir stimulų padėtys; c) lokalių analizatorių masyvas; d) globalaus analizatoriaus struktūra ir signalų perdavimas iš lokalių detektorių į globalius
Šaltinis: sudaryta autorių



2 pav. Lokalaus *n*-tojo analizatoriaus struktūra
Šaltinis: sudaryta autorių

Šiame darbe pateikiamas trimatę erdvę charakterizuojančių požymių kodavimo sistemos binokulinis skaitinis modelis. Naujas fiziologiškai įmanomas modelis parodo, kad erdvinių koordinačių (gylio ir krypties) kodavimo mechanizmai gali būti vienodi. Naudojant pasiūlytą modelį, kiekybiškai aprašomos tokios binokulinės regos savybės: a) suvokto gylio ir krypties priklausomybė nuo fizinio disparatiškumo ir paralakso; b) Panumo sritis (fuzijos ir diplopijos sritys); c) eksponentinis gylio suvokimo jautrumo mažėjimas, kai stimulas tolsta nuo horopterio.

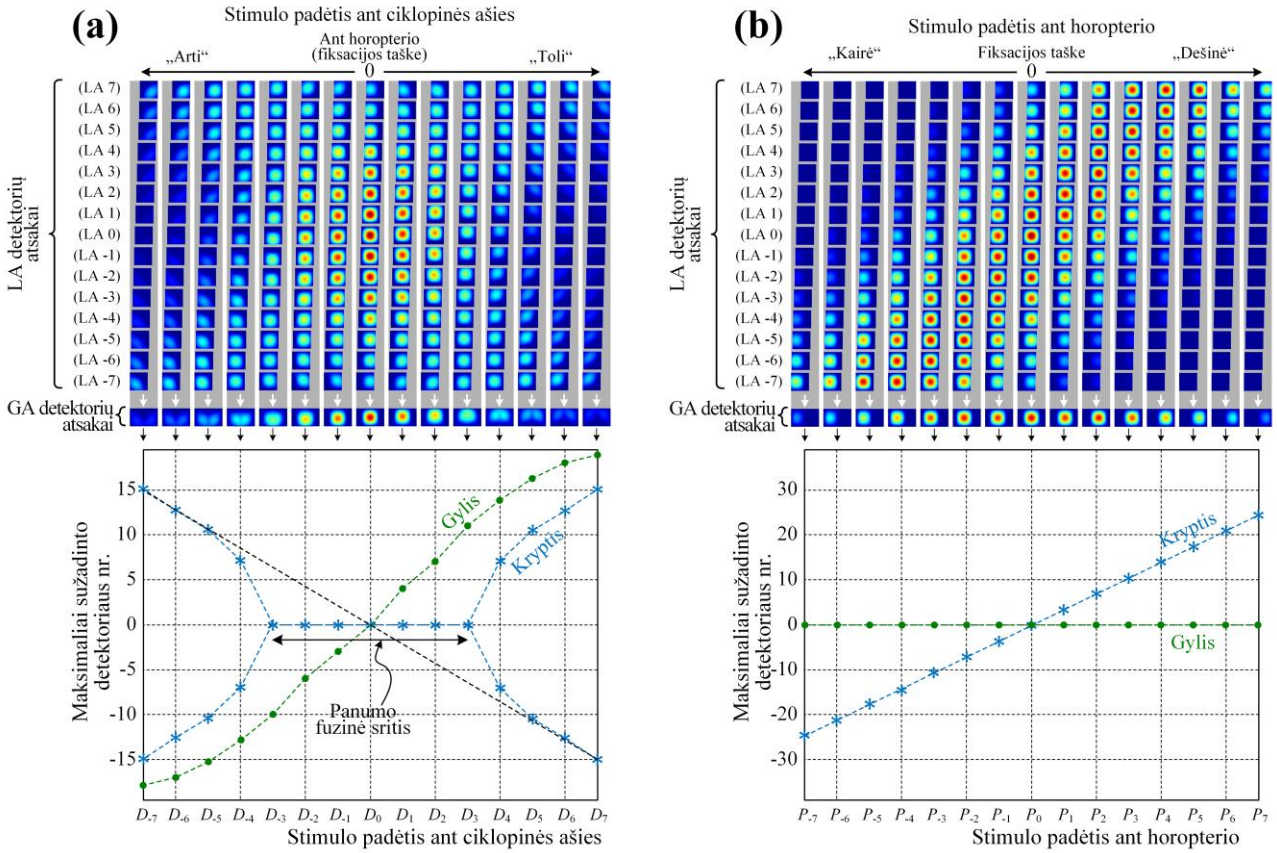
Modelio struktūra. Regimosios erdvės ir binokulinės regos sistema pateikta 1 pav., kur binokulinis skaitinis modelis, koduojantis lokalaus objekto fragmento padėtį 3D erdvėje, yra esminis elementas.

Modelis sudarytas iš dviejų individualių dalių – *lokalios tiesinės dalies* (struktūrizuotas lokalių analizatorių (LA) masyvas, 1b ir 1c pav.) ir *globalios netiesinės dalies* (globalus analizatorius (GA), 1d pav.). Lokalūs analizatoriai (jų detalesnė struktūra pateikta 2 pav.) atlieka kiekvieno taško iš lokalios regimosios erdvės tiesinį atvaizdavimą ant 3D sferos. Toks veiksmas priskiria lokalias erdvines koordinates objektui, esančiam tam tikroje mažoje regimosios erdvės dalyje. Tuo tarpu globalus analizatorius jungia visų lokalių analizatorių atsakus, panaudojant netiesines operacijas (čia – maksimalios reikšmės išrinkimo veiksmas), ir suteikia objekto globalias erdvines koordinates (horizontalų disparatiškumą ir paralaksą).

Lokalūs analizatoriai (LA) taip pat yra sudaryti iš dviejų dalių – *monokulinės* ir *binokulinės* (2a pav.). Monokulinė dalis yra grupė keturių monokulinių neuronų, kurie sujungti su tais pačiais fotoreceptoriais kiekvienoje akyje, tačiau turi skirtingos struktūros Gaboro tipo receptyvinius laukus (RL) (Fomin et al., 1979). Taigi monokuliniai išėjimai yra svertinė fotoreceptorių išėjimų suma ir gali būti vaizduojama kaip 3D vektoriaus komponentės. Šio vektoriaus kryptis koduoja šviesos centroido padėtį receptyviniame lauke. Svarbu atkreipti dėmesį, kad kiekvienas lokalus analizatorius turi koresponduojančius receptyvinius laukus, t. y. receptyviniai laukai yra atitinkamose abiejų akių tinklainių vietose (Kulikowski et al., 1986). Receptyvinių laukų struktūros (svorių funkcijos) $x_{1\{K,D\}}$ ir $x_{2\{K,D\}}$ (pavaizduotos 2 pav.) apskaičiuojamos pagal (1) išraišką. Žinant šviesos pasiskirstymą $I(\alpha,\gamma)$ ir $I(\beta,\gamma)$ ant koresponduojančių receptyvinių laukų, kuriuos galima tapačiai pakeisti į šviesos centroides I_c su konkrečiomis padėtimis (α,γ) ir (β,γ), (2) išraiška nusakys monokulinių neuronų M_{iK} ir M_{iD}, (i = 1; 2) atsakus.

Binokulinės dalies neuronai (2 pav.) yra panašūs į paprastųjų (angl. *simple*) neuronų klasę. Lokalus analizatorius turi 3 tiesiškai nepriklausomus binokulinius neuronus, kurie sumuoja signalus, gautus iš monokulinių neuronų (2 pav., (3) išraiška), ir telkinį tiesiškai priklausomų neuronų, kurie veikia kaip disparatiškumo ir paralakso detektoriai (2 pav., (5) išraiška). Trys nepriklausomi neuronai gali būti vaizduojami kaip komponentės 3D vektoriaus $B(P_c, D_c) = \{B_1, B_2, B_3\}$, kurio kryptis koduoja centroidės padėties regimojoje 3D erdvėje koordinates – disparatiškumą ir paralaksą. Binokuliniai neuronai-detektoriai signalus gauna iš $\{B_1, B_2, B_3\}$ neuronų ir kiekvienas jų yra suderintas konkrečiai lokaliai erdvinei koordinatei detektuoti, t. y. jie yra selektyvūs specifinei vektoriaus B orientacijai, o tuo pačiu selektyvūs ir specifinei objekto regimojoje erdvėje padėčiai, kurią „mato“ šis lokalus analizatorius. Kai objekto projekcijos patenka ant lokalaus analizatoriaus receptyvinių laukų, tik vienas detektorius tampa maksimaliai sužadintu. Nustačius maksimaliai sužadinto detektoriaus eilutės ir stulpelio indeksus, sužinomas ir atitinkamai lokalus gylis bei kryptis. Taigi lokalaus analizatoriaus uždavinys yra priskirti lokalias koordinates objektui, esančiam tokioje regimos erdvės dalyje, kuri projektuojasi į to analizatoriaus kairį ir dešinį receptyvinius laukus.

Globalus analizatorius (GA), pavaizduotas 1d pav., yra vidinis subjektyvus regimojo lauko žemėlapis (erdvė). Šioje dalyje iš lokalių erdvinių koordinačių išgaunamos globalios objekto erdvinės koordinatės. Globalaus analizatoriaus neuronai yra panašūs į sudėtingųjų (angl. *complex*) neuronų klasę. Neuronai globaliame analizatoriuje yra taip išdėstyti, kad vidurinio stulpelio neuronai yra selektyvūs nulinei krypčiai (kai stimulas juda ant ciklopinės ašies), o neuronai-detektoriai iš vidurinės eilutės maksimaliai reaguoja į nulinį gylį (kai stimulas juda ant horopterio). Šoniniai neuronai iš GA signalizuoja apie kairę arba dešinę kryptį, o viršutinės ir apatinės eilutės neuronai – teigiamą ir neigiamą disparatiškumus. Kiekvienas GA neuronas yra sujungtas su kelių gretimų lokalių analizatorių neuronais tokiu būdu, kad priimtų signalą iš į tą pačią globalią padėtį reaguojančių lokalių detektorių. GA detektoriai, priėmę signalus iš LA detektorių, išrenką maksimalų. Objekto regimojoje erdvėje gylis ir kryptis identifikuojami pagal maksimaliai sužadinto globalaus neurono-detektoriaus eilutės ir stulpelio indeksus. Lokalių analizatorių ir globalaus analizatoriaus detektorių atsakai, kai stimulas juda ant ciklopinės ašies arba horopterio, pavaizduoti 3a ir 3b pav.



3 pav. Modeliavimo rezultatai: a) gylio, b) regimosios krypties identifikavimas
Šaltinis: sudaryta autorių

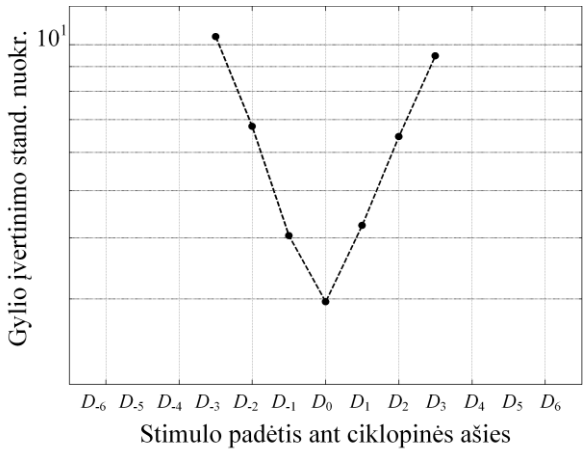
Rezultatai. Pasiūlytas skaitinis binokulinės regos modelis geba identifikuoti objekto padėtį regimoje erdvėje nusakančias erdvines koordinates – kryptį (paralaksą) ir gylį (disparatiškumą). Taip pat identifikuotieji gylis ir kryptis yra tiesinės priklausomybės nuo disparatiškumo (Panumo srityje) (3a pav.) ir

fizinio paralakso (3b pav.). Pateiktuose grafikuose maksimaliai sužadintų detektorių indeksai buvo nustatomi iš globalaus analizatoriaus atsakų. Identifikuota kryptis ir gylis yra nekintantys, kai stimulas juda atitinkamai ant ciklopinės ašies (Panumo srityje) ir horopterio.

Sužadinimai globaliame analizatoriuje, kai stimulas juda ant horopterio ir ant ciklopinės ašies, stipriai skiriasi. Tik vienas detektorius būna maksimaliai sužadintas, kai stimulas juda ant horopterio. Stimului tolstant nuo horopterio, nutolus tam tikru atstumu, globaliame ekrane atsiranda du maksimaliai sužadinti detektoriai, kurie koduoja skirtingas kryptis – čia pasireiškia diplopija. Regimosios erdvės dalis, kurioje esant objektui globaliame analizatoriuje maksimaliai sužadinamas tik vienas detektorius, vadinama modelio Panumo sritimi (3a pav.).

Stimului judant ant ciklopinės ašies, identifikuotas paralaksas išlieka pastovus, o identifikuotas disparatiškumas tiesiškai priklauso nuo fizinio disparatiškumo, kol stimulas yra Panumo srityje. Tai sutampa su eksperimentiniais duomenimis (Lawson et al., 1974). Be to, šalia Panumo srities identifikuoti diplopinio stimulo paralaksai skiriasi nuo tų pačių monokulinių stimulų paralaksų, tai turi panašumo į alelotropijos reiškinį (Rose et al., 1988).

Yra žinoma, kad gylio suvokimo tikslumas mažėja eksponentiškai, kai stimulas tolsta nuo horopterio (Farell et al., 2004; McKee et al., 2005). Pasiūlyto modelio tyrimai taip pat atskleidė tokį dėsningumą (4 pav.), kai modelyje buvo įvestos fliuktuacijos. Gauti rezultatai rodo, jog nėra būtinybės turėti dviejų tipų – tikslią ir grubią – disparatiškumo nustatymo sistemas, kad būtų galima paaiškinti eksponentinio tikslumo mažėjimo reiškinį.



4 pav. Modeliavimo rezultatai: eksponentinis gylio suvokimo jautrumo mažėjimas
Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados

1. Tyrimų tikslas buvo sukurti neuroninį binokulinės regos modelį, tinkamą naudoti kiekybiškai įvertinant, prognozuojant ir tiriant binokulinės regos savybes ir charakteristikas, kurias būtų galima palyginti su žmogaus binokuline rega.
2. Sukurtas modelis kiekybiškai paaiškina svarbiausias žmogaus binokulinės regos sistemos savybes – modelis geba identifikuoti erdvines koordinates (regėjimo kryptį ir gylį), kurios yra tiesinės fizinių koordinačių priklausomybės.
3. Modelio tinkamumą paremia ir tokios jo savybės, kaip Panumo srities turėjimas (fuzijos ir diplopijos pasireiškimo sritys), gebėjimas paaiškinti eksponentinį gylio suvokimo jautrumo mažėjimą, kai stimulas juda tolyn nuo horopterio. Dėl šių savybių sukurtas modelis pranašesnis už pripažintus ir dabar naudojamus kitus binokulinės regos modelius, iš kurių žinomiausias yra energetinis modelis.

Literatūra

19. Barlow, H. B.; Blakemore, C.; Pettigrew, J. D. 1967. The neural mechanism of binocular depth discrimination. The Journal of physiology, 193(2), 327-342.
20. Farell, B.; Li, S.; McKee, S. P. 2004. Coarse scales, fine scales, and their interactions in stereo vision. Journal of Vision, 4(6), 488-499.
21. Fleet, D. J.; Wagner, H.; Heeger, D. J. 1996. Neural encoding of binocular disparity: energy models, position shifts and phase shifts. Vision research, 36(12), 1839-1857.
22. Fomin, S. V.; Sokolov, E. N.; Vaitkevicius, H. H. 1979. Artificial sensory system: a problem of sensory simulating, Nauka, 1979.
23. Freeman, R. D.; Ohzawa, I. 1990. On the neurophysiological organization of binocular vision. Vision research, 30(11), 1661-1676.

24. Kulikowski, J. J.; Vidyasagar, T. R. 1986. Space and spatial frequency: analysis and representation in the macaque striate cortex. Experimental Brain Research, 64(1), 5-18.
25. Lawson, R. B.; Cowan, E.; Gibbs, T. D.; Whitmore, C. G. 1974. Stereoscopic enhancement and erasure of subjective contours. Journal of Experimental Psychology, 103(6), 1142-1146.
26. Mansfield, J. S.; Legge, G. E. 1996. The binocular computation of visual direction. Vision research, 36(1), 27--41.
27. Marr, D.; Poggio, T. 1979. A computational theory of human stereo vision. Proceedings of the Royal Society B, 204(1156), 301-328.
28. Matuzevicius, D.; Vaitkevicius, H. 2014. Vector model for mapping of visual space to subjective 4-D sphere. In Journal of Physics: Conference Series, 490(1), 012124.
29. McKee, S. P.; Verghese, P.; Farell, B. 2005. Stereo sensitivity depends on stereo matching. Journal of vision, 5(10), 783-792.
30. Ohzawa, I.; Deangelis, G. C.; Freeman, R. D. 1997. Encoding of binocular disparity by complex cells in the cat's visual cortex. Journal of neurophysiology, 77(6), 2879-2909.
31. Ohzawa, I. 1998. Mechanisms of stereoscopic vision: the disparity energy model. Current opinion in neurobiology, 8(4), 509-515.
32. Pettigrew, J. D.; Nikara, T.; Bishop, P. O. 1968. Binocular interaction on single units in cat striate cortex: simultaneous stimulation by single moving slit with receptive fields in correspondence. Experimental Brain Research, 6(4), 391-410.
33. Poggio, G. F.; Gonzalez, F.; Krause, F. 1988. Stereoscopic mechanisms in monkey visual cortex: binocular correlation and disparity selectivity. The Journal of neuroscience, 8(12), 4531-4550.
34. Rose, D.; Blake, R. 1988. Mislocalization of diplopic images. JOSA A, 5(9), 1512-1521.
35. Vaitkevicius, H.; Matuzevicius, D.; Svegzda, A.; Viliunas, V.; Radzeviciene, A.; Bliumas, R.; Stanikunas, R.; Kulikowski, J. J. 2013. Influence of difference in monocular contrasts on perception of an object in 3-D visual space. Sensornye sistemy. 27(4), 291-305.

NUMERICAL MODEL OF BINOCULAR VISION FOR HORIZONTAL SPACE COORDINATE CODING

Summary

We describe a computational model of binocular vision system for the representation of visual space as a subjective perception of it. Location of the object on the horizontal visual plane is coded by the orientation of the 3-D vector. This 3-D vector is internal perceptual representation of the external visual space. Orientation of the vector is decoded by the pool of neurons-detectors which are selective to a particular object's location on the horizontal visual plane. Proposed model allows to detect subjective depth and direction, explains known properties of the biological binocular vision system such as allelotropia, binocular fusion (in Panum's area), diplopia, variations of stereoacuity.

Key words: Binocular vision system, computational model of binocular vision, horizontal spatial coordinates.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Eldar Šabanovič.
Mokslo laipsnis ir vardas: –
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto, Elektroninių sistemų katedros doktorantas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: žmogaus regos modelių tyrimas ir taikymas.
Telefonas ir el. pašto adresas: +37065608891, eldar.sabanovic@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Dalius Matuzevičius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto, Elektroninių sistemų katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: regos mokslai, mašinų mokymasis.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 5 274 4766, dalius.matuzevicius@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Henrikas Vaitkevičius.
Mokslo laipsnis ir vardas: habilituotas daktaras, profesorius.
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus universiteto, Filosofijos fakulteto, Bendrosios psichologijos katedros, Psichofiziologijos laboratorijos vedėjas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: pojūčių ir suvokimo psichosocialinis modeliavimas: spalvų ir regimosios erdvės suvokimas, lokalių požymių išskyrimas ir dėmesio bei suvokimo dinaminiai procesai.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 5 266 76 19, henrikas.vaitkevicius@ff.vu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Eldar Šabanovič.
Science degree and name: –

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics, Department of Electronic Systems, PhD student.
Author's research interests: research on and application of human visual system models.
Telephone and e-mail address: +37065608891, eldar.sabanovic@vgtu.lt

Author name, surname: Dalius Matuzevičius.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Electronics, Department of Electronic Systems, associated professor.
Author's research interests: vision science, machine learning.
Telephone and e-mail address: +370 5 274 4766, dalius.matuzevicius@vgtu.lt

Author name, surname: Henrikas Vaitkevičius.
Science degree and name: doctor habilitatus, professor.
Workplace and position: Vilnius University, Faculty of Philosophy, Department of General Psychology, Head of Psychophysiology Laboratory.
Author's research interests: psychosocial modeling on sensation and perception: color and visual space perception, local feature extraction and dynamic processes dealing with attention and perception.
Telephone and e-mail address: +370 5 266 76 19, henrikas.vaitkevicius@ff.vu.lt

DALINIŲ IŠLYDŽIŲ SUSIDARYMO MODELIAVIMAS ELEKTROS MAŠINŲ IZOLIACIJOJE

Gediminas Daukšys, Justinas Kerševičius
Kauno technikos kolegija

Anotacija
Svarbiausias veiksnys, užtikrinantis kokybišką ir patikimą elektros įrenginių darbą, yra įrenginių izoliacijos būklė. Todėl aktualu sukurti veikiančių aukštosios įtampos (AĮ) elektros mašinų izoliacijos būklės nustatymo metodiką, kuri vertintų vidinius elektros tinklo parametrus (viršįtampius) ir izoliacijos įšilimą. Šiame darbe išanalizuota elektros mašinų apvijų struktūra, sudarytas dalinių išlydžių (DI) charakteristikų įvertinimo matematinis modelis ir atliktas matematinis modeliavimas. Pateikta metodika leidžia įvertinti aukštosios įtampos elektros mašinų izoliacijoje susidarančių dalinių išlydžių charakteristikas ir diagnozuoti izoliacijos būklę.
Reikšminiai žodžiai: Daliniai išlydžiai, aukštoji įtampa, modeliavimas, kietoji izoliacija.

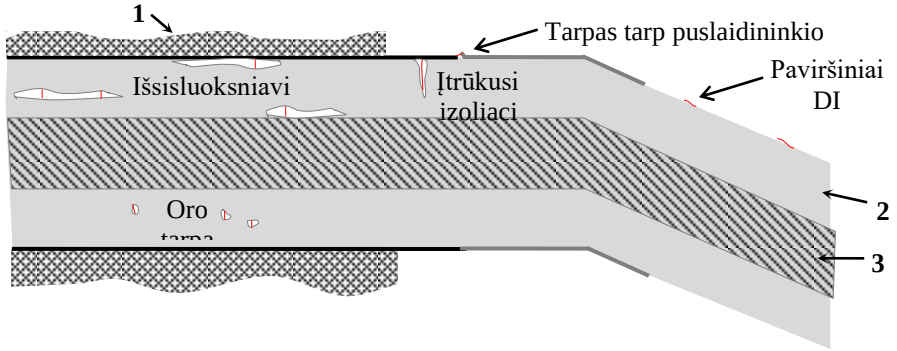
Įvadas

Izoliacijos būklei ir defektų atsiradimui didžiausią įtaką turi viršįtampiai, įšilimas ir dėl jų poveikio atsirandantys daliniai išlydžiai (Jiancheng, Jingyu ir Bingni, 2011; Stone, 2013; Stone, Culbert 2010). Eksploatuojant elektros mašinas periodinių planinių remontų būdas ne visuomet yra optimalus, nes izoliacijos būklė gali keistis labai įvairiai. Esminis tokios eksploatacijos sistemos optimizavimo būdas – elektros mašinas remontuoti pagal realią įrenginių izoliacijos būklę. Tokios sistemos, kai mašinų izoliacijos būklė tiriama neatjungiant darbinės įtampos, yra labai perspektyvios (Cabanas ir kt., 2013; Candela ir kt., 2013; Warren, 2013). Stebint ir analizuojant AĮ elektros mašinų izoliacijos temperatūrą bei darbinę įtampą, galima nustatyti vidinės izoliacijos bei kitų mazgų techninę būklę ir įvertinti avarijos rizikos laipsnį.

Darbo tikslas: atsižvelgiant į aukštosios įtampos elektros mašinų izoliacijos konstrukcinius ypatumus, sudaryti kietosios izoliacijos modelį izoliacijos būklei tirti.

1. Elektros mašinų apvijų struktūra ir izoliacinės medžiagos

Daliniais išlydžiais vadinamas išlydžio vyksmas, vykstantis kietosios ar skystosios izoliacijos defektuose esant prijungtai įtampai. Nominali įtampa turi būti ne mažesnė kaip 3 kV, nes tik nuo tokios įtampos pradeda formuotis DI. Todėl tyrimas bus atliekamas 3 ir didesnės nominalios įtampos elektros mašinoms. DI skiriasi nuo kitų elektrinių išlydžių savo pobūdžiu – tai unipoliarus procesas (Morkvėnas, Sučila, 2001). Unipoliarus išlydis – elektrinės iškrovos procesas, kurio vyksmo erdvėje nėra laisvųjų krūvių. DI gali atsirasti silpniausioje izoliacijos vietoje (sudrėkusioje, užterštoje priemaišomis ir pan.) ar stipriame elektriniame lauke, arti aštrių elektrodų kampų (1.1 pav.).

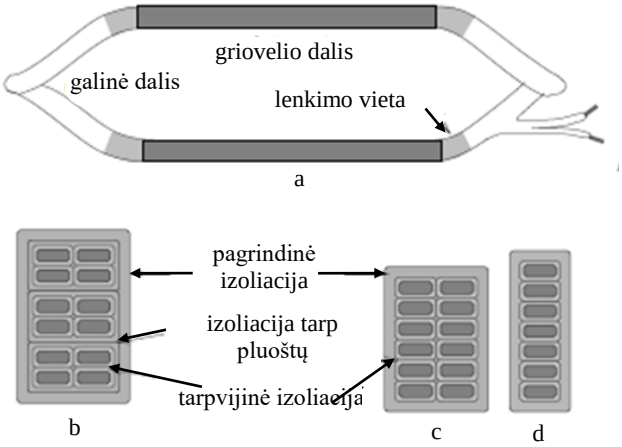


1.1 pav. Statoriaus izoliacijos defektuose susidarančių DI vietos (raudona spalva) bendros dielektrinės charakteristikos režimu. 1 – magnetolaidis, 2 - apvijos izoliacija, 3 – apvija
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Pradiniai DI (10÷100 pC) yra mažai pavojingi įrenginių izoliacijos darbui, bet nuo pradinių dalinių išlydžių lygio priklauso izoliacijos senėjimo greitis. Leistinas pradinių dalinių išlydžių krūvis yra iki 50 pC (kietai izoliacijai).

Kritinis dalinių išlydžių krūvis iki 1000 pC (priklausomai nuo medžiagos gali būti didesnis). Viršijus kritinį dalinių išlydžių krūvį, izoliacijoje prasideda intensyvūs dielektriko irimo procesai. Izoliaciją veikiantys DI, kurių krūvis yra nuo 1000 iki 10000 pC, per kelias dešimtis valandų gali žymiai apgadinti kietąjį izoliacijos komponentą, palikdami jame degimo pėdsakus. Esant $10^6 \div 10^7$ pC dydžio dalinių išlydžių krūviui užsidega elektrinis lankas izoliacijoje. Tokios dalinių išlydžių krūvių reikšmės neleistinos nei bandant izoliaciją paaukštintąja įtampa, nei esant trumpalaikiams viršįtampiams.

Vidutinės galios mašinos, kurios paprastai yra iki dešimties megavatų galios, turi ritės tipo apvijas. Laidininkams atskirti nuo įžeminto statoriaus magnetolaidžio ir tarpusavyje naudojama korpusinė ir tarpvijinė izoliacija (1.2 pav.). Tai tinka daugumai variklių ir mažesnei daliai generatorių. Laidininkas yra izoliuotas atitinkamo storio izoliacijos sluoksniu ir suvyniotas į keletą vijų. Taip sudaroma ritė, turinti dvi ilgas tiesias sekcijas, tinkančias įstatyti išilgai į du griovelius, esančius skirtingose statoriaus magnetolaidžio vietose. Abu laidininko galai išsikiša viename apvijos gale ir yra prijungti prie kitų ričių arba gnybtų pagal atitinkamą schemą.

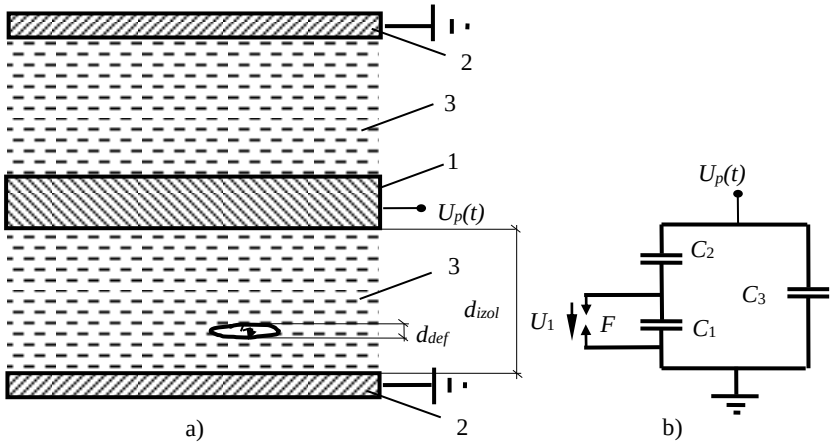


1.2 pav. Statoriaus apvijai vynioti naudojama daugiavijinė ritė. Skerspjūvių pavyzdžiai pavaizduoti žemiau apvijos ir strypo. „Griovelio dalis“ tęsiasi išilgai per visą magnetolaidžio ilgį, o „galinė dalis“ išsikišusi. a - daugiavijinės ritės vaizdas iš viršaus; b - daugiavijinė ritė turinti tris pluoštus, kiekviename po keturias vijas su atskira vijų ir pluoštų izoliacija; c, b - daugiavijinė ritė turinti į pluoštus nesujungtus laidininkus
(Benzing, 2010)

Dažniausiai AĮ elektros mašinų statoriaus izoliacija yra sudaryta iš žėručio juostų. Juostos vyniojamos viena ant kitos ir suformuoja per pusę savo pločio persidengiančius sluoksnius sudarydamos vientisą izoliaciją. Suformuota ant apvijos izoliacija suspaudžiama specialiu presu, todėl oro tarpų tarp juostų praktiškai nesigauna, o likę oro tarpeliai yra plokščios formos.

2. Dalinių išlydžių charakteristikų įvertinimo matematinis modelis

DI pasikartojimo dėsningumui ir jų intensyvumui įvertinti elektros mašinos izoliacijoje pasinaudosime schema (2.1 pav.). Modelis buvo perdarytas ir pritaikytas elektros mašinos apvijai.



2.1 pav. Dalinių išlydžių imitacinio modelio schema: a) elektros mašinos apvijos pjūvis su izoliacijoje pavaizduotu defektu; b) ekvivalentinė elektrinė schema. $U_p(t)$ – izoliaciją veikianti įtampa; C_1 – defekto talpa; C_2 – kietosios izoliacijos talpa be oro tarpo; C_3 – izoliacijos talpa; F – iškroviklis; U_1 - įtampa oro tarpelyje; d_{izol} – apvijos izoliacijos storis; d_{def} – Oro tarpelio storis išilgai elektrinio lauko; 1 – laidininkas; 2 – imitacinis magnetolaidis; 3 – izoliacija.
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Modelį sudaro du nuosekliai sujungti kondensatoriai. Imituojantis defektą kondensatorius šuntuojamas kibirkštiniu tarpeliu F, imituojančių dalinį išlydį. Tarkim, prie izoliacijos prijungta kintamoji įtampa:

$$U_p = U_{pm} \sin \omega t; \quad (2.1)$$

čia U_{pm} – prie izoliacijos prijungtos įtampos maksimali vertė, ω – kampinis dažnis.

Talpos C_1 ir C_2 sujungtos nuosekliai. Tuomet:

$$C_1 U_1 = C_2 U_2 = C U_p; \quad (2.2)$$

čia $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ – kondensatorių baterijos talpa.

Įtampa oro tarpelyje nesant išlydžio:

$$U_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot U_p; \quad (2.3)$$

Kai įtampa U_1 pasiekia defekto pramušimo įtampą U_d, t.y. $U_1 \geq U_d$, įvyksta išlydis ir įtampa talpoje C_1 sumažėja praktiškai iki nulio. Minimalios įtampos U_p, kuriai esant pradeda vykti DI, amplitudė yra:

$$U_{DIA} = U_d \frac{C_1 + C_2}{C_2}, \quad (2.4)$$

o jos efektinė reikšmė:

$$U_{DIE} = \frac{U_d}{\sqrt{2}} \cdot \frac{C_1 + C_2}{C_2}. \quad (2.5)$$

Talpų C_1 ir C_2 įvertinimui galima pasinaudoti plokščiojo kondensatoriaus formule **(**Dakin, 1974). Tuomet:

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 S}{d_{def}}, \quad (2.6)$$

čia ε_0 – elektrinė konstanta, ε_1 – oro santykinė dielektrinė skvarba.

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_2 S}{d_{izol} - d_{def}}; \quad (2.7)$$

čia ε_2 – kietojo dielektriko santykinė dielektrinė skvarba.

Atstumai d_{def} ir d_{izol} turi būti pasirenkami išilgai elektrinio lauko krypties, elektrinė konstanta ε_0 priklauso nuo vienetų sistemos (SI vienetų sistemoje $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ F/m). Į (2.3) įstačius (2.6) ir (2.7), gaunama:

$$U_1 = \frac{U_p \varepsilon_2 d_{def}}{\varepsilon_1 (d_{izol} - d_{def}) + \varepsilon_2 d_{def}}. \quad (2.8)$$

(2.6) įstačius į (2.4) ir atsižvelgus į tai, kad $d_{def} \ll d_{izol}$, gauname:

$$U_{DIA} = U_d \cdot \frac{\varepsilon_1 d_{izol}}{\varepsilon_2 d_{def}}; \quad (2.9)$$

čia U_d – defekto pramušimo įtampa.

Šios išraiškos teisingos vienalyčiam elektriniam laukui. Paprastai izoliacijoje laukas būna nevienalytis. Oro tarpeliui esant stipresnio elektrinio lauko srityje, U_{DIE} ir U_{DIA} reikšmės yra mažesnės, o silpnesnio lauko – didesnės. Tuomet reikia taikyti pataisą (Farahani ir kt., 2005):

$$U_{DIE} = \frac{U_d}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\varepsilon_1 d_{izol}}{\varepsilon_2 d_{def} \cdot k}; \quad (2.10)$$

čia $k = \frac{E_{\max}}{E_{vid}}$ - nevienalytiškumo koeficientas, kuris lygus maksimalaus elektrinio lauko stiprio E_{max} santykiui su vidutine elektrinio lauko reikšme E_{vid}.

Dalinio išlydžio krūvis randamas:

$$q_1 = U_1 C_1. \quad (2.11)$$

Oro tarpelio reikšmė yra atsitiktinė, atsitiktinė ir jo padėtis izoliacijoje.

3. Dalinių išlydžių kietojoje izoliacijoje matematinis modeliavimas

Kai prie ekvivalentinės schemos (2.1 pav., b) prijungiama atitinkamos reikšmės kintamoji įtampa, elektrinis talpis užkraunamas krūviu q. Jei krūvio q įtampa bus didesnė už kibirkštinio tarpelio pramušimo įtampą, kibirkštinis tarpelis bus pramuštas. Pramušimo metu krūvis kondensatoriuje C_1 išsikrauna ir jei

prijungtos įtampos reikšmė nekistų, gautume pasikartojančias iškrovas. Įtampos reikšmė kinta sinuso dėsniu, todėl gauname kas pusperiodį pasikartojančias iškrovas.

Modeliuojant, izoliacijos poveikio įtampa imama nuo 6 kV. Tai nominali pasirinktos apvijos įtampa. Didžiausia modeliavimo įtampa – 16 kV. Tai praktiškai didžiausia nominali amplitudinė įtampa naudojama elektros generatoriuose. Įtampa modeliuojant didinama kas 1 kV (6, 7, 8, ..., 16 kV).

DI imitacinio modelio, elektros mašinose parametrų nustatymui pasirinkta 6 kV, 500 kW elektros variklio apvija. Apviją sudaro 30 vijų, tarpusavyje atskirtų įvairių izoliacinių medžiagų sluoksniais. Sekcijos pjūvis pateiktas 3.1. pav. Jos plotis 15 mm, aukštis 35 mm. Visų vijų bendras plotas:

$$S_v = (l \cdot h) \cdot 30; \quad (3.1)$$

čia l – vijos plotis, h – vijos aukštis.

Apvijos izoliacija sudaryta iš vieno tarpvijinio sluoksnio siūlų ($d_{ss} = 0{,}28 \cdot 10^{-3}$ m), devynių sluoksnių žėručio juostos ($d_{ž} = 0{,}15 \cdot 10^{-3}$ m) ir išorėje vieno sluoksnio apsauginės stiklo juostos, nudažytos specialiu laku ($d_{sj} = 0{,}25 \cdot 10^{-3}$ m) (3.1 pav.). Suminis izoliacijos storis bus lygus:

$$d_{izol} = d_{ss} + d_{ž} + d_{sj}; \quad (3.2)$$

čia d_{ss} – siūlų sluoksnio storis, $d_{ž}$ – žėručio juostos sluoksnio storis, d_{sj} – stiklo juostos sluoksnio storis.

DI charakteristikų matematiniam modeliavimui naudojant (2.1 pav., b), rasime atitinkamus pradinius parametrus. Nustatysime izoliacijos defekto storį d_{def}. Korpusinės izoliacijos (3.1 pav.) vieno sluoksnio storis 0,15 mm. Pagal vyniojimo technologiją dauguma oro tarpelių paviršių susiformuoja lygiagretūs izoliacijos paviršiui (1.1 pav.). Po suvyniojimo didžiausio oro tarpelio storį laikome lygų vieno sluoksnio izoliacijos storiui, t.y. 0,15 mm. Suvyniojus visus devynis sluoksnius, apvija dedama į specialų presą ir izoliacijos sluoksniai suspaudžiami, kad neliktų tarp jų oro tarpelių. Taigi galima teigti, kad maksimalus defekto tarpelio storis sumažėja per pusę, iki 0,075 mm. Mažiausias d_{def} pagal Pašeno dėsnį (Dakin, 1974) gali būti apie 0,01 mm. Matyti, kad d_{def} kinta ribose nuo 0,01 mm iki 0,075 mm. Nustatysime vidurkį (3.1 lent.).

3.1 lentelė

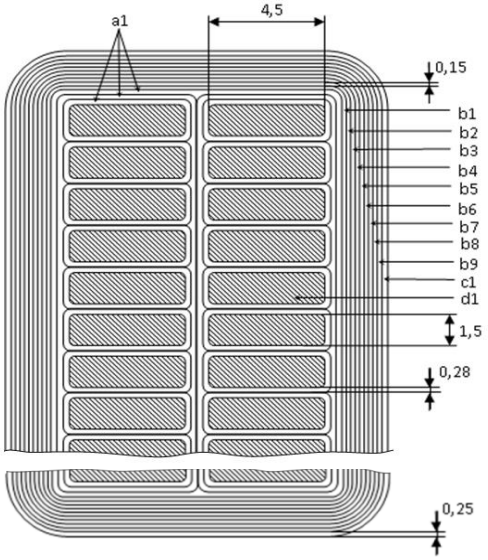
Oro tarpelio storio išilgai elektrinio lauko nustatymas milimetrais

d_{def1}	d_{def2}	d_{def3}	d_{def4}	d_{def5}	d_{def6}	d_{def7}	d_{vid_def}
0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	**0,04**

Remiantis 2 skyriumi, defektai izoliacijoje yra prilyginami plokščiajam kondensatoriui. Rasime plokščiojo kondensatoriaus plokštelių plotą S, (2.8) ir (2.6) įstatydami į (2.11), gausime:

$$S = \frac{q_p(d_{izol} - d_{def}) + \varepsilon_2 d_{def}}{\varepsilon_0 \varepsilon_2 U_{pm}}; \quad (3.3)$$

čia U_{pm} – prie izoliacijos prijungtos įtampos maksimali vertė, q_p – pradinis DI krūvis prie mažiausios galimos įtampos.



3.1 pav. Elektros variklio apvijos vijinės ir korpusinės izoliacijos sluoksnių matmenys ir medžiagos (matmenys pateikti milimetrais): a1- tarpvijinė izoliacija (stiklo siūlai įmirkyti į laką ir užkepinti), b1-b9 – korpusinė izoliacija (9 sluoksniai žėručio juostos), c1 – išorinis apsauginis sluoksnis (stiklo juosta padengta specialiu laku), d1 – varinė vija.

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Kiti modelio parametrai randami pagal (2.8), (2.6), (2.7) ir (2.11) formules. Pagal jas atitinkamai nustatysime pradinę izoliacijos defekto pramušimo įtampą U_1, kuriai esant prasideda DI, defekto talpą C_1, izoliacijos talpą C_2 ir pradinį DI krūvį q_0 esant 6 kV izoliacijos poveikio įtampai.

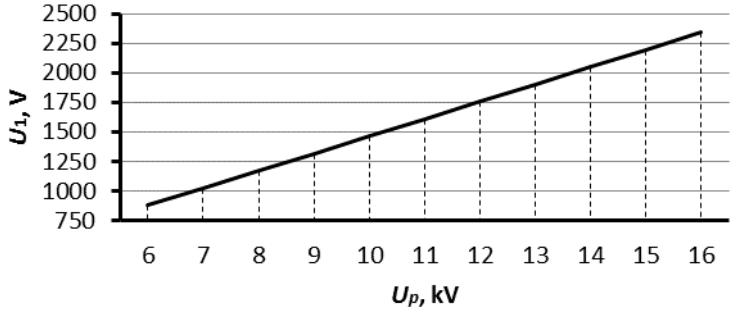
Gauti modelio parametrai pateikti 3.2 lent.

3.2 lentelė

Modeliavimo metu gauti matematinio modelio parametrai

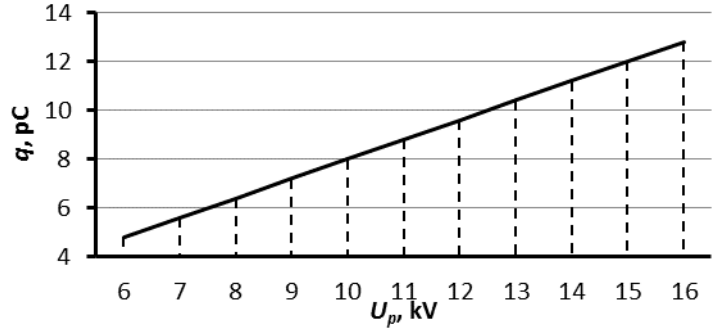
S_v, µm²	d_{izol}, mm	S, nm²	U_1, V	C_1, fF	q_0, pC	C_2, fF
202,5	2,44	24,7	877,61	5,47	4,77	0,64

Remiantis gautais duomenimis pagal (2.8) ir (2.11) nustatoma defekte vykstančio dalinio išlydžio įtampos priklausomybė nuo izoliacijos poveikio įtampos (3.2 pav.).



3.2 pav. Defekto pramušimo įtampos priklausomybė nuo izoliacijos poveikio įtampos

Dalinio išlydžio krūvio priklausomybė nuo izoliacijos poveikio įtampos pagal (2.11) pateikta (3.3 pav.).



3.3 pav. Dalinio išlydžio krūvio priklausomybė nuo izoliacijos poveikio įtampos

Kylant temperatūrai, didėja dalelių smūginė jonizacija. Temperatūros poveikį jonizacijai įvertinsime pasinaudodami slėgio ir temperatūros pataisos koeficientu:

$$\delta = \frac{p \cdot T_0}{p_0 \cdot T} = 2{,}73 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{p}{T}; \qquad (3.4)$$

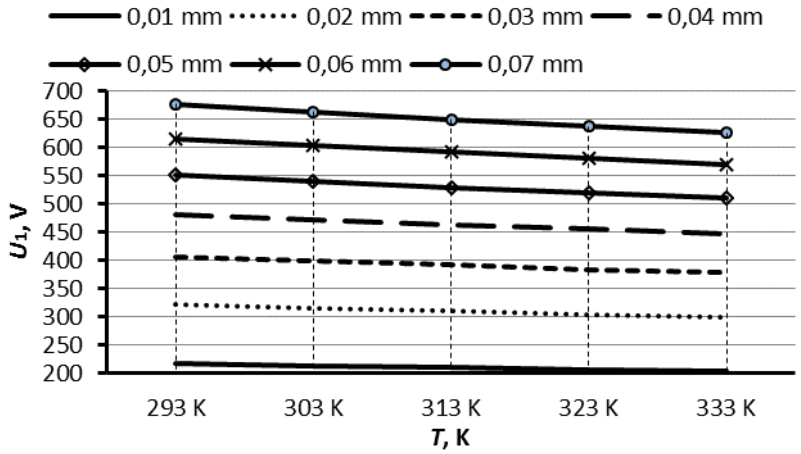
čia p_0 – aplinkos slėgis esant normalioms atmosferinėms sąlygoms (p_0 =100 kPa = 760 mmHg), T_0 – aplinkos temperatūra esant normalioms atmosferinėms sąlygoms (T_0 = 273 K), p – aplinkos slėgis, T – aplinkos temperatūra.

Slėgis izoliacijos defekte vykstant išlydžiams keičiasi labai nedaug, todėl jį laikysime atmosferiniu. Oro tarpelio pramušimo įtampą nustatysime pagal formulę:

$$U_d = 24{,}5 \cdot \delta \cdot L + 6{,}4 \cdot \sqrt{\delta \cdot L}; \qquad (3.5)$$

čia L – dujų tarpelio storis, cm.

Gauti modeliavimo rezultatai pateikti 3.4 pav. Kylanti temperatūra didina oro jonizacijos laipsnį, dėl to defekto pramušimas įvyks esant mažesnei įtampai. Gauta priklausomybė rodo, kad defekto pramušimo įtampa mažėja, kai izoliacijos įšilimas didėja, o defekto geometriniai parametrai nesikeičia.



3.4 pav. Funkcinė defekto pramušimo įtampos priklausomybė nuo izoliacijos įšilimo

Išvados

1. Sudarytas DI vyksmų aukštosios įtampos elektros mašinų apvijoje imitacinis modelis, patikslinta jo parametrų nustatymo metodika. Defekto pramušimo įtampos vertės nustatymui įvestas elektrinio lauko nevienalytiškumo koeficientas *k*, patikslintas ir gautas apvijos izoliacijos storis – 2,44 mm. Pagal patikslintą metodiką nustatyta mažiausia izoliacijos defekto pramušimo įtampa, kuri lygi 878 V, o pradinis DI krūvis – 4,77 pC, kai U_p = 6 kV.
2. Išanalizavus aukštosios įtampos elektros mašinų apvijos izoliacijos gamybos technologiją, nustatyta, kad izoliacijos defektas gali būti modeliuojamas kaip plokščiasis kondensatorius. Pasinaudojant plokščiojo kondensatoriaus modeliu DI imitacinis modelis patikslintas. Modeliavimo metu gauta 5,47 fF defekto talpa, 0,64 fF kietosios izoliacijos talpa ir 24,7 nm^2 defekto plotas.
3. Modeliavimo metu gauta, kad izoliacijos poveikio įtampai padidėjus 1 kV, defekto pramušimo įtampa padidėja – 10,35 %, o DI krūvis – 10,42 %. Izoliacijos temperatūrai padidėjus 10 K, defekto pramušimo įtampa sumažėja 8,56 %.

Literatūra

1. BENZING, Joel. *Condition on-line monitoring technologies* [interaktyvus]. 2010. [žiūrėta 2015-06-10]. Prieiga per: http://www.slideshare. net/vwedelich/electrical-condition-monitoring-part-1.
2. CABANAS, M.F., et al. Detection of Stator Winding Insulation Failures: On-Line and Off-Line Tests. *Electrical Machines Design Control and Diagnosis (WEMDCD), 2013 IEEE Workshop*, 2013. pp. 210-219 [žiūrėta 2013-04-10]. ISSN 978-1-4673-5656-5. Prieiga per doi: 10.1109/WEMDCD.2013.6525181.
3. CANDELA, R., et al. A novel partial discharge detection system based on wireless technology. *AEIT Annual Conference,3-5 Oct*. 2013. pp. 1-6. ISBN 978-8-8872-3734-4. Prieiga per doi: 10.1109/AEIT.2013.6666803.
4. DAKIN, T.W. Breakdown of Glasess in Uniform Fields. Paschen Curves for Hidrogen, Air and Sulfur Hexafluoride. *Electra ed*. 1974, vol. 32, 61-66. ISSN pending.
5. FARAHANI, M., H. BORSI, E. GOCKENBACH, M. KAUFHOLD. Partial discharge and dissipation factor behavior of model insulating systems for high voltage rotating machines under different stresses. *Electrical Insulation Magazine, IEEE* [interaktyvus]. 2005, vol. 21(5), 5-19 [žiūrėta 2013-04-10]. ISBN 1089-084X. Prieiga per doi: 10.1109/MEI.2005
6. JIANCHENG, S., M. JINGYU, Q. BINGNI. Development of diagnosis system for HV motor insulation based on multi-parameter fusion. *Computer Science and Automation Engineering (CSAE), 2011 IEEE International Conference, 10-12 June*. 2011. vol. 2, pp. 168-174. ISBN 978-1-4244-8727-1. Prieiga per doi: 10.1109/CSAE.2011.5952447.
7. MORKVĖNAS, A. and V. SUČILA. Įrenginių Izoliaciją Veikiančių Faktorių Savitarpio Ryšio Tyrimas / Alfonsas Morkvėnas, Vytautas Sučila = the Investigation of Equipment Insulation Factors Interrelation. *Energetikos Ir Elektrotechnikos Technologijos: Konferencijos Pranešimų Medžiaga.* 2001. ISSN 9986139465.
8. STONE, G. Condition Monitoring and Diagnostics of Motor and Stator Windings – A Review. *Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions* [interaktyvus]. 2013, vol. 6(20), 2073-2080 [žiūrėta 2014-04-10]. ISSN 1070-9878. Prieiga per doi: 10.1109/TDEI.2013.6678855.
9. STONE, G.C. and I. CULBERT. Prediction of Stator Winding Remaining Life from Diagnostic Measurements. *Electrical Insulation (ISEI), Conference Record of the 2010 IEEE International Symposium.* 2010. pp. 1-4. ISSN 1089-084X. Prieiga per doi: 10.1109/ELINSL.2010.5549791.

10. WARREN, V. Partial Discharge Testing on Air-Cooled Generators in Marine Environments. *Electrical Insulation Conference (EIC), 2013 IEEE*. 2013. pp. 323-328. ISSN 978-1-4673-4738-9. Prieiga per doi: 10.1109/EIC.2013.6554259.

SIMULATION OF PARTIAL DISCHARGE FORMATION IN ELECTRICAL MACHINERY INSULATION

Summary

The most important factor in ensuring high quality and reliable electrical operation of the device is equipment insulation condition. It is therefore important to develop existing high voltage electrical machinery insulation condition assessment methodology to assess the internal power network parameters (surges) and heating of the insulation.

Partial discharges (PD) is a discharge process going in the faults of solid or fluid insulation after connecting to it voltage. Partial discharges may occur in the weakest place of an insulation (humid, dirty from alloys etc.) or in strong electric field, near sharp corners of the electrodes. The most dangerous partial discharges occur within gas microvoids in solid or fluid insulation and in cracks and junctures of the layers.

Insulation condition and reliable working hours for the high voltage (HV) electrical equipment depend on the various factors in electrical energetics system: overvoltages, partial discharges (PD), overcurrents etc. (Yaacob et al., 2014). Those factors also influence HV electric machines used in electric power stations and enterprises.

This paper analyzes the electrical machinery winding structure, consisting of partial discharge characteristics evaluation of a mathematical model and performed mathematical modeling. The methodology allows to evaluate the high-voltage electric machines isolation due to the partial discharge characteristics and diagnose the condition of the insulation.

Key words: Partial discharges, high voltage, simulation, hard insulation.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Gediminas Daukšys
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, lektorius
Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, inžinerijos mokslų fakulteto, elektronikos ir elektros inžinerijos krypties studijų programų departamentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Energetika ir termoinžinerija 06T, Matavimų inžinerija 10T
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 686 59120, gediminas.dauksys@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Justinas Kerševičius
Mokslo laipsnis ir vardas: -
Darbo vietą ir pozicija: Kauno technikos kolegijos EE studijų programos studentas
Autoriaus mokslinių interesų sritys: elektros energetika
Telefonas ir el. pašto adresas: justinas.kersevicius@stud.edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Gediminas Daukšys.
Science degree and name: doctor, lecturer.
Workplace and position: Kauas Technical College, Engineering faculty, Electronic and Electrical engineering area study programme department.
Author's research interests: Energetics and Power Engineering 06T, Measurement Engineering 10T
Telephone and e-mail address: 8 686 59120, gediminas.dauksys@edu.ktk.lt

Author name, surname: Justinas Kerševičius
Science degree and name: -
Workplace and position: Kauas Technical College, Student of Electrical Engineering Study Programe
Author's research interests: electrical engineering
Telephone and e-mail address: : justinas.kersevicius@stud.edu.ktk.lt

EUREKA IR EUROSTARS PROGRAMŲ POVEIKIO LIETUVOS INOVACIJŲ EKOSISTEMAI VERTINIMAS

Birutė Bukauskaitė, Edita Bagdonaitė
Mokslo, inovacijų ir technologijų agentūra

Anotacija
Inovacijų ekosistema yra vienas svarbiausių rodiklių vertinant viešojo ir privačiojo sektorių inovacinių veiklų pažangą. Pastaraisiais metais mūsų šalyje siekiama spartinti mokslo rezultatų komercinimą, aktyvinant naujų technologijų taikymą versle, pateikiant rinkai naujus ar reikšmingai patobulintus produktus. Straipsnyje nagrinėjamas tarptautinį konkurencingumą ir inovacijas skatinančių programų EUREKA ir EUROSTARS poveikis Lietuvos inovacijų ekosistemai.
Darbo tikslas – įvertinti Europos technologinio bendradarbiavimo programų EUREKA ir EUROSTARS poveikį mūsų šalies inovacijų ekosistemai.
Empirinis tyrimas buvo atliekamas analizuojant antrinius 2006 - 2015 m. duomenų šaltinius. Empirinio tyrimo rezultatų analizė parodė, kad Lietuvos mokslo ir studijų institucijų bei verslo įmonių dalyvavimas tarptautinėse programose prisideda prie Lietuvos inovacijų ekosistemos gerinimo, nes didina mokslinių tyrimų sistemos atvirumą, skatina bendradarbiavimą ir žinioms imlaus verslo plėtrą.
Reikšminiai žodžiai: EUREKA programa, EUROSTARS programa, mokslo ir verslo bendradarbiavimas, inovacijos.

Įvadas

Inovacijų ekosistemos kūrimas sudaro palankią aplinką žinioms imlaus verslo plėtrai ir suteikia sukurtomis inovacijomis grįstą konkurencinį pranašumą. Mokslo ir verslo atstovų bendradarbiavimas naujų produktų kūrime yra svarbus dėl kelių priežasčių: trumpėja produktų gyvavimo ciklas, skatinama technologijų konvergencija, mažėja mokslinių tyrimų ir eksperimentinės veiklos kaštai (Gnyawali ir Park, 2009). Bendradarbiavimo ir komunikavimo tinklų kūrimas skatina neformalų pasikeitimą idėjomis, reikiamais specialistais, veiksmingai sprendžia technologijų perdavimo problemas (Bishop ir kt., 2011). Technologijų plėtra, žinių generavimas yra susieti su mokslo ir studijų institucijose kuriamomis idėjomis, jų komercializavimu ir praktiniu taikymu versle. Jong (2006) tyrimų rezultatai rodo, kad universitetai turintys ilgas bendradarbiavimo tradicijas su verslo įmonėmis sėkmingiau dalyvauja komercinimo procese. Bercovitz ir Feldman (2008) akcentuoja išradimų patentavimo svarbą, nes įregistravę vieną išradimą, tyrėjai pakartoja tai ir ateityje. Meyer (2006) darbai papildo šiuos teiginius ir nurodo, kad tyrėjai, kurie dažnai patentuoja išradimus, taip pat turi ir didelį mokslinių publikacijų skaičių. JAV, Japonijoje ir ES yra patvirtintos įvairios mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros (MTEP) veiklas remiančios programos, nes mokslo ir verslo ryšiai skatina technologinius pokyčius, svarbūs ilgalaikiam regionų augimui bei jų gerovei (Bayona-Saez ir Garcia-Marco, 2010; Santamaria ir kt., 2010).

Europos mokslinių tyrimų, technologijų plėtros ir bendradarbiavimo programa EUREKA yra 1985 m. įsteigtas Europos valstybių tinklas, kurio tikslas - remti orientuotą į rinką mokslinių tyrimų ir technologijų plėtrą visose šiuolaikinėse technologijų srityse, didinti Europos valstybių konkurencingumą, gerinti gaminių, procesų ir paslaugų kokybę bei stiprinti daugiašalį bendradarbiavimą, įtraukiant įmones ir mokslinių tyrimų institucijas (http://www.eurekanetwork.org/). Lietuva šios programos nare tapo 1999 m. ir nuo to laiko Lietuvos mokslininkai kartu su verslo atstovais dalyvauja projektų įgyvendinime.

Europos inovacijų programa EUROSTARS įsteigta 2008 m. Šios programos tikslas - remti mažas ir vidutines įmones (MVĮ), vykdančias mokslinius tyrimus bei investuojančias į inovacijas, naujų produktų, paslaugų ir procesų kūrimą, kad įgytų konkurencinį pranašumą. 2008 m. EUROSTARS programos įgyvendinimui pritarė 33 šalys, tarp jų ir Lietuva (https://www.eurostars-eureka.eu/).

Pasaulyje sparčiai didėjanti mokslo ir verslo bendradarbiavimo įtakos inovacijų procesui analizė (Peterson, 1993; Georghiou, 2001; Bayona ir kt., 2004; Bertrand-Cloodt ir kt., 2011; Haessler ir Colyvas, 2011) motyvuoja detalesnius tyrimus ir Lietuvoje. Ar dalyvavimas tarptautinėse programose turi poveikį Lietuvos inovacijų ekosistemai? Kokia EUREKA ir EUROSTARS programų įgyvendinimo nauda mūsų šalies mokslo ir studijų institucijoms bei įmonėms? Atsakant į šį klausimą reikia nustatyti kokį poveikį norime išmatuoti. Pirma, pagal programose siekiamą tikslą būtina vertinti ekonominį poveikį (sukurtų naujų darbo vietų tyrėjams skaičių, rinkos plėtrą), tarptautinio bendradarbiavimo ir komunikavimo tinklų įtaką (žmogiškųjų išteklių pokyčius), technologijų plėtros reikšmę (patentai, prekės ženklai). Antra, būtina analizuoti, ar paramą gavusios mokslo ir studijų institucijos bei įmonės pritraukė investicijų (grantai, subsidijos ir kt.). Trečia, būtina nustatyti projekto rezultatų komercinimo laipsnio pokyčius baigus projektą bei praėjus dvejiems ir ketveriems metams po projekto įgyvendinimo. Iki šiol tokie tyrimai Lietuvoje nebuvo

atliekami. Taigi, šiandieninė situacija rodo, kad būtina įvertinti, kas įtakoja inovacijų veiklą bei daro stipriausią poveikį žinioms imlaus verslo plėtrai Lietuvoje.

Tyrimo tikslas – įvertinti Europos technologinio bendradarbiavimo programų EUREKA ir EUROSTARS poveikį mūsų šalies inovacijų ekosistemai.

Tyrimo objektas – EUREKA ir EUROSTARS programoje dalyvavusios Lietuvos mokslo ir studijų institucijos bei įmonės.

Tikslui pasiekti iškelti šie **uždaviniai**:

1. Parengti EUREKA ir EUROSTARS programų poveikio empirinio tyrimo metodiką;
2. Empirinio tyrimo metu įvertinti EUREKA ir EUROSTARS programų poveikį žmogiškųjų išteklių kvalifikacijos kėlimui ir gebėjimų ugdymui, naujų produktų kūrimui bei komercinimui;
3. Pateikti rekomendacijas Lietuvos inovacijų ekosistemos stiprinimui.

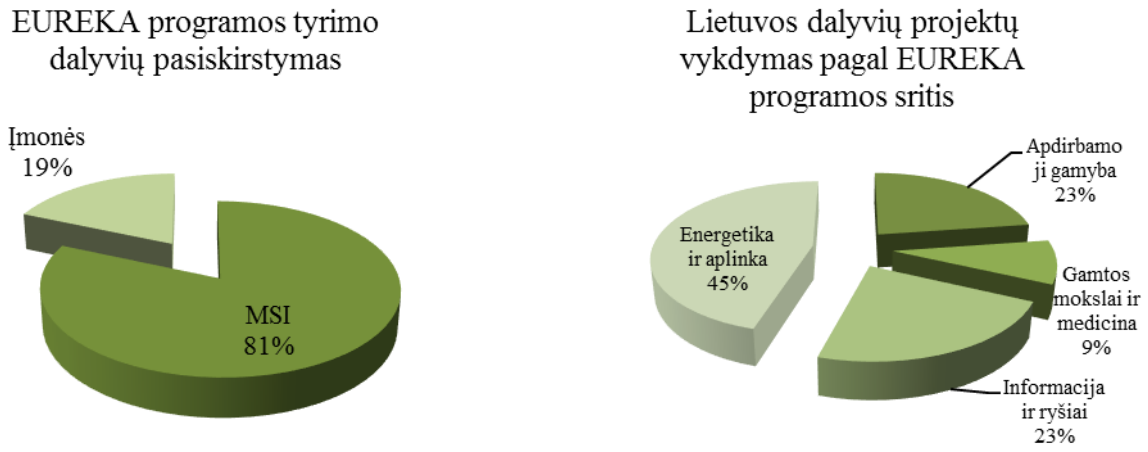
Stebėjimo vienetas – tikslinės grupės: projektų vykdytojų pateiktos ataskaitos (baigiamoji ataskaita, rinkos poveikio ataskaita po 2 metų nuo projekto pabaigos ir rinkos poveikio ataskaita po 4 metų nuo projekto pabaigos).

1. Empirinio tyrimo eiga

Antrinių duomenų analizei buvo naudojami specialaus apribojimo EUREKA ir EUROSTARS duomenų bazėse esantys informacijos šaltiniai (projekto vykdytojo baigiamoji ataskaita, rinkos poveikio ataskaita po 2 metų nuo projekto pabaigos ir rinkos poveikio ataskaita po 4 metų nuo projekto pabaigos). EUREKA programos poveikio analizei naudotos 2006-2015 m. vykdytų projektų ataskaitos. EUROSTARS programos poveikio analizei naudotos 2008-2015 m. vykdytų projektų ataskaitos. Tyrime buvo analizuojami 82 antrinių šaltinių duomenys. Pagal pateiktus antrinius šaltinius projektų vykdytojai buvo suskirstyti į tris grupes: 1 grupė - pateikta projekto baigiamoji (FR) ataskaita, 2 grupė - pateikta projekto baigiamoji (FR) ir rinkos poveikio (MIR1) ataskaita po 2 metų nuo projekto pabaigos, 3 grupė - pateikta projekto baigiamoji (FR), rinkos poveikio (MIR1) ataskaita po 2 metų nuo projekto pabaigos ir rinkos poveikio (MIR2) ataskaita po 4 metų nuo projekto pabaigos. Gauti duomenys apdoroti matematiniais–statistiniais metodais (Sakalauskas, 1998; Pranulis ir Dikčius, 2012).

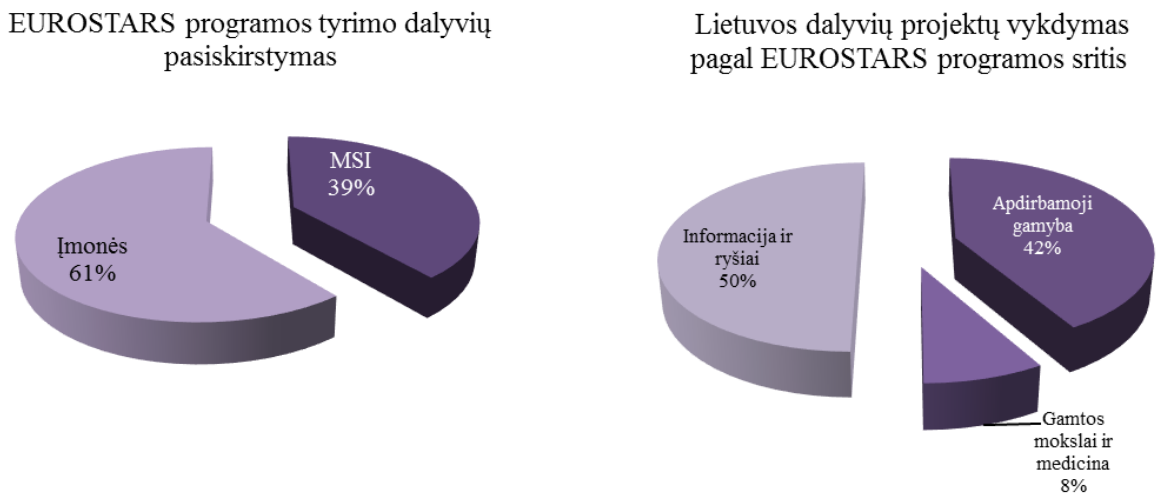
2. Tyrimo imtis

EUREKA. Programos poveikio vertinimo tyrimui atlikti buvo atrinkti EUREKA programoje 2006 – 2015 m. vykdyti 22 projektai. Lietuvos atstovai koordinavo 16 iš jų, t. y. buvo 73 % konsorciumų vadovai. Reprezentacinę imtį sudarė 27 vykdytojai. Didžioji dalis tyrime dalyvavusių vykdytojų (81 %) yra mokslo ir studijų institucijos. Projektai buvo įgyvendinti pagal 4 EUREKA programos sritis: energetika ir aplinka, informacija ir ryšiai, apdirbamoji gamyba, gamtos mokslai ir medicina (1 pav.).



1 pav. EUREKA programos vykdytojų reprezentacinė imtis
Šaltinis: sudaryta autorių

EUROSTARS. Programos poveikio vertinimo tyrimui atlikti buvo atrinkti EUROSTARS programoje 2008 – 2015 m. vykdyti 12 projektų, iš kurių 6 koordinavo Lietuvos atstovai. Reprezentacinę imtį sudarė 18 vykdytojų. Didžioji dalis tyrime dalyvavusių vykdytojų (61 %) yra įmonės. Projektai buvo įgyvendinti pagal 3 EUROSTARS programos sritis: informacija ir ryšiai, apdirbamoji gamyba, gamtos mokslai ir medicina (2 pav.).



2 pav. EUROSTARS programos vykdytojų reprezentacinė imtis
Šaltinis: sudaryta autorių

3. Tyrimo metodika

Vertinimo kriterijai, kuriais matuojami pokyčiai atliekant tarptautinių programų, skirtų remti į rinką orientuotų technologijų kūrimą, projektų poveikio analizę Lietuvos inovacijų ekosistemai buvo suskirstyti į tris grupes:

1. ŽMOGIŠKIEJI IŠTEKLIAI

A) Ar tobulėjo tyrėjų kvalifikacija? Kriterijus - apgintos disertacijos; mokslinės publikacijos; dalyvavimas kitose tarptautinėse programose bei tyrimų tinkluose.
B) Ar ugdomi vadybiniai gebėjimai? Kriterijus - naujai įkurtos įmonės.

2. NAUJŲ PRODUKTŲ (TECHNOLOGIJŲ, PROCESŲ, PASLAUGŲ) KŪRIMAS

A) Technologinio išbaigtumo laipsnis. Kriterijus - pasiektas projekto rezultatas (sukurta technologija, produktas, paslauga); verslo įmonėse įdiegtos technologijos/procesai ar paslaugos.
B) Bendradarbiavimas/Intelektinė nuosavybė ir technologijų perdavimas. Kriterijus - tęsiamas bendradarbiavimas su projekto partneriais; patentai, licencijos, Bendrijos prekių ženklai.

3. KOMERCINIMAS

A) Gavusių paramą įmonių plėtra. Kriterijus - tyrėjams sukurtų naujų darbo vietų (visos darbo dienos ekvivalentų) skaičius; projekto rezultatų įtaka metinei apyvartai; rinkos prieinamumas.
B) Ar išaugo investicijų laipsnis? Kriterijus - grantai; rizikos kapitalas.
C) Projekto rezultatų komercinimo laipsnis. Kriterijus - silpnas; geras; puikus.

4. EUREKA ir EUROSTARS programų poveikio vertinimo rezultatai

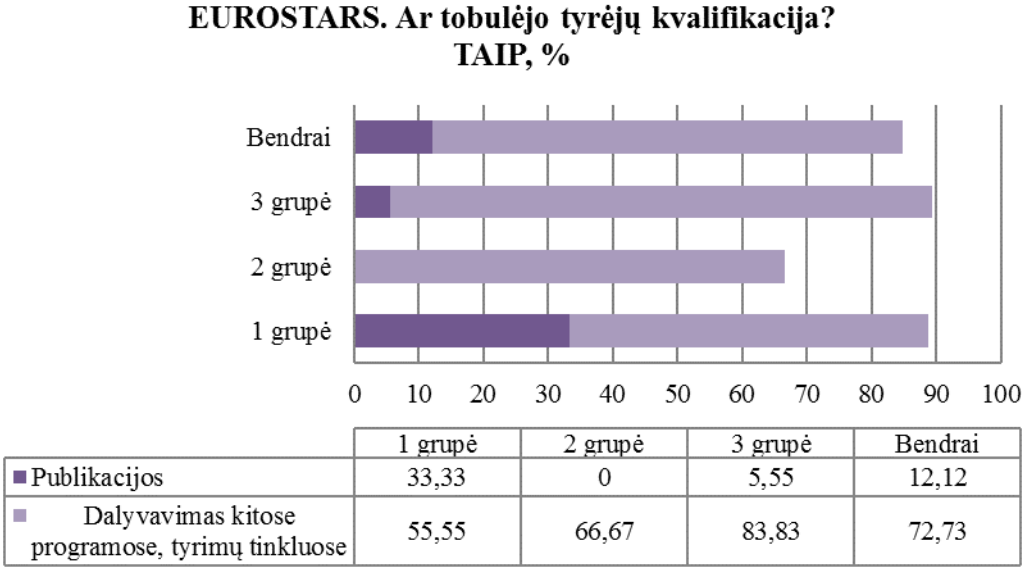
Žmogiškieji ištekliai. Pastaraisiais metais mūsų šalyje siekiama spartinti mokslo rezultatų komercinimą, aktyvinant naujų technologijų ir metodų komercinį pritaikymą versle, pateikiant rinkai naujas ar reikšmingai patobulintas jau esamas lietuviškos kilmės technologijas, produktus ar technologinius procesus. Nepaisant to, kad mokslo ir studijų institucijų tyrėjai turi galimybę bendradarbiauti su vietinėmis verslo įmonėmis įvairiomis formomis (atlikti jungtinius ar užsakomuosius mokslinių tyrimų ir eksperimentinės veiklos projektus, konsultuoti verslo įmones, dalyvauti mokslo komercializavimo bei technologijų perdavimo procesuose), mokslo ir verslo ryšiai yra silpni (Baležentis ir Žalimaitė, 2011). Akcentuojant bendradarbiavimo ryšių ir atvirumo svarbą reikšmingą vaidmenį atlieka mokslinių tyrimų bendradarbiavimo tinklai, vieni jų – EUREKA ir EUROSTARS.

Mūsų tyrimų rezultatai rodo, kad dauguma EUREKA (73 proc.) ir EUROSTARS (50 proc.) projektų buvo koordinuojami Lietuvos mokslo ir verslo atstovų. Tai rodo, kad mūsų šalies tyrėjai inicijuoja projektus ir įgyvendindami juos vysto naujas idėjas. Neabejotina, kad tyrėjai koordinuodami projektus ugdo tarptautinių projektų administravimo įgūdžius, todėl ateityje galime tikėtis ne tik didesnių tarptautinių projektų valdymo, bet ir sėkmingų mokslinių tyrimų pasiekimų pritaikymo naujų lietuviškos kilmės produktų kūrime.

EUREKA programos vykdytojai projektų rezultatus sėkmingai viešino publikuodami tarptautinius mokslinius straipsnius, gindami disertacijas ir įgydami mokslo laipsnį bei dalyvavo naujų įmonių kūrime.

Mūsų tyrimų rezultatai rodo, kad 1 grupės tyrėjai paskelbė 15 publikacijų ir apgynė 2 disertacijas, 2 grupės tyrėjai paskelbė 9 publikacijas ir apgynė 7 disertacijas, o 3 grupės tyrėjai paskelbė 14 publikacijų bei apgynė 8 disertacijas. Vidurkių skirtumai tarp tikslinių grupių remiantis ANOVA Fišerio kriterijumi pagal publikacijų skaičių (F=0,7236, p=0,49) ir apgintų disertacijų skaičių (F=0,2694, p=0,76) nėra statistiškai patikimi. Respondentai nurodė, kad dažniausiai (43 proc.) naujas įmones įkuria po 4 metų nuo projekto pabaigos. Taigi, EUREKA programos vykdytojai kelia kvalifikaciją dalyvaudami inovacijų kūrimo procese nuo žinių kūrimo ir taikymo iki produktų perdavimo.

EUROSTARS projektų vykdytojai dalyvauja žinių perdavimo (publikuoja mokslinius straipsnius) procese bei dalyvauja kitose programose ir tyrimų tinkluose (3 pav.). Šie rezultatai rodo, kad dalyvavimas EUROSTARS programoje yra prielaida tyrėjų kvalifikacijos kėlimui bei bendradarbiavimo plėtrai.



	1 grupė	2 grupė	3 grupė	Bendrai
Publikacijos	33,33	0	5,55	12,12
Dalyvavimas kitose programose, tyrimų tinkluose	55,55	66,67	83,83	72,73

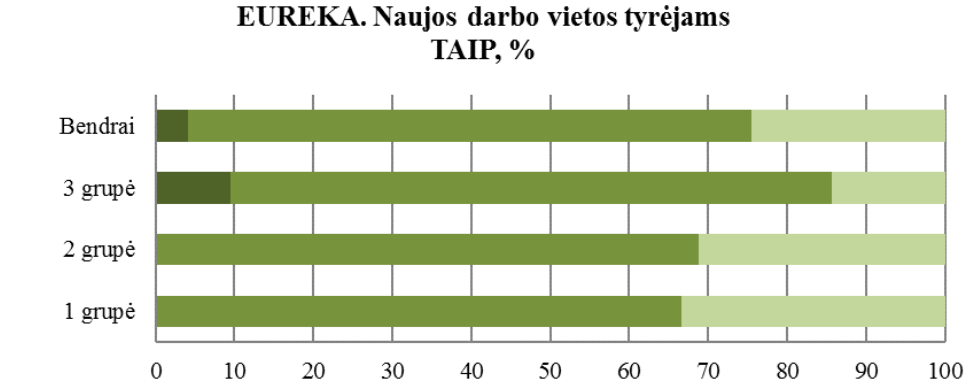
3 pav. EUROSTARS programos poveikis žmogiškųjų išteklių kvalifikacijai
Šaltinis: sudaryta autorių

Apibendrinant galime teigti, kad EUREKA ir EUROSTARS programos reikšmingos tyrėjų kvalifikacijos kėlimui, vadybinių gebėjimų ugdymui bei tinklaveikos plėtrai. Įgyvendinant projektus stiprinamas mokslinių tyrimų sistemos atvirumas (bendros tarptautinės mokslinės publikacijos, viešojo ir privataus sektorių bendros publikacijos) ir žmogiškieji ištekliai (naujai įgiję daktaro laipsnį mokslininkai) bei gerinama Lietuvos inovacijų ekosistemos būklė.

Naujų produktų (technologijų, procesų, paslaugų) kūrimas. Naujų produktų kūrimas yra sudėtingas procesas, reikalaujantis daug įgūdžių ir patirties. Tyrėjų bendradarbiavimas su kita išorine aplinka (verslo atstovais, tarptautiniais MTEP tyrimų tinklais ir kt.) efektyviau sprendžia inovatyvių produktų kūrimo problemas, nes skatinamas neformalus pasikeitimas idėjomis, reikiamais specialistais. Bendradarbiaudamos įmonės gali lengviau įveikti technologinius iššūkius, tokiu būdu lengviau sprendžiamos naujų žinių kūrimo ir taikymo problemos. Mūsų tyrimų rezultatai rodo, kad EUREKA programos projektų įgyvendinimo metu gauti rezultatai ir sukurtos technologijos yra sparčiai diegiamos verslo įmonėse. 1 grupės 92 proc., 2 grupės 62 proc. ir 3 grupės 86 proc. respondentų nurodo, kad projekte sukurtos naujos technologijos buvo įdiegtos verslo įmonėse. EUROSTARS programos vykdytojai sukuria aukšto technologinio išbaigtumo produktą. 1 grupės 89 proc., 2 grupės 50 proc. ir 3 grupės 33 proc. respondentų nurodo, kad projekto rezultatų technologinio išbaigtumo laipsnis geras ir puikus. Taigi, EUREKA ir EUROSTARS programos skatino universitetinių tyrimų ekonomiškai naudingų rezultatų sklaidą pramonėje. Projektų rezultatų diferenciacija tarp tikslinių grupių remiantis ANOVA Fišerio kriterijumi rodo, kad nėra statistiškai reikšmingo skirtumo tarp grupių pagal vidutinį patentų (EUREKA F=0,6792, p=0,52; EUROSTARS F=1,4502, p=0,25), licencijų (EUREKA F=0,6060, p=0,55; EUROSTARS F=2,4545, p=0,10) ir Bendrijos prekių ženklų (EUROSTARS F=0,9214, p=0,41) skaičių. Todėl galime teigti, kad programos turi reikšmingą poveikį ne tik technologinių pokyčių iniciavimo procesui, bet ir prisideda prie ilgalaikės Lietuvos inovacijų būklės gerinimo bei konkurencinio pranašumo stiprinimo. Neabejotina, kad patentai teigiamai įtakoja išradėjų įvaizdį, nes verslo partneriai, investuotojai ir kiti gali patentus vertinti kaip aukštą tyrėjų ir technologinių pajėgumų lygį. Be to, įgyvendinant projektus vyksta greitesnė žinių difuzija per komunikaciją. Mūsų tyrimų rezultatai rodo, kad naujų produktų kūrimo procese Lietuvos universitetai ir

mokslinių tyrimų institutai bei įmonės geba sėkmingai bendradarbiauti su projekto partneriais ne tik įgyvendindami projektines veiklas, bet ir projektui pasibaigus. 1 grupės 92 proc., 2 grupės 75 proc. ir 3 grupės 100 proc. respondentų nurodo, kad tęsia bendradarbiavimą su EUREKA projekto partneriais. Atitinkamai 100 proc., 83 proc. ir 94 proc. respondentų nurodo, kad tęsia bendradarbiavimą su EUROSTARS projekto partneriais. Taigi, atsiradęs tarptautinio bendradarbiavimo ryšys išlieka. Šie rezultatai rodo, kad EUREKA ir EUROSTARS programos skatina tarptautinį bendradarbiavimą inovacijų kūrimo procese ir įtakoja naujų MTEP projektų generavimą bei technologinius pokyčius.

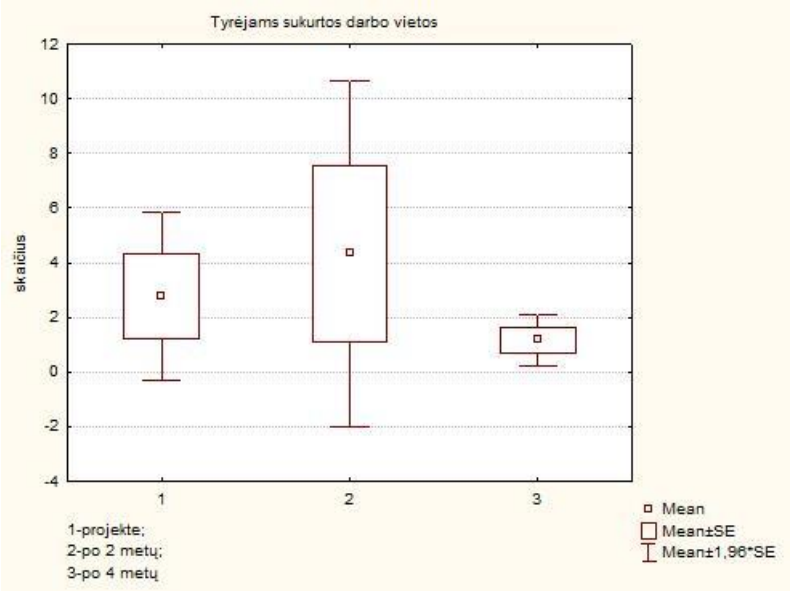
Komercinimas. EUREKA programoje dalyvaujantys tyrėjai geba savo veikla (žiniomis, įgūdžiais ir kitais esamais ištekiais) sukurti pridėtinę ekonominę vertę. 4 pav. matyti, kad įgyvendinant EUREKA programos projektus dažniausiai sukuriama nuo 1 iki 3 naujų darbo vietų, sėkmingais atvejais naujų darbo vietų tyrėjams skaičius auga iki 4-10. Tai suteikia pridedamąją vertę projekto įgyvendinimui. EUREKA projektų rezultatų diferenciacija tarp tikslinių grupių remiantis ANOVA Fišerio kriterijumi rodo, kad nėra statistiškai reikšmingo skirtumo tarp grupių pagal tyrėjams sukurtų darbo vietų skaičių (F = 1,8777; p = 0,16). Tai rodo, kad EUREKA programa skatina ilgalaikių naujų darbo vietų tyrėjams kūrimą.



	1 grupė	2 grupė	3 grupė	Bendrai
NE	0	0	9,52	4,08
Nuo 1 iki 3	66,67	68,75	76,19	71,43
Nuo 4 iki 10	33,33	31,25	14,29	24,49

4 pav. EUREKA programos poveikis tyrėjams sukurtoms darbo vietoms
Šaltinis: sudaryta autorių

EUROSTARS projektų rezultatų diferenciacija tarp tikslinių grupių remiantis ANOVA Fišerio kriterijumi rodo, kad nėra statistiškai reikšmingo skirtumo (F = 0,8627; p = 0,43) tarp grupių pagal tyrėjams sukurtų darbo vietų skaičių (5 pav.). Projekto vykdymo metu sukurtų naujų darbo vietų skaičius išlieka statistiškai reikšmingai nepakitęs ir po 4 metų nuo projekto pabaigos.

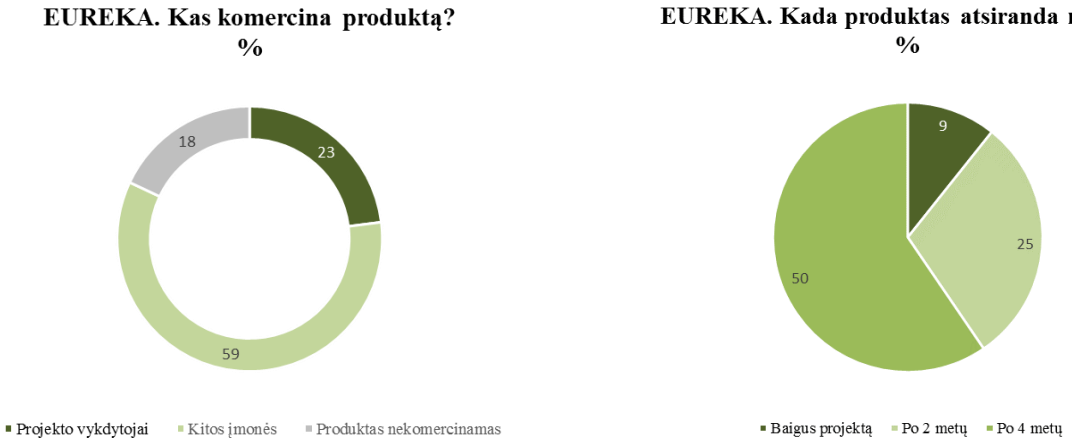


5 pav. EUROSTARS programos poveikis tyrėjams sukurtoms darbo vietoms
Šaltinis: sudaryta autorių

Vienas svarbiausių vertinimo kriterijų, apibūdinančių kaip sėkmingai įgyvendinamas projekto rezultatų komercinimo planas, yra išreiškiamas komercinimo laipsniu. 1 ir 2 grupėse didžioji dalis t. y. 75 proc. EUREKA programos projektų vykdytojų nurodo, kad įgyvendinus projektą pasiekiamas aukštas (geras ir/arba puikus) rezultatų komercinimo laipsnis. 3 grupėje tik 38 proc. respondentų nurodė aukštą komercinimo laipsnį. Tai rodo, kad dauguma projektų vykdytojų turi gerą kuriamo produkto komercinimo planą ir sėkmingai jį įgyvendina baigę projektą arba po 2 metų. Komercinimo procesui užsitęsus daugiau kaip 2 metus komercinimo laipsnis silpnėja. Rinkos prieinamumas ir projektų rezultatų įtaka metinei apyvartai yra vieni svarbiausių veiksnių komercinimo procese. EUREKA tyrimų rezultatai rodo, kad rinka prieinama tik 27 proc., o projekto rezultatų įtaką metinei apyvartai turi tik 9 proc. respondentų.

EUROSTARS projektų rezultatų komercinimo laipsnio sklaida didesnė. 1 grupės 33 proc. respondentų, 2 grupės visų projektų rezultatų komercinimo laipsnis buvo aukštas, o 3 grupės 72 proc. respondentų nurodo, kad pasiekė aukštą komercinimo laipsnį. EUROSTARS tyrimų rezultatai pagal rinkos prieinamumo ir projektų rezultatų įtakos metinei apyvartai vertinimo kriterijus yra geresni nei EUREKA, atitinkamai rinka prieinama 54 proc., o projekto rezultatų įtaką metinei apyvartai nurodo net 33 proc. respondentų. Išaugusių investicijų (rizikos kapitalo) laipsnį nurodo 17 proc. respondentų. EUROSTARS projektų rezultatų komercinimo sėkmę lemia tai, kad projektuose vyrauja įmonių vykdomos eksperimentinės plėtros veiklos ir projektų vykdytojai tiesiogiai dalyvauja naujų produktų kūrime bei komercinime, sugeba pritraukti naujų finansavimo šaltinių. Tokiu būdu EUROSTARS programa skatina privačių įmonių investicijas į MTEP bei didina užimtumą žinioms imliose veiklose, sudaro geresnes sąlygas inovatyvaus verslo plėtrai.

EUREKA programoje komercinimo procese tiesiogiai dalyvauja tik apie 23 proc. projektų vykdytojų (6 pav.). Žymiai dažniau (59 proc.) produktų komercinimas perduodamas kitoms įmonėms. Taigi, projekte dalyvaujančios mokslo ir studijų institucijos produkto perdavimo veikloms kuria naujas įmones arba ieško tinkamų stiprių verslo įmonių, suvokiančių naujų technologijų diegimo naudą ir gebančių jas pritaikyti. Mūsų tyrimų rezultatai rodo, kad baigus projektą 9 proc. vykdytojų sugeba sukurtą produktą pateikti rinkai. Ketvirtadalis (25 proc.) projektų vykdytojų tokį rezultatą pasiekia praėjus 2 metams po projekto įgyvendinimo, o didžioji dalis (50 proc.) – praėjus 4 metams po projekto įgyvendinimo. Todėl rezultatai rodo, kad EUREKA programa skatina projektinės veiklos rezultatų komercinį panaudojimą bei stiprina mokslo ir verslo ryšius ne tik su projekte dalyvaujančiomis įmonėmis, bet ir su kitomis produkto, proceso ar paslaugos plėtrai svarbiomis įmonėmis. EUREKA programos projektuose atliekami taikomieji moksliniai tyrimai, todėl įmonių įtaka naujų produktų kūrimui yra silpnesnė, produkto komercinimo trukmė ilgesnė.



6 pav. EUREKA programos projektų rezultatų komercinimas
Šaltinis: sudaryta autorių

Galima tikėtis, kad teigiami pokyčiai naujų produktų komercinimo procese įvyks tada, kai atsiras stipresnis ryšys tyrėjų su verslininkais, kuris įtakos geresnį tyrėjų supratimą apie gamybos procesą, rinkos sąlygas ir naujų produktų komercinimą. EK paskelbtoje metinėje Inovacijų sąjungos rezultatų suvestinėje 2015 m. (http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/scoreboards/index_en.htm) nurodoma, kad mūsų šalyje didžiausia pažanga pasiekta pagal pajamas iš užsienio už licencijas ir patentus bei pagal Bendrijos prekių ženklus ir dizainą. Šie teigiami rezultatai teikia vilčių, kad ateityje įmonių inovacijų veikla stiprės. EUREKA ir EUROSTARS programa neabejotinai įtakoja šį procesą. Šiose programose dalyvaujančios inovatyvios įmonės bendradarbiaudamos su mokslo ir studijų institucijomis bei kitomis įmonėmis kurdamos inovacijas taiko naujas mokslo žinias praktikoje, kaupia intelektinius išteklius bei įgyja konkurencinį pranašumą.

Išvados ir rekomendacijos

1. Įvertinus EUREKA ir EUROSTARS programų poveikį nustatyta, kad;
   a. gerinama Lietuvos inovacijų būklė, nes ugdomi žmogiškųjų išteklių gebėjimai, stiprinamas mokslinių tyrimų sistemos atvirumas, ryšiai, verslo investicijos bei užimtumas žinioms imliose veiklose;
   b. naujų produktų kūrimo procese sprendžiama žinių pritaikomumo ir technologijų perdavimo problema, nes skatinama taikomųjų mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros veiklų rezultatų sklaida pramonėje;
   c. įgyjamas konkurencinis pranašumas dėl vykdomos tinklaveikos, intelektinių išteklių, trumpėjančio inovacijos kūrimo laiko ir aukšto projekto rezultatų komercinimo laipsnio.

2. Rekomenduojame EUREKA projektuose verslui skirti technologijų diegimo paramą, nes dabartinė finansavimo schema užtikrino taikomųjų mokslinių tyrimų finansavimą, tačiau neužtikrintas gautų rezultatų diegimas versle.

3. Lietuva turi daugiau dėmesio skirti inovacijoms palankios aplinkos kūrimui, todėl būtina remti mūsų šalies atstovų dalyvavimą EUREKA ir EUROSTARS programose, nes didėja tarptautinis žinomumas ir vystosi ilgalaikis bendradarbiavimas.

4. Atliktas empirinis tyrimas ir gauti rezultatai tikėtina bus naudingi visiems, kurie analizuoja mokslo bei verslo bendradarbiavimo svarbą, formuoja mokslinių tyrimų finansavimo politiką.

Literatūra

1. Baležentis, A., & Žalimaitė, M. (2011). Ekspertinių vertinimų taikymas inovacijų plėtros veiksnių analizėje: Lietuvos inovatyvių įmonių vertinimas. *Management theory and studies for rural business and infrastructure development, 3*(27), 23-31. ISSN 1822-6760.
2. Bayona, C., Garcia-Marco, T., & Huerta E. (2004). Links between the characteristics of alliances and the applicability of research results. *Journal of High Technology Management Research, 15*. 215-236.
3. Bayona-Saez, C. & Garcia-Marco, T. (2010). Assessing the effectiveness of the Eureka Program. *Research Policy, 39*, 1375-1386.
4. Bercovitz, J., & Feldman M. (2008). Academic entrepreneurs: organizational change at the individual level. *Organization Science, 19*(1), 69-89.
5. Bertrand-Cloodt, D., Hagedoorn J., & Kranenburg Van H. (2011). The strength of RD network ties in high-tech sectors – a multi-dimensional analysis of the effects of the tie strength on innovation performance. *Technology Analysis and Strategic Management, 23*(10), 1015-1030.
6. Bishop, K., D'Este, P., & Neely, A. (2011). Gaining from interactions with universities: multiple methods for nurturing absorptive capacity. *Research Policy, 40*(1), 30-40.
7. Georghiou, L. (2001). Evolving frameworks for European collaboration in research and technology. *Research Policy, 30*, 891-903.
8. Gnyawali, D., & Park., B. (2009). Co-opetition and technological innovation in small and medium-sized enterprises: A multilevel conceptual model. *Journal of Small Business Management, 47* (3), 308-330
9. Haessler, C. & Colyvas, J. A. (2011). Breaking the Ivory Tower: academic entrepreneurship in the life sciences in UK and Germany. *Research Policy, 40*(1), 41-54.
10. http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/scoreboards/index_en.htm
11. http://www.eurekanetwork.org/
12. https://www.eurostars-eureka.eu/
13. Jong, S. (2006). How organizational structures in science shape spin-off firms: the biochemistry departments of Berkeley, Stanford, and UCSF and the birth of the biotech industry. *Industrial and Corporate Change, 115*(2), 251-283.
14. Meyer, M. (2006). Are patenting scientists the better scholars? An exploratory comparison of inventor-authors with their non-inventing peers in nano-science and technology. *Research Policy, 37*(10): 1646-1662.
15. Peterson, J. (1993). Assessing the performance of European collaborative R&D policy: The case of Eureka. *Research Policy, 22*, 243-264.
16. Pranulis, V. P., & Dikčius, V. (2012). Rinkodaros tyrimai. Teorija ir praktika. Vilnius.
17. Sakalauskas, V. (1998). Statistika su Statistica. Vilnius.
18. Santamaria, L., Barge – Gil, A., & Mondrego A. (2010). Public selection and financing of R&D cooperative projects: Credit versus subsidy funding. *Research Policy, 39*, 549-563.

IMPACT ASSESSMENT OF THE EUREKA AND EUROSTARS PROGRAMS ON THE LITHUANIAN INNOVATION ECOSYSTEM

Summary

Innovation ecosystem is one of the most important indicators in assessing public and private sectors innovation activities progress. In recent years, our country aims to accelerate the commercialization of research results, the

activation of new technologies in business, placing on the market of new or significantly improved products. The paper analyzes the international competitiveness and innovation promoting programs EUREKA and EUROSTARS effects on Lithuanian innovation ecosystem.

The aim of this paper is to evaluate the EUREKA and EUROSTARS programs impact on our country's innovation ecosystem.

The empirical study was carried out by analyzing secondary data sources covering the period 2006- 2015. Empirical research has shown that participation in collaborative technology projects contributing to the Lithuanian innovation ecosystem improvement by increasing the openness of research, promotes cooperation and development knowledge-intensive business.

Key words: EUREKA program, EUROSTARS program, scientific and business cooperation, innovation.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Birutė Bukauskaitė
Mokslo laipsnis ir vardas: Magistras
Darbo vieta ir pozicija: Mokslo, inovacijų ir technologijų agentūra, direktoriaus pavaduotoja; Tarptautinių programų EUREKA ir EUROSTARS nacionalinė atstovė
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Mokslinių tyrimų ir eksperimentinės plėtros bei inovacijų programos, vadyba, verslo bei mokslo bendradarbiavimas, Lietuvos konkurencingumas inovacijų srityje
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 5 2127436, birute.bukauskaite@mita.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Edita Bagdonaitė
Mokslo laipsnis ir vardas: Biomedicinos mokslų daktarė
Darbo vieta ir pozicija: Mokslo, inovacijų ir technologijų agentūra, vyriausioji specialistė; Tarptautinės programos HORIZONTAS 2020 teminių sričių „Maisto išteklių užtikrinimas, tvarus žemės ūkis, jūrų ir vidaus vandenų tyrimai, bioekonomika“, „MVĮ priemonė“ ir „Inovatyvios medicinos iniciatyva“ nacionalinė atstovė
Autoriaus mokslinių interesų sritys: fitochemija, genetiniai ištekliai, tyrėjų verslumas, MTEP programos, inovacijų vadyba, technologijų perdavimas
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 5 2644 700, edita.bagdonaite@mita.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Birutė Bukauskaitė
Science degree and name: master degree
Workplace and position: Deputy Director of the Agency for Science, Innovation and Technology; National coordinator of EUREKA and EUROSTARS
Author's research interests: R&D and innovation programmes, management, science and business collaboration, Lithuanian competitiveness in innovation field
Telephone and e-mail address: 8 5 2127436, birute.bukauskaite@mita.lt

Author name, surname: Edita Bagdonaitė
Science degree and name: PhD
Workplace and position: Agency for Science, Innovation and Technology, chief officer; National contact point HORIZON 2020: Food security, sustainable agriculture, marine and maritime research and the bio-economy; & Biotechnology, SMEs instrument, IMI2 – Innovative Medicines Initiative
Author's research interests: phytochemistry, genetic resources, academic entrepreneurship, R&D programmes, innovation management, technology transfer
Telephone and e-mail address: 8 5 2644 700, edita.bagdonaite@mita.lt

INTERAKTYVUS SĖKMINGOS KOMANDOS FORMAVIMO METODAS, VYKDANT ELEKTRONIKOS INŽINERIJOS KURSINIUS PROJEKTUS

Vaidotas Barzdėnas, Gediminas Gražulevičius
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

Šiandien kasdienėje veikloje susiduriame su sudėtingais šiuolaikiniais elektronikos ir komunikacijų įtaisais. Jų atliekamos funkcijos vis sudėtingėja. Todėl dėstytojas mokymo procese yra priverstas duoti sudėtingas kursinių projektų užduotis, kurias studentai gali atlikti tik dirbdami komandoje. Iškyla sėkmingos komandos subūrimo problema, kuri reikalauja iš dėstytojo papildomų socialinės psichologijos, projektų valdymo ir kitų žinių.

Straipsnyje pasiūlytas naujas interaktyvus ir originalus sėkmingos komandos formavimo metodas, kuris taikomas kartu su savęs vertinimo testu, sudarytu remiantis M. R. Belbin metodika. Šis metodas yra išbandytas ir jau keturis metus taikomas Vilniaus Gedimino technikos universitete, Elektronikos fakultete, vykdant grupinius kursinius projektus. Per šį laikotarpį surinkti duomenys parodė, kad sėkmingiausiai kursinius projektus vykdė komandos sudarytos iš dominuojančių koordinatoriaus, vykdytojo, užbaigėjo ir specialisto komandinių vaidmenų. Taip pat 84,4% apklausoje dalyvavusių studentų teigiamai įvertino suburtos ir projektą atlikusios komandos sinergiją.

Reikšminiai žodžiai: komandinis darbas, interaktyvus sėkmingos komandos formavimo metodas, kursinis projektas, M. R. Belbin savęs vertinimo testas.

Įvadas

Šiandien techninės ir technologinės problemos sprendžiamos taikant naujausias elektronikos technologijas. Elektronikos, informacinių ir komunikacijų technologijų vystymasis verčia spręsti iš principo naujas problemas. Elektronikos įtaisų matmenys bei naudojamoji galia mažėja, o pačios elektroninės schemos vis labiau sudėtingėja. Visa tai didina specialistų poreikį, kurie išmano naujausias elektronikos technologijas, jų vystymosi tendencijas, šių sistemų projektavimo, testavimo bei taikymo principus, geba spręsti vis sudėtingėjančias elektronikos problemas. Apie tokių specialistų poreikį Europoje bei visame Pasaulyje byloja ir Europos nanoelektronikos technologinė platforma ENIAC (angl. European Nanoelectronics Initiative Council), kuri savo parengtame strateginių tyrimų plane iki 2020 m, yra nurodžiusi, kad išmaniosios elektronikos projektuotojų per dešimt ateinančių metų reikės net 500 kartų daugiau (ENIAC 2007). Todėl svarbiausia problema Europai ir visam Pasauliui tampa naujų kūrybingų projektuotojų elektronikos srityje rengimas.

Daugelyje Europos ir Pasaulio universitetų yra dėstomi įvairūs studijų dalykai, susiję su elektronikos įtaisų projektavimu, gamyba ir testavimu. Studentai atlieka įvairaus sudėtingumo grupinius kursinius projektus, reikalaujančius daug brangios programinės ir aparatinės įrangos, žmogiškųjų išteklių bei laiko sąnaudų. Dėl pastarųjų priežasčių, dėstytojai susiduria su **pagrindine problema:** elektronikos įtaisų projektavimo kursiniai projektai yra sudėtingi ir dažniausiai atliekami komandoje, susidedančioje iš kelių arba keliolikos studentų. Todėl siekiant suburti sėkmingą komandą, universitetų dėstytojai turi turėti socialinės psichologijos, projektų valdymo, sėkmingos komandos subūrimo žinių ir praktinių šių žinių taikymo gebėjimų. Tačiau retas techniškosios pakraipos dėstytojas gali pasižymėti tokiais gebėjimais, todėl mokymo procese būtina naudoti jau išbandytus ir efektyvius sėkmingos komandos formavimo metodus.

Pastaruoju metu sparčiai didėja universitetų tarptautiškumas: universitetuose vis daugiau studijuoja įvairių tautybių studentų. Todėl dėstytojams tampa vis sudėtingiau sėkmingai suburti komandą iš kultūrinių skirtumų turinčių studentų. Tai irgi verčia universitetų dėstytojus vis tobulėti, gilinti savo žinias ir profesinę kompetenciją, ieškoti vis naujesnių dėstymo ir sėkmingos komandos subūrimo metodų.

Šio darbo pagrindinis tikslas – pateikti techniškosios pakraipos dėstytojams interaktyvų, sėkmingos studentų komandos subūrimo metodą, kuris sėkmingai jau keturis metus taikomas Vilniaus Gedimino technikos universitete, Elektronikos fakultete, vykdant grupinius kursinius projektus.

Tyrimų objektas – Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos inžinerijos studijų programos studentai, suburtoje komandoje atliekantys grupinius kursinius projektus.

Uždaviniai:

1. Apžvelgti mokslinę literatūrą, analizuojančią sėkmingus komandos subūrimo metodus.
2. Pasiūlyti originalų ir interaktyvų komandos subūrimo metodą, leidžiantį suburti komandą sėkmingam kursinio projekto vykdymui.
3. Atlikti sukauptų ketverių metų studentų pažangumo statistinių duomenų ir kas metus atliekamų studentų apklausų rezultatų analizę, siekiant įvertinti metodo efektyvumą.

Tyrimo metodai: informacijos šaltinių analizė, Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos inžinerijos studijų programos studentų anketinės apklausos, pažangumo statistinių duomenų

analizė.

Šį straipsnį sudaro penki pagrindiniai skyriai: pirmajame skyriuje pagrindžiamas tyrimo instrumentarijus, antrajame skyriuje pateikiama literatūros apžvalga, apžvelgianti komandos būrimo metodus, trečiajame skyriuje autoriai pateikia sėkmingos komandos būrimo interaktyvų metodą, ketvirtasis skyrius skirtas apžvelgti turimus ketverių metų statistinius duomenis, siekiant įvertinti naudojamo metodo efektyvumą, ir galiausiai, penktajame skyriuje suformuluojamos galutinės išvados.

M. R. Belbin savęs vertinimo testas

Komanda, susitelkusi vienam tikslui ir visus savo įgūdžius panaudojanti jam įgyvendinti, visuomet gali pasiekti geresnių rezultatų nei dirbantys po vieną asmenys. Sėkmingos komandos formavimo procesai, siekiantys pagerinti komandos sinergiją ir veiklos efektyvumą jau ilgą laiką tyrinėjami pasaulio mokslininkų darbuose (Tuckman 1965; Hope ir kiti 2005; Rickards, Moger 2000; Henry, Stevens 1999). Komandinio darbo ir mokymosi nauda buvo įrodyta daugelyje atliktų mokslinių tyrimų (Awatramani, Rover 2015; Finger ir kiti 2006; Martinez ir kiti 2010; Murzi, Carrero 2014; O'Connell 2015). Studentai mokindamiesi komandoje pasiekia aukštesnių rezultatų, giliau įsigilina į dėstomus dalykus, ilgiau įsimena informaciją, įgyja didesnius bendravimo ir komandinio darbo įgūdžius, geriau pritampa būsimose savo darbovietėse. Tačiau tokie rezultatai nepasiekiami automatiškai mokymo procese taikant komandinį darbą. Esant neefektyviai sudarytai ar neveiksmingai komandai, mokymosi rezultatai gali būti net ženkliai blogesni, negu studentas mokytųsi įprastais tradiciniais metodais. Todėl pagrindinis dėstytojų siekis turėtų būti sėkmingos komandos formavimo metodų kūrimas ir taikymas studijų procese.

Studijų procese naudojami įvairūs komandų formavimo metodai: leidžiama studentams susiburti į komandas patiems, komandas suburia dėstytojai remdamiesi įvairiais kriterijais. Straipsnyje (Elnagar, Ali 2013) teigiama, kad siekiant suformuoti sėkmingą studentų komandą būtina atsižvelgti į du pagrindinius kriterijus. Pirmasis kriterijus – studentai turi būti suskirstomi atsižvelgiant į jų žinias, gebėjimus bei pažymių vidurkius. Ir antras kriterijus – būtina išvengti pačių studentų suformuotų komandų, nes jos būna mažiau efektyvios, nei suburtos dėstytojų. Kadangi pastarosios komandos pasižymi didesnė studentų gebėjimų bei charakterio bruožų įvairove, tai savo ruoštu sąlygoja efektyvesnę komandos veiklą.

Tačiau daugelio literatūros šaltinių pateikiami studentų komandų formavimo metodai turi vieną esminį trūkumą: jie neįvertina studento charakterio savybių ir vaidmens komandoje. O šių savybių neįvertinimas turi labai didelę įtaką sėkmingo projekto baigčiai.

Vaidmenis ir jų pasidalijimą komandoje nagrinėja rolių teorija. Rolių teorijos pradininkai yra socialinės psichologijos atstovai G. H. *Mead,* ir J. Moreno. Jie rolių teoriją bandė paaiškinti asmenybės įsiliejimo į grupes procesą, kitaip dar vadinamą asmenybės socializacija. Vėliau M. R. Belbin (Belbin 1982; Belbin 2012) tyrinėjo vaidmenis, kurie išryškėja dirbant komandai arba kuriuos komandos nariai prisiima, išreikšdami savo įnašą ir santykius su likusiais komandos nariais. M. R. Belbin kalbėdamas apie sėkmingas komandas įvardijo komandos narių vaidmenis, kurie papildydami vienas kitą sudaro idealią komandą. Šių vaidmenų trumpas apibūdinimas pateiktas 1 lentelėje.

1 lentelė

M. R. Belbin komandiniai narių vaidmenys

Vaidmuo	Trumpas aprašymas
Koordinatorius (K)	Koordinuoja komandos darbą, siekiant užsibrėžtų tikslų
Sėjikas (S)	Generuoja idėjas ir originalius sprendimus
Vertintojas (V)	Analizuoja ir vertina galimybes bei alternatyvas
Vykdytojas (VD)	Įgyvendina idėjas
Užbaigėjas (U)	Įgyvendina užduotis laiku
Išteklių tyrinėtojas (IT)	Tiria informaciją, idėjas ir galimybes už komandos ribų
Komandos veikėjas (KV)	Skatina bendradarbiavimą komandoje
Formuotojas (F)	Skatina komandą tobulėti

Šaltinis: Belbin 2012.

1 lentelėje yra išvardinti tik 8 pagrindiniai vaidmenys, kurie yra būtini idealiai komandai. M. R. Belbin išskiria ir devintąjį vaidmenį, kai prie bendros komandos reikia pridėti tam tikros srities specialistą (SP), t. y. kai komandose, kurių veikla grindžiama specializuotais, inžineriniais įgūdžiais ir žiniomis, specialistas yra pagrindinis veikėjas. Kalbant apie inžinerinius projektus, specialisto vaidmuo yra kone pats svarbiausias, lyginant su kitais komandiniais vaidmenimis.

Komandoje turi būti realizuojami visi šie vaidmenys, tačiau anot M. R. Belbin tai nereiškia, kad komandos narių skaičius yra fiksuotas, t. y. ne mažiau ar ne daugiau kaip aštuoni ar devyni asmenys. Vaidmenys komandoje tarpusavyje glaudžiai susiję, todėl sakoma, kad vienas asmuo komandoje nebūtinai turi realizuoti vieną vaidmenį, pvz., komandoje gali būti asmuo turintis ir koordinatoriaus, ir vykdytojo

bruožų. Kiekvienas žmogus turi savitus asmenybės bruožus, ir neobjektyvu teigti, kad kiekvieną vaidmenį komandoje atstovaujantis žmogus tiksliai atitiks M. R. Belbin konkrečiai aprašytus tipus.

Vienas galbūt plačiausiai naudojamų sėkmingos komandos kūrimo metodų yra savęs vertinimo testas sudarytas pagal M. R. Belbin metodiką. Šio testo esmė yra pateikti studentams klausimus, iš kurių atsakymų būtų galima nustatyti kokio pobūdžio užduotis šie studentai galėtų atlikti geriausiai dirbdami komandoje. Testo klausimai, galimi atsakymai, ir atsakymų vertinimo metodika išsamiai paaiškinta šiuose literatūros šaltiniuose (Kehoe 2012; Elbeik, Thomas 2007). Studentas atsakinėdamas į kiekvieną teiginį turi balais (dešimtbalėje sistemoje nuo 0 iki 10) įvertinti visus aštuonis elgsenos tipus, taškus paskirstydami juos taip, kad tiksliausiai teiginį atitinkančiai elgsenai tektų daugiausiai taškų. Atlikus šį testą yra užpildoma savęs vertinimo rezultatų lentelė, iš kurios sprendžiama apie asmens vaidmenį komandoje. Daugiausiai surinkęs taškų komandinis vaidmuo yra labiausiai apibudinantys asmenį, o mažiausiai surinkęs – mažiausiai. Taip pat iš šios rezultatų lentelės galima spręsti ne tik apie pirminį, bet ir antrinį bei tretinį asmens komandos nario vaidmenį.

Tačiau M. R. Belbin testas nepilnai atskleidžia studentų charakterio savybes. Studentai, skubėdami užpildyti testą, kartais suklysta arba klaidingai supratę klausimą pažymį netinkamą atsakymą. Dažnais atvejais studentai specialiai pažymi netinkamą atsakymą, siekdami tapti komandos lyderiais. Todėl M. Belbin testai turėtų būti tik pagalbinis įrankis formuojant sėkmingą komandą ir taikomas su kitais interaktyviais komandą formuojančiais metodais.

„Dėlionės“ metodas

Prieš išdalinant kursinių projektų užduotis, dėstytojas turėtų skirti vieną arba kelias paskaitas išdėstyti studentams siekiamus projekto tikslus, pateikti ir paaiškinti užduočių tematikas bei jų technines specifikacijas, parodyti ir aptarti ankščiau vykdytų projektų rezultatus. Įvadinėse paskaitose taip pat reiktų akcentuoti ir projektų valdymo svarbą, sėkmingos komandos formavimo ypatumus, papasakoti apie laiko planavimo, darbų pasiskirstymo būtinybę, galimas šiame projekte rizikas ir kitus svarbius dalykus. Ir galiausiai pabaigoje įvadinių paskaitų, reiktų pateikti M. R. Belbin savęs vertinimo testus ir skirti jiems atlikti 20-30 minučių, pabrėžtinai akcentuojant, kad studentai pažymėtų tai, kas jiems asmeniškai yra labiausiai priimtiniausia. Iš gautų rezultatų dėstytojas galės susidaryti įspūdį apie studentų charakterio bruožus bei suformuoti 4-5 studentų komandą, turinčią visus M. R. Belbin komandinius vaidmenis.

Atlikus M. R. Belbin savęs vertinimo testą ir subūrus studentų komandą, dėstytojas turėtų įsitikinti komandos efektyvumu. Vienas toks komandos patikrinimo metodas, kurį pavadinome „Dėlionės“ metodu, yra sėkmingai taikomas Vilniaus Gedimino technikos universitete, Elektronikos fakultete, vykdant integrinių grandynų projektavimo kursinius projektus. Aptarkime šio metodo esmę bei privalumus.

Pagal gautus M. R. Belbin savęs vertinimo anketos rezultatus dėstytojas suburia kelias komandas, stengdamas įvertinti, kad kiekvienoje komandoje būtų 4-5 studentai, turintys visus devynis komandos narių vaidmenis. Subūrus komandą dėstytojas duoda užduotį, kuri yra susijusi su projektuojamo integrinio grandyno struktūrinės schemos sudarymu. Dėstytojas duoda sukarpytą į atskiras dalis šio grandyno struktūrinę schemą, bei papildomą kiekį visai nesusijusių dalių. Visas šias struktūrinės schemos dalis dėstytojas išdalina komandos nariams po lygiai bei perspėja studentus, kad negalima dalintis šiomis dalimis tarpusavyje. Iš gautų dalių studentai turi sudėti tinkamą struktūrinę schemą ir ją išsamiai pristatyti visoms komandoms. Šiai užduočiai atlikti yra skiriamos 30-40 minutės. Laimėjusi komanda yra ta, kuri sudaro teisingiausią projektuojamo grandyno struktūrinę schemą per trumpiausią laiką bei išsamiausiai ir tiksliausiai pristato kitoms komandoms.

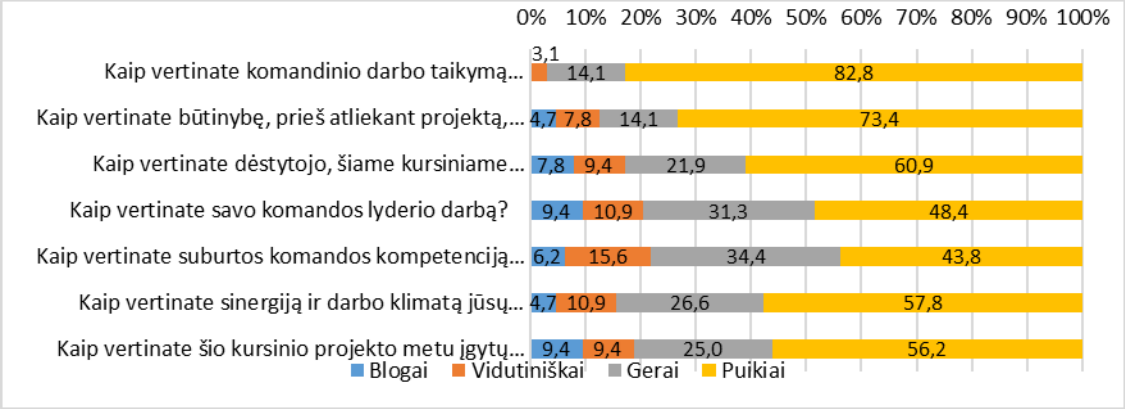
Pradėjus vykdyti projektą, užstrigus ir nebeturint idėjų, komanda gali pasinaudoti viena dėstytojo suteikiama pagalba. Komanda išrenka vieną asmenį, kurį deleguoja prieiti prie dėstytojo stalo ar kompiuterio ir pažiūrėti kaip turi atrodyti galutinė jų grandyno struktūrinė schema. Priėjus prie dėstytojo, studentui draudžiama išmaniaisiais įrenginiais fotografuoti, braižyti ar konspektuoti ant popieriaus, balsu ar mimikomis perduoti informaciją savo komandos nariams. Komandos deleguotam asmeniui struktūrinės schemos stebėjimui ir analizei yra duodamos 1-2 minutės. Išsekus stebėjimo laikui, studentas grįžta į komandą ir perduoda visą informaciją savo kolegoms bei kartu tęsia struktūrinės schemos sudarymą. Šia dėstytojo suteikiama pagalba komanda gali pasinaudoti tik įpusėjus užduočiai atlikti skirtam laikui.

Atliekant šį interaktyvų žaidimą, dėstytojas stebi kaip dirba studentų komandos ir gali atsakyti į daug iškylančių klausimų: ar tikrai komandoje yra lyderis ir kas jis?; ar yra komandoje darbo pasidalinimas?; kokia komandoje vyrauja atmosfera?; kokia komandos darbo strategija?; kaip komanda planuoja laiką?; ir daug kitų klausimų. Atsakymai į šiuos klausimus leis dėstytojui įsitikinti sėkmingu komandos suformavimu. Jei atliekant šią užduotį dėstytojas mato komandos trūkumus ar silpnąsias vietas, jis gali iš naujo performuoti komandas, sudarant, jo manymu, tinkamą komandą grupiniam kursiniam projektui vykdyti.

Komandos formavimo rezultatai

Aukščiau aptartas M. R. Belbin testas kartu su komandos formavimo „Dėlionės“ metodu jau keturis metus yra sėkmingai taikomi Vilniaus Gedimino technikos universitete, Elektronikos fakultete, vykdant integrinių grandynų projektavimo kursinius projektus.

Po kiekvienų studijų metų, grįžtamajam ryšiui iš studentų gauti, duodama savanoriškai užpildyti anketa. Anketoje pateikiama 12-16 klausimų susijusių su komandos formavimu, komandos sinergija, komandos lyderio darbo įvertinimu ir daug kitų. Dalis studentų apklausos klausimų ir rezultatų pavaizduota 1 paveiksle. Per ketverius metus, integrinių grandynų projektavimo kursinius projektus vykdė 73 studentai. Šis studentų skaičius yra laikytinas dideliu, nes integrinių grandynų projektavimas Lietuvoje vykdomas tik Vilniaus Gedimino technikos universitete, o viso pasaulio universitetuose jis yra labai specializuotas, t. y. dėstomas siaurai studentų specializacijai ar sričiai. Iš šių 73 studentų anketas pateikė 64 studentai. Į klausimą kaip vertinate komandinio darbo taikymą mokymo procese, puikiai manančių buvo net 82,8% apklausoje dalyvavusių studentų. Toks didelis procentas dar kartą patvirtina teiginį, kad komandinis darbas motyvuoja studentus domėtis studijuojamu dalyku ir būtinai turi būti įtrauktas į mokymo procesą. Kita tendencija, kurią galime pamatyti iš turimų statistinių duomenų yra ta, kad studentai puikiai (73,4%) ir gerai (14,1%) vertina sėkmingos komandos formavimą ir būtent jai tinkamų narių parinkimą bendriems komandos tikslams pasiekti. Tuo tarpu šiame straipsnyje aprašytą sėkmingos komandos formavimo „Dėlionės“ metodą 21,9% apklaustų studentų vertina gerai, o net 60,9% - puikiai. Šie skaičiai leidžia daryti išvadą, kad studentai teigiamai vertina šį komandos formavimo metodą ir mato šio metodo naudą bei efektyvumą. Ir galiausiai kitas svarbus akcentas, kuris pastebimas turimuose statistiniuose duomenyse yra tas, kad net 84,4% apklaustų studentų (26,6% - gerai, 57,8% - puikiai) vertino komandos sinergiją, t. y. sėkmingą komandos veiklą, tarpusavio komunikaciją, komandos narių vienas kito papildymą skirtingais įgūdžiais. Šie skaičiai dar kartą įrodo, kad dirbant *komandoje* atsiranda vadinamasis sinergijos efektas, o tai reiškia, jog kartu veikiantys žmonės pasiekia daug daugiau, nei dirbantys atskirai.



1 pav. Dalis studentų apklausos klausimų ir rezultatų

Šaltinis: sudaryta autorių.

Kaip jau ankščiau buvo minėta, kad per ketverius metus, integrinių grandynų projektavimo kursinius projektus vykdė 73 studentai, kurie buvo sudalinti į komandas po 4 ar 5 asmenis. Iš viso buvo sudaryta 18 komandų, kurios atliko dėstytojo arba besikreipiančių į universitetą įmonių užduotis. Iš 18 vykdytų projektų sėkmingai buvo įgyvendinti 14, o 4 buvo neįgyvendinti, arba įgyvendinti su tam tikrais neatitikimais: neatitiko techninėje specifikacijoje užduotų reikalavimų, suprojektuotas grandynas nespėtas laiku pateikti gamybai, arba pagamintas neveikė.

Jau minėta, kad prieš pradedant vykdyti kursinį projektą dėstytojas duoda studentams užpildyti M. R. Belbin savęs vertinimo testą. Iš gautų rezultatų dėstytojas išrenka tris pagrindinius vaidmenis, kuriais pasižymi studentai, ir iš kurių vėliau suformuojama 4-5 asmenų komandą. Iš turimų statistinių duomenų galima pamatyti įdomią tendenciją arba dėsnį: sėkmingiausiai projektus vykdo komandos sudarytos iš dominuojančių koordinatoriaus (K), vykdytojo (VD), užbaigėjo (U) ir specialisto (SP) komandinių vaidmenų. Tokios sudėties projektų komandų buvo net septynios, o jų gauti įvertinimai už atliktą projektą buvo patys aukščiausi bei buvo intervale nuo 86% iki 100%. Šių statistinių duomenų suvestinė pateikta 2 lentelėje.

2 lentelė

M. R. Belbin komandinių vaidmenų deriniai, projektą atliekančioje komandoje

M. R. Belbin komandinių vaidmenų derinys	Atliktų projektų skaičius	Projekto įvertinimas (nuo…iki…, %)
K+VD+U+SP	7	86…100
K+VD+KV+SP	4	78…92

M. R. Belbin komandinių vaidmenų derinys	Atliktų projektų skaičius	Projekto įvertinimas (nuo…iki…, %)
S+V+IT+F	3	74…85
S+V+KV+SP	2	63…75
U+S+IT+KV	1	62
S+IT+U+KV+F	1	54

Šaltinis: sudaryta autorių.

Galbūt tokią sėkmingos komandos sudėtį galima pagrįsti ir tuo, kad šie komandiniai vaidmenys apima praktiškai visas svarbiausias integrinių grandynų projektavimo kursinių projektų metu vykdomas veikas. Komandos koordinatorius organizuoja ir rūpinasi komandos darbu, žino komandos narių privalumus bei trūkumus, skatina sprendimų priėmimą, paaiškina tikslus bei puikiai atstovauja komandai. Komandoje esantis specialistas, turi gilias žinias, sugebėjimą priimti sudėtingus inžinerinius sprendimus ir yra pats pagrindinis vykdomo projekto inžinerinės dalies kūrėjas. Tuo tarpu vykdytojas yra komandos narys, gebantis numatyti, kaip komandos idėjos bus įgyvendinamos ir jas realizuoja praktikoje. O užbaigėjas yra stropus, kruopštus ir atidus studentas, atrandantis pasitaikančias klaidas, jas ištaisantis, išbaigiantis ir ištobulinantis darbą iki nurodyto termino.

Per ketverius metus, kai buvo vykdomi didelės integracijos grandynų projektavimo kursiniai projektai, taikant aukščiau aprašytą „Dėlionės“ metodą, buvo atlikti 4-5 pakeitimai komandose, kurie pagrinde susiję su tinkamu komandos koordinatoriaus parinkimu ir siekimu sudaryti tinkamą (K+VD+U+SP) komandos narių vaidmenų derinį.

Išvados

1. Siekiant suburti sėkmingą studentų komandą kursiniam projektui vykdyti, dėstytojai turėtų turėti socialinės psichologijos, projektų valdymo, sėkmingos komandos subūrimo žinių ir praktinių gebėjimų. Studentų mokymo procese taip pat būtina taikyti jau išbandytus ir efektyvius sėkmingos komandos formavimo metodus.

2. M. R. Belbin savęs vertinimo testas turėtų būti tik pagalbinis įrankis, formuojant sėkmingą komandą, ir taikomas kartu su kitais interaktyviais komandą formuojančiais metodais. Šiame darbe pateiktas interaktyvus „Dėlionės“ komandos formavimo metodas, kuris taikant kartu su M. R. Belbin savęs vertinimo testu, leidžia suburti tinkamą komandą kursinio projekto vykdymui. Pagrindinis tokio komandos formavimo metodo privalumas yra greitas suformuotos komandos komandinių vaidmenų patikrinimas.

3. Iš surinktų ketverių metų statistinių duomenų pastebėta, kad sėkmingiausiai projektus vykdo komandos sudarytos iš dominuojančių koordinatoriaus (K), vykdytojo (VD), užbaigėjo (U) ir specialisto (SP) komandinių vaidmenų.

4. Iš kiekvienais metais vykdomų apklausų, kuriose dalyvavo 64 studentai, net 82,8% puikai vertina komandinio darbo taikymą kursinių projektų metu, net 84,4% apklausoje dalyvavusių studentų (26,6% - gerai, 57,8% - puikiai) teigiamai įvertino suburtos ir projektą atlikusios komandos sinergiją, o aprašytą interaktyvų „Dėlionės“ komandos formavimo metodą 21,9% apklaustų studentų vertino gerai ir net 60,9% puikiai. Toks didelis procentas teigiamų atsakymų dar kartą įrodo, kad komandinis darbas ir komandos formavimo metodai turi būti taikomi mokymo procesuose.

Literatūra

1. Awatramani, M.; Rover, D. 2015. Team-based learning course design and assessment in computer engineering. *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*.
2. Belbin, M. R. 2012. *Team roles at work*. 2nd edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.
3. Belbin, M. R.; Jay, A. 1982. *Management teams:* Why they succeed or fail. New York: John Wiley & Sons.
4. Elbeik, S.; Thomas, M. 2007. *Project Skills*. Taylor & Francis.
5. Elnagar, A.; Ali, M. S. 2013. Survey of Student Perceptions of a Modified Team Based Learning Approach on an Information Technology Course. *Palestinian International Conference on Information and Communication Technology Proceedings*.
6. European Nanoelectronics Initiative Advisory Council (ENIAC). 2007. *Strategic Research Agenda*.
7. Finger, S.; *et al.* 2006. Supporting collaborative learning in engineering design. *Expert Systems with Applications*, vol. 31, no. 4, pp. 734–741.
8. Henry, S. M.; Stevens, K. T. 1999. Using Belbin's leadership role to improve team effectiveness: An empirical investigation. *Journal of Systems and Software*, vol. 44, no. 3, pp. 241–250.
9. Hope, J. M.; *et al.* 2005. Bringing Interdisciplinary and Multicultural team building to health care education: The Downstate team-building initiative. *Academic Medicine*, vol. 80, no. 1, pp. 74–83.
10. Kehoe, D. F. 2012. *The Fundamentals of Quality Management*. Springer Science & Business Media, 2012.
11. Martinez, M. L.; *et al.* 2010. Integrating teams in multidisciplinary project based learning in Mechanical Engineering. *IEEE EDUCON 2010 Conference Proceedings.*

12. Murzi, H.; Carrero, O. P. 2014. Impact of team-based learning on promoting creative thinking in undergraduate engineering students. *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) Proceedings*.
13. O'Connell, R. M. 2015. Adapting team-based learning for application in the basic electric circuit theory sequence. *IEEE Transactions on Education*, vol. 58, no. 2, pp. 90–97.
14. Rickards, T.; Moger, S. 2000. Creative leadership processes in project team development: An alternative to Tuckman's stage model. *British Journal of Management*, vol. 11, no. 4, pp. 273–283.
15. Tuckman, B. W. 1965. Developmental sequence in small groups. *Psychological Bulletin*, vol. 63, no. 6, pp. 384–399.

AN INTERACTIVE METHOD OF BUILDING A SUCCESSFUL TEAM IN ELECTRONICS ENGINEERING COURSE PROJECTS

Summary

Today in daily activities, we are faced with the complex devices of modern electronics and communications. Their functions are becoming increasingly sophisticated. Therefore, the teacher in training process is forced to give challenging tasks of course project, in which students can only work as a team. There is a successful team-building problem, which requires additional knowledge of social psychology, project management and other teacher skills.

The article offers a new interactive and original successful team building method, which is combined with a self-assessment test, drawn up on the basis of M. R. Belbin methodology. This method has been tested and has already applied for four years in Vilnius Gediminas Technical University Faculty of Electronics, the teamwork course projects. During this period, the collected data has shown that the most successful course projects carried out by a team formed by dominant Chairman, Implementer, Completer-Finisher, and Specialist team roles. In addition, 84.4% of the surveyed students welcomed the setting up and carried out the project team synergy.

Key words: teamwork, interactive method of building a successful team, course project, M. R. Belbin self-assessment test.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Vaidotas Barzdėnas.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto, Kompiuterių inžinerijos katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Naujausios mikro- ir nanoelektronikos technologijos, integrinių grandynų projektavimas, interaktyvūs dėstymo metodai ir technologijos.
Telefonas ir el. pašto adresas: +37068451453, vaidotas.barzdenas@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Gediminas Gražulevičius.
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto, Kompiuterių inžinerijos katedros docentas.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: kompiuterių tinklų sauga, duomenų gavyba, modernios mokymo formos ir metodai bei jų taikymas.
Telefonas ir el. pašto adresas: +37052744771, gediminas.grazulevicius@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Vaidotas Barzdėnas.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilniaus Gediminas Technical University, Faculty of Electronics, Departament of Computer Engineering.
Author's research interests: novel micro- and nano-electronics technologies, integrated circuits design, interactive learning methodologies and technologies.
Telephone and e-mail address: +37068451453, vaidotas.barzdenas@vgtu.lt

Author name, surname: Gediminas Gražulevičius.
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Vilniaus Gediminas Technical University, Faculty of Electronics, Departament of Computer Engineering.
Author's research interests: computer network security, data mining, modern learning forms and methods, and their application.
Telephone and e-mail address: +37052744771, gediminas.grazulevicius@vgtu.lt

IMPROVING MICRO- AND NANO-ELECTRONICS EDUCATION USING INTERACTIVE TEACHING METHODOLOGY AND TCAD TOOLS

Vaidotas Barzdėnas
Vilnius Gediminas Technical University

Abstract

Modern electronic devices, information, and telecommunication systems are increasingly becoming more important in our lives. Therefore, the design and manufacture of micro- and nano-electronic devices are an integral part of the Electronic and Electrical engineering study area. The teaching of different manufacturing processes of micro- and nano-electronic devices and especially the quality of the teaching depends on the resources, which the university possesses. Only in rare cases, a university has the opportunity to manufacture semiconductors. Because of the following reason, professors of various universities face the main problem – how to reduce the gap between the theoretical knowledge and practical skills of the students. This article provides and discusses the interactive lecturing method, which allows students to use smart devices during the lectures, thus improving the student progress up to 15 %-18 % and improves the attendance of the lectures by 8 %. It is expected to increase the students' interest towards manufacturing of semiconductor devices by using this method and TCAD software tools, therefore providing students with academicals skills, knowledge and practical abilities for a creation of future micro- and nano-electronic devices. This interactive lecturing method was adapted and tested at Vilnius Gediminas Technical University.

Key words: Electronics engineering education, interactive learning methods, semiconductor device manufacture, technology CAD (TCAD)

Introduction

Nowadays, the newest electronic technologies are used as the solution for most technical and technological issues. The rapid development of electronic and communications creates perfect conditions to solve new arising issues, which could not be resolved in the past. The dimensions of modern electronic devices and consumer power are gradually decreasing, thus in one chip can fit more and much more difficult circuits. Because of these reasons, the need of the specialists, who understand the newest micro- and nano-electronic technologies, their development trends, design and implementation principles of FPGA, SoC, and embedded systems, and are able to solve more and more difficult electronic issues, is constantly increasing.

The increasing need of the micro- and nano-electronic specialists in Europe and the whole world is also defined by European nano-electronic technological platforms ENIAC (*European Nano Electronics Initiative Council*), which stated in its strategic research plan that up until 2020 (ENIAC, 2007), the need of the smart electronic designers will increase by 500 times in the upcoming decade. Therefore, the preparation of the new creative designers in the electronic area becomes the most important issue for Europe and rest of the world.

However, most of the Europe's and world's universities do not pay sufficient attention to the teaching of the micro- and nano-electronic manufacturing processes. There are few reasons that could explain this fact. The first reason is that the manufacturing technologies of the micro- and nano-electronics are developing and becoming more and more complex in the rapid pace, which forces the university lecturers to improve their knowledge and professional competencies. The second reason is that the development and research of the newest semiconductor devices requires the usage of expensive equipment, high costs of the manufacturing processes, human resources and requires a lot of time. Finally, the third reason is that, in the absence of expensive manufacturing equipment of micro- and nano-electronics in the universities, it is very difficult to motivate students and to provide them with proper practical knowledge only when providing them with theoretical knowledge. That is why the lecturers must constantly think how to motivate students, how to transfer their knowledge and practical skills in the most understandable manner.

Considering the above-mentioned reasons, it is necessary to use interactive lecturing methods and computer software, which can design micro- and nano-electronic devices as main motivational tools for the students, without using expensive and long-time taking technological manufacturing experiments and human resources. Different TCAD (Technology Computer-Aided Design) software tools can be perfectly used to design technological processes and micro- and nano-electronic devices.

The main aim of this article is to share the good lecturing practice, which interactively teaches students to design using the TCAD software tools and to analyse main micro- and nano-electronic manufacturing processes (epitaxy, photolithography, etching, doping impurities, dielectric coating techniques, metallization and other processes) using electronic methods.

This article is prepared in the following order: the second section discusses the interactive teaching technique, which allows to motivate students and to involve them into the teaching process and provides with knowledge and practical skill on creation processes of micro- and nano-electronic devices. The third section

provides a possible conception of lectures by using this interactive teaching technique. The fourth section reviews the main TCAD's software tools, which are appropriate for the teaching methods and teaching principles of laboratory works. The fifth section is used to review the increase in students learning progress by using the interactive teaching technique, which is described in this article, and finally, the sixth section summarizes the most important conclusions of this work.

The Use of Smart Devices Applications for Interactive Teaching

Usually, before starting lectures, lecturers ask students not to use smart phones and to turn off their sound, so it would not interrupt the lecturing process. However, modern smart devices can be used in the lecturing process and students can be interactively involved in the lectured subject. According to the statistics (Pearson, 2013), more than 60% of students in universities or colleges use their smart phones for learning purposes and 17% of students use small tablets for the same reason. Students use these smart devices to find information, read books, and prepare homework or to perform other tasks, which were asked to be done by their lecturer. According to this data, more than 92% of students think that smart devices will be widely used in different teaching techniques in the future. In addition, more than 90% of the respondents think that learning is much more interesting while using the smart devices.

Literature provides many lecturing methods that involve the use of smart devices. Different software tools (Boticki, 2012), (Lee, 2012), WEB-platforms (Xiao-Ling, 2008), different games (Wang, 2008) are created for teaching purposes, that allow students to learn different subjects, not just during their lecture, but also remotely. Nowadays, practically all of the smart devices' functions are used for learning purposes (Cavus, 2008). In addition, more and more research results indicate the positive approach of the students towards the used tools and teaching methods, which involves the use of the smart devices (Thornton, 2004). Many scientific publications analyse the benefits of the smart devices usage and its outlook in the teaching methods (Giousmpasoglou, 2013), (Kearney, 2012), (Peters, 2007).

Therefore, considering the students' survey results and the increasing usage capabilities of the smart devices, university lecturers should consider new interactive lecturing methods, which would allow the use of the smart devices in the teaching process.

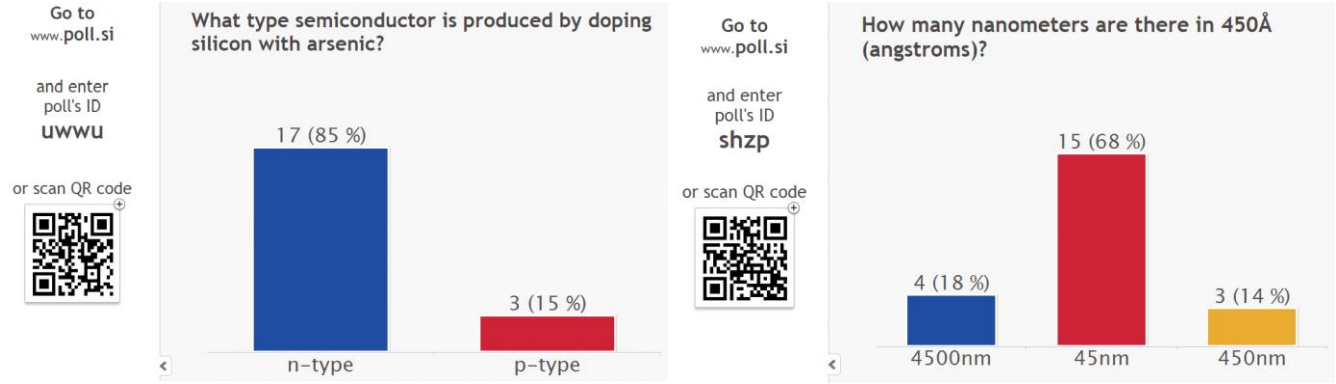


Fig. 1. Examples and answers of the interactive survey: a) What type is produced by doping silicon with arsenic? B) How many nano-meters are there in 450Å (angstroms)?
Source: prepared by the author

One of such techniques is interactive student surveys during their lectures and laboratory works by using internet survey systems. The main essence of such teaching technique is that while preparing for the lecture, the lecturer prepares interactive questions, tests or different practical tasks with possible answer options for the students. Internet survey system generates a link or a QR code for every question. During the lecture, students scan the QR code with their smart devices and answer the lecturer's questions. Survey results, which change in real time are observed and analysed together with the students. The following benefits of such interactive teaching can be distinguished:

- Students can express their opinion and are involved in an interactive teaching process.
- Surveys can be performed without revealing the student's identity, therefore students can express their opinion bravely and without fear to make a mistake.
- When the lecturer asks following questions, students discuss it interactively by searching for a proper answer. Also, it is possible to ask more difficult questions, that could require to analyse them in a group and that would increase the students' reciprocal communication and their communication skills.

- Another benefit of such teaching technique is rather psychological. In a case of such surveys, students feel less constrained and the lecturer can develop reciprocal discussion easier.
- Students can express their feedback. According to the received survey results, the lecturer can understand how students understood his lecturing material. If most of the answers are false, the lecturer can explain the misunderstood material for the students again.
- At the end of the lecture, the lecturer can ask students to evaluate lecture material and in such way understand if he presented the material for students in an interesting and understandable way.
- Received survey results can be used to compare different groups or different study program students.
- Such survey results data can also be used in study programs committees while analysing the lecturing quality of the lecturers.

In order to understand this internet survey and to imagine questions that could be asked, we provide you with few examples in the Fig. 1. Fig. 1, a, provides a question: "*What type is produced by doping silicon with arsenic?*" and two possible answers: *n-type* or *p-type*. The right answer to this question is *n-type* and 17 students choose it. Fig. 1, b, provides the results of the survey to question: "*How Many nanometres are there in 450Å (angstroms)?*". 15 students choose the right answer.

Main Strategy for the Lecture

By applying the above-mentioned interactive teaching method, it is appropriate to split the lecture into three parts. Students should be prepared for the lecture - they should have read the lecturers literature, scientific articles or they should have done homework, so it would be worth to ask questions from the preparation material. Answers to these questions will show the lecturer if the students are prepared and would help him make decisions about the next course of the lecture. If the lecturer can see from the survey results, that the preparation level of the students is not sufficient for the new lecture, the lecturer could explain difficult questions for the students in detail and continue the lecture in an easier level. In addition, if the results of the lecture show sufficient preparation level of the students, the lecturer can start explaining more difficult part of the lecture or provide students with tasks that are more practical for them. In the third part of the lecture, the lecturer could start asking questions from the lectured material and to make sure that the students understood all the material. The lecturer could briefly explain falsely answered questions or to ask students to analyse additional literature sources.

Modern internet survey systems have the opportunity to form these student surveys in the Microsoft Power Point format, so the students' survey can be perfectly combined with the lecture presentation, which was prepared by the lecturer. Prepared questions are easily inserted into the presentation and the survey results are observed in real-time.

In the end of the lecture, the lecturer can also ask "Like" type question and to make sure, if students liked his lecture. Also, the study program committee can obligate the lecturer to ask such question, so they could monitor the quality of the lecturer's lectures. The example of such question is formed in the Fig. 2.

Fig. 2. "Like" type of question, which could be asked in the end of the lecture
Source: prepared by the author

Main Strategy for the practical works

As it was already mentioned above, the development of new micro- and nano-electronic devices requires many human resources, has high costs of manufacturing processes and requires time. Therefore, it is necessary to use computer software tools that enable the opportunity to design semiconducting devices, to

perform the design of their technological manufacturing processes and receive electrical parameters without using expensive and long-time taking technological manufacturing experiments, for the practical means of the student learning. TCAD software tools are used for the micro- and nano-electronic devices and the design of their manufacturing processes.

Literature provides many articles that describe the practical usage of the TCAD software tools in different study programs and subjects. Following software tools are usually used to teach student physics of the electronic devices (Parent, 2008), principles of electronic power (Konishi, 2013), (Landowski, 2010), basics of optoelectronic, and as well as the latest micro-electronics and nano-electronic devices manufacturing processes theory (Galliere, 2009), (Klimek, 2009), (Maiti, 2013), (Kenrow, 2004). However, there are almost no articles that describe the teaching techniques of the following subjects and which could help students to assimilate the material related to their studies and to gain knowledge, and practical skills. Accordingly, in this section, we will provide you with examples of how to lecture for laboratory works and homework, in such way motivate, and involve students into the learning process.

A. TCAD Tools

TCAD software tools are produced and developed by different educational institutions or commercial companies. We could attribute the Stanford University TCAD software tools (Stanford) to one of the most famous open code software tools and software tools that can be found at the nanoHUB website (nanoHUB), and are used to design micro- and nano-electronic devices, as well as for the intentions of designing their technological processes. However, these open code system are very limited – they can be used only for the purpose of designing specific manufacturing technologies or specific devices. Thus, in order to design the structures of different micro- and nano-electronic devices or their manufacturing technologies, it is necessary to use large amounts of sub-tools with different user interfaces. Hereby, it makes the lecturing and learning processes much more difficult.

Current market commercial tools have much wider design capabilities and more convenient user interfaces. The major manufacturers of the TCAD software tools are Synopsys (Advanced TCAD tools), Silvaco (TCAD tools) and Cogenda (TCAD Visual TCAD/Genius simulation tools). It so happens to be that the most of the TCAD software tools are produced and developed based on UNIX platforms. Therefore, in order to work and to properly teach students the subject, the lecturers and students as well have to have the knowledge and skills of the UNIX system administration. There were attempts to develop such tools for Windows operating systems or ones that could be accessed via web interface. However, while comparing to UNIX or Linux-based operating systems, the usage and design capabilities of such software tools are very limited and do not meet the needs for real manufacturing processes.

The above-mentioned manufacturers of the TCAD software tools offer licenses for universities and have the same functionalities as the commercial licenses. In addition, there are different projects, which are supported by the European Union, therefore European Union universities or other educational institutions can acquire TCAD software tools free of charge or for a very low price. One of such projects is called Europractice (Europractice).

Most of the TCAD software tools consists of two main components: technological processes of manufacturing and design software tools of micro- and nano-electronic devices. For example, Synopsys Advanced TCAD tools use the Sentaurus Process and Taurus TSUPREM-4 sub-tools to design semiconductor processes and to design the micro- and nano-electronic devices called Sentaurus Device or Taurus Medici. Hereby, the Silvaco TCAD software tools consist of two main sub-tools: *Athena* and *Atlas*, which will be briefly reviewed below.

Athena process simulator is a software that is aimed for the purpose of the design of semiconductors manufacturing technologies (and more). It can be used to design epitaxy, oxidation, diffusion, ion implantation, lithography, etching, plating, metallization and other manufacturing technologies of semiconductors. Therefore, the expensive experiments with real wafers are changed with computer design – in such way the significantly higher labour productivity is acquired, because fast and precise calculations of all critical manufacturing steps are performed by applying the technologies of CMOS and (or) bipolar Si, SiGe/SiGeC, SiC, SOI, III–V, optoelectronic and power devices.

Atlas device simulator is used to design electrical, optical and thermal characteristics of the semiconductors, optoelectronic, organic, laser and ferroelectric devices. Atlas simulator are mostly performed when Athena design results are acquired – at least by having a prepared structure of the designed devices. However, Atlas software can also form the desired structure. The device, which is designed with

help of the Atlas software is split into different areas, which are described by the following parameters: the material of the area, conductivity type, impurity concentration, and other required parameters. Such method is less accurate than the performance of the technological sequences, but it requires lesser duration for calculations.

Electronic faculty of the Vilnius Gediminas Technical University uses the Silvaco TCAD software tool in its teaching process while conducting laboratory works and preparing homework.

B. Laboratory Works

The above-mentioned interactive survey method can also be used in the teaching of laboratory works. Similarly, like in the lectures, the laboratory work should be split into three parts. In order to understand if the students are prepared for the laboratory work, theoretical questions should be asked in the first part of the lecture, whereas the questions of the second part should be related to the specific laboratory work. Because laboratory works are performed with TCAD software tools, questions should be related to the written software code. Answers, which are submitted in real time, make the tasks of the laboratory works much easier for the students. Without knowing the correct answer, students see how other students answered and can choose the proper way of solving their task.

The lecturer should ask the students self-control questions in the third part of the laboratory work, so the students could make sure they correctly understood the requirements of the task, and have properly carried out them.

According to the described lecturing technique, nine laboratory works in *Microchip technologies* subject are performed in the Electronic faculty of the Vilnius Gediminas Technical University, which analyse the technological processes of epitaxial growth, thermal oxidation, thermal diffusion and ion implantation, photolithography, etch and metallization. Two methodical tools are prepared to perform these laboratory works (Barzdenas, 2012), (Navickas, 2012).

After performing all laboratory works students should get a more difficult task. An example of such task is provided in the Fig. 3. This image shows the 0.25 µm CMOS technology inverter section with two metal layers, which was obtained after performing 15 processes of photolithography. Needed data for the design of such structure is obtained from the manufacturer of the semiconductor devices, which is provided in PDK or scientific articles. After modelling the structure, the students perform a modelling process and compare the results with characteristics provided by the manufacturers. Students must present the obtained results to the lecturer and their colleagues by using internet survey systems. The lecturer evaluates students' presentation quality, answers to questions, formulation of the conclusion and summaries, as well as with presentation of interesting questions for the students.

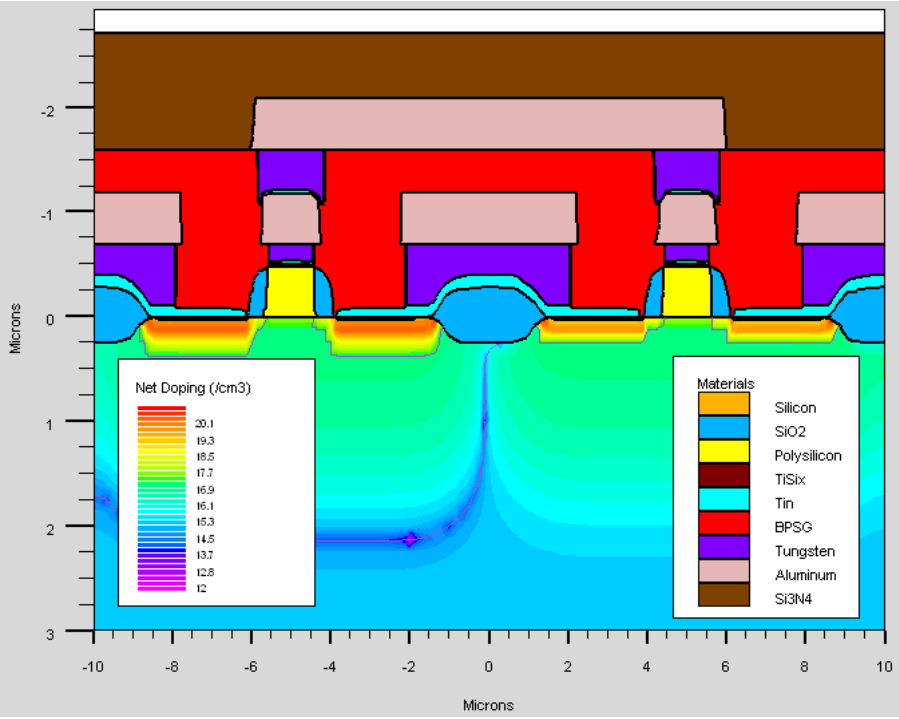
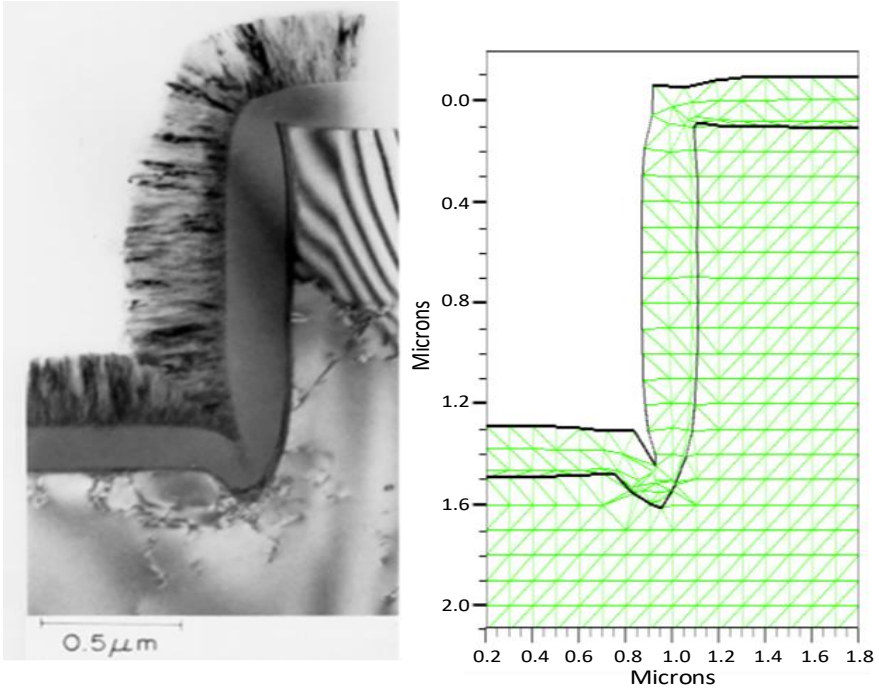


Fig. 3. 0.25 µm CMOS technology inverter with the two metal layers
Source: prepared by the author

C. Homework Assignment

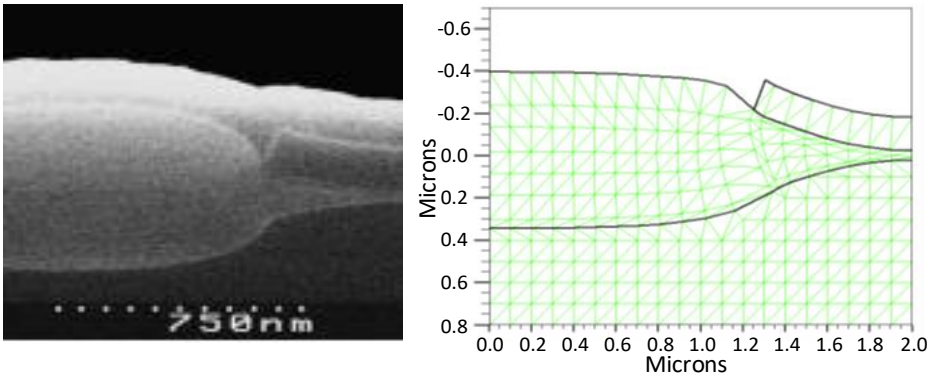
Homework should be used as a technique to improve students' theoretical knowledge, knowledge obtained during the lectures, and for the development of the ability to apply their experience while analysing the main processes of the micro- and nano- electronic devices manufacturing technologies. It is most appropriate to use tasks from the scientific articles, which provide real pictures or images of the semiconductor device structures. Students perform precise computer modelling processes and analysis of obtained results of the data, which is provided in the publications. The first benefit is that students make sure of the TCAD software tools modelling precision. The second benefit is that students analyse scientific literature and it motivates them to perform scientific research and to make innovative decisions based on the results of the research.



a) b)

Fig. 4. Oxidation in wet oxygen, when the process temperature 950 °C, duration – 40 min.: a) photography of the semiconductor structure (Hoffmann, 2000); b) computer modelling results.

Two examples of the students' homework are provided in Fig. 4 and Fig. 5. Fig. 4 shows the growth specifics of the silicon oxide, which depends on the surface relief and various defects, as well as the formation of the stretch. Students design this structure, perform the modelling analysis by choosing the right materials, technological process parameters, and later provide results to the lecturer and other students.



a) b)

Fig. 5. Oxidation in the wet oxygen, when the thickness of the Si_3N_4 layer is 160nm, thickness of the SiO_2 layer is 15nm, oxidation process temperature 920 °C, duration – 360 min: a) the photo of the semiconductor structure (Marcus, 1982); b) computer modelling results.

Fig. 5 shows the grown oxide of the LOCOS (Local Oxidation of Silicon) and computer modelling results of such process, which describe the compliance to a real-life obtained structure.

Students' Performance and Satisfaction. The interactive survey method, which was discussed above, has already been applied for a three years in Electronic faculty of the Vilnius Gediminas Technical University while lecturing "*Design of RF Integrated Circuits*", "*VLSI circuits design*", and "*Technologies of Chip Manufacturing*" subjects. After performing students' three years academic performance evaluation, it was observed that the lecture evaluation average has increased by 10–12% and the average of the laboratory works evaluation increased by 15–18%. The lecture attendance increase of the 8% has also been noticed.

Students in Vilnius Gediminas Technical University as well have the opportunity to choose optional courses. Students can choose optional courses from their faculty's list of optional courses and also from the list of optional courses from other faculties. After evaluating the three years term of above mentioned optional courses, it has been seen that the number of the students from electronic faculty, who chose such courses increased by 14%. Whereas the number of students from other faculties who chose optional courses increased by 6%.

Every academic year, independent student surveys are performed in order to make sure of the quality of the lectured subject and to understand students' wishes and needs. During those lectures, students received a question, which they evaluated regarding the usage of smart devices during the lectures. 87% of the students had positive feedback; the remaining did not have an opinion on such question. Not a single student answered negatively to this question.

The other question – how students evaluate the interactive survey method was answered positively by 76% of the students and 16% of the students would want other interactive methods that would allow the usage of smart devices.

Conclusions

1. New manufacturing technologies are used for the creation of new micro- and nano-electronic devices. Because of this reason, only a rare university is able to perform scientific research and student teaching by using real manufacturing technologies of micro- and nano-electronic devices. Therefore, the lecturers of the universities face their main issue – how to transfer practical skills and knowledge to the students. New teaching methods should be applied in order to reach this goal. One of such methods is described in this article. The main essence of such method is interactive student surveys, which are performed using smart modern devices during lectures and laboratory works. The main benefit of such interactive teaching method is the feedback, which lets the lecturer react quickly to the survey results, make conclusions immediately, and to correct the lectured material.
2. Subjects related to the manufacturing of the micro- and nano-electronic devices can be efficiently taught without having real manufacturing laboratories and instead using the TCAD software tools.
3. Offered lecturing technique and used tools allow students theoretically understand the main manufacturing processes of the micro- and nano-electronic devices, their development opportunities, to model different micro- and nano- electronic devices practically, to experiment, analyse and to interpret obtained results.
4. After applying the interactive teaching method and TCAD software tools, the attendance of the lectures increased up to 8%, and study performance results up to 15%–18%. After the students' survey was performed, it became obvious that 87% of the respondents evaluate the usage of smart devices during the lectures, laboratory works positively, and 76% of students have positive approach to the interactive teaching method that is described in this article.

Acknowledgments

The author would like to thank colleagues in the Department of Computer Engineering at Vilnius Gediminas Technical University for their helpful comments and fruitful suggestions and would like to thank all the students who took part in the study.

References

1. Barzdenas, V., Navickas, R. (2012). Microtechnologies: a laboratory manual. Vilnius: Technika, 147 p.
2. Boticki, I., Barisic, A., Martiv, S., and Drljevic, N. (2012). Sortko: Learning Sorting Algorithms with Mobile Devices. Seventh IEEE International Conference on WMUTE, Takamatsu, Japan, pp. 49-56.
3. Cavus, N., and Uzunboylu, H. (2008). A Collaborative Mobile Learning Environmental Education System for Students. CIMCA, IAWTIC, ISE, Viena, Austria, pp. 1041-1046.
4. ENIAC. (2007). Strategic Research Agenda. European Nanoelectronics Initiative Advisory Council.
5. Europractice Software Service: Design Tools and Configurable Platforms. [Online]. Available: http://www.europractice.stfc.ac.uk/.

6. Galliere, J. M., Boch, J. (2009). A Mixed TCAD/Electrical Simulation Laboratory to Open up the Microelectronics Teaching. IEEE Microelectronics Systems Education Conf., San Francisco, CA, USA, pp. 37-40.
7. Giousmpasoglou, C., Marinakou, E. (2013). The future is here: m-learning in higher education. Fourth International Conference on e-Learning Best Practices in Management, Design and Development of e-Courses: Standards of Excellence and Creativity, Manama, Bahrain, pp. 417-420.
8. Hoffmann, T., Dombrowski, K. F., Senez, V. (2000). On 2D/3D Numerical Oxidation Modeling: Calibration and Investigation of Silicon Crystal Orientation Effect on Stresses in Shallow Trench Isolation. Technical Proceedings of the 2000 International Conference on Modeling and Simulation of Microsystems, Vol. 2, pp. 59–62.
9. Kearney, M., Schuck, S., Burden, K., and Aubusson, P. (2012). Viewing mobile learning from a pedagogical perspective. Research in Learning Technology, Vol. 20, 2012, pp. 1-17.
10. Kenrow, J. (2004). Integrating professional TCAD simulation tools in undergraduate semiconductor device courses. Proc. ASEE Annu. Conf. Expo.: Engineering Education Reaches New Heights, Salt Lake City, UT, CD-ROM.
11. Klimek, G., McLennan, M., Bropy, S. P., Adams, G. B., and Lundstrom, M. S. (2009). NanoHUB.org: Advancing Education and Research in Nanotechnology. Computing in Science & Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 17-23.
12. Konishi, K., Tanaka, T., Koide, T. (2013). Power Electronics Education Using the Integrated Circuit Consistent Education System and TCAD. IEEE Frontiers in Education Conf., Oklahoma City, OK, USA, 2013, pp. 1456-1458
13. Landowski, M. M., Shen, Z. J. (2010). TCAD Based Power Semiconductor Device e-Learning Tool. Journal of Power Electronics, Vol. 10, No. 6, pp. 643-646, [Online]. Available: http://manuscript.jpe.or.kr/ltkPSWeb/pub/pubfpfile.aspx?ppseq=455.
14. Lee, K. B., and Salman, R. (2012). The Design and Development of Mobile Collaborative Learning Application Using Android. Journal of Information Technology and Application in Education, Vol. 1, No. 1, pp. 1-8, [Online]. Available: http://www.jitae.org/Download.aspx? ID=5175
15. Maiti, C. K., Maiti, A. (2013). Enhancing microelectronics education using online semiconductor technology CAD laboratory. IEEE Frontiers in Education Conf., Oklahoma City, OK, USA, 2013, pp. 866-871.
16. Marcus, R. B., Sheng, T. T. (1982). The Oxidation of Shaped Silicon Surfaces. J. Electrochem. Soc. 129 (6) pp. 1278-1282.
17. NanoHUB: online simulation and more for nanotechnology. [Online]. Available: https://nanohub.org/.
18. Navickas, R., Barzdenas, V. (2012). Analysis of chip manufacturing processes: a course project manual. Vilnius: Technika, 150 p.
19. Parent, D. W., Rio-Parent, L. D. (2008). Introducing TCAD Tools in a Graduate Level Device Physics Course. IEEE Trans on Education, Vol. 51, pp. 331-335.
20. Pearson. (2013). Pearson Student Mobile Device Survey 2013, National Report: Students in Grades 4-12. [Online]. Available: https://www.pearsoned.com/wp-content/uploads/Pearson-Student-Mobile-Device-Survey-2013-National-Report-on-Grades-4-to-12-public-release.pdf
21. Peters, K. (2007). M-Learning: Positioning educators for a mobile, connected future. The International Review of Research in Open and Distance Learning Mobile Learning, Vol. 8, No. 2, pp. 113-132, [Online]. http://www.irrodl.org/index.php/irrodl/article/view/350/914.
22. Stanford University TCAD [Online]. Available: http://www-tcad.stanford.edu/index.html
23. Thornton, P., Houser, C. (2004). Using Mobile Phones in Education. The Second IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education, Taiwan, pp. 3-10.
24. Wang, A. I., Fsdahi, T., and Morch-Storstein, O. K. (2008). An Evaluation of a Mobile Game Concept for Lecture. Twenty-first Conference on Software Engineering Education & Training, Charleston, SC, USA, pp. 197-204.
25. Xiao-Ling, F., Xiao-Bo, X., Dian-Lai, W., and Feng, L. (2008). Implementation of Mobile Learning Platform Solution Based on WAP. International Conference on Computer Science and Software Engineering, Wuhan, Hubei, China, pp. 749-752.

MIKRO- IR NANOELEKTRONIKOS ŽINIŲ IR ĮGUDŽIŲ DIDINIMAS, TAIKANT INTERAKTYVIUS MOKYMO METODUS IR TCAD PROGRAMINIUS ĮRANKIUS

Santrauka

Šiuolaikiniai elektronikos įtaisai, informacinės ir telekomunikacinės sistemos vis labiau skverbiasi į daugelį mūsų gyvenimo sričių. Todėl mikro- ir nano-elektronikos įtaisų projektavimas bei gamyba yra neatsiejama Elektronikos ir elektros inžinerijos studijų krypties dalis. Įvairiausių mikro- ir nano-elektronikos įtaisų gamybos procesų dėstymas ir ypač jo kokybė, priklauso nuo universiteto turimų resursų. Tik retas universitetas turi puslaidininkinių įtaisų gamybos galimybę. Dėl pastarosios priežasties, universitetų dėstytojai susiduria su problema – kaip sumažinti atotrūkį tarp studentų teorinių žinių ir praktinių įgūdžių. Šiame straipsnyje pateikiamas ir aptariamas interaktyvus dėstymo metodas, leidžiantis studentams paskaitų bei laboratorinių darbų metu naudoti išmaniuosius įrenginius ir pagerinantis studentų pažangumą net 15%–18%, bei padidinantis paskaitų lankomumą iki 8%. Naudojant šį metodą, bei TCAD programinius įrankius, tikimasi padidinti studentų susidomėjimą puslaidininkinių įtaisų gamyba, suteikiant jiems akademinių įgūdžių,

žinių ir praktinių gebėjimų, kuriant ateities mikro- ir nano-elektronikos įtaisus. Šis interaktyvus dėstymo metodas buvo pritaikytas ir išbandytas Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Reikšminiai žodžiai: Elektronikos inžinerijos studijų programos ugdymas, interaktyvūs mokymosi metodai, puslaidininkių įtaisų gamyba, technologiniai CAD programiniai paketai (TCAD)

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Vaidotas Barzdėnas
Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas
Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Elektronikos fakulteto, Kompiuterių inžinerijos katedros docentas
Autoriaus mokslinių interesų sritys: Naujausios mikro- ir nanoelektronikos technologijos, integrinių grandynų projektavimas, interaktyvūs dėstymo metodai ir technologijos
Telefonas ir el. pašto adresas: 8 68451453, vaidotas.barzdenas@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Vaidotas Barzdėnas
Science degree and name: doctor, associated professor
Workplace and position: Vilniaus Gediminas Technical University, Faculty of Electronics, Departament of Computer Engineering
Author's research interests: novel micro- and nano-electronics technologies, integrated circuits design, interactive learning methodologies and technologies
Telephone and e-mail address: 8 68451453, vaidotas.barzdenas@vgtu.lt

KOMPIUTERINĖS BRAIŽYBOS KAUNO TECHNIKOS KOLEGIJOJE MOKYMO ASPEKTAI

Jūratė Jasukaitienė[1], Algimantas Vasylius[2]
[1]Kauno technikos kolegija, [2]Kauno technologijos universitetas

Anotacija
Žinios apie grafinio komunikavimo metodus ir jų taikymas glaudžiai siejasi su sėkminga inžinerine veikla. Inžinerinių studijų studentai turi būti išsamiai susipažinę su grafinio komunikavimo priemonėmis ir principais, apimančiais tiek klasikinius dalykus (braižomąją geometriją ir inžinerinę grafiką), tiek ir kompiuterinio projektavimo pagrindus. Straipsnyje analizuojama kaip taikomi kompiuterinės braižybos metodai Kauno technikos kolegijoje inžinerinėse studijose ir pateikiamos rekomendacijos jų pokyčiams, atsižvelgiant į nuolat besikeičiančią technologijų srities situaciją ir šiuolaikines kompiuterinės braižybos mokymo/mokymosi tendencijas bei poreikius.
Reikšminiai žodžiai: grafinis komunikavimas, kompiuterinė braižyba, trimatis geometrinis modeliavimas.

Įvadas

Inžinerinis projektavimas glaudžiai susijęs su grafinės informacijos pateikimu, jos analize ir apdorojimu. Inžinerinių specialybių studentai turi būti gerai susipažinę ne tik su klasikiniais grafinių dokumentų formavimo metodais ir priemonėmis, bet ir žinoti kaip taikyti šiuolaikinę grafinio komunikavimo teoriją ir praktiką, suprasti kompiuterinio projektavimo metodus, kūrybiškai juos taikyti savo projektuose, gebėti formuluoti ir sėkmingai spręsti projektavimo problemas skirtingų kompiuterinio projektavimo sistemų priemonėmis (Gečys ir kt., 2015).

Sparčiai besikeičiančios inžinerinės technologijos, šiuolaikinės inovacijos verčia keisti ir grafinio komunikavimo metodų dėstymą. Čia svarbiausias dėmesys turėtų būti nukreiptas į inžinerinėje veikloje vis labiau populiarėjančius trimačio geometrinio modeliavimo metodus ir projektavimo technologijas, kurios leistų priimti racionalius projektavimo sprendimus ir palengvintų jų realizaciją (Nenorta ir kt., 2014).

Tyrimo objektas – kompiuterinės braižybos mokymo aspektų analizė.

Tyrimo tikslas – išanalizuoti kompiuterinės braižybos mokymo Kauno technikos kolegijoje aspektus.

Tyrimo uždaviniai:

– palyginti Kauno technikos kolegijoje skirtingose studijų programose kompiuterinės braižybos modulyje taikomus dėstymo metodus ir priemones;

– nustatyti mokymo metodus ir priemones, kurias reikėtų įdiegti į kompiuterinės braižybos mokymo procesą.

Tyrimo metodai: modulio turinio analizės metodas, mokymo metodų analizė.

1. Kompiuterinės braižybos modulio analizė

Kauno technikos kolegijoje realizuojama 10 studijų programų. Analizuosime penkias studijų programas, kuriose dėstomas kompiuterinės braižybos modulis: Automobilių techninis eksploatavimas, Medžiagų apdirbimo inžinerija, Autotransporto elektronika, Elektronikos technika, Elektros energetika. Autotransporto elektronikos, Elektronikos technikos, Elektros energetikos studijų programose kompiuterinė braižyba yra integruota į modulį Inžinerinė grafika ir kompiuterinė braižyba. Inžinerinių studijų studentams dėstomas kompiuterinės braižybos kursas, kuris apima 3kr. (8 val. paskaitų, 40 val. praktinių užsiėmimų, 32 val. savarankiško darbo iš viso 80 val.).

Šiame modulyje pagrindinis akcentas skirtas dvimačio geometrinio projektavimo metodams taikyti (https://moodle.ktk.lt/course/view.php?id=23). Pagrindinė grafinio komunikavimo priemonė yra kompiuterinio projektavimo sistema AutoCAD, kuria braižomi detalių vaizdai. Inžinerinių studijų studentai išmoksta tinkamai naudoti dvimačio projektavimo braižymo ir redagavimo komandas, racionaliai apibrėžti grafinių objektų geometrines charakteristikas, naudoti kitas grafines priemones brėžiniams formuoti.

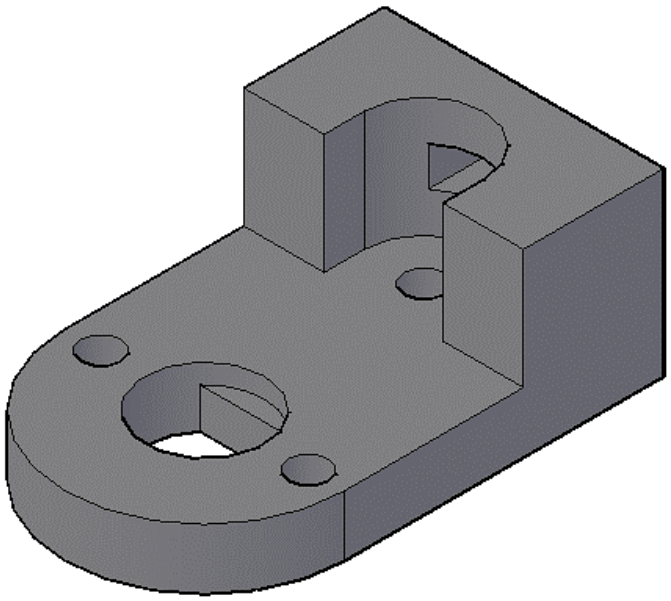
Kartu individualiuose darbuose taikomos ir projektavimo technologijos, skirtos pagreitinti patį inžinerinio projektavimo procesą, jį padaryti efektyvų. Tai apima grafinių objektų valdymą, koordinačių sistemų taikymą, blokų techniką ir kitas priemones. Visose nagrinėjamose studijų programose atliekami darbai: pagrindinės braižymo ir redagavimo komandos; detalės profilio braižymas; detalės trijų vaizdų ir pjūvių braižymas; surinkimo brėžinio sudarymas. Šiuose darbuose naudojamas dvimačių objektų kūrimo metodas iš paprastų standartinių geometrinių elementų/primityvų. Darbe Surinkimo brėžinio sudarymas studentai supažindinami su šiuolaikinėmis brėžinių braižymo technologijomis, tokiomis kaip blokų technikos metodo panaudojimas. Autotransporto elektronikos, Elektronikos technikos, Elektros energetikos studijų programose papildomai atliekami: elektrinių schemų sutartinių ženklų blokų kūrimas (sudėtingų geometrinių elementų projektavimas); elektrinių schemų braižymas. Šiuose darbuose studentai naudoja šiuolaikinius brėžinių braižymo metodus, tokius kaip blokų technika. Blokų technikos metodas taikomas kartu su

dvimačių objektų kūrimo metodu iš paprastų standartinių geometrinių elementų/primityvų. Nei vienoje studijų programoje nėra naudojami erdvinio modeliavimo ir komandinio darbo metodai.

2. Kompiuterinės braižybos modulio pertvarkymas

Nors dvimačio kompiuterinio projektavimo metodai ir neprarado savo aktualumo, tačiau vis labiau populiarėja erdvinio modeliavimo metodai ir priemonės. Jais kuriami trimačiai geometriniai modeliai naudojami visuose projektavimo etapuose, pradedant idėjos formulavimu ir baigiant darbiniais brėžiniais. Todėl inžinerinių studijų studentai turi bent jau būti susipažinę su erdvinio geometrinio modeliavimo pagrindais, mokėti kurti nesudėtingus tūrinius modelius, kuriuos galėtų atspausdinti 3D spausdintuvu. Tai padėtų lavinti grafinę vaizduotę, išmokytų naudotis erdvinio modeliavimo metodais, automatiškai formuoti vaizdus ir juos teisingai dokumentuoti. Mokytis erdvinio geometrinio modeliavimo galima išnagrinėjus grafinių objektų geometrinių parametrų įvedimo būdus, išmokus pagrindines braižymo ir redagavimo komandas ir supratus racionalaus grafinių objektų grupavimo būtinumą. Jis turėtų apimti apie ketvirtį viso kompiuterinei braižybai skirto laiko.

Toks geometrinis modelis galėtų būti formuojamas remiantis projekcinės braižybos užduočių pavyzdžiais, kuriuose pagal pateiktas projekcijas reikia surasti vaizdą iš kairės ir atlikti pjūvius. Sudarant geometrinį modelį (1 pav.) studentas lengviau suprastų detalės formą ir ją įsivaizduotų. Tada ir projekcinės braižybos užduoties sprendimas būtų lengvesnis.



1 pav. Tūrinis detalės modelis
Šaltinis: sudaryta autorių

Formuojant tokį trimatį modelį galima susipažinti su tūrinio modeliavimo pagrindais: tūrinių primityvų formavimas, karkasinių modelių taikymas, tūriniai išstūmimo metodai ir konstrukcinė tūrinė geometrija. Šie metodai plačiai taikomi kitose specializuotose modeliavimo sistemose (SolidWorks, AutoCAD Architecture, AutoCAD Inventor), o tai inžinerinių studijų studentams palengvintų jų naudojimą savo projektuose.

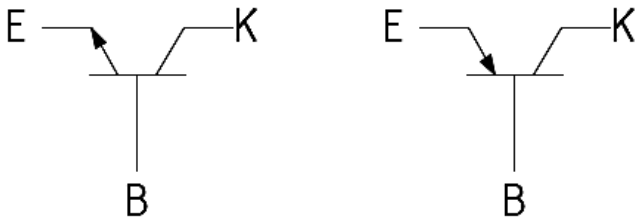
Kompiuterinės braižybos modulyje svarbu supažindinti studentus su šiuolaikinėmis brėžinių braižymo technologijomis, tokiomis kaip blokų technikos panaudojimas, dinaminių blokų taikymas, grupinis darbas, parametrinių objektų formavimas ir kiti metodai. Būtina išmokti formuoti simbolių, standartų bibliotekas, sugebėti keisti blokų turinį, įterpti blokus iš kitų dokumentų ar pasirinktos bibliotekos. Taikant brėžinio duomenų bazės elementų analizę, svarbu mokėti kurti ir naudoti blokus su atributais, jų informaciją eksportuoti į kitas duomenų bazes ar paversti brėžinio lentelės objektais.

Vienas iš svarbiausių šiuolaikinių projektavimo įrankių – dinaminiai blokai, kuriuose išsaugotus pasikartojančius brėžinio fragmentus galima interaktyviai keisti. Tokiems blokams kurti yra sukurtas specialus blokų redaktorius, kuriame apibrėžiami keičiami bloko geometriniai parametrai bei su šiais parametrais susietos procedūros. Brėžinyje galima lengvai keisti dinaminių blokų vaizdavimą, jų matmenis ir kiekį, ko negalima atlikti su paprastais blokais. Pavyzdžiu gali būti dvipolio tranzistoriaus dinaminis blokas (2 pav.), kuriame interaktyviai galima keisti jo struktūrą, t.y. vienas tranzistoriaus dinaminis blokas gali būti naudojamas ir pnp, ir npn tranzistoriams brėžti.

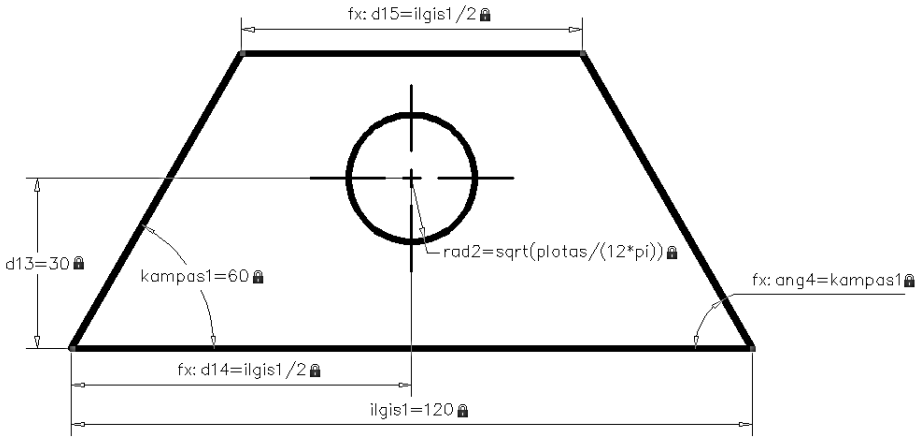
2 pav. npn ir pnp tranzistorių žymenys
Šaltinis: sudaryta autorių

Kompiuterinės braižybos kurse reikėtų supažindinti studentus su blokų atributų technika. Čia reikia pademonstruoti kaip kurti, naudoti ir kam naudoti blokus su atributais, kaip eksportuoti atributų duomenis į skaičiuoklę ar patį brėžinį.

Šiuolaikiniuose grafiniuose dokumentuose labai dažnai naudojami parametrizuoti blokai, kurių atskirų elementų geometrines charakteristikas ir vietą lemia kiti bloką sudarantys elementai. Tokio tipo blokai



naudojami konstrukcinių elementų bibliotekose. Inžinerinių studijų studentai turi gebėti formuoti ir taikyti parametrizuotus blokus, susipažinti su grafinių objektų parametrizavimo galimybėmis AutoCAD sistemoje, parametrizuojamų grafinių objektų formavimu ir taikymu, geometrinių ir matavimų apribojimų taikymu brėžiamiems konstrukciniams elementams. Pavyzdžiu gali būti plokštelė (3 pav.), kurios atskiri grafinių elementų geometriniai parametrai priklauso nuo jos ilgio. Priklausomai nuo pasirinkto plokštelės ilgio, automatiškai pasikeičia ir kiti plokštelės matmenys, taip pat skylės vieta brėžinyje.



3 pav. Plokštelė
Šaltinis: sudaryta autorių

Sudėtingą projektą paprastai atlieka ne vienas asmuo, todėl studentai turėtų mokėti brėžiant brėžinius naudotis komandinio darbo metodais ir priemonėmis, taikyti informacijos mainų mechanizmus tarp skirtingų programų (Bistrickaitė ir kt., 2011).

Grupinio darbo su projektu įrankis – išorinės nuorodos, kurios susieja kelis brėžinio fragmentus tarpusavyje bei dinamiškai reaguoja į įvykdytus projekto pasikeitimus. Čia suformuojamas hierarchinės struktūros projektas, kurio atskirus fragmentus kuria skirtingo to paties projekto dalyviai. Visi projekto fragmentai išorinėmis nuorodomis apjungiami į vieną bendrą projektą. Projekto fragmentai traktuojami kaip atskiri failai. Bendrame projekte tų fragmentų matomi ir nematomi elementai (sluoksniai, matmenų stiliai ir t.t.) yra atskiriami, todėl jų valdymas yra nesudėtingas. Juos galima keisti, nevaizduoti ar išvis ištrinti iš bendro projekto. Išorinių nuorodų įrankis yra patogesnis negu blokų technika, kadangi pasikeitus išorinei nuorodai, t.y. komandos nariui atlikus pakeitimą savo fragmente, automatiškai keičiasi ir bendras projektas. Norint efektyviai sinchronizuoti šį procesą naudojant blokus, reikia papildomų veiksmų. Kompiuterinės braižybos kurse studentai galėtų būti supažindinti su išorinėmis nuorodomis, galėtų suformuoti projektą iš atskirų brėžinio fragmentų, išmokti jį valdyti ir keisti. Atskiras projekto dalis jie galėtų gauti jau nubrėžtas, o visą savo dėmesį sukoncentruotu ties paties projekto valdymu ir dokumentavimu: žymėti matmenis, atlikti brūkšniavimą, suformuoti reikalingos lentelės. Taip modeliuojamas kelių asmenų grupės darbas. Studentai išmoksta sujungti atskirus brėžinio fragmentus, juos valdyti, keisti brėžinio parametrus bei organizuoti ir valdyti brėžinių parengimą grupėje.

Taip pat studentų individualiuose darbuose reikėtų nepamiršti ir dar vieno svarbaus aspekto - tai informacijos mainai tarp atskirų dokumentų. Nors apie tai sužinoma iš informatikos kurso, tačiau informacijos perkėlimas projektavimo sistemų programose turi savo specifiką, reikalauja daugiau žinių. Čia studentai turėtų gebėti taikyti įvairius informacijos mainų tarp programų ir brėžinių metodus, gebėti įterpti į brėžinį įvairių tipų objektus, mokėti formuoti lenteles bei keisti jų stilius, gebėti eksportuoti grafinius duomenis iš vienos projektavimo sistemos į kitą. Šiuos veiksmus lengvai galima taikyti ir jau esamuose kompiuterinės braižybos individualiuose darbuose.

Visus šiuos pasiūlymus galima jau dabar lengvai pritaikyti Kauno technikos kolegijos kompiuterinės braižybos kurse, pertvarkant modulio struktūrą bei pritaikant šiuolaikines kompiuterinio projektavimo technologijas jau naudojamuose praktiniuose darbuose: įterpiant naują erdvinio modeliavimo temą (atliekant naują - erdvinio modeliavimo darbą); darbe - surinkimo brėžinio sudarymas taip suformuoti praktinę užduotį, kad studentai įgytų gebėjimų dirbti grupėje; darbe elektrinių schemų sutartinių ženklų blokų kūrimas (sudėtingų geometrinių elementų projektavimas) ir elektrinių schemų braižymas taip suformuoti praktinę užduotį, kad studentai įgytų gebėjimų dirbti grupėje, išmoktų kurti specializuotas simbolių bibliotekas, dinaminius blokus ir blokus su atributais.

Išvados

1. Palyginus Kauno technikos kolegijoje skirtingose studijų programose kompiuterinės braižybos modulyje taikomus dėstymo metodus ir priemones nustatyta, kad dabartinėje kompiuterinės braižybos modulio struktūroje nėra erdvinio geometrinio modeliavimo pagrindų. Siūloma modulyje ketvirtį viso laiko skirti erdvinio modeliavimo klausimams nagrinėti. Taip suformuoti praktines užduotis, kad studentai įgytų gebėjimų dirbti grupėje, išmoktų kurti specializuotas simbolių bibliotekas, dinaminius blokus ir blokus su atributais.
2. Į kompiuterinės braižybos mokymo procesą reikėtų įdiegti erdvinį modeliavimą: tūrinio modeliavimo tūrinių primityvų formavimą, karkasinių modelių taikymą, tūrinius išstūmimo metodus, konstrukcinę tūrinę geometriją, dinaminių blokų taikymą, grupinį darbą, parametrinių objektų formavimą.

Literatūra

1. Bistrickaitė R., Vasylius A., Augonis M., Baltrušaitis A., Andriušis G, Černius B. Statybinių konstrukcijų semestrinis projektavimas. – Vilnius: "Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla", 2011. 92 p. ISBN 978-9955-20-699-6.
2. Gečys R., Vasylius A., Žmuida M. Inžinerinės grafikos uždavinynų analizė. Konf. "Inžinerinė grafika 2015".– Kaunas: ASU leidybos centras, 2015. 132 p. ISSN 2335-8661.
3. Nenorta V., Pilkaitė T. Puodžiūnienė N. Techninių brėžinių sudarymas ir 3D modeliavimas AutoCAD 2014 sistema.- KTU leidykla Technologija, 2014. 116 p. ISBN 978-6090-21-044-4.
4. Kumpikas P., Vasylius A. Kompiuterinė braižyba Kaunas : KTU leidykla Technologija, 2011. 57 p. ISBN 978-9955-25-948-0.
5. Studijų dalyko/modulio Kompiuterinė braižyba aprašai.
6. Kompiuterinė braižyba. Mokymo metodinis paketas. Prieiga internete: < https://moodle.ktk.lt/course/view.php?id=23>

SOME LEARNING ASPECTS OF COMPUTER DRAWING COURSE IN KAUNAS TECHNICAL COLLEGE

Summary

Good knowledge of graphical communication methods is one of the main issues for engineering students. In Kaunas technical college there is computer drawing course which realizes basic aspects of CAD methods. These methods are based on using 2D drawing tools and techniques. But in current situation there is special need for more advanced graphical communication methods based on spatial modeling and engineering design automation tools. In this paper authors propose to use 3D modeling methods, solid modeling techniques and advanced tools for design automation such as blocks, dynamic blocks, and external references.

Key words: graphical communication, computer drawing, spatial modeling.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Algimantas Vasylius.
Mokslo laipsnis ir vardas: dr.
Darbo vieta ir pozicija: Kauno technologijos universitetas, lektorius.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: kompiuterinis projektavimas.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 698 89453, algimantas.vasylius@ktu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Jūratė Jasukaitienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: -
Darbo vieta ir pozicija: Kauno technikos kolegija, lektorė.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: kompiuterinis projektavimas
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 620 97070, jurate.jasukaitiene@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Algimantas Vasylius.
Science degree and name: dr.
Workplace and position: Kaunas university of technology, lecturer.
Author's research interests: CAD.
Telephone and e-mail address: +370 698 89453, algimantas.vasylius@ktu.lt

Author name, surname: Jurate Jasukaitiene.
Science degree and name: -
Workplace and position: Kaunas Technical College, lecturer.
Author's research interests: CAD.
Telephone and e-mail address: +370 620 97070, jurate.jasukaitiene@edu.ktk.lt

ISSN 2029-9303

INŽINERINĖS IR EDUKACINĖS TECHNOLOGIJOS
2016 Nr. 2

Lietuvių kalbos redaktorė **Sonata Paulauskienė**
Užsienio kalbos redaktorė **Judita Štreimikienė**
Meninė redaktorė **Lolita Dalbokaitė**

Tiražas 100 egz. 225 psl. Parengimo spaudai data 2016 – 12 - 23
Išleido Kauno technikos kolegija, Tvirtovės al. 35, LT-50155 Kaunas
www.ktk.lt
El.p. ktk@ktk.lt

Spausdino UAB "Dakra", Jonavos g. 260, LT-44131 Kaunas
www.dakra.lt
El.p. info@dakra.lt