

# TECHNOLOGIJOS IR MENAS

# TECHNOLOGY AND ART

2017 / 8

TYRIMAI IR AKTUALIJOS  
RESEARCH AND TOPICALITIES



VILNIAUS TECHNOLOGIJŲ IR DIZAINO KOLEGIJA

VILNIUS COLLEGE OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

---

VILNIUS 2017

## REDAKCIŅĒ KOLEGIJA

### Nariai:

- prof. dr. Jonas Butkevičius**  
(Vilniaus Gedimino technikos universitetas),
- prof. dr. Rimantas Pranas Deksnys**  
(Kauno technologijos universitetas),
- prof. Albertas Gurskas**  
(Vilniaus dailės akademija),
- prof. habil. dr. Roma Rinkevičienė**  
(Vilniaus Gedimino technikos universitetas),
- prof. habil. dr. Vladas Vekteris**  
(Vilniaus Gedimino technikos universitetas),
- prof. habil. dr. Vilija Targamadžė**  
(Vilniaus universitetas),
- prof. dr. Vaiva Zuzevičiūtė**  
(Mykolo Romerio universitetas),
- doc. dr. Daiva Bukantaitė**  
(Vytauto Didžiojo universitetas).

**Sudarytojas dr. Andrius Gulbinas**  
(Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija)

## EDITORIAL BOARD

### Members:

- prof. dr. Jonas Butkevičius**  
(Vilnius Gediminas Technical University),
- prof. dr. Rimantas Pranas Deksnys**  
(Kaunas University of Technology),
- prof. Albertas Gurskas**  
(Vilnius Academy of Arts),
- prof. habil. dr. Roma Rinkevičienė**  
(Vilnius Gediminas Technical University),
- prof. habil. dr. Vladas Vekteris**  
(Vilnius Gediminas Technical University),
- prof. habil. dr. Vilija Targamadžė**  
(Vilnius University),
- prof. dr. Vaiva Zuzevičiūtė**  
(Mykolas Romeris University),
- assoc. prof. dr. Daiva Bukantaitė**  
(Vytautas Magnus University).

**Composed by dr. Andrius Gulbinas**  
(Vilnius College of Technologies and Design)

## TURINYS

<i>Rasa Valujavičienė</i> Melancholijos atspindžiai dailėje .....	5
<i>Vaiva Mickevičienė</i> Erasmus+ inžinerijoje kaip jaunimo nedarbo sprendimo galimybė .....	13
<i>Kristina Višnevskienė, Janina Janušauskienė, Jolanta Pileckienė</i> Studentų gebėjimo dirbti savarankiškai tyrimo analizė .....	19
<i>Audrius Čereška</i> Priedų įtakos tepalų darbinėms charakteristikoms tyrimai .....	27
<i>Alfредas Rimkus, Airidas Valentas Baranauskas, Tadas Vipartas, Mindaugas Melaika, Dominykas Varabauskas</i> Automobilio VW 1.8 l variklio rodiklių pokyčio tyrimas benzina pakeitus suskystintomis naftos dujomis.....	30
<i>Petras Kaikaris, Rolandas Vitkūnas</i> Mechanizmo, skirto automobilio pasyviai saugumui didinti, modelio kūrimas ir tyrimas.....	35
<i>Dominykas Beištaras, Antanas Staponas</i> Kintamosios srovės variklių identifikavimo metodų apžvalga .....	39
<i>Deividas Navikas, Petras Kaikaris, Saulius Stravinskas, Vytenis Surblys, Donatas Kriaučiūnas, Tadas Vipartas, Audrius Matulis</i> Lengvųjų automobilių padangų protektoriaus gylio kaitos dinamika, naudojant trijų taškų matavimo metodą .....	43
<i>Vytautas Gargasas</i> Ieško pavaros vibracijų diagnostikos signalų analizė .....	47
<i>Virginija Urbonienė, Povilas Milius, Šarūnas Taraškevičius</i> Selektivaus ir juodai dengto saulės kolektorių efektyvumo tyrimas.....	51
<i>Natalija Augūnienė, Jelena Pavliukovič</i> Šilo tilto deformacijų stebėjimo rezultatų apžvalga.....	56
<i>Elena G. Efimova</i> One belt one road initiative and Eastern Baltic ports expectations: gap between economic theory and business practice.....	61
<i>O. Ochkasov, O. Shvets, L. Černiauskaitė</i> Usage of intelligent technologies in choosing the strategy of technical maintenance of locomotives .....	68
<i>Adam Oleksiuk</i> Impact of the EU cohesion policy on disparities in socio-economic development of Polish regions in the years 2004–2016 .....	72
<i>Valentin I. Popov</i> Cross-polarization of radio waves at propagation in forests .....	80
<i>Roma Rinkevičienė, Bronė Mitkienė</i> Field oriented control of six-phase electric drive .....	85
<i>Boris Gitolendia</i> Analysis of intermodality issue of transportation system of Georgia .....	92
<i>Ernst S. Spiridonov</i> Historical aspects of production technology influence on the society development .....	95
<i>Natalia A. Telyatnikova</i> Wave of innovation within the construction industry – a movement towards the sustainable development of the society.....	97

<i>Vladimirs Skudnovs, Aleksejs Vasiļjevs, Aleksejs Ševčenko</i> Problems of telemedicine in Latvia.....	101
<i>Pegin Pavel Anatolyevich, Igolkin Georgiy Vladimirovich</i> Analysis of innovative types of transportation.....	108
<i>Alexander Ah. Abrashitov, Andrey Al. Zaytsev, Gleb Nazarov</i> Stoneblowing technique for the improving of the railway track maintenance .....	111
Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos mokslo žurnalo „Technologijos ir menas. tyrimai ir aktualijos“ straipsnių rengimo reikalavimai.....	115
Requirements for preparation of articles for the scientific magazine “Technology and art. Research and topicalities“ of vilnius college of technologies and design.....	116

# MELANCHOLIJOS ATSPINDŽIAI DAILĖJE

Rasa Valujavičienė

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

**Anotacija:** straipsnyje pristatoma melancholijos samprata, ieškoma jos sąsajų su menu, atskleidžiami dažniausi melancholijos vizualizavimo atvejai, įprasti šios temos raiškos dailėje sprendimai ir naudojama ikonografija. Melancholijos fenomeno sklaida dailėje analizuojama nuo seniausių laikų iki šių dienų, siekiant paaiškinti vaizdavimo pokyčius nulėmusias aplinkybes ir priežastis.

**Pagrindinės sąvokos:** melancholija, temperamentas, Saturnas, religinė melancholija (atsiskyrėlis šventasis), mokslinė melancholija (melancholiškas mokslininkas), menininko melancholija, kūrybinis genijus, meilės melancholija, melancholijos simboliai ir atributai.

## Įvadas

**Temos aktualumas.** „Nėra nieko saldesnio, ... nėra nieko labiau prakeikto, ... nėra nieko liūdnesnio nei melancholija“, – rašė melancholijos tyrinėtojas Robert Burton (1577–1640) [17]. Šiandien šis terminas aiškinamas kaip psichologinė būklė, artima depresijai ar bipoliniam sutrikimui. Anksčiau melancholija ne kartą traktuota kaip fizinė liga, kurios baimintasi, kaip šiandien vėžio ar širdies ligų. Prieš Švietimo epochą melancholija tapatinta su daugybe nebūtų dalykų, tarp jų cholera, sifiliu, raganavimu ar net žudymu. Manyta, kad nusikaltėliai ir sociopatai pasiduodavo Saturno įtakai. Tikėta, jog melancholija kamavo aristokratas, intelektualus, atsiskyrėlius, šventuosius ir kūrėjus [4], tad nenuostabu, jog tokia būklė ne kartą vaizduota įvairiuose menuose: literatūroje (pvz., Williamo Shakespeare ir Jonathano Swifto kūriniai), muzikoje (pvz., F. Chopino, C. Debussy muzika), kinematografijoje (Larso von Triero „Melancholija (2011) – bene sėkmingiausias šios srities pavyzdys) ir, be abejonės, dailėje. 2005 m. Paryžiuje ir Berlyne įvykusiose parodose „Melancholija: genialumas ir beprotybė“ („Mélancolie: Génie et folie en Occident“) eksponuota apie 300 kūrinių, kuriuose pasakojama daugialypė melancholijos istorija nuo antikos iki šių dienų.

Kaip reiškinyms melancholija ne kartą analizuota filosofijos tekstuose, psichologijos šaltiniuose, sudaryta net melancholijos abėcėlė, tačiau jos vaizdinė raiška pradėta tyrinėti tik XX a. antrojoje pusėje – 1964 m. nuodugną studiją „Saturn and melancholy: studies in the history of natural philosophy, religion and art“ parengė R. Klibansky, E. Panofsky ir F. Saxl (metais anksčiau išleista Rudolfo ir Margot Wittkower „Born Under Saturn: The Character and Conduct of Artists“, 1963). Michael Ann Holly knygoje „The Melancholy Art“ (2013) analizuojama unikali jungtis tarp melancholijos ir meno istoriko profesijos. Laurindos S. Dixon veikale „The Dark Side of Genius: The Melancholic Persona in Art, 1500–1700“ (2013) atskleidžiami trys melancholiškos asmenybės mense vyriški archetipai (atsiskyrėlio, įsimylėjęlio, mokslininko), jie papildyti ketvirta tema – menininko portretu. Pastaruju metu daugėja specializuotų studijų – daugybėje straipsnių gvildena-

mas 500 metų skaičiuojančios Albrechto Dürerio graviūros „Melencolia I“ (1514) rebusas, aprašomi kitų autorių darbai, melancholijos vizualiniai sprendimai, simbolika, atributai ir kt. Ši tema analizuojama mokslinių konferencijų ir diskusijų metu. Visa tai byloja, kad tema nepraranda aktualumo – socialinių tinklų klestėjimo ir komunikavimo ekstazės laikais, kai žmogus vis dažniau pasijunta atskirtį ir vienišumas neretai jį pastūmėja į melancholijos glėbį, akylas menininko žvilgsnis šį vaizdinį užfiksuoja ir jis vėl atgaivinamas meno kūriniuose, taip atiduodant duoklę šiandien viešpataujantį vaizdų kultūrai.

Straipsnyje analizuojami keli **probleminiai klausimai:** kaip melancholija susijusi su menu, kokia jos svarba meninės kultūros raidai, kaip dažniausiai vizualizuojama melancholija, kas lėmė tokį ilgalaikį šios temos gyvavimą?

### Tyrimo objektai:

- melancholijos sąsajos su menu,
- melancholijos vaizdavimo formos ir ikonografija,
- temos populiarumo priežastys.

**Straipsnio tikslas** – atskleisti melancholijos vaizdavimo Vakarų Europos dailėje tradiciją ir jos perteikimo ypatumus.

### Uždaviniai:

1. Atskleisti melancholijos sampratą, apžvelgti jos sąsajas su menu.
2. Išanalizuoti melancholijos ikonografiją.
3. Atskleisti melancholijos vaizdavimo raidą ir priežastis Vakarų Europos dailėje.

**Tyrimo metodai:** dokumentų turinio analizė, lyginamoji analizė, ikonografinis ir sociokultūrinis metodai.

## 1. Melancholijos samprata ir sąsajos su menu

Filosofas Arvydas Šliogeris aprašo melancholijos būseną, kaip intensyviausias betarpiškumo akimirkas, kurios perduoda tai, kas niekada ir niekaip nekomunikuojama. Pasak jo, „melancholija yra amžinojo trapumo supratimas ir žinojimas, kad viskas vyksta ir esti tik akimirkoje, čia-dabarties blyksniais išmarginančioje bepradė Niekio tamsą ir leidžiančioje patirti be galo trumpą, tačiau žėrinčią Transcendencijos tylą“ [14].

Pirmasis melancholijos apibrėžimas, kaip ir ryšio su genialumu aiškinimas, yra medicininės kilmės. Žodis „melancholija“ kilęs iš gr. *melancholia* < *melas* (kilm. *melanos*) – juodas + *cholē* – tulžis, lot. „lugere“ – liūdėti, gedėti. Melancholija yra viena iš keturių temperamentų, žyminčių 4 skysčius<sup>1</sup> – senovės medicinoje tikėta, jog visos ligos kyla iš vieno jų disbalanso (jei kuris nors pradeda vyrauti). Jau Senovės Egipto žyniai IV tūkst. pr. Kr. gydė žmones, kurie buvo apimti pataloginės liūdesio būsenos [20]. Pasak Hipokrato, melancholiją sukeldavo juodosios tulžies perteklius, ji sieta su žeme iš 4 elementų, švinu, su rudeniu, vakaru kaip paros metu, astrologijoje ji pavaldi Saturno įtakai<sup>2</sup>. 1621 m. R. Burton aprašė pirmąjį šio fenomeno sisteminių tyrimų veikalą „Melancholijos anatomija“<sup>3</sup> (žr. 1 pav.). XIX a. melancholija traktuota kaip fizinė arba dvasinė. 1915 m. Sigmund Freud parašė veikalą „Gedulas ir melancholija“, kuriam melancholija aiškinama kaip depresijos atitinkmuo (XIX a. terminas „depresija“ pakeitė daugiau nei 2000 metų vartotą terminą „melancholija“).

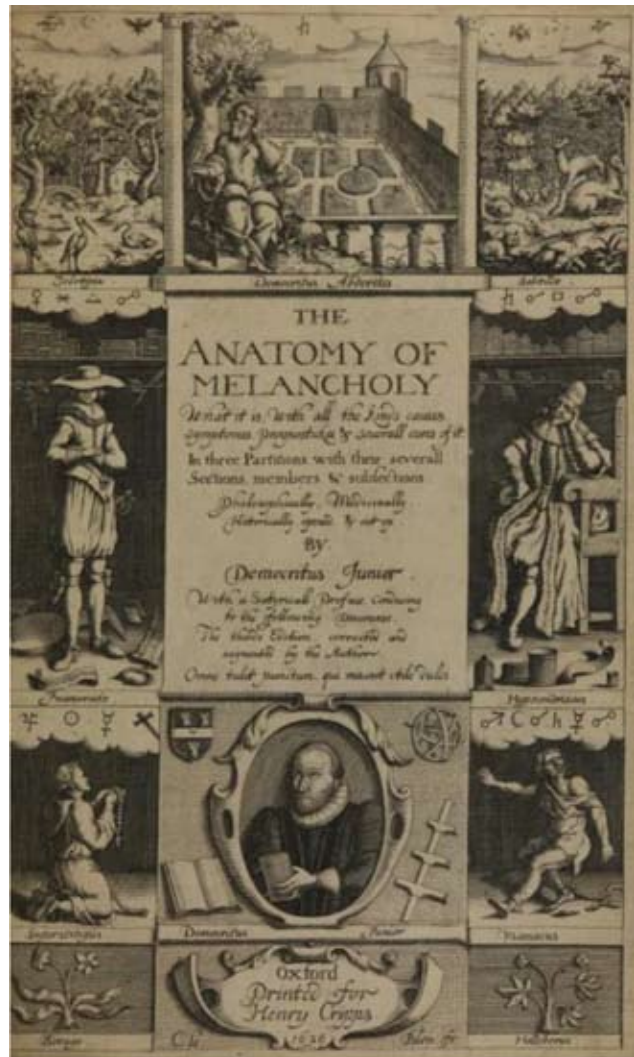
Šiandien melancholija vertinama kitaip – kaip psichologinė žmogaus būseną, neprarandanti „kitoniškumo“ atspalvio. Švedų profesorės Karin Johannison, nuo 1996 m. dirbančios Upsalos universitete, studijos „Melancholijos erdvės“ (2009) autorės, teigimu, melancholija yra priešybė tam, ko tikimės iš modernaus ego: stiprumui ir sveikatai, kontrolei ir entuziazmui, gyvenimui čia ir dabar [15].

Melancholija ir įvairios jos apraiškos nuolat buvo suvokiamos kaip dvilypės: „viena vertus, jos buvo siejamos su tamsa bei susvetimėjimu, kita vertus, su išvalgumu bei kultiniu statusu. <...> kai kurios jos ypatybės laikytos dovana (ekstazė ir išvalga), kitos – nuodėmėmis (nuobodis ir abejingumas), beprotybe arba pesimizmu“ [8]. V–IV a. pr. Kr. melancholija buvo aprašoma kaip tam tikra liga, kuriai būdingi fiziniai ir dvasiniai simptomai. Graikai tikėjo, kad melancholija buvo tulžis kūne, galinti sukelti nevilį ir depresiją. Tokia būseną buvo būdinga to meto poetams ir dailininkams, kartais ji vadinta tam tikra beprotybės atmaina. Mitiniai herojai, tokie kaip Heraklis, garsėjo melancholiškumu, išprovokojančiu beprotybę (teigta, jog epilepsija – herakliška liga) [20]. Melancholikai buvo filosofai Empedoklis, Sokratas ir Platonas. Aristotelis teigė, jog visi melancholikai yra genijai. Jo manymu, jie jautrūs ir inteligentiški (*Problemata*, XXX, I) [15]. Traktate „Apie atmintį“ Aristotelis

1 Skysčiai (šviesi tulžis, juoda tulžis, skrepliai ir kraujas) sieti su 4 elementais – ugnimi, žeme, vandeniu ir oru.

2 Saturnas vertintas ne tik kaip laiko dievybė (gr. Kronos), bet ir kaip apmąstymų simbolis. Jis sietas su tekančios saulės, saulėlydžio, neretai ir nakties vaizdiniais, todėl jam artimos ir niūrumo, abejonių, gedulo psichologinės būsenos (dailėje joms net sukurta charakteringų padėčių simbolika – nulenktą ant rankų galva arba ranka paremta galva), kita vertus, nesvetimos ir kūrybinės potencijos būsenos – susimąšiusios kontempliacijos, refleksijos, susikaupusio išžiūrėjimo į būties gelmes (žr. 2 pav.). XVI–XVII a. iš antikos mitų Saturnas perkeltas į drobes ir graviūras kiek netradiciniame kontekste. Tikėta, jog dailininkams, filosofams ir teologams įtaką darė Saturnas [18].

3 Tikslus veikalų pavadinimas – „The anatomy of melancholy, what it is, with all the kinds, causes, symptomes, prognostics and several cures of it“ [10].



1 pav. Robert Burton knygos „The Anatomy of Melancholy“ viršelis (1621)

užsimena, kad melancholikai gali regėti įsivaizduojamus paveikslus, kurių vėliau nesugeba prisiminti, juose slypi visi temperamentai [21].

Viduramžiais Katalikų Bažnyčia nubrėžė paraleles tarp melancholijos ir Adomo pirmosios nuodėmės Rojaus sode, todėl melancholikai buvo traktuojami kaip lengvas grobis velniui ir jo palydovams [12]. Viduramžiais dar buvo atpažįstama antikinė tradicija gretinti melancholiją ir kūrybą, vėliau vis dažnesnis negatyvus melancholijos vertinimas (šventųjų tėvų mokymuose tarp mirtinų nuodėmių paprastai minėtas ir niūrumas, XVII a. pakeistas tinginyse) [18]. Su melancholija buvo glaudžiai susijusi apatija, aiškiai apibrėžta kaip nešvarios sąžinės maištas, bailumas, abejingumas ar beviltiškumas. Apatija netgi įtraukta į viduramžią simbolinę vaizduotę – jos personifikacijos randamos katedrų vitražuose. Vienintelis vaistas nuo šios bausmės buvo fizinis darbas, malda, dvasinė veikla [12]. Nepaisant to, viduramžių pabaigoje svarbiausia buvo melancholija. Menotyrininko Johano Huizinga (1872–1945) teigimu, „balsų, skelbiančių drąsų gyvenimo džiaugsmą ir pasitikėjimą savo jėgomis imtis didžiųjų darbų, kurie skamba per visą Renesanso ir Švietimo epochos istoriją, penkioliktojo šimtmečio Prancūzijos ir Burgundijos sferoje beveik negir-

etų eilėse. Mokslininkai ir menininkai netgi burdavosi į „melancholijos klubus“ [10]. Pamažu viduramžiai suliejo melancholijos filosofinį, religinį ir medicininį supratimą ir siejo tokią būseną su dieviškuoju išbandymu [12].

Renesanso laikotarpiu melancholijos vertinimas pakito, melancholija įgijo filosofinį ir estetinį atspalvį. Skirti trys melancholijos tipai: pirmasis – *melancholia imaginativa* – žmonės, kuriems būdinga turtinga vaizduotė (dailininkai, poetai, amatininkai); antrasis – žmonės, kurių mąstymas svarbesnis nei jausmai (mokslininkai, valstybės veikėjai); trečiasis – žmonės, kuriems svarbiausia intuicija (filosofai ir teologai). Menininkams būdingas pirmasis tipas. Tai matyti A. Dürerio graviūroje „Melencolia I“ (žr. 3 pav.), kurią kopijavo daugybė dailininkų, tačiau nė vienas iki galo nesuvokė jos sudėtingumo“ [11, p. 262]. Raižinyje ji vaizduojama kaip giliai susimąsčiusi dievybė, sparnuota ir galinga, tačiau negali išsiskverbti į regimus pasaulio reiškinius ir pažinti Visatos paslapčių [20]. Manyta, jog menininkai ypač linę į melancholiją dėl kūrybos prigimties (ji suteikdavo jautrumo ir veikdavo fantaziją). Filosofas Marsilio Ficino (1433–1499) netgi patarė ieškoti melancholijos ir „ugdyti ją geriausiu būdu“ [17]. Tuo metu pavadinti dailininką melancholiku reiškė priskirti jį genijams. Giorgio Vasari (1511–1574) šį žodį vartojo įvardydamas ypač vertinamus menininkus. Pvz., jo manymu, Michelangelą lydi melancholijos žvaigždė. Pats dailininkas 74-ame savo sonete rašė: „Melancholija – mano džiaugsmas“. Akivaizdu, dailininkams ir poetams buvo gerai žinoma kūrybinė atskirtis ir tik jiems ji buvo leistina – melancholijos apimti paprasti žmonės būtų buvę vertinami kitaip [17].

XVII a. kultūrinė melancholijos interpretacija, atgimusi pasaulietiniuose Anglijos ir Šiaurės Europos universitetuose, buvo tarptautinio pobūdžio. Iš ten ji išplito į populiarias sferas, pvz., literatūrinius tekstus. Minėtame R. Burtono<sup>4</sup> veikle melancholijos reiškinys, analizuojamas nuo pačių seniausių laikų, skleidė melancholijos madą poezijoje, muzikoje ir kituose menuose. Šie gausūs melancholijos vaizdiniai atspindėjo visuomenės samprotavimų evoliuciją nuo viduramžių mąstysenos iki modernaus požiūrio [3]. Melancholija domėtasi kelis dešimtmečius, vėliau ji prisiminta Johanno Wolfgango von Goethe (1749–1832) kūrinyje „Jaunojo Verterio kančios“ [21]. Intelektuali melancholija dažna to meto portretuose – portretuojamasis piešiamas kaip įsimylėjęlis su skrybėle ir sukryžiuotomis rankomis ant krūtinės arba kaip sėdintis mąstytojas, parėmęs galvą ranka [13]. XVIII a. liūdėti ir nuobodžiauti tampa madinga. Ypač populiaru buvo liūdnas mintis skleidžianti Edvardo Youngo poema „Night-Thoughts“ (1742–1745), išversta į keletą kalbų ir padariusi įtaką romantizmo atstovams [20]. I. Kantui (1724–1804) susiejus melancholiją su grožiu ir didingumu, prasidėjo romantinė melancholijos era – XIX a. pr. romantikai neįsivaizduojami be pa-

<sup>4</sup> Pats R. Burton buvo melancholikas ir vadino save Democritu Jaunesniu. Ant jo antkapio užrašytos paties sukurtos eilės: „Žinomas nedaugeliui ir daugeliui nežinomas, čia ilsisi Democritus Jaunesnysis, kuris gyvenimą ir mirtį paskyrė melancholijai“ [17].



2 pav. Zacharias Dolendo (sekant Jacques de Gheyn II) „Saturnas kaip Melancholija“ (1595)



3 pav. Albrecht Dürer „Melencolia I“ (1514)

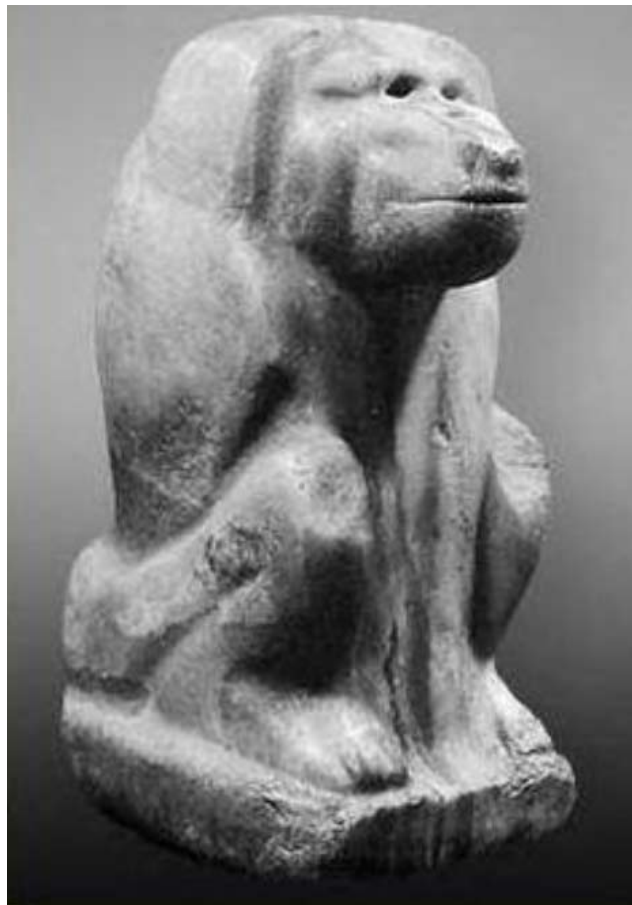
saulinio liūdesio pojūčio [12]. Tai, kas kažkada vadinta nuodėme, iš pradžių pavirto liga, o vėliau lyrine emocija, tapusia įkvėpimo šaltiniu daugeliui literatų [20], postimpresionizmo ir simbolizmo tapytojų. Pasak meno istoriko Fredericko Cummingso (1933–1990), naujojo amžiaus melancholijos pavyzdys buvo filosofas Jean-Jacques Rousseau (1712–1778) – jį visiškai atstūmė visuomenė ir pripažino kaip kupiną blogio. Tokiais pat laikyti poetai Alfred Tennyson (1809–1892), Charles Baudelaire (1821–1867)<sup>5</sup> ir Gustave Flaubert (1821–1880), dailininkai Odilon Redon (1840–1916), Edvard Munch (1863–1944) ir Vincent van Gogh (1853–1890). Naujųjų laikų melancholikas buvo apimtas nepasitikėjimo savimi, besiribojančio su paranoja. Renesansinį A. Dürerio kūrybinę sparnuotą genijų pakeitė nerami žmonijos paradigma [9].

XX a. daugumos modernizmo kūrėjų (P. Picasso, ekspresionistų, Paryžiaus mokyklos, metafizikų, siurrealistų ir kt.) darbuose vienatvė, liūdesys, atskirtis, susimąstymas – įprastos būsenos. Meniui abstraktėjant melancholija pamažu prarado atpažįstamus pavidalus. Dabar apie ją bylojo pasirinktos spalvos, jų santykiai, išblaškyti potėpiai, konceptualūs sprendimai. Melancholija tapo neatpažįstama, jos kontūrai išbluko ir nebeliko apatiško žvilgsnio – jį pakeitė intuityvus pojūtis, kad ji visada šalia, tarsi būtų privaloma XXI a.

## 2. Melancholija dailės kūriniuose

Mene melancholija vaizduota įvairiai, pamažu išsirutuliojo jos vizualizavimo tradicija. Iš pradžių niekaip nepavyko konceptualizuoti melancholijos idėjos perteikimo, vėliau bandyta sukonkretinti, suteikti objektyvią raišką. Spėjama, kad **melancholija** pirmą kartą pavaizduota 3000 m. pr. Kr., tai – faraono Narmero alebastroinis paviano pavidalo antspaudas – padaras žvelgia į erdvę neapsakomai abejingai (žr. 4 pav.). Toks žvilgsnis ir vienos seniausių melancholiško tipo žmogaus skulptūros, sukurtos Augusto laikais (63 m. pr. Kr. – 14) ir vaizduojančios herojų Ajaksą. Jo žvilgsnis be išraiškos, nukreiptas į tuštumą, galiūnas tarsi žvelgia į nebūtį [5], o archetipinė, ranka paremtos galvos padėtis tapo tipiška melancholijos poza. Panašiai perteiktas ir Euripido Orestas senovės graikų raudonfigūrėje vazoje (400 m. pr. Kr., žr. 5 pav.); melancholija dvelkia ir antikinių laidojimo stelių reljefuose užfiksuotos galvą ranka paremusios susimąščiusios moterys. Taip senieji menininkai pradėjo melancholijos vizualizavimo tradiciją, tačiau priešakyje kūrėjų laukė dar ilgas įtikinamo šios būsenos perteikimo paieškų kelias. Melancholija neretai vaizduota su sparnais, prie jos kojų įsitaisęs šuo (siejamas su Saturnu), kartais ji sėdi už stalo, panarinusi galvą (Sebald Beham „Melancholija“, 1539), – poza, rodanti nusiylimą, kilusį dėl negebėjimo užvaldyti išmintį ar žinias,

arba dėl prarasto kūrybinio įkvėpimo; kartais ji panaši į Gailęstingumo alegoriją, apsuptą vaikų (Giovanni Bellini „Fortūna (arba Melancholija)“, 1490; Lucas Cranach Vyresnysis „Melancholija“, 1532, žr. 6 pav.) – greičiausiai tai mito apie Saturną, ryjantį savo vaikus, atspindys. Melancholiją meno kūriniuose dažnai padeda identifikuoti tam tikri atributai: ji gali būti tarp knygų, šalia padėta kaukolė, bylojanti apie pastangų menkumą, pinigų kapšelis, kaip užuomina apie godumą (siejama su melancholija), įvairūs įrankiai (skriestuvai, kampainiai, liniuotė – Saturno globojamos geometrijos atributai) ir staliaus instrumentai (staliai buvo laikomi Saturno vai-



4 pav. Faraono Narmero antspaudas (3000 m. pr. Kr.)



5 pav. Euripido Orestas senovės graikų raudonfigūrėje vazoje (400 m. pr. Kr.)

5 Charles Baudelaire vadintas melancholijos bardu, jis pasmerkė džiaugsmą kaip vulgarų grožio ornamentą ir padarė melancholiją savo garsiąja kompanione [12].



kais) – pjūklas, oblius ir kt. [19] Netoliese gali skrieti šikšnosparnis ar pelėda (nakties padarai).

Meno istorijos profesorė Laurinda Dixon (g. 1948) pabandė identifikuoti dažniausią XVI–XVII a. mene melancholiškos asmenybės vizualizaciją:

- knygoje „Perilous Chastity“ (1995) ji aprašė melancholiškos moters tipažus dailėje – įsimylėjusias ir dažnai besilaukiančias mergeles (neretai vaizduotas komiškai arba erotiškai), alegorines figūras;
- leidinyje „The Dark Side of Genius. The Melancholic Persona in Art, ca. 1500–1700“ (2013) išskyrė šiuos vyriškos melancholiškos asmenybės tipus, populiarius aptariamo laikotarpio mene: atsiskyrėlį (paslaptingas pamaldumas), įsimylėjęlį (paslaptinga aistra), mokslininką (paslaptinga išmintis) ir menininką (paslaptinga profesija). Taip pat autorė nepamiršo ir Saturno melancholiškos aplinkos bei vyno, moterų ir dainų sukeltos melancholijos [3].

Krikščionybė iškėlė **pamaldaus ir melancholisko šventojo vaizdinį** sekdamą Aristotelium, susiejusiu kūrybinį genijų ir pranašystę su *enthousiastikon* būseną (apsėdimu ir įkvėpimu). Viduramžiais melancholiškos savybės ir intelektas taip pat asocijavosi su ypatingu pamaldumu. Pvz., dainų ir poezijos knygoje „Codex Manesse“ (1304–1340) tarp 137 miniatiūrose užfiksuotų poetų portretų aptiksime ir melancholiškai susimąščiusį jaunuolį – Walther von der Vogelweide rymo ties tuščia pergamento juosta. Vis dėlto krikščioniška moralė juodosios tulžies vyravimui kūne taip pat priskyrė gobšumo, tinginystės ir liūdesio nuodėmes, tai paaiškina melancholikui būdingus fizinės apatijos, mizantropijos ir dvasinės depresijos bruožus [3]. Visa tai dažniausiai galima atrasti medicininių tekstų knygu ar gamtos manuskriptų piešiniuose, kuriuose vaizduoti temperamentai: melancholiko temperamento figūra įkūnija jam priskiriamas savybes arba melancholikas piešiamas kaip pagyvenęs liūdnas šykštuolis (žr. 7 pav.) [6]. Jo bruožai gali būti suteikti ir liūdesio apimtiems susimąščiusiems padarams (pvz., beždžionei arba katinui) to meto iluminacijose.

Renesanse plačiai paplito intelektualo kultas, pirmiausia įkūnytas Šv. Jeronimo<sup>6</sup> (321–420) paveiksle. Tai rodo augantį humanistų susižavėjimą melancholija [3]. Šv. Jeronimas, pasirinkęs vienvė, išbandytas Dievo ir apdovanotas dieviškuoju talentu, yra pamaldaus entuziazmo ar religinės melancholijos įsikūnijimas. Jo gyvenimo aplinkybės perteikia daugybę melancholiškų atributų, kurie tinka ir renesanso melancholiškai asmenybei. Jaunystėje jis buvo mokslininkas, tačiau sunki liga paskatino pasitraukti į dykumą, jis atgailavo visiškai vienas, draugiją palaikė tik ištikimas liūtas. Grįžęs į aktyvų pasaulį, šventasis paskyrė savo gyvenimą Bažnyčios tarnystei – studijavo, mokė ir rašė, garsėdamas ne tik savo šventumu, bet ir mokslumu. Italijos ir Šiaurės Europos menininkai dažniausiai Šv. Jeronimą



6 pav. Lucas Cranach Vresnysis „Melancholija“ (1532)



7 pav. Keturi temperamentai (melancholikas dešinėje). XV a.

vaizdavo dviem būdais (ikonografinių vaizdavimo sužetų būta daug daugiau): 1) kaip vienišą atsiskyrėlį dykumoje, apsuptą laukinių gyvūnų, arba daužantį save akmeniu<sup>7</sup> (pvz., Jan Sanders Van Hemessen „Šv. Jeronimas“, 1543); 2) kaip susimąščiusį mokslininką, apsigaubusį erudicijos rūbu. XV a. viduryje sukuriamas Jeronimo, kaip atsiskyrėlio mokslininko studijoje, paveikslas, pvz., Jano van Eycko „Šv. Jeronimas savo studijoje“ (1441). Vėlesniais amžiais jo pamaldumas susiliejo su pasaulietiniu aristoteliško mokslininko motyvu [2]. Menininkai pamėgo Šv. Jeronimo temą, ją rinkosi ne kartą (pvz., A. Dürer vaizdavo Jeronimą mažiausiai penkiolika kartų (žr. 8 pav.). Pamaldaus atsiskyrėlio tema susidimėta kontrreformacijos amžiuje<sup>8</sup>, kai teologai pradėjo propaguoti ankstyvųjų Bažnyčios tėvų deklaruoto griežto asketizmo sugrįžimą. XVI–XVII a. tradicinę Saturno ikonografiją ir iš viduramžių paveldėtą melancholiją papildė naujų mokslinių teorijų užuominos. Pvz., tuo metu atsiradus teorijai, apibrėžiančiai melancholiją kaip proto infekciją, jos atspindžių galima surasti 1521 m. A. Dürerio paveiksle „Šv. Jeronimas“. Po jo kūrę dailininkai improvizavo šia tema, derindami fizionomiką ir anatominius melancholijos bruožus su aliuzijomis į Saturną. XVII a. atsiskyrėlių paveikslus papildė Šv. Jeronimo studijos atributai – knygos, smėlio laikrodžiai, skriestuvai, kaukolės ir kt. [3]

6 Šv. Jeronimas (apie 340–420) – krikščionių rašytojas, vienas iš keturių Vakarų Bažnyčios tėvų. Jo lotynišką Biblijos vertimą (*Vulgata*) Katalikų Bažnyčia buvo priėmusi kaip oficialų Šventojo rašto tekstą.

7 Atsiskyrėlis Jeronimas patyrė daug regėjimų, žadinančių aistras ir geismus, jų atsikratydavo daužydamasis krūtine.

8 Be Šv. Jeronimo kaip atsiskyrėliai vaizduoti ir kiti šventieji – Jonas Krikštytojas ir Antanas.

Atskira tema mene – **meilės melancholija**. XVI–XVII a. priešingai dabartiniams romantiškos meilės aiškinimams kaip idiliškai būsenai, lytinis potraukis buvo siejamas su liga, kurią reikia gydyti. Manyta, kad meilės fizinius ir dvasinius simptomus išprovokuoja erotinio ilgesio įkurti laužai. To meto anglų miniatiūrų portretų melancholiški išsimylėjęliai atrodo tarsi perteikiantys nepaprastą kančią, lyg mėgautęsi savo kentėjimu. Elegantiški, bet nelaimingi anglų dvarų kultūros išsimylėjęliai vaizduoti kaip jautrūs ir giliaminciai vyrai, „dėvintys“ savo aistrą kaip privilegijos simbolį. Portretuose užfiksuotų moterų drąsūs viliojantys žvilgsniai meta iššūkį moterų padoraus elgesio taisyklėms (pvz., Nicholas Hilliard miniatiūros, žr. 9, 10 pav.). Ši nervingą emocinį intensyvumą gali paaiškinti miniatiūrų paskirtis: jos buvo skirtos ne visiems, o tik mylimojo akims, t. y. privačiai kontempliacijai. Tokie portretai turėjo atgaivinti aistrą ir įsivaizduojamą sąjungą, jie skirti gundymui ir radosi kaip sąsajų su melancholija rezultatas [3; 16].

**Mokslinė melancholija.** Populiari vienišų mąstytojų, apsirengusių akademiniais drabužiais ir dirbančių tarp knygų, tema yra tarsi atsiskyrėlių, mąstančių niūriame urve, temos tąsa. Šv. Jeronimo studijos prietaisai užpildė tiek subrendusių mokslininkų, tiek jaunų studentų aplinką, taip užtikrindami melancholišką kontekstą ir vieniems, ir kitiems. Vaizduodami mokslininko aplinką tapytojai naudojo ribotą spalvų schemą – perdėta tamsa simbolizavo Saturno amžiną naktį. Studentai ir išminčiai tapyti tamsiais veidais ir miglotais žvilgsniais, tarsi jie vilkėtų įprastus melancholijos drabužius (taip perteikiama ieškojimų įtampa). Retkarčiais jie ilsina savo pavargusias



8 pav. Albrecht Dürer „Šv. Jeronimas savo studijoje“ (1514)



9 pav. Nicholas Hilliard „Nežinomos moters portretas“ (1576)



10 pav. Nicholas Hilliard „Jauno vyro portretas“ (1588)

galvas, pasirėmę ranka ar paguldę galvas ant sukryžiuotų rankų. Kartais mokslininkų scenose kaip subkontekstas vaizduojami mizantropijos, apatijos ir godumo bruožai, šitaip melancholija susiejama su tuštybe. Tą jungtį dar labiau sustiprina Leidenio naturmortų tradicija, kai vaizduojama daugybė nutriušusių knygų, kaukolių, laiko skaičiavimo prietaisų ir muzikinių instrumentų. Šie kūriniai saviti saikingumu, daiktų komponavimu ir nutapyti daugiausia monochrominiais ochros ir rudos spalvos tonais – taip perteikiama žemiška melancholijos karalystė, pvz., Domenico Fetti „Mokslininko portretas“ (n.d.).

Keletas XVII a. portretų praplečia tradicinės melancholijos ikonografijos ribas: juose atsikratoma tradicinių materialių simbolių (knygų, gaublio, smėlio laikrodžio ir pan.), pateikiama subtilesnių užuominų apie psichologines melancholijos savybes. Poetai, filosofai ir mokslininkai išsiblaškę žvelgia iš gilių šešėlių (pvz., Pieter Codde „Mokslininkas savo studijoje: melancholija“, 1630), jų akis gali temdyti skrybėlių kraštai. Ši vizualinė gudrybė tikslingai sužadina melancholišką viziją [3].

**Moterys**, kaip instinktų, emocijų ir nestabilumo įsikūnijimas, globojamos sangviniškos Veneros, buvo svetimos esybės vyriškoje melancholiško genijaus sferoje. Žanriniuose paveiksluose jos dažniausiai pažemintos iki naudingų tarnaičių, gerų kompanionių, erotiškų stimulų ir gražių dekoratyvių objektų. Lyg prabangus maistas, vertingi muzikiniai instrumentai ar įmantrūs baldai, kurie supo melancholiškus mokslininkus, skaisčios, patrauklios moterys tik sustiprindavo pasiturinčios buržuazijos įvaizdį. Vedybiniuose portretuose, kuriuose vaizduoti išsimokslinę vyrai, įsišupę į melancholijos apdarus, šios puikios žmonos užtikrindavo būtiną pusiausvyrą esminei gerovei [4].

**Menininko melancholijoje** susiliejo atsiskyrėlio vienišos kankinystės, aristokratiškos įsimylėlio aistros ir mokslininko mizantropinio intelekto vaizdiniai, visa tai dažniausiai perteikta dailininko autoportrete. Tokia menininko profesionali ir asmeninė identifikacija su melancholija išgarsinta dar A. Dürerio: dailininkas propagavo priklausomybę Saturno brolijai, piešdamas save, pasidavusį jos galiai<sup>9</sup> (meninei melancholijai galima priskirti ir jo „Melencolia I“). Priešingai tradicijai vaizduoti save neutralia veido išraiška, dabar menininkai autoportretuose buvo susiraukę, apsiblausę ir beviltiškai blogos nuotaikos, iš šešėlio prikaustantys žiūrovo žvilgsnį, palaiminti ir prakeikti savojo genialumo – jų portretai susieja prieštaringas melancholijos savybes (pvz., Rembrandto autoportretas, 1628–1629). Tokia melancholiška laikysena tarsi atsakė į visuomenės lūkesčius, kaip menininkas turi atrodyti ir kokius socialinius vaidmenis jis atlieka. XVII a. mada pasiūlė su melancholija siejamus kostiumus ir gestus, žavesį ir paslaptį. Daugelyje autoportretų dailininkai save vaizdavo kaip išsimokslinusių dvariškius, dėvinčius melancholišką „uniformą“ – skrybėlę, veltinio apsiaustą ar net akademikų kepures ir mantijas. Saturno dvasinis ūkas kurtas tikslinga šviesos ir šešėlių manipuliacija. Visi Europos dailininkai naudojo šią vizualinę strategiją autoportretuose: vaizduojamas pusiau apšviestas veidas, šešėlio aptemdytos akys; ši gudrybė dažnai sustiprina niūri aplinkos prieblanda [3].

Svarbūs to meto paveiksluose **melancholijos priešnuodžiai** – kaimiška aplinka, erotinė stimuliacija, styginių instrumentų muzika. Jie vaizduoti menininkų studijose kaip talismanai, galintys įveikti privilegijuotos aistros sukiamus pavojus sveikatai. Šie brangūs instrumentai (smuikai, liutnios ir klavesinai) buvo es-

miniai to meto kultūringo gyvenimo elementai, būtini džentelmenui; tikėta, kad jų skleidžiamas garsas padėdavo nugalėti melancholiją [3].

**XVIII a.** menininkai pamažu atsikratė maištingo mizantropiško genijaus koncepcijos, pasirinkdami švelnaus būdo dvariškį, lengvo būdo ir mandagų, neturintį tamsių Saturno valdų spalvų. Tiesiog nauji empiriniai faktai išstūmė melancholiją aiškinančias astrologiją ir žmogaus kūno skysčių teoriją. XVIII a. pabaigoje, kai buvo ginama laisvė, lygybė ir brolybė, išskirtinės melancholiškos asmenybės savybės nebebuvo madingos [4]. Vis dėlto melancholiškos nuotaikos atspindžių galime surasti Jean-Antoine Watteau kūrinuose, kuriuos vienija egzistencinis liūdesys, ar Francisco de Goya amžininkų portretuose (pvz., Don Gaspar Melchor de Jovellanos portretas, 1798).

**Romantizmo** laikais melancholija meno kūrinuose dažniausiai vaizduota kaip emocija, kuri randasi ramios refleksijos kontekste – iš gamtos didybės ir vienišų asmenų santykio. Pvz., Casparo Davido Friedricho paveikslai („Keliautojas virš rūko jūros“, 1818; „Svajotojas“, 1840). Jo kūrinuose melancholija iš dalies sutampa su didingumu. Šių dviejų emocijų sandūra – susimąstymas, kai ramybė, taiki kontempliacija sumyšta su nerimu, kylančiu iš baimės (didingumas) arba iš ilgesio, praradimo (melancholija). Melancholiškus jausmus išgyvenančių asmenų galima atrasti ir Edwardo Muncho 1891–1899 m. paveiksluose bei graviūrose [1]. Impresionizmo šaukliai – tapytojai Camille Corot (1796–1875) ir Theodore Rousseau (1812–1867) – išrado naują melancholijos simbolizmą: jie vaizdavo melancholiškos dvasios būsenas gamtos paveiksluose [12]. XIX a. pabaigoje depresijai pakeitus melancholiją ir pripažinus ją dvasine liga, melancholija prarado dalį savo paslaptį. Mene pamažu į kūrybinės melancholijos erdvę įsileistos moterys: dabar fiksuojamas ne tik istorinis melancholiko stereotipas – elitinio sluoksnio vyras, vis dažniau vizualizuojamas ir melancholijos apimtos moterys, tik jų melancholija tyli (tą lėmė aplinkybės)<sup>10</sup>.

Kaip **XX–XXI a.** pakito melancholijos tema? Jo kūrėjai pasitelkė susimąščiusio žmogaus, parėmusio ranka galvą, vaizdinį – jis tiko ir vyrų (pvz., Ron Mueck „Didelis vyras“ 2000), ir moterų melancholijai perteikti (pvz., Edward Hopper „Niujorko kino teatras“, 1939). Vis dėlto buvo ir visiškai naujų kompozicinių sprendimų, kai melancholija tampa abstrakcija (Marko Rothko kūriniai) ar geometrine forma (Alberto Giacometti „Kubas“, 1934), *alter ego* (pvz., Alessandro Sicioldr „Melancholija“, 2015), pavirsta konceptuali naujintu (Anselm Kiefer „Melancholija“, 1990–1991), nors aliuzijų į praeities kūrinius taip ir neatsikratoma<sup>11</sup>. Šiandien melancholiškas asmuo išlieka užsisklendimo įsikūnijimas, jis – atstumtas genijus, meistriškai atsakantis į prievartą ir nuasmeninančias modernaus pasaulio jėgas. Nepaisant pažangos, prislėgto intelektualo

10 Žr. daugiau: Johannisson K. *Melancholijos erdvės*. Vilnius: Baltos lankos, 2011, p.67–71

11 A. Kieferio naujintuvas ant dešiniojo sparno „neša“ daugiakampę geometrinę figūrą iš A. Dürerio „Melencolia I“.

9 Iš A. Dürerio autobiografijos žinoma, kad jis pats sirgo kūrybine depresija.

metaforiškas įvaizdis egzistuoja daugiau kaip du tūkstantmečius lyg visuomenės baimės ir įtampas išryškiantis lakmuso popierius [4].

## Išvados

1. Melancholijos tema aktuali, ji neišsemiamą – nepaisant naujų tendencijų ir pokyčių, mene prie jos nuolat sugrįžtama. Greičiausiai tą lemia šios būsenos paslaptینگumas ir noras paaiškinti kūrybinį genijų.
2. Vizualizuojant melancholiją dažniausia Saturno tema, melancholija kaip temperamentą įkūnijanti figūra, religinė atsiskyrėlio ar šventojo melancholija, mokslinių ar meninių apmąstymų sukelta melancholija, meilės melancholija, melancholiška nuotaika, išgyvenama ramiai refleksuojant gamtą ar aplinką.
3. Vaizduojant melancholiją dažniausiai naudojamos stereotipinės schemas: atskirtis nuo gyvybingo pasaulio ir asmeninės erdvės sukūrimas, vieniša figūra (dažniausiai sėdinti), ranka paremta galva, susimąstęs žvilgsnis, tamsi spalvų gama, prislopintas apšvietimas, tam tikra simbolika ir atributai.

## Literatūra

1. Brady, E.; Haapala, A. *Melancholy as an Aesthetic Emotion*. Prieiga internetu: <http://www.contempaesthetics.org/newvolume/pages/article.php?articleID=214> . Peržiūrėta 2016-11-23.
2. Dixon, L. S. *Privileged piety: melancholia and the herbal tradition* // JHNA, 2009 Nr. 1–2, p. 1–29. Prieiga per internetą: <http://www.jhna.org/index.php/past-issues/volume-1-issue-2/114-privileged-piety>.
3. Dixon, L. S. *The Dark Side of Genius. The Melancholic Persona in Art, ca. 1500–1700*. Prieiga internetu: <http://www.psu.press.org/books/SampleChapters/978-0-271-05935-8sc.html> . Peržiūrėta 2016-11-11.
4. Dixon, L. S. *The Dark Side of Genius. The Melancholic Persona in Art, ca. 1500–1700*. Prieiga internetu: <http://www.psu.press.org/books/titles/978-0-271-05935-8.html> . Peržiūrėta 2016-12-26.
5. Földenyi, L. F. *Melancholy and abstraction*. Prieiga internetu: <http://www.signandsight.com/features/710.html> . Peržiūrėta 2016-07-02.
6. Hatt, M.; Klonk, C. *Art History: A Critical Introduction to Its Methods*. Manchester: Manchester University Press, 2006. ISBN-13: 978-0719069598.
7. Huizinga, J. *Viduramžių ruduo: studija apie keturiolikto ir penkiolikto šimtmečio gyvenimą ir mąstyseną Prancūzijoje ir Nyderlanduose*. Vilnius: Amžius, 1996. ISBN 9986-430-33-X : 10.00, p. 39–43.
8. Johannisson, K. *Melancholijos erdvės*. Vilnius: Baltos lankos, 2011. ISBN 978-9955-23-465-4.
9. Mandel, C. Melancholy. In: *Encyclopedia of Comparative Ico-*

*nography: themes depicted in works of art*. Chicago, London: Fitzroy Dearborn publishers, 1998, p.584–589.

10. „Melancholy” proves to be a powerful lure. Prieiga internetu: <http://www.dw.com/en/melancholy-proves-to-be-a-powerful-lure/a-1954058> . Peržiūrėta 2016-01-18.
11. Panofsky, E. *Prasmė vizualiniuose menuose*. Vilnius: Baltos lankos, 2002. ISBN 9986-813-98-0: 25, p. 262.
12. Régnier, C. *Melancholy in the Arts* . Medicographia, 2010, No.2 (32), p. 202–209.
13. Strong, R. *The Elizabethan Malady: Melancholy in Elizabeth and Jacobean portraiture* // Apollo, 1964, Nr. 79, p. 264–269.
14. Šliogeris, A. *Melancholijos archipelagai: žodžiai ir vaizdai*. Vilnius: Apostrofa, 2009. ISBN 978-9955-605-54-6.
15. Verbiest, C. *New exhibition traces influence of melancholy in art*. Prieiga internetu: <http://www.flanderstoday.eu/art/new-exhibition-traces-influence-melancholy-art> . Peržiūrėta 2016-01-18.
16. Warren, M. *Review of L. Dixon book „The Dark Side of Genius: The Melancholic Persona in Art, ca. 1500–1700“*. / The Sixteenth Century Journal, 2014, No. 4, p. 1101–1103.
17. Кемпинский, А. *Меланхолия*. Prieiga internetu: <http://www.s-anxiety.ru/library/km/kempinsky-melanholiya89.html> . Peržiūrėta 2016-11-27.
18. Манежев, С. *Monstrum monstruosum. Апология меланхолии*. Prieiga internetu: <http://magazines.russ.ru/vestnik/2008/22/man26.html> . Peržiūrėta 2016-01-23.
19. *Меланхолия*. Prieiga internetu: <http://www.symbolarium.ru/index.php/Меланхолия> . Peržiūrėta 2016-11-12.
20. *Меланхолия*. Prieiga internetu: <http://ec-dejavu.ru/m/Melanholia.html> . Peržiūrėta 2016-01-24.
21. Россиус, А. *История мрачного помешательства: меланхолия от Аристотеля до Дюрера*. Prieiga internetu: <http://theoryandpractice.ru/posts/10691-melancholy>. Peržiūrėta 2016-01-24.

## MELANCHOLY'S REFLECTIONS IN ART

Rasa Valujavičienė

Vilnius College of Technologies and Design,  
Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

**Annotation.** In article, the author describes melancholy's meaning, searches its relations with art, analyses most frequent melancholy's visualisation cases, standing representation's decisions of this topic in art and usable iconography. Melancholy phenomena's spread in the art is analysing from ancient times to nowadays, trying to explain its representation's changes weighted circumstances and reasons. Author uses some research's methods: of the content analysis, comparative analysis, social-cultural method and iconographical method.

**Key words:** melancholy, temperament, Saturn, religious melancholy (hermit-saint), scholastic melancholy (saturnine scholar), artist melancholy, creative genius, love melancholy, melancholy's symbols and attributes.

# ERASMUS+ INŽINERIOJE KAIP JAUNIMO NEDARBO SPRENDIMO GALIMYBĖ

Vaiva Mickevičienė

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius, v.mickeviciene@vtdko.lt

**Anotacija.** Straipsnyje nagrinėjama jaunimo nuo 16 iki 24 m. amžiaus įsidarbinimo problema Europos Sąjungos šalyse, lyginami Europos šalių rodikliai, analizuojama jaunimo darbo rinkos situacija. Remiantis ES šalių studijų programų bei Erasmus+ programos duomenimis, nagrinėjamas studentų užimtumo bei pasinaudojimo galimybe išvykti studijuoti ar dirbti į užsienį tarpusavio ryšys, ypatingą dėmesį skiriant technologijų ir inžinerijos studijų krypties studentams.

**Pagrindinės sąvokos:** Erasmus+ programa, darbo rinka, jaunimo nedarbas, studijos užsienyje

## Įvadas

Europos Sąjungos šalys nuo ekonominės krizės pradžios 2007 m. susiduria su nauju ir sunkiai kontroliuojamu reiškinium – jaunimo nedarbu. Vis daugiau jaunų žmonių nutraukia studijas aukštojoje mokykloje ir bando įsiliesti į darbo rinką. Tačiau dėl įvairių priežasčių jiems tai sunkiai pavyksta. Viešojoje erdvėje daug diskutuojama apie aukštojo mokslo kokybę, reformas, inžinerijos svarbą, naujus į technologijų panaudojimą orientuotus bei socialinius jaunų žmonių įgūdžius, reikalingus darbo rinkoje, ir vis didėjančią atskirtį tarp jaunimo lūkesčių ir darbdavių reikalavimų. Siekdama išvengti šios priešpriešos Europos Komisija inicijuoja į jaunimo mobilumo ir išsilavinimo gerinimą orientuotas programas, tokias kaip Erasmus+ ir kt. Tačiau darbdaviai, nors ir pripažįsta užsienyje įgytos patirties studijų metu svarbą, norimos pridėtinės vertės ir jaunų žmonių veiklos teigia nesulaukiantys. Straipsnio tikslas – įvertinti inžinerijos studijų krypties studentų pasinaudojimo studijų ir praktikos užsienyje galimybėmis per Erasmus+ programą naudą. Tyrimo objektas – inžinerijos studijų studentai. Straipsniui parengti naudotos Europos Komisijos bei nacionalinės studijų vertinimo ataskaitos, finansiniai Europos Sąjungos institucijų duomenys, susiję statistiniai rodikliai ir tyrimai.

## Erasmus+ programos kūrimo gairės

Erasmus+ yra sėkmingiausia studentų mobilumo programa pasaulyje. Įvairūs tyrimai rodo, kad nuo 1987–1988 m. galimybe išvykti dalinių studijų ar atlikti praktikos į užsienio institucijas ir įmones pasinaudojo daugiau nei 3 mln. Europos studentų [3]. 2013–2014 m. šioje programoje buvo įsisavinta daugiau nei 80% viso Erasmus programos biudžeto lėšų. Daugiausiai pagal programą išsiųstų studentų turi Ispanija, po jos eina tokios Europos šalys kaip Prancūzija ir Vokietija. Skaičiuojant išvykstančių studentų skaičių procentais nuo visų šalyje studijuojančiųjų, daugiausiai išvykstančių pagal Erasmus+ programą yra iš Liuksemburgo, Lichtenšteino, Latvijos, Lietuvos ir Ispanijos.

Programos Erasmus+ tikslams pasiekti pagal ją įgyvendinami tokie veiksmai:

- **Pirmas pagrindinis veiksmas (KA1) – Mobilumas mokymosi tikslais** – studentų, stažuotojų, mokytojų ir kitos švietimo srities darbuotojų, jaunimo mainuose dalyvaujančių jaunuolių, su jaunimu dirbančių asmenų ir savanorių mobilumo galimybės skatinti.
- **Antras pagrindinis veiksmas (KA2) – Bendradarbiavimas inovacijų ir dalijimosi gerąja patirtimi tikslais** – švietimo, mokymo ir jaunimo įstaigų bei organizacijų ir įmonių partnerystei kurti ir gerinti.
- **Trečias pagrindinis veiksmas (KA3) – Politinių reformų rėmimas** – dialogui remti ir surinkti informacijai, reikalingai, kad būtų reformuotos švietimo, mokymo ir jaunimo sistemos [22].

Tyrimai rodo [4], kad vis daugiau jaunų žmonių naudoja Erasmus+ programą kaip priemonę, padedančią įgyti praktinės darbo patirties užsienyje. Taip pat pastebima, kad penkerius metus po diplomo gavimo jaunų žmonių, kurie buvo išvykę studijuoti ar atlikti praktikos į užsienio institucijas, nedarbo rodiklis yra net 23% žemesnis nei tų, kurie tokia galimybe nepasinaudojo. 1 iš 3 Erasmus+ praktikų užsibaigia realiu darbo pasiūlymu joje dalyvavusiam studentui.

## Erasmus+ programa kaip jaunimo nedarbo problemos sprendimas Europoje

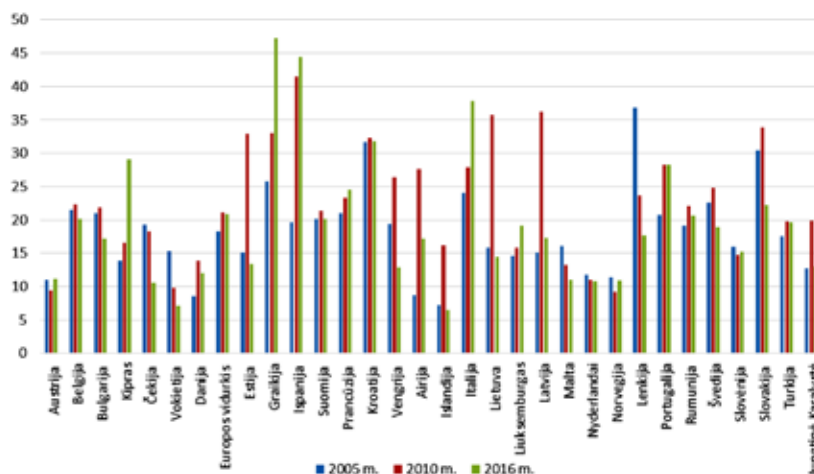
Programa „Erasmus+“ apima buvusias (2007–2013) Europos Sąjungos (ES) švietimo, profesinio mokymo, jaunimo ir sporto finansavimo programas: Mokymosi visą gyvenimą programą („Comenius“, „Erasmus“, „Leonardo da Vinci“, „Grundtvig“), programą „Veiklus jaunimas“ ir penkias tarptautines bendradarbiavimo programas („Erasmus Mundus“, „Tempus“, „Alfa“, „Edulink“ ir bendradarbiavimo su pramoninėmis šalimis programą). Pagal šią programą pirmą kartą buvo numatyta skirti paramą ne tik švietimui, bet ir sportui. Erasmus+ programos tikslas yra palengvinti finansavimo galimybes tiems, kas joje dalyvauja, ir sumažinti susijusių procedūrų skaičių. 2007 m. Europoje buvo fiksuotas didelis jaunimo nedarbas. Europos Audito Rūmų ataskaitoje (Specialioji ataskaita Nr. 5/2017) teigiama, kad dar ir šiandien Europos Sąjungos šalys susiduria su nepaprastai aukštu jo lygiu. Dėl 2008 m.

ekonominės krizės jaunimui buvo dar sunkiau integruotis į darbo rinką. Nors per beveik dešimtmetį padėtis pagerėjo, tačiau daugiau kaip 4,2 milijono asmenų iki 25 metų amžiaus 2016 m. birželio mėnesio Europos Sąjungoje vis dar buvo bedarbiai [6]. Jaunimo nedarbo lygis (15–24 m. amžiaus) nuo 2008 m. pradžios iki 2013 m. pradžios padidėjo 8,8 procentiniais punktais ir pasiekė aukščiausių lygį – 23,9 %. Kaip vieną svarbiausių šio reiškinio priežasčių darbo rinkos specialistai Lietuvoje nurodo į teoriją nukreiptą mokymą mokyklose ir praktikos stoka, o įsidarbinant, kaip teigia specialistai, reikalingi būtent praktiniai įgūdžiai. Lietuvos darbo biržos ekspertai nurodo priežastis, dėl kurių jaunimas nedirba [11]:

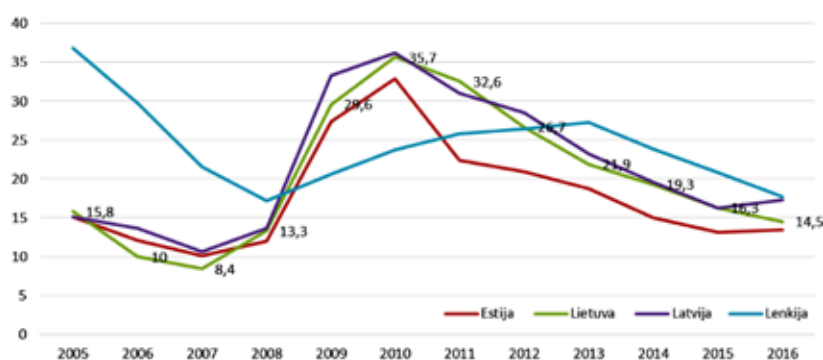
- darbo vietų kokybė ir neadekvačiai dideli jaunuolių lūkesčiai;
- įgytos kvalifikacijos neatitikimas darbo rinkos poreikiams;
- jaunuolių atkaklumo, darbo paieškos įgūdžių stoka;
- jaunuolių motyvacijos, socialinių kompetencijų stoka;
- neįgyta arba įgyta nepakankama profesinė kvalifikacija;
- praktinės patirties stoka.

Darbdaviai teigia, kad absolventams trūksta socialinių gebėjimų – kritinio mąstymo, problemų sprendimo ir kolektyvinio, komandinio darbo [18]. Kaip keitėsi jaunimo (15–24 m.) nedarbas Europoje per pastarąjį dešimtmetį, galima pamatyti paveiksle (žr. 1 pav.)<sup>1</sup>:

Europos statistikos tarnybos Eurostat duomenimis, pastarąjį dešimtmetį jaunimo iki 25 metų nedarbas buvo itin didelis. Kaip matyti iš paveikslo, 2005 m. jis siekė 18,3 %, didžiausias buvo Lenkijoje – net 36,9 % (taip pat didelis Slovakijoje – 30,4 %, Graikijoje – 25,8 %, Italijoje – 24,1 %), o mažiausias – Islandijoje ir siekė 7,2 % (Danijoje 8,6 %, Airijoje 8,7%). Lietuvoje 2005 m. jaunimo nedarbo rodiklis buvo 15,8 % ir lyginant su kaimyninėmis šalimis Estija bei Latvija, neišsiskyrė iš Baltijos šalių regiono vidurkio (Latvijoje ir Estijoje šis rodiklis 2005 m. buvo 15,1 %). Po ekonominės krizės 2007–2008 m. jaunimo nedarbas dar labiau išaugo, ir Europoje išryškėjo naujos šalys, kurioms nepavyko išspręsti jaunimo užimtumo problemų. Bendras Europos jaunimo nedarbo vidurkis 2010 m., lyginant su 2005 m., padidėjo tik 3 % ir sudarė 21,1 %, tačiau kai kuriose šalyse, tokiose kaip Ispanija (41,5%), Latvi-



1 pav. Jaunimo iki 25 m. nedarbas Europoje 2005 – 2016 m. [10] (sudaryta autorių, remiantis Eurostat duomenimis)



2 pav. Lietuvos, Latvijos, Estijos ir Lenkijos jaunimo nedarbo rodiklio dydis (%) 2005–2016 m. (sudaryta autorių, remiantis Eurostat [9] duomenimis)

ja (36,2%), Lietuva (35,7%), Slovakija (33,9%), Graikija (33%, kai kurių kitų šaltinių duomenimis – daugiau nei 60%) ir kitos, jaunimo nedarbas po ekonominės krizės labai padidėjo. Estijoje 2010 m. jaunimo nedarbas buvo mažiausias iš visų trijų Baltijos šalių (32,9%), tačiau vis vien didesnis nei Europos vidurkis. 2016 m. situacija Europoje jaunimo nedarbo kontekste buvo vis dar sudėtinga, tačiau didelė dalis šalių sugebėjo šią problemą išspręsti. Kai kurioms, deja, nepavyko. 2016 m. Europos šalių jaunimo nedarbo vidurkis buvo 20,9% ir tai reiškia, kad kas penktas šios amžiaus grupės žmogus neturėjo darbo. Graikija (47,3% – kas antras jaunuolis neturėjo darbo), Ispanija (44,4%), Italija (37,8%) ir Kroatija (31,8%) pernai turėjo didžiausią fiksuotą jaunimo nedarbą Europoje. Lietuvoje ir kaimyninėse šalyse jaunimo nedarbo rodikliai 2016 m. buvo daug geresni nei ankstesniais metais (žr. 2 pav.):

Kaip matyti iš paveikslo, Lietuvos, Latvijos ir Estijos rodiklio dydžio pokyčiai panašūs, tačiau Lenkija regione išsiskiria ir per dešimtmetį nuo 2005 iki 2016 m. jaunimo nedarbą sugebėjo sumažinti beveik dvigubai. Didžiausias jaunimo nedarbas per šį laikotarpį Lietuvoje buvo 2010 – 2011 m., kuomet kas trečias jaunas žmogus neturėjo darbo, tačiau 2016 m. rodiklis yra žymiai mažesnis nei Europos vidurkis.

Programa „Erasmus+“ pradėta vykdyti tokiu metu, kai ES darbo neturėjo beveik 6 mln. jaunuolių, – kai

1 Jaunimo nedarbas čia yra skaičiuojamas įtraukiant visus darbo neturinčius 15–24 metų amžiaus jaunuolius. Jaunimo nedarbo rodiklis išreiškiamas procentais nedirbančių jaunų žmonių nuo visos tos pačios amžiaus grupės žmonių populiacijos (įtraukiant tiek aktyvius darbo rinkos dalyvius, tiek neaktyvius – tokius, kaip studentai)

kuriose šalyse jaunimo nedarbas viršijo 45% (nacionalinių statistikos departamentų ar darbo biržų duomenys ES gali skirtis nuo Eurostat pateikiamų duomenų, atsižvelgiant į tai, kaip skaičiuojamas rodiklis: įtraukiant visus šio amžiaus jaunuolius, ar tik tuos, kurie tuo metu neturi nei darbo, nei nėra kaip nors kitaip užimti, pavyzdžiui, studijuoja). Be jaunų žmonių, kurie yra bedarbiai (t. y., galintys pradėti dirbti ir aktyviai ieškantys darbo), grupės yra kita didelė jaunų žmonių grupė, kurie yra mažiau motyvuoti būti iniciatyvūs, todėl jie dar labiau atskirti nuo darbo rinkos. Tai yra neaktyvūs nesimokantys ir profesiniame mokyme nedalyvaujantys jaunuoliai. Būtent ši grupė bei jos dydis daro įtaką bendriems jaunimo nedarbo rodikliams (tačiau ši dalis bedarbių yra mažesnė). Tuo pačiu metu buvo teigiama, kad yra daugiau nei 2 mln. laisvų darbo vietų, o trečdalis darbdavių teigė, kad jiems sunku rasti reikiamų įgūdžių turinčių darbuotojų. Darbuotojų ypač trūksta informacinių ir ryšių technologijų, transporto ir logistikos, gamybos ir sveikatos priežiūros sektoriuose [7]. Tyrimai rodo, kad patys jaunuoliai [2] savo perspektyvas darbo rinkoje taip pat vertina neigiamai (mažai galimybių, per mažai patirties, mažas darbo užmokestis, ilgos darbo valandos ir kt.). Didelis jaunimo nedarbas reiškia ne tik socialines problemas, bet ir našumo sumažėjimą. Tai gali skatinti gimstamumo mažėjimą ir kartų tarpusavio įtampą, nes didelė dalis Europos trisdešimtmečių vis dar gyvena su savo tėvais. Kaip teigiama Europos Audito Rūmų ataskaitoje, be finansinių pasekmių, kurias tiesiogiai patiria jauni žmonės, ilgas nedarbas taip pat turi neigiamą poveikį įsidarbinimui ateityje, žmogaus vaidmeniui visuomenėje, didina skurdo riziką ir socialinę atskirtį. Be to, kyla pavojus, kad nebūs optimaliai panaudoti gabumai ir įgūdžiai [6].

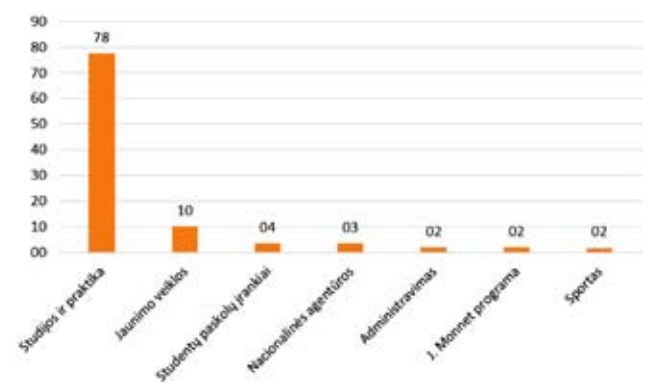
Lietuvos darbo biržos duomenimis, Lietuvoje 2017 m. tipinis jaunas bedarbis iki 29 metų dažniau yra vaikinai (52,8%) nei mergina (47,2%) ir beveik 40% visų jų yra nekvalifikuoti, 11,2% anksčiau niekur nedirbė [13]. Beveik 25% iš jų buvo įgiję aukštąjį išsilavinimą. Tačiau, remiantis Jaunimo reikalų departamento duomenimis, nuo 2011 m. nedirbančių, nesimokančių ir mokymuose nedalyvaujančių jaunų žmonių skaičius sumažėjo beveik 3% [11]. Bendras jaunų žmonių skaičiaus Lietuvoje mažėjimas pastebimas keletą pastarųjų metų. Nuo 2010 m. mokinių ir studentų skaičius Lietuvoje sumažėjo daugiau nei 120 tūkst., o nuo 2012 m. besimokančiųjų skaičius laipsniškai mažėjo beveik visose švietimo pakopose. Tik profesinio ugdymo studijose besimokančiųjų skaičius kasmet stabiliai augo [12]. Šiuo metu Lietuvoje mokyklos nebaigusiu jaunų žmonių iki 24 m. amžiaus, yra beveik 5%, o absolventų užimtumas baigus studijas yra 82,1%, kai tuo metu Europos vidurkis – 76,9%.

Tiek Lietuvos, tiek Europos gyventojų skaičius keičiasi, todėl kinta ir situacija darbo rinkoje. Gyvenimas ir darbas technologiškai pažangioje ir globalioje ekonomikoje reikalauja, kad asmenys įgytų aukštesnį išsi-

lavinimą ir turėtų geresnius įgūdžius. Ekspertų teigimu [7], aukštesnis išsilavinimo lygis yra susijęs su geresniais įgūdžiais ir padidina užimtumo lygį. Tyrimai rodo, kad Europos Sąjungoje net 90% dirbančio jaunimo 2016 m. turėjo didesnę nei vidurinis išsilavinimą (tai yra beveik 10% daugiau, nei 2015 m.).

Galima teigti, kad Europoje esama jaunimo įgūdžių formavimo spragų. Programa „Erasmus+“ sukurta spręsti su šiomis spragomis susijusioms problemoms [8], suteikiant jauniems žmonėms daugiau galimybių studijuoti, mokytis, įgyti darbo patirties arba imtis savanorystės veiklos užsienyje.

Rengiant Erasmus+ programą buvo tikimasi, kad suteikiant paramą mokymo ir mokymosi metodų gerinimui, naujoms mokymo programoms, švietimo įstaigų darbuotojų ir su jaunimu dirbančių asmenų profesiniam tobulėjimui bei skatinant aktyvesnį įmonių ir švietimo įstaigų bendradarbiavimą, padidės Europos švietimo, mokymo, jaunimo įstaigų ir sistemų kokybė bei aktualumas. Bendras orientacinis šios programos finansinis paketas septyneriems metams (2014–2020 m.) sudaro 14,774 mlrd. EUR (kaip jis pasiskirstęs pagal skirtingas veiklas, pateikiama 3 paveiksle), tai yra 40% daugiau nei anksčiau.



3 pav. Erasmus+ programos biudžeto pasiskirstymas pagal veiklas<sup>2</sup> 2014–2020 m. (% nuo bendro biudžeto) (sudaryta autorių pagal Europos Komisijos duomenis)

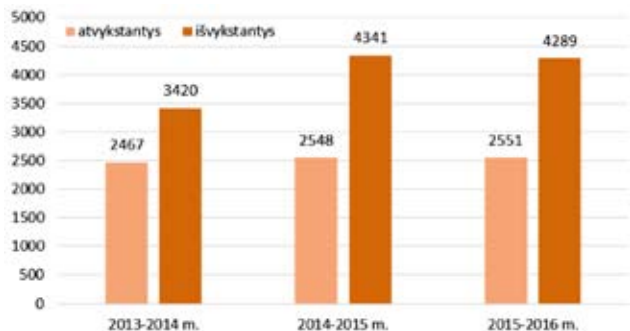
Iš viso 2014 m. programai „Erasmus+“ buvo skirta 1,8 mlrd. eurų [23]. Pirmais programos veikimo metais, Europos Komisijos duomenimis, ja pasinaudojo beveik 650 000 žmonių (studijos, praktika, stažuotės užsienyje), 70 000 organizacijų ir buvo įgyvendinta beveik 18 000 projektų [5]. Lietuvoje nuo 2014 m. Erasmus+ programa pasinaudojusių studentų skaičius kasmet vis auga (tiek atvykstančių, tiek išvykstančių studentų skaičius beveik kasmet didėja):

2015–2016 m. populiariausios šalys studijoms buvo Portugalija (išvyko 276 studentai), Ispanija (216 studentų), Italija (192 studentų) ir Čekija (187 studentų), o praktikai – Ispanija (261 studentas), Italija (169 stu-

2 „Jean Monnet“ veikla yra skirta skatinti Europos Sąjungos studijų pasaulinio mastu mokymo ir mokslinių tyrimų kompetenciją. Ši veikla taip pat skatina akademinio pasaulio ir politikos formuotojų dialogą, visų pirma siekiant sustiprinti ES politikos valdymą.

1 lentelė. Nutraukiantys studijas (% nuo 18–24 m. jaunuolių populiacijos) asmenys Europos Sąjungos švietimo institucijose [9]

	2008 m.	2012 m.	2013 m.	2014 m.	2015 m.	2016 m.	Tikslas
Iš viso	14,7	12,7	11,9	11,2	11	10,7	<10,0
Moterys	12,7	10,9	10,2	9,6	9,5	9,2	
Vyrai	16,6	14,5	13,6	12,8	12,4	12,2	



4 pav. Erasmus+ studentų mobilumas Lietuvoje 2013–2016 m. (sudaryta autorių pagal Švietimo mainų paramos fondo informaciją [21])

dentai) ir Danija (169 studentai). Į Lietuvą atvykstantys studijuoti studentai dažniausiai buvo iš Turkijos (406 studentai), Prancūzijos (297 studentai) bei Italijos (267 studentai), o atlikti praktikos – iš Latvijos (131 studentas), Lenkijos bei Danijos (po 48 studentus).

Vienas iš Erasmus+ programos tikslų yra sumažinti studijas nutraukiančių jaunuolių skaičių. Kaip keitėsi šis rodiklis nagrinėjamoju laikotarpiu, parodyta lentelėje:

Kaip matyti iš lentelėje pateiktų duomenų, studijas nutraukiančių asmenų skaičius nuo 2002 m. kasmet vis mažėja. Kaip rodo tyrimai, dažniau studijas nutraukia žemesnį išsilavinimą turintys asmenys. Tikslas iki 2020 m. šį rodiklį sumažinti iki 10% yra beveik pasiektas. Dažniau mokslus nutraukia jauni vyrai nei moterys. 2016 m. studijas ar praktiką nutraukiančių moterų skaičius Europos švietimo institucijose buvo 9,2%. Užsienyje studijuojantys studentai dažniau yra linkę nutraukti studijas lyginant su tais, kurie studijas pasirenka gimtinėje. Šie jauni žmonės darbo rinkoje susiduria su keletu problemų: 2016 m. beveik 58% studijas nutraukusių jaunuolių (16–24 m. amžiaus) neturėjo darbo. Šis skaičius, lyginant jį su 2008 m., padidėjo net 12%. Rengiant Erasmus+ programą buvo siekiama, kad iki 2020 m. asmenų iki 35 m., turinčių aukštąjį išsilavinimą, skaičius Europoje sudarytų ne mažiau kaip 40%. Moterys šį lygį jau pasiekė ir 2016 m. tokių buvo 43,9%, o vyrų – tik 34,4%. Šiuo rodikliu Europa vis dar atsilieka nuo tokių ekonomiškai stiprių šalių kaip Kanada, Japonija, Pietų Korėja ar Jungtinės Amerikos Valstijos.

## Erasmus+ inžinerijoje

2016 m. Lietuvoje technologijos mokslus studijavo 14470 studentų universitetuose ir 11688 studentai kolegijose. Šis skaičius beveik nekinta pastaruosius pen-

kerius metus. Lietuvoje veikia 76 technologijos mokslų studijų krypties profesinio bakalauro studijų programos, 84 – bakalauro ir 97 magistro studijų programos [15]. Daugiausiai šios krypties studentų 2016 m. buvo magistro studijose. Inžinerijos mokslų kryptis Lietuvos universitetuose pagal studentų pasirinkimus yra 4–5 vietoje, kolegijose – antroje. Pagal LAMA BPO ir Statistikos departamento duomenis [14, 1], 2017 m. inžinerijos mokslus pasirinkusių studentų dalis universitetuose buvo 10 %, o kolegijose 18%. Tuo metu tarp visų Lietuvoje studijuojančių ir pagal Erasmus+ programą išvykstančių studentų, studijuojančių inžineriją, dalis 2015–2016 m. buvo 14% (atvyko – 17%) ir tai buvo ketvirta pagal dydį studentų grupė. Dažniau į užsienį studijuoti semestru ar dviem išvyksta moterys (65% visų išvykstančių studentų) nei vyrai (35%). Atvykstančių vyrų ir moterų yra beveik po lygiai. Galima teigti, kad technologijų ir inžinerijos studijų populiarumas tiesiogiai susijęs su šios krypties studentų pasirinkimu vykti į dalines studijas ar praktiką užsienyje pagal Erasmus+ programą. Teigiamą įtaką gali padaryti ir inžinerijos mokslų populiarumo tarp merginų augimas, nes studijas užsienyje semestru ar dviem dažniau renkasi merginos nei vaikinai.

Specialiai į inžinerines studijas pasirinkusius studentus orientuoti Erasmus+ projektai yra geras būdas didinti šių studentų įsitraukimą į studijų tarptautiškumo procesus. Jų metu ne tik gerinami užsienio kalbos įgūdžiai, tačiau geriau susipažįstama su tarptautine praktine (studijų bei darbo) aplinka, naujovėmis, kurios diegiamos Europos šalyse, tarptautiniais reglamentais ir standartais. Dažniausiai Erasmus+ galimybėmis pasinaudoja socialinių mokslų krypties studentai, tačiau jų skaičius Lietuvoje, lyginant su kitų krypties studentais, yra daug didesnis, todėl negalima teigti, kad inžinerinių ir technologijų studijų studentai rečiau išvyksta studijuoti ar atlikti praktikos į užsienį, pasinaudodami Erasmus+ programa. Siekiant įtraukti didesnę dalį inžinerinių studijų studentų į studijų tarptautiškumo didinimo procesą, būtina didinti šių studijų populiarumą, nes kitų priežasčių, lemiančių inžinerijos ir technologijų studijų studentų dalyvavimą Erasmus+ programoje, analizuojant duomenis, nepastebėta. Svarbu pažymėti, kad Lietuvos studentų Erasmus+ kryptys tiek studijoms, tiek praktikai labai panašios – Ispanija, Portugalija, Italija, Danija. Išskyrus Daniją, populiariausios šalys yra tos, kurios susiduria su didžiausiu jaunimo nedarbu Europoje. Tokių studentų pasirinkimą gali lemti ribotos finansinės galimybės ilgesnį laiką savarankiškai gyventi ir studijuoti santykinai aukštesnio gyvenimo lygio šalyse, tokiose



kaip Norvegija, Suomija, Islandija. Šios šalys ne tik išsiskiria mažesniu jaunimo nedarbo rodikliu (Švedija, Suomija – ~20%, Norvegija – ~10%), bet taip pat ir inžinerinių studijų populiarumu (Norvegijoje inžinerijos studijų programos – antroje vietoje pagal populiarumą [19], Švedija iš kitų Europos šalių išsiskiria savo investicijomis į tyrimus [20], Suomijoje – Tampere taikomųjų mokslų universitetas jau keletą metų iš eilės yra pirmas pagal stojančiųjų pasirinkimą [24]), todėl svarbu plėsti Lietuvos mokslo institucijų bendradarbiavimo galimybes su šalimis, iš kurių galima būtų perimti gerosios praktikos pavyzdžių.

## Išvados

Atlikus dokumentų, ataskaitų bei statistinės informacijos analizę, galima teigti, kad nėra akivaizdaus tiesioginio ryšio tarp išvykstančių dalinių studijų ar atlikti praktikos pagal Erasmus+ programą ir studijuojančių Lietuvoje inžinerijos studijų krypties programų studentų įsidarbinimo galimybių. Galima teigti, kad pasinaudojančių programos galimybėmis skaičius per paskutinius keletą metų buvo stabilus, pasirenkančių studijuoti inžinerines studijų programas studentų skaičius kinta labai nežymiai ir populiariausių studijų reitinge inžinerijos studijos dar niekada nebuvo pirmoje vietoje Lietuvoje. Maždaug 14% inžinerinių studijų programų studentų išvyksta dalinių studijų ar atlikti praktikos į užsienio aukštojo mokslo institucijas (Ispanija, Italija, Portugalija). Išvykstančiųjų skaičius kasmet vis didėja, bet vertinant skirtingų studijų krypties studentų aktyvumą, žymių pokyčių nepastebėta. Nusistovi bendra tendencija, kad studentai, studijų metu išvykę semestru ar dviem į kitą šalį studijuoti ar į praktiką, rečiau lieka ilgalaikiais bedarbiais nei tie, kurie tokia galimybe nepasinaudoja. Siekiant didinti inžinerijos studijų studentų įsitraukimą ir mobilumą, būtina didinti šios krypties studijų populiarumą. Pastebėta, kad teigiamą įtaką šiam procesui daro moterys – jos labiau nei vyrai linkusios pasinaudoti Erasmus+ programos galimybėmis, todėl jaunų moterų, merginų pritraukimas į inžinerijos studijas galėtų būti reikšmingas siekiant didinti šios krypties studentų mobilumo bei darbo rinkos aktyvumo rodiklius.

## Literatūra

1. Bendrojo priėmimo rezultatai 2017 m., prieiga per internetą: <http://bakalauras.lamabpo.lt/bendro-priemimo-rezultatai/2017-m/#0>
2. Dienraštis The Guardian, Young, qualified and jobless: plight of Europe's best-educated generation, prieiga per internetą: <https://www.theguardian.com/world/2013/jul/01/jobless-europe-young-qualified>
3. Erasmus Facts, Figures & Trends The European Union support for student and staff exchanges and university cooperation in 2013-2014, European Commission, 2015
4. European Commission, ERASMUS+ The EU programme for education, training, youth and sport (2014–2020), prieiga per internetą: [http://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/about\\_en](http://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/about_en)
5. Europos Audito Rūmai, Specialioji ataskaita Nr. 5/2017, prieiga per internetą: [http://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR17\\_5/SR\\_YOUTH\\_GUARANTEE\\_LT.pdf](http://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR17_5/SR_YOUTH_GUARANTEE_LT.pdf)
6. Europos komisija, 2016 m. Švietimo ir mokymo stebėsenos biuletenis, Švietimas ir mokymas, Lietuva, prieiga per internetą: [https://ec.europa.eu/education/sites/education/files/monitor2016-lt\\_lt.pdf](https://ec.europa.eu/education/sites/education/files/monitor2016-lt_lt.pdf)
7. Europos parlamento ir tarybos reglamentas (ES) Nr. 1288/2013, prieiga per internetą: <http://www.erasmus-plus.lt/uploads/files/eurpos-parlamento-ir-tarybos-reglamentas1288-lt.pdf>
8. Eurostat duomenys, prieiga per internetą: <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&xpcode=tipslm80&language=en>
9. Eurostat duomenys, prieiga per internetą: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/tesem140>
10. Informacinis portalas Jaunimo garantijos, prieiga per internetą: <https://jaunimogarantijos.lt/lt/statistika/49>
11. Jaunimo reikalų departamentas prie Socialinės apsaugos ir darbo ministerijos, Jaunimo situacijos apžvalga 2016 m., prieiga per internetą: <http://www.jrd.lt/uploads/2017/2016%20jaunimo%20situacijos%20apzvalga.pdf>
12. Lietuvos darbo birža, jaunimo darbo centro informacija, prieiga per internetą: [http://www.ldb.lt/jaunimui/statistika/Puslapiai/bed\\_portretas.aspx](http://www.ldb.lt/jaunimui/statistika/Puslapiai/bed_portretas.aspx)
13. LR Statistikos departamento duomenys, prieiga per internetą: [https://osp.stat.gov.lt/documents/10180/259432/Lietuvos\\_jaunimo\\_statistinis\\_portretas.pdf](https://osp.stat.gov.lt/documents/10180/259432/Lietuvos_jaunimo_statistinis_portretas.pdf)
14. LR Švietimo ir mokslo ministerija, Mosta, LIETUVOS ŠVIETIMAS SKAIČIAIS 2016, Studijos, prieiga per internetą: [https://www.smm.lt/uploads/lawacts/docs/609\\_7f0c44639ea84f9fcdfb645c1d80978.pdf](https://www.smm.lt/uploads/lawacts/docs/609_7f0c44639ea84f9fcdfb645c1d80978.pdf)
15. LR Švietimo ir mokslo ministerija, Mosta, Studijų kokybė: suinteresuotųjų šalių požiūris, prieiga per internetą: [http://www.mosta.lt/images/leidiniai/Studiju\\_kokybe\\_suinteresuotuju\\_saliu\\_poziuris\\_Santrauka.pdf](http://www.mosta.lt/images/leidiniai/Studiju_kokybe_suinteresuotuju_saliu_poziuris_Santrauka.pdf) ir Europe Commission, Education and Training Monitor 2016 Executive Summary, prieiga per internetą: [https://ec.europa.eu/education/sites/education/files/monitor2016-summary\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/education/sites/education/files/monitor2016-summary_en.pdf)
16. Pauliukaitė Ž., (2015), Studijų kokybė Lietuvoje: suinteresuotųjų šalių požiūris 2014, MOSTA, prieiga per internetą: [http://www.mosta.lt/images/leidiniai/Studiju\\_kokybe\\_Lietuvoje\\_suinteresuotu\\_saliu\\_poziuris.pdf](http://www.mosta.lt/images/leidiniai/Studiju_kokybe_Lietuvoje_suinteresuotu_saliu_poziuris.pdf)
17. Smarter, greener, more inclusive? INDICATORS TO SUPPORT THE EUROPE 2020 STRATEGY 2017 edition, Statistical book Eurostat, prieiga per internetą: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/8113874/KS-EZ-17-001-EN-N.pdf/c810af1c-0980-4a3b-bfdd-f6aa4d8a004e>
18. Statistisk Sentralbyra Statistics Norway, prieiga per internetą: <http://www.ssb.no/en/utuvh>
19. Švedijos informacinis portalas, prieiga per internetą: <https://sweden.se/society/higher-education-and-research/>

20. Švietimo mainų paramos fondas, „Erasmus+“ studentų ir darbuotojų mobilumo Programos šalyse (KA103) įgyvendinimas Lietuvoje 2015–2016 m. m., prieiga per internetą: <http://erasmus-plius.lt/uploads/files/20152016aukstasismokslaska103.pdf>
21. Švietimo mainų paramos fondas, prieiga per internetą: <http://www.erasmus-plius.lt/puslapis/apie-programa-2>
22. Švietimo mainų paramos fondas, prieiga per internetą: <http://www.erasmus-plius.lt/puslapis/apie-programa-2#documents>
23. Tampere university of applied sciences, prieiga per internetą: <http://www.tamk.fi/web/tamken/most-popular-uas-in-finland>

## **ERASMUS+ IN ENGINEERING AS OPPORTUNITY FOR YOUTH UNEMPLOYMENT SOLUTION**

**Annotation.** The article “Erasmus+ in engineering as opportunity for youth unemployment solution” deals with youth from 16 to 24 years old age employment in the countries of the European Union. The article compares the indicators of Europe countries, analyzes the situation of the youth labor market. According to the data of study programs of the EU countries and the Erasmus + program, the students’ employment and the opportunity to go abroad for study or work abroad are examined, paying special attention to the students of the field of technology and engineering studies.

# STUDENTŲ GEBĖJIMO DIRBTI SAVARANKIŠKAI TYRIMO ANALIZĖ

Kristina Višnevskienė, Janina Janušauskienė, Jolanta Pileckienė

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

**Anotacija.** Kolegijos studijų programų aprašuose numatyta, kad studentai turi parengti daugelio studijuojamų dalykų rašto darbus. Savarankiškų rašto darbų rengimo tikslas – surinkti medžiagą ir ją išanalizuoti pasirinktu aspektu arba papildyti jau žinomus dalykus, išskirti galimą analizės tikslą ir uždavinius. Pirmieji tokio pobūdžio darbai dar negali būti vadinami moksliniais darbais, tačiau juos rengdami studentai įgyja mokslinio darbo rengimo įgūdžių, mokosi rasti savitą rašymo stilių, formuluoti tezes, pateikti analizę. Straipsnyje analizuojamas tikslųjų dalykų savarankiško darbo efektyvumas studijuojant technologijų studijų krypties programas.

**Pagrindinės sąvokos:** savarankiškas darbas, studijų programa, struktūrinis vidurkis, mediana, moda, koreliacinis ryšys.

## Įvadas

Greitai kintančios šiuolaikinės visuomenės sąlygos, mokslo ir technikos pažanga skatina atkreipti dėmesį į būsimo specialisto gebėjimą analizuoti, taikyti turimas žinias naujose situacijose, savarankiškai spręsti iškilusias problemas. Profesinio ugdymo institucijose akcentuojama žmogaus saviraiškos svarba, profesiniai įgūdžiai, darbuotojų asmeninė atsakomybė, asmens kūrybingumas, iniciatyvumas, tvirtos vertybinės nuostatos.

Aukštasis mokslas suteikia galimybę įgyti gebėjimų, būtinų profesinei veiklai. Įgijus bendrųjų gebėjimų galima sklandžiai integruotis į darbo rinką, greičiau įgyti darbo patirties, keisti profesinę kryptį ar darbo pobūdį. Visiems šitiems gebėjimams susiformuoti, jų raidai įtakos turi studentų ir dėstytojų bei gyvenimo aplinkos sąveika, galimybė bendrauti įvairiomis formomis, metodais, priemonėmis [1]. Studentų ir dėstytojų saviraiška grindžiama vienu ir kitų pašaukimo įgyvendinimu, gyvenimo tikslo ir prasmės ieškojimu.

Vadovaujantis Technologijų studijų krypties grupės aprašu (2015), vienas iš siekiamų technologijų studijų krypties grupės studijų rezultatų yra „studentų gebėjimas veiksmingai dirbti savarankiškai ir komandoje, mokėjimas bendrauti su inžinerijos ir technologijų bendruomene bei plačiaja visuomene“ [14]. Tad prioritetiniu strateginiu tikslu tampa studijų kokybės tobulinimas, akcentuojant bendravimą ir bendradarbiavimą, komandinį darbą, kritinio mąstymo svarbą, nes šitie veiksniai yra esminė tolesnių studijų ir sėkmingos karjeros prielaida. Orientuojantis į studento ir (ar) absolvento gebėjimą prisitaikyti prie kintančios aplinkos ir atlikti naujas užduotis, akcentuojami bendrieji gebėjimai: informacijos paieška ir apdorojimas, informacinių technologijų valdymas, problemų sprendimas, analitinis mąstymas. Siekiant studentų savarankiškumo ir aktyvumo studijų laikotarpiu, kaip pagrindinės mokymosi priemonės įvardijama diskusija, bendradarbiavimas su dėstytojais ir kolegomis, gebėjimas mokytis ir dirbti savarankiškai [11].

Lietuvos gimnazijų ir bendrojo lavinimo mokyklų programose daug dėmesio skiriama ugdymo turiniui bei ugdymo metodams, išskiriama ir savarankiško darbo svarba. Šiuolaikinėje visuomenėje atsiradus porei-

kiui mokytis visą gyvenimą, žinių, kurių įgyja būsimi studentai mokykloje, nepakanka. Savarankiškai dirbdami studentai ugdo savarankiškumą, atsakomybę, pasitikėjimą savo jėgomis. Studijos aukštojoje mokykloje iš esmės skiriasi nuo mokymosi bendrojo lavinimo mokyklose, nes reikia daug dirbti savarankiškai. Svarbu ne tik gebėti rasti tinkamą informacijos šaltinių ir juos panaudoti studijuojant, bet ir gautą informaciją analizuoti, apdoroti bei tinkamai pateikti. Taigi savarankiškas darbas svarbus ugdant savarankišką ir aktyvų ugdytinį. Tai viena mokymo procesų tobulinimo kryptis.

**Tyrimo problema** – siekiant profesinių kompetencijų, suteikiančių galimybę kolegijos absolventams sėkmingai dirbti, reikia profesinės patirties ir specifinių įgūdžių, kurie padėtų priimti savarankiškus sprendimus. Tam tikslui pasiekti svarbu išsiaiškinti, kaip pradedantys studijuoti pirmo kurso studentai suvokia savarankiško darbo esmę, sugeba dirbti savarankiškai. Savarankiškas darbas turėtų būti grindžiamas teorinių žinių sąsaja su realiomis situacijoms, taikant aktyvaus ir inovatyvaus mokymosi metodus ir skatinant studentų savarankiškumą, įsitraukimą į mokymosi procesą. Problemos esmė – sėkminga savarankiško darbo integracija į studijų procesą.

**Tyrimo objektas** – studento savarankiškas darbas, jo trukmė ir kokybė koleginiuose studijose.

**Tyrimo tikslas** – atskleisti studentų nuomonę apie savarankiško darbo efektyvumą koleginiuose studijose, pagrįsti savarankiško darbo naudą profesinių kompetencijų ugdymo požiūriu, išsiaiškinti veiksnius, skatinančius studentus savarankiškai dirbti bei mokytis.

### Uždaviniai:

1. Apibrėžti savarankiško darbo sampratą aukštojo mokslo studijose, akcentuoti kolegijai aktualius komponentus.
2. Išskirti pagrindinius veiksnius, lemiančius studentų gebėjimą dirbti bei mokytis savarankiškai.
3. Remiantis anketinės apklausos rezultatais ištirti studentų gebėjimą savarankiškai dirbti.
4. Išsiaiškinti savarankiško darbo įtaką mokymosi rezultatams.

**Tyrimo metodai:** literatūros šaltinių ir teisės aktų analizė, anketinė apklausa, statistinė aprašomoji ir lyginamoji duomenų analizė.

## Savarankiškumo ugdymo pedagoginės prielaidos

Mokslinėje literatūroje pateikiama įvairių savarankiško darbo aukštojoje mokykloje sąvokos interpretacijų ir apibrėžimų. Dažnai studentų savarankiškas darbas interpretuojamas kaip individualaus mokymosi ir savarankiškumo suvokimas atliekant užduotis. Įvairiuose literatūros šaltiniuose neretai aptinkama įvairių sąvokų: „savarankiškas mokymasis“, „savimoka“, „savarankiška veikla“, kuriose taip pat atsispindi studentų savarankiškumo idėja [11]. A. Budrienė ir J. Margelenė plėtojo integruoto savarankiško darbo svarbą mokymosi rezultatams pasiekti. Pasak autorių, integruotas savarankiškas darbas – tai daugelio dėstytojų (specialybės bei bendrųjų dalykų) bendras pedagoginės veiklos rezultatas. Tai darbas, kurį studentas atlieka panaudodamas skirtingus ugdymus gebėjimus, pademonstruodamas įvairių gebėjimų taikymą vienoje situacijoje [3].

Studijų metu plėtojant bendruosius gebėjimus turi būti skatinama savarankiška studentų veikla, kurios raiška – mokėjimas planuoti, taikyti turimas žinias bei kurti naujus veiklos modulius. Studentų savarankiškai veiklai turi įtakos patirtis, atsakomybė, gebėjimas planuoti. Šiuolaikinių teorijų taikymas skatina asmenybės kūrybinių savybių ugdymą, gebėjimą kritiškai vertinti veiklą bei laimėjimus [11].

Aukštojo mokslo studijų sėkmei taip pat turi įtakos studentų gebėjimas mokytis. Mokydamasis mokyti studentas gebės pasitikėti savo jėgomis, kelti prasmingus veiklos tikslus bei kryptingai jų siekti. Anot R. Pocevičienės (2011), mokymuisi mokytis aktualūs šie gebėjimai: analizuoti savo mokymosi procesą; suprasti, kurios asmeninės savybės padeda ir kurios trukdo sėkmingai mokytis; numatyti mokymosi trukdžių ir sunkumų įveikos būdus; planuoti mokymosi laiką; pasirinkti tinkamus mokymosi metodus, priemones, išteklius, numatyti savo mokymosi proceso tobulinimo galimybes ir strategijas. Kaip efektyvų mokymosi mokytis būdą autorė išskiria savarankiško darbo organizavimo ir studentų konsultavimo sistemos sukūrimą mokymo įstaigoje [8].

Apibendrinant galima teigti, kad savarankiškumas yra viena iš pagrindinių profesionalios asmenybės savybių, sudarančių prielaidas žmogui savarankiškai pažinti pasaulį, jame gyventi, dirbti, bendrauti, kurti, tobulinti save. Skiriami keli savarankiškumo lygiai: *reproduktyvus* savarankiškumas, kai dirbama atkuriant turimas žinias, vadovaujantis instrukcijomis, nurodymais ar taisyklėmis; *produktyvus* savarankiškumas, kai naujose situacijose randami kitokie problemų sprendimai, integruojant turimas žinias ir jas papildant; *kūrybiškas* savarankiškumas, kuris būtinas bet kokioje profesinėje veikloje [1]. Būtent trečio lygio, turinčio kūrybiškų bruožų, savarankiškumas labai vertinamas darbo rinkoje, nes tada darbdaviui nereikia skirti papildomų intelektualinių ir materialųjų išteklių tam ti-

kram gamybiniam procesui įgyvendinti. Visa atsakomybė ir proceso atlikimo strategija tenka darbuotojui. Taigi aukštosios, galbūt ir profesinės mokyklos, turi orientuotis į tokios patrauklios darbo rinkai kūrybiškos asmenybės ugdymą.

Organizuojant studijų procesą aukštosiose mokyklose, siūloma keisti tradicinius aiškinamuoju mokymu pagrįstus metodus studentų savarankišką veiklą ugdančiais metodais. Tačiau, anot A. Rutkienės ir I. Tandzegolskienės (2014), aukštos kvalifikacijos specialistai, t. y. dėstytojai, nepasiūlo aiškaus sprendimo, kaip tai padaryti [11]. Lietuvos aukštųjų mokyklų siūlomų studijų programų kokybė – dažnai visuomenėje svarstomas klausimas, aktualus ne tik patiems studentams, bet ir darbo rinkos atstovams, kurie tikisi, jog aukštosios mokyklos parengs kvalifikuotus specialistus. Siekiančios kokybiškos veiklos aukštosios mokyklos priverstos nuolat atnaujinti studijų programas, kurti naujas. Atnaujinat studijų programas svarbiausias dėmesys skiriamas studentų savarankiško darbo planavimui.

G. Žibienienė (2013), apžvelgdama studijų programų atnaujinimą Lietuvoje, pastebi, kad studijų programų rengėjams iškilo nemažai klausimų, kaip planuoti studentų savarankišką darbą. Vienas rimčiausių trūkumų – studijų programose numatyto savarankiško darbo nepakankama dėmė su studijų dalyko ir programos rezultatais. Viena sunkiausių veiklų programos atnaujinantiems asmenims – metodiškai įvardyti, kaip užtikrinti savarankiško darbo sąsajas su dalyko rezultatais, studijų programos rezultatais, parinkti inovatyvius, tikslingus savarankiško darbo metodus“ [16]. Žibienienės studijų programų atnaujinimo Lietuvoje apžvalgoje rekomenduojama dėstytojams, dalykų aprašų rengėjams „nurodyti savarankiško darbo indelį siekiant dalyko ir studijų programos rezultatų, taip pat pateikti išsamią informaciją apie savarankiško darbo paskirtį, turinį, atlikimo terminus, vertinimo kriterijus ir metodus, organizuoti konsultacijas studentams. Rekomenduojama studentams sudaryti galimybes savarankiško darbo užduotis atlikti įvairiais metodais, tinkamais tikslingai pasiekti dalyko, studijų programos rezultatus, derančius su studijų programos turiniu ir procesu bei labiausiai atitinkančius individualius poreikius“ [16].

Apibendrinant tai, kas pasakyta, galima teigti, kad esminio skirtumo tarp universitetinių ir koleginių studijų formos nėra. Universitetinės studijos yra labiau orientuotos į universalų bendrąjį išsilavinimą, teorinį pasirengimą, aukščiausio lygio profesinius gebėjimus, kolegines studijas – į pasirengimą profesinei veiklai. Praktinis mokymas čia sudaro ne mažiau kaip trečdalią studijų programos. Analizuodama studijų programų atnaujinimą Lietuvoje studento savarankiško darbo planavimo aspektu esminio skirtumo tarp koleginių ir universitetinių studijų programų neįžvelgė ir Žibienienė. Autorė pabrėžia, kad skirtumai tarp koleginių ir universitetinių studijų programų tarpinio vertimo

ataskaitų buvo menki [16]. Taigi planuojant studentų savarankišką darbą kolegijoje reikia labiau orientuotis į studentų profesinių kompetencijų ugdymą.

Savarankiškumo ugdymas aktualus praktinio gamybinio mokymo metu. Organizuojant šį procesą savarankiškumas ugdomas parenkant atitinkamus metodus. Tai – savarankiški įvairių technologinių procesų stebėjimai; gamybinių ir techninių uždavinių sprendimas; laboratoriniai, praktiniai darbai; projektai.

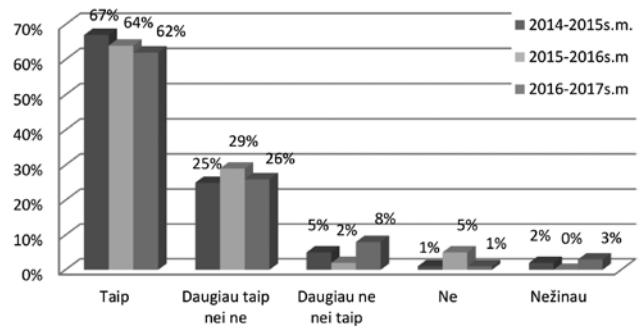
## Tyrimo rezultatai

Siekdami atskleisti studentų savarankiško darbo svarbą Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos (VTDK) Technikos fakulteto dėstytojai pastaruosius keletą metų atlieka pirmo kurso studentų tikslųjų dalykų pasiekimų stebėseną. VTDK Technikos fakultete rengiami technologinės pakraipos specialistai. Studijos vykdomos nuolatine ir ištęstine forma. Neatsižvelgiant į studijų formą, kolegijoje siekiama gerinti ir plėsti studijų kokybę. Svarbūs visi studentai, jiems sudaroma galimybė mokytis, kurti, tobulėti, siekti karjeros. Tačiau dalies studentų, pasirinkusių inžinerines programas, pasirengimas, žinios, gebėjimai, ypač tikslųjų mokslų dalykų (matematikos, fizikos, chemijos), nepakankami [15].

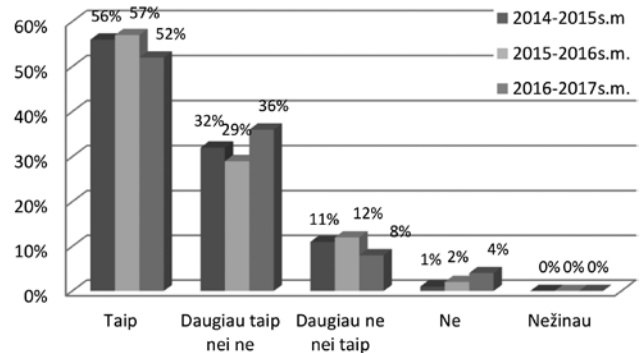
Tikslųjų dalykų dėstytojai atliko tyrimą, kuriuo siekė išsiaiškinti, kaip studentai, studijuojantys matematikos ir chemijos dalykus, vertina savarankišką darbą, ar pasiteisino studentų pasirinkimo studijuoti kolegijoje lūkesčiai, ar studentų savarankiškas darbas daro įtaką studijuojamų dalykų galutiniam vertinimui. Siekiant išsiaiškinti matematikos dalyko savarankiško darbo indėlį, atliktas tyrimas, kuriame dalyvavo pirmo kurso (2014–2015 s. m., 2015–2016 s. m. ir 2016–2017 s. m.) technologijų studijų krypties programų nuolatinų studijų studentai, apklausta per 380 respondentų. Pirmakursiai pasirinkti kaip neseniai baigę mokyklą ir dar nepamiršę mokykloje įgytos mokymo(si) patirties.

Koleginių studijų programose matematikos dalykas priskiriamas studijų krypties dalykams, jo išmokymo lygis turi didelės įtakos tolesnėms studijoms. VTDK Technikos fakulteto technologijų studijų krypties programose matematikos dalykui skirti 6 kreditai. Vienas iš tyrimo uždavinių – išsiaiškinti, kaip patys studentai vertina matematikos dalykui skiriamų kontaktinių valandų skaičių. Apklausos analizė patvirtino, kad studentams matematikos dalykui skirtų kontaktinių valandų pakanka (apie 70% studentų 2014–2015s.m. ir apie 60% studentų kitais studijų metais) (1 pav.).

Kalbant apie studijų kokybę ir siekį plėtoti studentų kūrybišką savarankiškumą aktuali ir dėstytojo pozicija, kurią jis parodo dirbdamas ir bendraudamas su studentais. Daug dėmesio reikalauja studijų proceso vidiniai veiksniai. Vienas iš tokių studijų proceso sudėdųjų yra dalyko temų nuoseklumas ir išsidėstymas.



1 pav. Matematikos dalyko kontaktinių valandų pasiskirstymas

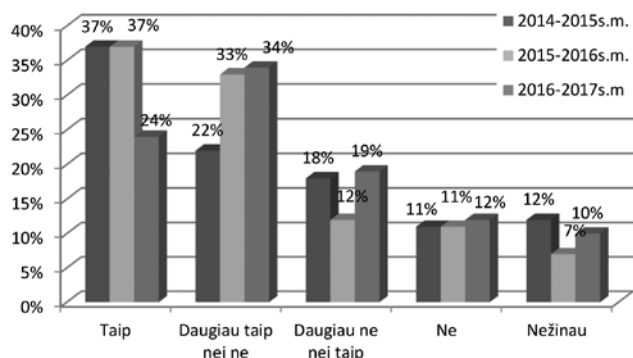


2 pav. Matematikos dalyko temų nuoseklumas

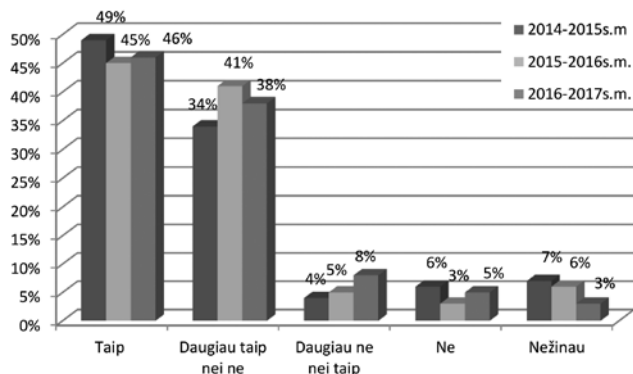
Studentų nuomone, matematikos dalyko temos yra nuoseklios (apie 60% apklaustųjų), trečdalis studentų atsakė „daugiau taip nei ne“, ir tik 1% 2014–2015 s. m., 2% 2015–2016 s. m. ir 4% 2016–2017 s. m. nepatenkinti matematikos dalyko temų nuoseklumu (2 pav.).

Norintys sėkmingai įsitvirtinti darbo rinkoje būsimi kolegijos absolventai turi gebėti teorines žinias taikyti praktikoje. Darbdaviai neretai apibūdina absolventus kaip turinčius daug teorinių žinių, tačiau nemokančius šių žinių taikyti praktiškai [10]. Tyrimu buvo siekiama išsiaiškinti, kaip patys studentai vertina savo gebėjimus teorines žinias taikyti praktikoje. Apklausoje dalyvavusių studentų nuomonės šiuo klausimu išsiskyrė. Vidutiniškai apie 50% apklaustųjų įsitikinę kad sėkmingai taikys įgytas kolegijoje matematikos žinias praktinėje veikloje, tačiau trečdalis studentų pasirinko neigiamą atsakymą.

Organizuojant studentų savarankišką darbą, svarbūs studijų metu taikomi mokymo(si) metodai ir priemonės. Mokymo(si) metodo pasirinkimą lemia dėstytojo ir studento bendravimo ir bendradarbiavimo samprata. Į skirtingus mokymo(si) metodus gali būti žiūrima kaip į tam tikrus veiksnius, kuriais mažinamas dėstytojo ir didinamas studento indėlis. Reikia diegti probleminio mokymo, patirtinio mokymo strategijas [7], o studentų atliekamas savarankiškas darbas turi remtis aktyvia veikla, patirtimi, atsakomybe. Taigi reikšmingi studentų veiklą aktyvinantys ir savarankiškumą skatinantys metodai – ilgalaikės užduotys (projektai), grupinis darbas, diskusijos. Metodų įvairovę patvirtina ir tyrimo dalyvavę VTDK studentai. Didėnė dalis apklaustųjų (daugiau kaip 80%) tvirtina, kad



3 pav. Matematikos dalyko žinių taikymas praktikoje



4 pav. Mokymo(si) metodų, taikomų mokant matematikos, palyginimas

mokant matematikos dalyko kolegijoje taikomi įvairūs mokymo(si) metodai.

Norint išsiaiškinti studentų gebėjimą veikti savarankiškai, svarbu žinoti, kaip studentai patys vertina savarankiško darbo svarbą (1 lentelė). Studentams buvo pateikti keli teiginiai, apibūdinantys savarankišką darbą, kaip reikšmingą mokymosi proceso priemonę. Matematikos dalyko apraše savarankiškas darbas sudaro 43,75% visų valandų. Dauguma pirmakursių tiek 2014–2015 s. m. (83%), tiek 2015–2016 s. m. (89%) ir 2016–2017 s. m. (83%) teigia, kad valandų skaičius yra pakankamas matematikos savarankiškam darbui atlikti. Taip pat studentai tvirtina, kad savarankiškas darbas padėjo jiems išmokti dalyko medžiagą.

Kolegijoje matematikos savarankiškam darbui atlikti naudojami grupinio darbo metodai. Grupinio darbo metodas svarbus mažinant dėstytojo ir didinant studentų indėlį. Svarbu, kad kiekvienas grupės dalyvis sugebėtų įsitraukti į darbą. Be to, būtent grupinio darbo metu dalyviai geriausiai pažįsta vienas kitą, turi

galimybę bendrauti ir bendradarbiauti. Savarankiška veikla taip pat apima gebėjimą savarankiškai organizuoti ir valdyti patį mokymosi procesą, stebėti, reflektuoti, įsivertinti savo veiklos pažangą. Atlikto tyrimo duomenimis, VTDK pirmo kurso studentai patenkinti savarankiško darbo organizavimu (1 lentelė).

Apibūdinant savarankišką studentų veiklą reikia aptarti ilgalaikes užduotis (projektus), kuriuos studentai atlieka beveik visą pirmą semestrą. Studijuojant suteikiama galimybė ilgalaikę užduotį atlikti savarankiškai, patiems ieškoti atsakymų. 2 lentelėje pateikta matematikos dalyko savarankiško darbo ilgalaikių užduočių pavyzdžių. Užduotys atitinka matematikos dalyko aprašo tematiką, yra integruotos į kitus dalykus, siekiant ugdyti studentų gebėjimą taikyti skirtingų dalykų žinias. Dėstytojo vaidmuo šiame procese – iniciatoriaus ir patarėjo. Atlikę užduotį, įgyvendinę projektą, studentai turi galimybę pristatyti savo darbą kolegoms, tai padeda jiems labiau atsiskleisti, įgyti patirties, diskutuoti, pasakyti savo nuomonę, atskleisti savo įsitikinimus nebijant kritikos. Tą teigia ir patys studentai tyrimo metu.

Šiuolaikinėje studijų sistemoje studijų sėkmei turi įtakos studentų gebėjimas mokytis. Vienas svarbių tokio proceso komponentų yra gebėjimas naudotis ir valdyti informaciją. Svarbu mokėti rasti tinkamus ir patikimus informacijos šaltinius, atrinkti reikiamą medžiagą, ją tvarkyti, susieti ir pan. Kaip tyrime dalyvavę studentai sugeba rasti informaciją žr. 3 lentelėje.

Pirmo kurso studentai matematikos savarankišką darbą atlieka naudodamiesi tiek internetiniais ir bibliotekoje esamais šaltiniais, tiek dėstytojo paskaitų užrašais, konsultuojasi su dėstytoju. Renkantis internetinius šaltinius, svarbu atrasti kokybiškus ir patikimus tinklapius. Tačiau, kaip rodo praktika, internete yra daug nepatikimos ir nepatikrintos informacijos, o pačių studentų teigimu, jie ne visada geba tai įvertinti. Renkantis informaciją, reikia naudotis naujausiais šaltiniais, t. y. straipsniais moksliniuose žurnaluose, vadovėliais bei knygomis. Kiek studentų naudojami internetiniai, o kiek bibliotekoje esamais šaltiniais, tyrimu neišsiaiškinta. Paskaitų užrašai taip pat nėra prastas mokymosi šaltinio pasirinkimas, čia svarbus studento dalykinių ir didaktinių kompetencijų lygmuo (3 lentelė).

Dėstytojas, kaip patarėjas ir konsultantas, taip pat svarbus, jis kuria studentų konsultavimo sistemą ugdymo bei mokymo įstaigoje. Tai apima ne tik tiesioginį

1 lentelė. Studentų gebėjimas dirbti savarankiškai

Teiginys	2014–2015 s. m.		2015–2016 s. m.		2016–2017 s. m.	
	Teigiami pasisakymai	Neturintys nuomonės	Teigiami pasisakymai	Neturintys nuomonės	Teigiami pasisakymai	Neturintys nuomonės
1. Valandų skaičius pakankamas savarankiškam darbui atlikti	124 (83%)	5 (3%)	116 (89%)	0	88(83%)	3(3%)
2. Savarankiškas darbas padėjo išmokti	123 (82%)	5 (3%)	120 (92%)	0	78(74%)	7(7%)
3. Savarankiškas darbas patenkino mano lūkesčius	116 (77%)	11 (7%)	112 (86%)	4 (3%)	77(73%)	4(4%)
4. Savarankiško darbo pristatymas padėjo man, kaip asmenybei, atsiskleisti	74 (49%)	18 (12%)	95 (73%)	13 (10%)	56(53%)	9(9%)

2 lentelė. Matematikos dalyko savarankiško darbo temos

Matematikos dalyko temos	Savarankiško darbo temos
Tiesinė algebra. Optimalaus planavimo uždavinių sprendimas	Išmanaus namo optimalaus gamybos plano sudarymas
	Radijo bangomis valdomų lėktuvų optimalaus gamybos plano sudarymas
	Robotinės vėjapjovės optimalaus gamybos plano sudarymas
	Alternatyvus šilumos tiekimas daugiabutyje
	Tiesioginio pjezoelektrinio efekto taikymas (energijai surinkti iš aplinkos)
	Vėjo jėgatinės įrengimas
	Automobilio darbinio tūrio skaičiavimas
	Energijos kaupikliai. Ekologiškesnis automobilis
Kompleksiniai skaičiai	Sudėtingos grandinės analizė kontūrų srovių metodu
	Įtampos elektros grandinėse skaičiavimas
Diferencialinis skaičiavimas	Gyvenimiškos situacijos sprendimas, pasitelkiant išvestines
	Išvestinių taikymas praktikoje
	Ekstremumai Migdolų gyvenvietėje
Integralinis skaičiavimas	Jėgos atlikto darbo skaičiavimas
	Darbo, atliekamo keliant krovinį, skaičiavimas
	Skysčio slėgio jėgos skaičiavimas

3 lentelė. Naudojimas informacijos šaltiniais

	2014–2015 s. m.		2015–2016 s. m.		2016–2017 s. m.	
	Studentų skaičius	Procentai	Studentų skaičius	Procentai	Studentų skaičius	Procentai
Naudojasi internetiniais ir bibliotekoje esamais šaltiniais	90	69%	120	80%	86	81%
Naudojasi dėstytojo konsultacijomis, paskaitų užrašais	79	61%	117	78%	79	75%

4 lentelė. Savarankiško darbo įtaka galutiniam dalyko pažymiui

Metai Studijų programa	2014–2015 s.m.		2015–2016 s.m.		2016–2017 s.m.	
	Savarankiško darbo pažymys	Galutinis dalyko pažymys	Savarankiško darbo pažymys	Galutinis dalyko pažymys	Savarankiško darbo pažymys	Galutinis dalyko pažymys
AT*	7,1	6,8	6,6	6,8	7,1	7,4
AE*	8,0	7,1	6,2	6,4	7,7	7,1
MT*	7,3	7,0	7,8	6,5	9,3	8,4

\*AT– Automobilių techninio eksploatavimo studijų programa; \*AE– Automobilių elektronikos sistemų studijų programa; \*MT – Mechaninių technologijų inžinerijos studijų programa.

studentų konsultavimą pagal sudarytą tvarkaraštį, bet ir konsultavimo sistemą virtualioje erdvėje, taip sukuriama prielaida teikiamų konsultacijų ir akademinės paramos kokybei gerinti. Tokių konsultacijų metu studentai galėtų gauti įvairių rekomendacijų bei naudingų nuorodų, pvz. apie savarankiško darbo pristatymą bei įforminimą, literatūros šaltinius ir pan. Dėstytoji taip pat svarbu žinoti, kaip jis gali suaktyvinti studentą, kokių klausimų reikia pateikti. Konsultacijos turinys virtualioje aplinkoje gali būti pateiktas įvairia forma: pristatymais, straipsnio kopijomis, testais, bibliografinėmis nuorodomis. Visa tai sudaro puikias galimybes studentui ir dėstytoji rinktis patikimą informaciją.

Skatinant studentų savarankiškumą svarbu, kad studijų tikslai ir rezultatai sutaptų su asmeniniais studentų interesais. Studentai turi būti skatinami mokytis ir veikti savarankiškai. Vienas tokių savarankiškumą skatinančių ir studentus savarankiškai dirbti motyvuojančių veiksmų galėtų būti lankstus vertinimo sistemos

sukūrimas aukštojoje mokykloje. Studentai semestro pradžioje turi būti supažindinti su studijų rezultatų vertinimo tvarka, dalyko programa, tikslais, studijų rezultatais, dėstomųjų dalykų studijų rezultatų vertinimo struktūra, savarankiško darbo, kaip tarpinio atsisakymo komponento, vertinimo kriterijais, žinoti, kokią įtaką savarankiškas darbas turi galutiniam dalyko pažymiui. Kolegijoje matematikos dalyko savarankiškas darbas sudaro 20% galutinio pažymio. Iš 4 lentelėje pateiktos informacijos matyti, kad savarankiško darbo pažymių vidurkiai ir galutinių pažymių vidurkiai technologijų studijų krypties programose daugeliu atveju sutampa.

Nagrinėjant savarankiškų darbų atlikimą ir įvertinimą, jų ryšį su galutiniais pažymiais 2014–2015 s. m., 2015–2016 s. m. ir 2016–2017 s. m., buvo ištirti penkių AT grupių, keturių AE ir dviejų MT grupių studijų programų rezultatai (4 lentelė). Pasinaudoję statistinės analizės metodais, apskaičiavome struktūrinius vidur-

kius – medianą ir modą, kurios tiksliau apibūdina vertinimo rezultatus (mediana – vidurinė ūginės statistinės eilutės narė, dalijanti ją į dvi lygias dalis, moda – dažniausiai pasikartojanti požymio reikšmė tiriamojame visumoje (populiacijoje ar imtyje) [15].

2014–2015 s. m. bendras galutinio įvertinimo vidurkis buvo 7,01, aukščiausias – 7,33 MT studijų programoje, žemiausias – 6,48 vienoje iš AT studijų programos grupių. Mediana visose grupėse buvo vienoda – 7, vadinasi, pusė studentų gavo mažiau negu 7, o kita pusė – daugiau arba lygiai 7. Moda (t. y. „populiariausias pažymys“) galutinio pažymio – {7;8}. Savarankiško darbo 2014–2015 s. m. neatliko 16% studentų. Mediana savarankiško darbo pažymių AE studijų programoje lygi 8, AT – 7, o MT – tik 5. Moda AE grupėse – {8}, AT grupėse – {6}, {7}, {8;5;9}, MT studijų programoje – {5}. Išanalizavus tyrimo rezultatus, galima teigti, kad tarp savarankiško darbo ir galutinių vertinimo pažymių egzistuoja stiprus koreliacinis ryšys (*koreliacija – reiškinų savitarpio ryšys, jeigu vienas iš jų yra priežastis, kuri nulemia kitus arba yra bendri veiksniai, darantys įtaką tiems reiškiniams. Koreliacijos koeficientas – skaičius tarp -1 ir +1*). 2014–2015 s. m. koreliacijos koeficientas lygus 0,77, vadinasi, egzistuoja gana stiprus ryšys tarp savarankiško darbo gauto įvertinimo ir galutinio dalyko pažymio.

2015–2016 s. m. bendras galutinio įvertinimo vidurkis buvo 6,56, t. y. mažesnis negu praeitais studijų metais. Visų specialybių bendras galutinio įvertinimo vidurkis buvo beveik vienodas. Bendra galutinio įvertinimo mediana lygi 7 (kaip ir praeitais metais), o moda („populiariausias pažymys“) – {5}. Savarankiško darbo 2015–2016 s. m. neatliko 22,5% studentų, o tai viena iš priežasčių, kodėl galutinis pažymys yra žemesnis negu praeitais studijų metais. Savarankiško darbo įvertinimo vidurkliai skiriasi: AT – 6,6; AE – 6,2; MT – 7,8 (4 lentelė). Ypač skiriasi AE specialybės 2015–2016 s. m. vidurkis (6,2) nuo praeitų 2014–2015 s. m. vidurkio (8). Bendra savarankiško darbo mediana lygi 6, o moda – {5}. Šitie rodikliai yra panašūs tam tikrose gru-

pėse. Koreliacijos koeficientas tarp savarankiško darbo ir galutinio pažymio 2015–2016 s. m. yra lygus 0,75. Daugiausiai koreliuoja pažymiai 2015–2016 s. m. MT grupėje, koeficientas lygus 0,89. Vadinasi, savarankiško darbo įvertinimas turėjo didelę įtaką galutiniam pažymiui. Mažiausia koreliacija buvo vienoje AE grupėje, tik 0,45. Šioje grupėje nėra aukšti ir kiti savarankiško darbo rodikliai (mediana – 5, moda – {5}). Vadinasi, galutiniam dalyko pažymiui didesnę įtaką turėjo kontrolinio darbo ir egzamino įvertinimai. Galutinis šios grupės vidurkis yra 6,7, jis mažai skiriasi nuo bendro vidurkio.

2016–2017 s. m. bendras galutinio įvertinimo vidurkis buvo 7,35, galutinio įvertinimo mediana lygi 7 (kaip ir kitais metais), o moda („populiariausias pažymys“) – {8} (2015–2016 studijų metais – {5}). Savarankiško darbo 2016–2017 s. m. neatliko 18% studentų. Bendra savarankiško darbo mediana lygi 8, moda – {8}. Koreliacijos koeficientas tarp savarankiško darbo ir galutinio pažymio 2016–2017 s. m. yra lygus 0,67 (5 lentelė).

Studijuodami kolegijoje studentai rengia nemažai įvairių savarankiškų rašto darbų. Paprastai tai yra tezės, kursiniai, projektiniai darbai, esė, referatai, pranešimai, dokumentinės ataskaitos ir, žinoma, baigiamieji darbai. Atlikdami šiuos darbus studentai gali tyrinėti su būsima profesine veikla susijusius reiškinius, susipažinti su mokslinio darbo rengimo reikalavimais. Tyrimu nustatyta, kad chemijos dalyko savarankiškas darbas pirmo kurso studentams taip pat yra labai svarbus: kaip įsivertinimo kriterijus; turi įtakos galutiniam dalyko rezultatui, studentų įgūdžiams. Kadangi daugelis mokinių mokykloje nepasirinkdavo chemijos dalyko, dažniausiai pirmo kurso studentų žinių lygis nebuvo aukštas. Chemijos dalyko apraše savarankiškas darbas sudaro 47,5% visų valandų, kaip ir matematikos dalykas. Analizuojant chemijos dalyko savarankiško darbo indėlį, buvo apklausti 103 įvairių technologijų studijų krypties pirmo kurso nuolatinių ir išėstinių studijų programų studentai. Tyrimu nustatyta, kad valan-

5 lentelė. 2016–2017 s. m. statistinės analizės duomenys

Studijų programa	Vidurkis		Moda		Mediana		Koreliacija
	Savarankiško darbo pažymys	Galutinis dalyko pažymys	Savarankiško darbo pažymys	Galutinis dalyko pažymys	Savarankiško darbo pažymys	Galutinis dalyko pažymys	
AT	7,1	7,4	7	8	7	8	0,65
AE	7,7	7,1	8	8	8	7	0,68
MT	9,3	8,4	10	9	10	9	0,61
Bendras	7,57	7,35	8	8	8	7	0,67

6 lentelė. Studentų gebėjimas dirbti savarankiškai studijuojant chemijos dalyką

Teiginys	2016–2017 s. m.	
	Teigiami pasisakymai	Neturintys nuomonės
Valandų skaičius pakankamas savarankiškam darbui atlikti	103 (100%)	0
Savarankiškas darbas padėjo išmokyti dalyko medžiagą	94 (91%)	0
Savarankiškas darbas atitiko mano lūkesčius	100 (97%)	3 (3%)
Savarankiškas darbas padeda pasiruošti baigiamajam darbui	90 (87%)	13 (13%)



dų skaičius pakankamas savarankiškam darbui atlikti, savarankiškas darbas padėjo išmokti dalyko medžiagą, atitiko studentų lūkesčius. Dauguma studentų mano, kad savarankiškas darbas padės tinkamai pasiruošti baigiamajam projektui (6 lentelė).

Respondentų nuomone, atliekant chemijos dalyko savarankišką darbą lavinami tinkamo citavimo, savų minčių formulavimo bei pateikimo įgūdžiai. Analizuojant studentų anketas, buvo pabrėžti trys savarankiško darbo privalumai: 1) tenka studijuoti, analizuoti daug literatūros (lankyti bibliotekoje, naudoti Moodle aplinką); 2) analizuoti įvairius dokumentus (vadovautis rašto darbų rengimo metodinėmis rekomendacijomis); 3) tobulinami darbo kompiuteriu įgūdžiai. Taigi savarankišką veiklą kolegijoje galima vertinti kaip studentų galimybę planuoti mokymąsi, koreguoti mokymosi rezultatus, derinant turimas ir įgytas žinias. Veiksniai, skatinantys savarankiškumą, priklauso nuo pačių studentų motyvacijos ir atsakomybės.

## Išvados

1. Viena pagrindinių studentų rengimo profesinei veiklai grandžių yra kokybiškai atliktas ir laiku apgintas savarankiškas darbas. Atlikdami savarankišką darbą studentai ugdo profesines kompetencijas, mokydami tinkamai planuoti ir organizuoti, vadovauti ir kontroliuoti. Planavimo kompetencijos atskleidžiamos, kai reikia savarankiškai suplanuoti darbo užduoties laiką, turinį. Organizavimo kompetencijos ugdomos dirbant komandoje su kolegomis, kontrolės kompetencijos – vertinat save, atliktą darbą.
2. Savarankiškumas yra viena pagrindinių profesionalios asmenybės savybių. Tą pripažįsta ir tyrime dalyvavę studentai. Apie 77% 2014–2015 s. m. ir 2016–2017 s. m., net 86% 2015–2016 s. m. pirmo kurso studentų patenkinti savarankiško darbo organizavimu kolegijoje, kiek mažiau (49% 2014–2015 s. m., 73% 2015–2016 s. m., ir 53% 2016–2017 s. m.) teigia, kad matematikos dalyko savarankiško darbo pristatymas padėjo jiems atsiskleisti kaip asmenybėms. Tai rodo mokymo institucijos siekį labiau individualizuoti į studentą orientuotas studijas, kas atitinka Europos aukštojo mokslo rekomendacijas.
3. Išanalizavus trejų studijų metų studentų matematikos dalyko rezultatus matyti stiprus koreliacinis ryšys tarp savarankiško darbo pažymio ir dalyko galutinio įvertinimo pažymio (2014–2015 s. m.  $r = 0,77$ , 2015–2016 s. m.  $r = 0,75$ , 2016–2017 s. m.  $r = 0,67$ ). Laiku ir kokybiškai atliktas savarankiškas darbas turi įtakos studento mokymosi rezultatams. Jeigu studentas neatliko savarankiško darbo arba gavo neaukštą įvertinimą, didelė tikimybė jam nepasiekti puikaus studijų rezultatų lygmenų.

## Literatūra

1. Adamonienė, R; Daukilas, S; Krikščiūnas, B; Maknienė, I; Palujanskienė, A. *Profesinio ugdymo pagrindai*. Vilnius, 2001.
2. *Auštojo mokslo kokybės užtikrinimo nuostatos*. Kaunas: Technologija, 2007
3. Budrienė, A; Margelienė, J. Integruoto savarankiško darbo svarba mokymosi rezultatų pasiekimo pagrindimui. *Studijos šiuolaikinėje visuomenėje*, Šiauliai, 2011, p. 33–37.
4. Kontvainas, R. Studentų savarankiškas darbas kaip vienas iš profesinio parengimo kokybės veiksnių. *Geografija ir edukacija*, 2013, Nr. 1, p. 88–94.
5. Løonstrup, B. *Suaugusiųjų mokymas – lanksčiai ir atvirai*. Kaunas: Kauno aukštesniosios technologijos mokyklos leidybos centras, 1998.
6. Mažionienė, A. *Savarankiško darbo įtaka socialinės pedagogikos studijų programų studentų vadybinių kompetencijų ugdymui/si* [žiūrėta 2017 m. gegužės 4 d.] Prieiga internetu: <<http://journals.ku.lt/index.php/tiltai/article/view/783/pdf>>
7. Mažionienė, A; Pranckevičiūtė, V. Savarankiško darbo bruožai šiuolaikinėje aukštojo mokslo studijose. *Studijos šiuolaikinėje visuomenėje*, 2014, Nr. 5(1), Šiauliai, p. 33–41.
8. Pocevičienė, R. *Mokymosi mokyti kompetencija kaip būtina studentų savarankiško darbo kokybės sąlyga* [žiūrėta 2017 m. birželio 20 d.] Prieiga internetu: <[http://old.su.lt/bylos/studijos/Darbuot/kval\\_kelim/pocevicienne\\_mokymosi\\_mokyti\\_kompetencija\\_straipsnis\\_2014.pdf](http://old.su.lt/bylos/studijos/Darbuot/kval_kelim/pocevicienne_mokymosi_mokyti_kompetencija_straipsnis_2014.pdf)>
9. Rupšienė, L; Mažionienė, A. *Savarankiškas darbas auštojoje mokykloje socialinio pedagogo vadybinių kompetencijų ugdymo požiūriu: studentų nuomonė* [žiūrėta 2017 m. birželio 20 d.] Prieiga internetu: <<http://web.aebsohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=82068e59-de7f-4eec-934c-f3426f36cd3b%40sessionmgr4005&vid=0&hid=4212>>
10. Rutkienė, A; Tandzegolskienė, I. *Gebėjimo veikti savarankiškai raiška universitetinių studijų metu (socialinių mokslų srities atvejis)* [žiūrėta 2017 m. birželio 20 d.] Prieiga internetu: <<http://www.vu.lt/leidyba/lt/component/k2/item/2514-gebėjimo-veikti-savarankiskai-raiska-universitetiniu-studiju-metu-socialiniu-mokslu-srities-atvejis>>
11. Rutkienė, A; Tandzegolskienė, I. *Studentų savarankiškumo skatinimas studijuojant universitete*. Kaunas: Versus aureus, Vytauto Didžiojo universitetas, 2014.
12. Šalkauskis, S. *Raštai. VII tomas*. Parengė Arūnas Sverdiolas. Vilnius, 2005
13. Šernas, V. *Profesinės veiklos didaktika*. Vilnius, 1998.
14. Technologijų studijų kryptų grupės aprašas [interaktyvus] [žiūrėta 2017 m. birželio 20 d.] Prieiga internetu: <<https://www.etar.lt/portal/lt/legalAct/bd7322304cbc11e5b0f2b883009b2d06>>
15. Višnevskienė, K; Janušauskienė, J; Pileckienė, J. Studento savarankiško darbo įtaka profesiniam pasirėngimu. *Veslas-Studijos- Mokslas 2016*. 2016, Rietavas, p. 31–39.
16. Višnevskienė, K; Lukočienė, V; Janušauskienė, J. Pirmo kurso studentų nubyrėjimo priežastys ir papildomų studijų poreikio analizė. *Technologijos ir menas*, 2014, Nr. 5, Vilnius, p. 26–31.
17. Žibienienė, G. *Studijų programų atnaujinimo Lietuvoje apžvalga: studentų savarankiško darbo planavimas* [žiūrėta 2017 m. birželio 20 d.] Prieiga internetu: <[http://skktg.vdu.lt/downloads/AMK\\_Nr.10\\_99-122.pdf](http://skktg.vdu.lt/downloads/AMK_Nr.10_99-122.pdf)>

## ANALYSIS OF STUDENT INDIVIDUAL WORK

**Kristina Višnevskienė, Janina Janušauskienė,  
Jolanta Pileckienė**

*Vilnius College of Technologies and Design*

**Abstract.** College syllabus requires students to write individual papers for most of the courses. The purpose the aim of individual papers is to collect relevant information and analyse it using individual approach; or

to complement already known subjects; or to suggest aim and objectives for further research. First of that kind student papers cannot be called research papers but they help to find out individual writing style, they also help to formulate hypotheses based on the main theoretical reasoning's that are related to a topic of an individual paper. This paper analyses the effectiveness of student individual papers written for exact subjects within technological studies programmes.

**Keywords:** individual work, study programme, structural average, median, mode, correlation.

# PRIEDŲ ĮTAKOS TEPALŲ DARBINĖMS CHARAKTERISTIKOMS TYRIMAI

Audrius Čereška

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Basanavičiaus g. 28, LT-03224 Vilnius, audrius.cereska@vgtu.lt  
Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

**Anotacija.** Su trintimi susieta viena svarbiausių šiuolaikinių problemų – mašinų ir jų mechanizmų dilimas. Dėl dilimo mažėja vidaus degimo variklio galia, didėja kuro sąnaudos. Didinant transporto priemonių ilgaamžiškumą bei ilginant laikotarpį tarp tepalų keitimų, svarbi tepimo kokybė. Dažnai nesutariama dėl tepalų tribologinių savybių ir ar tikslinga dėti į juos priedų. Dauguma tyrėjų sprendžia efektyvių tepalų kūrimo problemas ir mažai dėmesio skiria priedų tyrimams. Vienas iš trinties nuostolių mažinimo ir variklio išteklių didinimo būdų yra tepalo tribologinių savybių tyrimai.

**Pagrindinės sąvokos:** tepalas, trintis, priedas, tribologija, charakteristika.

## Įvadas

Visų mašinų mechanizmus veikia didelis slėgis ir slydimo greitis, aukšta temperatūra, kartais nepalanki aplinka.

Su trintimi susieta viena svarbiausių šiuolaikinių problemų – mašinų ir jų mechanizmų dilimas [11]. Dėl dilimo mažėja vidaus degimo variklio galia, didėja kuro sąnaudos. Vienas iš trinties nuostolių mažinimo ir variklio darbo išteklių didinimo būdų yra geras tepimo savybes užtikrinančių tepalų naudojimas.

Pagrindinė tepalų paskirtis – sumažinti detalių trintį. Be to, tepalas detales aušina, sandarina, apsaugo nuo korozijos, nuplauna dilimo produktus. Tepalai parenkami taip, kad atitiktų besitrinančių detalių darbo sąlygas. Kadangi tos sąlygos labai įvairios, gaminamų tepalų asortimentas didelis.

Tepalai pagal žaliavos rūšį skirstomi į mineralinius, organinius, pusiau sintetinius ir sintetinius [3].

Atsižvelgiant į aplinkos temperatūrą tepalai skirstomi į sezoninius ir visasezoninius. Atskirą grupę sudaro šiauriniuose rajonuose naudojami tepalai.

Pagal funkcinę paskirtį tepalai skirstomi į darbinus, konservacinius darbinus, darbinus konservacinius.

Taip pat tepalai klasifikuojami pagal klampumą ir eksploatacines savybes kiekvienoje šalyje skirtingai.

Pagal bazinių komponentų rūšį variklio tepalai būna mineraliniai, pusiau sintetiniai ir sintetiniai [1].

Mineraliniai tepalai gaminami iš naftos. Tai dažniausiai naudojami tepalai. Sintetiniai tepalai gaunami sintezės būdu. Jų eksploatacinės savybės geros, taigi ateityje tokie tepalai gali pakeisti tepalus iš naftos.

Norint pagaminti kokybiškus tepalus, reikia turėti gerus bazinius tepalus, efektyvius priedus. Variklių alyvose priedai sudaro nuo 8 iki 12%. Priedų koncentracijos didinimas brangina tepalus, bet tai ekonomiškai naudinga, nes rečiau keičiant mažiau jų reikia.

Pagal paskirtį priedai būna antioksidaciniai, plaunamieji, disperguojamieji, dilimo, skiriamieji, antifrikciniai, klampuminiai, depresiniai, antikoroziniai, apsauginiai, putiniai.

Į automobilių variklių tepalus įmaišomi priedai

skirstomi į įvažinėjimo, eksploatacinius ir atstatomuosius.

Pagal funkcijų skaičių priedai skirstomi į vienfunkcinius, daugiafunkcinius ir kompozicinius.

Priedai pagal veikimo mechanizmą yra paviršinio aktyvumo, chemiškai aktyvūs ir netirpūs priedai.

Pagal funkcinės savybės priedai skirstomi į mažinančius dilimą, apsaugančius nuo užstrigimo ir antifrikcinius priedus.

Apie tiriamų tepalų savybes galima spręsti iš medžiagų trinties ir nusidėvėjimo savybių [2].

Didinant mašinų ir mechanizmų ilgaamžiškumą bei ilginant laikotarpį tarp tepalų keitimų, svarbi tepimo kokybė. Dažnai nesutariama dėl sintetinių tepalų tribologinių savybių ir ar tikslinga dėti į juos priedų. Dauguma tyrėjų sprendžia efektyvių tepalų kūrimo problemas ir mažai dėmesio skiria priedams.

Darbuose [4-8, 10] tiriamos tepalų tribologinės savybės.

Didelę įtaką trinties nuostoliams daro tepalo pokyčiai dėl temperatūros. Kylant temperatūrai mažėjantis tepalo klampis išspaudžiamas iš darbinio paviršiaus. Tuomet priartėjama prie kritinės tepalo sluoksnio ribos, kuri būtina normaliam trinties poros darbui. Be to, keičiantis tepalo temperatūrai kinta jo vidinė struktūra. Taigi visiškai aišku, kad kuo tolydžiau tepalo temperatūra kils ir kuo mažiau pakils, tuo geresnė bus tepimo kokybė, padidės tepalo ilgaamžiškumas ir t. t. [9].

Mokslo ir technikos raida atskleidė, kad ilgalaikės mašinos gali būti sukurtos tik sėkmingai išsprendus teorines ir praktines trinties, dilimo ir tepimo problemas, t. y. tribologijos problemas.

Tepimo medžiagos visą laiką tobulinamos ir į rinką patenka vis naujų produktų, todėl turi būti nuolat atliekami tepalų tribologinių savybių tyrimai. Jų rezultatai gali padėti spręsti mašinų ir mechanizmų dilimo ir darbo išteklių didinimo problemas.

**Straipsnio objektas** – tepalas, maišytas su skirtingais priedais.

**Straipsnio tikslas** – nustatyti, kokią įtaką tepalo darbinėms charakteristikoms daro priedai.

**Uždaviniai:**

1. Tepalo su priedais trinties nuostolių priklausomybės nuo apkrovos tyrimas.
2. Tepalo su priedais temperatūros pokyčių priklausomybės nuo laiko tyrimas.

**Tyrimų objektas**

Tyrimų objektas – sintetinis tepalas su priedais.

Tyrimams buvo naudotas sintetinis tepalas 10W40, kurio klampis – 3500 Mpas, kai temperatūra 30°C, ir kinetinis klampis 12,5–16,3 mm<sup>2</sup>/s, kai temperatūra 100°C. Tepalo ribinė eksploatacinė temperatūra – 25°C, užšalimo temperatūra – 30°C. Tyrimams naudoti tepalų priedai užkoduoti: X1, X2, X3, X4, X5 ir X6. Eksperimento metu buvo pasirinktas 100 ml sintetinio tepalo su jame įmaišytu atitinkamu kiekiu tepalo priedo. Priedų koncentracija pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė. Eksperimentams naudoti tepalų priedai sintetiniame tepale

Priedas	Koncentracija, %
X1	12
X2	6
X3	5
X4	4
X5	5
X6	5

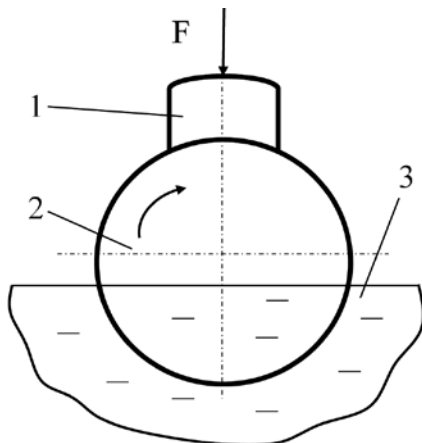
Tyrimai atlikti naudojant standą, eksperimentams sudaryta metodika.

**Tyrimų stendo principinė schema**

Eksperimentai tyrimai atlikti specialiu stendu, kurį sudaro elektros variklis, variklio sūkių reguliavimo blokas, apkrovos mechanizmas, tepalo vonelė.

Stendu buvo atlikti tepalo temperatūros kilimo, atsižvelgiant į apkrovą ir laiką, tyrimai.

Eksperimentuota su trinties pora – trinkelė – tepalas – ritinėlis, 1 pav. Specialios formos trinkelė pagamin-



1 pav. Trinties tyrimų stendo principinė schema: 1 – trinkelė, 2 – ritinėlis, 3 – tepalas

ta iš bronzos, ritinėlis – iš ketaus, jo skersmuo – 53 mm.

Elektros variklis nuolatinės srovės 0.25 KW galios, jo sūkių diapazonas – 2000–4500 sūk/min.

Prispaudimo jėga F kinta, keičiant apkrovą. Trinties pora kontakto zonoje tepama panardinus ritinėlį į tepalo vonelę su tepalu 3. Tepalo temperatūra matuojama termometru.

**Tyrimo metodika**

Eksperimentuojant su keliais tiriamaisiais objektais ir norint juos palyginti tarpusavyje, turi būti sudarytos vienodos eksperimentinės sąlygos (pradinė temperatūra, ritinėlio sūkių, eksperimento trukmė ir t. t.). Vadovaujantis šiais reikalavimais visiems tiriamiesiems objektams buvo sudarytos vienodos pirminės sąlygos.

Eksperimentai atlikti tokia tvarka:

1. Matuoti elektros variklio laisvieji sūkių ir galia.
2. Variklis sustabdytas, ant jo veleno uždėtas ritinėlis, į svirtinį mechanizmą įdėtas įdėklas, o į tepalo vonelę įpilta sintetinio tepalo (su priedu).
3. Uždėta apkrova 9.8 N.
4. Paleistas elektros variklis.
5. Matuoti galios nuostoliai.
6. Matuota tepalo temperatūra.
7. Po eksperimento temperatūra matuota kontakto zonoje.
8. Taip eksperimento eiga nuo 3 iki 7 punkto kartota 5 kartus, nes apkrova buvo 24– 63 N.

Eksperimentas su viena apkrova vyko 5 minutes. Viso vieno eksperimento trukmė – 25 min. Temperatūra ir galia matuotos kas 2,5 minutes.

**Tyrimų rezultatai ir aptarimas**

Tyrimų metu gauti rezultatai pateikti grafikuose 2, 3 pav.

Lyginant priedus (1 pav.), matomas visų priedų, išskyrus priedus X2 ir X5, laiptuotas trinties nuostolių didėjimas. Priedai X4, X5 efektingesni, kai apkrovos mažos.

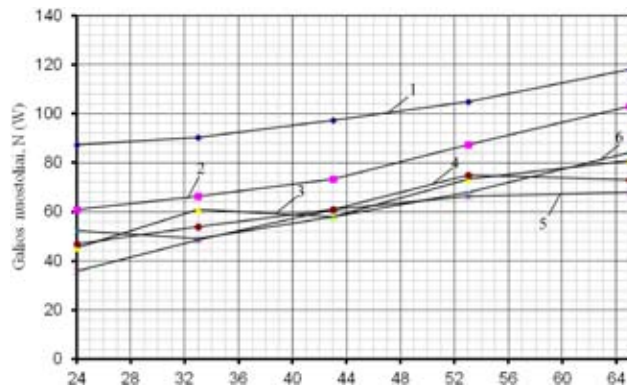
Trinkelės ir ritinėlio temperatūra kontakto zonoje svyravo nuo 105 iki 120°C.

Iš 2 grafike pateiktų eksperimentinių rezultatų matyti, kad eksperimentuojant mažiausiai kaito sintetinis tepalas su priedu X6 – 88°C. Tepalo su kitais priedais temperatūriniai pokyčiai buvo tokie: X5 – 91°C, X4 – 93°C, X3 – 95°C, X2 – 98°C ir X1 – net iki 103°C.

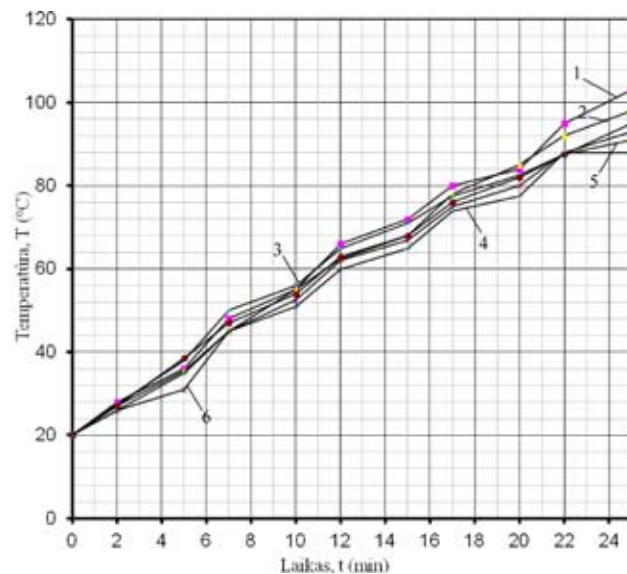
Palyginus gautus tyrimų rezultatus matyti, kad tik keli priedai išsiskiria blogesnėmis savybėmis

Norint gauti tikslesnius ir išsamesnius rezultatus eksploataciniai tyrimai turi būti priartinti prie eksploatacinių tiriamo objekto sąlygų.

Vadinasi, norint pasiekti efekto, naudoti mažiau tepimo medžiagų, sumažinti tepalų keitimų skaičių, pailginti laikotarpį tarp keitimų, prasminga papildomai naudoti priedus tepalams.



2 pav. Trinties nuostolių priklausomybė nuo apkrovos, sintetinis tepalas su priedais: 1 – X1, 2 – X2, 3 – X3, 4 – X6, 5 – X5, 6 – X4



3 pav. Tepalo su priedais temperatūros pokyčių priklausomybė nuo laiko, sintetinis tepalas su priedais: 1 – X1, 2 – X2, 3 – X3, 4 – X6, 5 – X5, 6 – X4

## Išvados

1. Geriausi rezultatai pagal trinties nuostolių mažėjimą gauti eksperimentuojant sintetinio tepalo su priedu X5, o prasčiausi – su priedu X1.
2. Eksperimentuojant su tepalu bei jo priedais mažiausias temperatūros pokytis buvo sintetinio tepalo su priedu X6 – 88°C, o didžiausias – sintetinio tepalas su priedu X1 107°C.
3. Blogiausi rezultatai lyginant trinties nuostolius ir temperatūros pokyčius gauti sintetinio tepalo su priedu X1, geriausi rezultatai pagal trinties nuostolius – tepalo su priedu X5, o pagal trinties pokytį – tepalo su priedu X6.
4. Tepalai yra brangūs, o naudojant papildomus priedus tepimo medžiagos dar labiau pabrangsta, tačiau priedai labai pagerina tepalų eksploatacines savybes bei padidina tepamų mechanizmų ilgaamžiškumą.

## Literatūra

1. Baltėnas, R.; Sologubas, R.; Sologubas, L. *Automobilių degalai ir tepalai*. 1998, 414 p.

2. Chowdhury, M. A.; Nuruzzaman, D. M. Experimental Investigation on Friction and Wear Properties of Different Steel Materials. *Tribology in Industry*, 2013, vol. 35, no. 1, p. 42–50.
3. Jučas, P. *Degalai ir tepalai*. Vilnius: Mokslas, 1992, 256 p.
4. Kreivaitis, R.; Padgurskas, J.; Rukanskis, M.; Andresiunas, A.; Jankauskas, V. Research of tribological properties of vegetable oils. *Mechanika 2009 – Proceedings of the 14th international conference Mechanika*. Kaunas University of technology, 2009, p. 231–234.
5. Peric, S.; Nedic, B.; Trifkovic, D.; Antunovic, R. Experimental research of the physicochemical and tribological properties of engine oils. *Journal of the balkan tribological association*, 2014, vol. 20, iss.4, p. 646–664.
6. Sun, Jr; Li, Cs; Tang, H; Hao, Md. Preparation and tribological properties research of NbSe2 nanowires as additive in lubricating oil. *Rare metal materials and engineering*, 2013, vol. 42, iss.10 p. 218–32186.
7. Vekteris, V.; Mokšin, V. Cholesterolinių kystalų ir takaminalinių svariklinėsalyvo tritologinės charakteristikoms. *Transportas*, 2000, nr.6, p. 297–301.
8. Vekteris, V.; Mokshin, V. Use of the liquid crystals to improve tribological properties of mineral lubricants. Part I: Friction coefficient, *Mechanika*, 2002, 6(38), p. 67–72.
9. Vekteris, V.; Mokshin, V. Use of the liquid crystals to improve tribological properties of mineral lubricants. Part II: Friction zone temperature. *Mechanika*. 2013, 1(39), p. 56–60.
10. Wang, P., L. J.; Wang, L.; Ma, Q.; Zhu, X. Research on tribological properties of serpentine particles as lubricating oil additives. International conference on advanced engineering materials and technology (aemt2011). *Advanced materials research*, 2011, p. 284–286.
11. Гаркунов, Д.Н. *Трибология*. Москва: Машиностроение, 1989. 327 с.

## RESEARCHES OF FOIL ADDITIVES INFLUENCED BY OILS WORKING CHARACTERISTICS

Audrius Čereška

Vilnius Gediminas Technical University  
Vilnius College of Technology and Design

**Abstract.** Attrition of machines and mechanisms is one of the most important modern problems and is associated with friction. The internal combustion engine power decreases and fuel consumption increases as a result of the attrite. The quality of the lubrication process plays an important role in increasing the longevity of vehicles and extending the period between lubrication changes. However, there is often a controversy over the tribological properties of lubricants and whether it is appropriate to add additives to them. Most researchers are solved the problem of creating effective lubricants and do not pay much attention to the use of additives. Decrease of reduce friction losses and increase engine work resources is one of the way to study the tribological properties of the oil.

**Keywords:** oil, friction, additive, tribology, characteristic.

# AUTOMOBILIO VW 1.8 L VARIKLIO RODIKLIŲ POKYČIO TYRIMAS BENZINĄ PAKEITUS SUSKYSTINTOMIS NAFTOS DUJOMIS

Alfredas Rimkus<sup>1,2</sup>, Airidas Valentas Baranauskas<sup>1</sup>, Tadas Vipartas<sup>2</sup>, Mindaugas Melaika<sup>1,2</sup>,  
Dominykas Varabauskas<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius

<sup>2</sup> Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

**Anotacija.** Straipsnyje pristatomas VW 1,8 l variklio rodiklių pokyčio tyrimas automobilyje sumontavus suskystintų naftos dujų (SND) maitinimo sistemą ir benzina pakeitus SND degalais. Tyrimas atliktas naudojant serijinės gamybos VW *Passat B5* automobilio 1,8 litro benzininį variklį (ADR), jis modifikuotas sumontavus turbokompresorių. Išanalizavus degimo procesą atliktas variklio veikimo ciklo termodinaminių rodiklių skaičiavimas, sudaryta slėgio kaitos cilindre indikatori-  
nė diagrama. Atlikus skaitinį modeliavimą nustatyti galimi efektyvieji variklio rodikliai, sudarytos variklio galios ir apkrovos charakteristikos, įvertintas automobilio maksimalaus greičio pokytis pakeitus degalus ir sumontavus turbokompresorių. Atlikus stendinius automobilio tyrimus nustatytas ekologinių rodiklių (CO, CO<sub>2</sub>, CH, NO<sub>x</sub> koncentracijos išmetamosiose dujose) pokytis.

**Reikšminiai žodžiai:** kibirkštinio uždegimo variklis, turbokompresorius, suskystintos naftos dujos, variklio 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 vienas didžiausių aplinkos taršos šaltinių. Siekiama, kad vidaus degimo varikliai (VDV) aplinką terštų kuo mažiau. Pagrindiniai teršalai, nulemti įprastų angliavandenilio degalų, yra nesudegę bei iš dalies sudegę angliavandeniliai (CH), anglies viendeginis (CO), azoto oksidai (NO<sub>x</sub>) ir sveikatai kenksmingos kietosios dalelės [5]. VDV degimo produktai, daugiausia CO<sub>2</sub>, CO, kartu su kitomis šiltnamio efektą sukeliančiomis dujomis, kaip metanas ir azoto oksidai, veikia pasaulinės temperatūros kilimą [3].

Tradicinių degalų (benzino, dyzelino) poreikis vis didėja, todėl ieškoma platesnių alternatyvių degalų panaudojimo galimybių, siekiant išvengti esminių variklio modifikacijų [6]. SND degalai turi didesnę vandenilio ir anglies santykį (H/C santykis), kuris rodo, kad degaluose yra daugiau vandenilio, tokiu būdu galima pasiekti mažesnes variklio anglies monoksido ir anglies dioksido emisijas. Taip pat SND savaiminio užsidegimo temperatūra aukšta [4]. 1 lentelėje pateiktos svarbiausios fizikinės ir cheminės suskystintų naftos dujų ir benzino savybės.

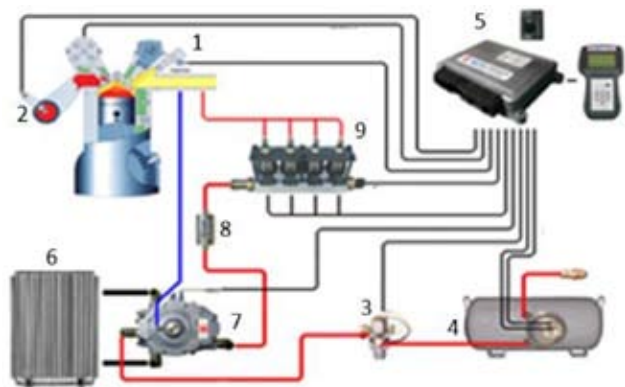
Nustatyta, kad SND degalai turi aukštesnį oktaninį skaičių negu benzinas, todėl pasirinkus tokio tipo de-

galus galima naudoti aukštesnio slėgio variklius, kurie padidintų variklio naudingo veikimo koeficientą [2]. Didinant kibirkštinio uždegimo variklio veikimo efektyvumą taip pat būtų galima didinti turbokompresoriaus pripūtimo slėgį, nekeičiant slėgio.

Tyrimo tikslas – nustatyti ir įvertinti variklio energetinių ir ekologinių rodiklių pokyčius benzina pakeitus suskystintomis naftos dujomis ir pritaikius turbokompresorių.

## Tyrimo metodika

Stendiniams tyrimams atlikti naudotas VW *Passat B5* automobilis, turintis 1,8 l darbinio tūrio, 92 kW galios kibirkštinio uždegimo variklis. Į automobilį buvo sumontuota ketvirtos kartos dujų maitinimo sistema (1 pav.) ir turbokompresorius (TK).



1 pav. IV kartos SND maitinimo sistema: 1 – benzino purkštuvas; 2 – deguonies jutiklis; 3 – elektromagnetinis vožtuvas; 4 – dujų balionas; 5 – valdymo blokas; 6 – radiatorius; 7 – reduktorius; 8 – filtras; 9 – dujų purkštuvai

1 lentelė. Degalų savybės [3]

Fizikinės ir cheminės savybės	Propanas	Butanas	Benzinas
Tankis, (kai 20° C), kg/m <sup>3</sup>	≈ 510	≈ 580	≈ 720
Žemutinis šilumingumas, MJ/kg	45,8	45,4	48,6
Oktaninis skaičius	≈ 120	≈ 93	≈ 95
Savaiminio užsidegimo temperatūra, ° C	466	405	255–370
Teoriškai būtinas oro kiekis, m <sup>3</sup> /1m <sup>3</sup> dujų (kg/1 kg benz.)	23,8	30,94	14,7

Atliekant ekologinių rodiklių pokyčio tyrimą, naudotas automobilių traukos stendas CARTEC LPS 2510 (2 pav.), kurio techniniai duomenys pateikti 2 lentelė-



2 pav. Automobilio traukos stende CARTEC LPS 2510 bandomas automobilis

je ir dujų analizatorius CARTEC CET 2200 C, kurio techniniai duomenys pateikti 3 lentelėje.

Automobilis traukos stende išbandytas važiuojant ketvirta pavara pastoviu 60, 70, 80 ir 90 km/h greičiu ratus stabdant  $F = 500$  N apkrova. Tyrimai atlikti naudojant:

1. Benzinu veikiančią atmosferinę variklį.
2. SND veikiančią atmosferinę variklį.
3. SND veikiančią variklį su TK.
4. Benzinu veikiančią variklį su TK.

Kai variklis veikia kiekvienu nustatytu režimu, atlikti trys įvairių rodiklių matavimai ir apskaičiuotas vidurkis.

2 lentelė. Automobilų traukos stendo techniniai duomenys [7]

Parametras	Įrenginys	Automobilio traukos stendas CARTEC LPS 2510
Apkrovos įrenginys		Elektromagnetinis sukurinių srovių stabdys
Maksimali matuojama apkrova, t		3,5
Didžiausia stendo matavimo galia, kW		400
Didžiausia stendo stabdymo galia, kW		360
Matavimo paklaida, %		$\pm 2$

3 lentelė. Dujų analizatoriaus techniniai duomenys [CARTEC dokumentacija]

Parametras	Aprašymas	Matavimo ribos	Skalės paklaida
Dujų analizatorius CARTEC CET 2200 C			
CO		0–9,99 % vol.	0,01 % vol.
CO <sub>2</sub>		0–19,9 % vol.	0,1 % vol.
CH		0–9999 ppm vol.	1 ppm
NO <sub>x</sub>		0–2000 ppm vol.	5 ppm
O <sub>2</sub>		0–25 % vol.	0,01 % vol.
$\lambda$ (apskaičiuotas)		0,5–2,000	0,001

Remiantis vidaus degimo variklio termodinaminių skaičiavimų metodika [1] atliktas variklio slėgio ir temperatūros skaičiavimas prieš ir po modifikacijos. Skaičiuojant pasirinkta, kad turbokompresoriaus slėgis, kai variklis pasiekia nominalią galią, siekia  $p_k = 0,14$  MPa.

Nustačius pirmo cilindro stūmoklį veikiančias jė-

gas apskaičiuotas šio cilindro indikatorinis sukimo momentas:

$$M_i^1 = \frac{F \cdot R \cdot \sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta}; \quad (1)$$

čia:  $F$  – suminė jėga, veikianti stūmoklio pirštą išilgai cilindro ašies;  $R$  – alkūninio veleno alkūnės spindulys;  $\beta$  – kampas tarp švaistiklio ir cilindro ašies:

$$\sin \beta = \frac{R \cdot \sin \varphi}{L}; \quad (2)$$

čia:  $L$  – švaistiklio ilgis.

Variklio indikatorinis sukimo momentas apskaičiuotas įvertinus cilindrų darbo tvarką (1-3-4-2):

$$M_i = M_i^1 + M_i^2 + \dots + M_i^k \quad (3)$$

Įvertinus variklio mechaninį naudingumo koeficientą  $\eta_m$ , apskaičiuotas variklio efektyvus sukimo momentas:

$$M_B = M_i \cdot \eta_m \quad (4)$$

Variklio efektyvioji galia nustatyta naudojant formulę:

$$P_B = \frac{M_B \cdot n}{9549} \quad (5)$$

čia:  $n$  – variklio veleno sukimosi greitis.

Variklio efektyvioji galia, kai veleno sukimosi dažniai įvairūs  $\omega_p$ :

$$P_e = P_{e\_max} \left( \frac{\omega_e}{\omega_p} + \left( \frac{\omega_e}{\omega_p} \right)^2 - \left( \frac{\omega_e}{\omega_p} \right)^3 \right) \quad (6)$$

Variklio apkrova  $P_{ap}$  skirtingu automobilio judėjimo greičiu apskaičiuota įvertinus galią, būtiną, norint įveikti riedėjimo pasipriešinimą  $P_{ried}$ , oro pasipriešinimą  $P_{oro}$  ir nuostolius automobilio transmisijoje  $P_{tr}$ :

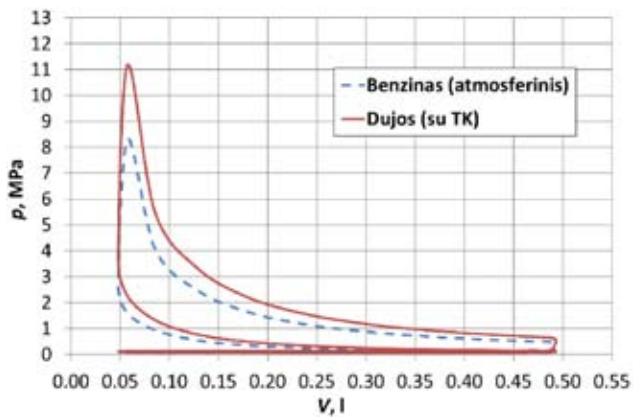
$$P_{ap} = P_{ried} + P_{oro} + P_{tr}; \quad (7)$$

Automobilio maksimalus greitis ( $v_{max}$ ) matyti taške, kuriame variklio apkrova susilygina su variklio galia ( $P_{ap} = P_B$ ).

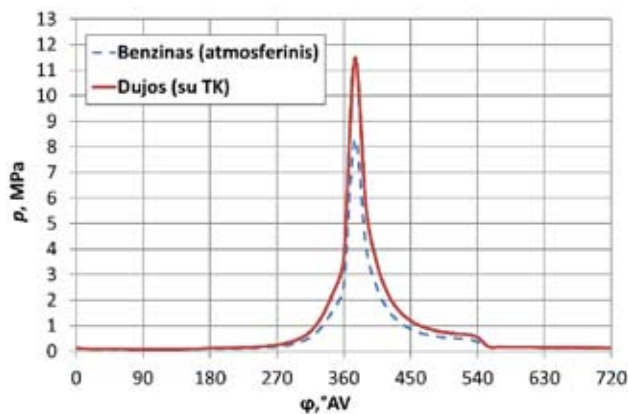
## Energetinių variklio rodiklių analizė

Indikatorinio slėgio priklausomybė nuo cilindro tūrio ir alkūninio veleno pasisukimo kampo pateikta 3 pav. ir 4 pav. Apskaičiuota, kad, modifikavus variklį (sumontavus SND ir turbokompresorių), maksimalus slėgis cilindre padidėja nuo  $p_z^{Benz} = 8,3$  MPa iki  $p_z^{SND+TK} = 11,4$  MPa (~38%).

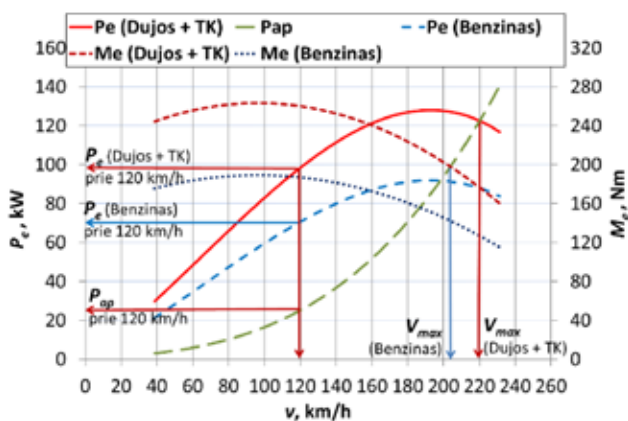
Modifikavus variklį, efektyvus sukimo mo-



3 pav. Slėgio priklausomybė nuo cilindro tūrio



4 pav. Slėgio priklausomybė nuo alkūninio veleno pasisukimo kampo



5 pav. Variklio galios ir sukimo momento charakteristika (prieš ir po modifikacijos).

mentas, kai variklio galia nominali, padidėja nuo  $M_{e\_P_{e_{max}}}^{Benz.} = 151,3 \text{ Nm}$  iki  $M_{e\_P_{e_{max}}}^{SNG+TK} = 210,7 \text{ Nm}$  (~38 %) (5 pav.). Nominali variklio galia išauga nuo  $M_{e\_max}^{Benz.} = 92 \text{ kW}$  iki  $M_{e\_max}^{SNG+TK} = 128 \text{ kW}$  (~39 %).

Apskaičiuota, kad, modifikuoto variklio galia, kai automobilis važiuoja  $v = 120 \text{ km/h}$  greičiu, išauga nuo  $P_{e120}^{Benz.} = 71 \text{ kW}$  iki  $P_{e120}^{SNG+TK} = 99 \text{ kW}$  (~39 %), o variklis pasiekia tik  $P_{ap} = 25,5 \text{ kW}$  apkrovą. Nustatyta, kad maksimalus automobilio greitis padidės nuo  $v_{max}^{Benz.} = 198 \text{ km/h}$  iki  $v_{max}^{SNG+TK} = 221 \text{ km/h}$  (~12 %).

## Ekologinių variklio rodiklių pokyčio analizė

VW 1,8 l variklio išmetamųjų deginių emisija iš-tirta atliekant bandymus automobilio traukos stende. Panaudojant išmetamųjų deginių analizatorių išma-tuota anglies monoksido (CO), anglies dvideginio (CO<sub>2</sub>), angliavandenilių (CH) ir azoto oksidų (NO<sub>x</sub>) koncentracija išmetamosiose dujose pateikta 6 pav.

Benziną pakeitus suskystintomis naftos dujomis, skirtingu variklio veikimo režimu CO koncentraci-ja sumažėja nuo ~0,122 % iki ~0,035 % (santykinai ~120 %). Pritaikius TK, CO koncentracija padidėja tiek varikliui veikiant benzinu (iki ~0,16 %) tiek SND (iki ~0,09 %). Tačiau naudojant TK ir SND, CO kon-centracija santykinai sumažėja ~26 % palyginti su benzinu ir ~44 % palyginti su benzinu ir TK.

Užfiksuota, kad varikliui veikiant benzinu anglies dioksido koncentracija išmetamosiose dujose yra ~14,67 %, naudojant SND ~13,86 %, santykinai CO<sub>2</sub> koncentracija sumažėja ~6 %. Pritaikius TK, CO<sub>2</sub> koncentracija naudojant benziną siekia ~14,95 %, o naudojant SND ~13,5 %. Lyginant modifikuotą vari-klį (SND + TK) su benzinu, CO<sub>2</sub> koncentracija santy-kinai sumažėja ~8 %.

Mažiausia angliavandenilių koncentracija užfik-suota varikliui veikiant benzinu – ~22,5 ppm. Nau-dojant SND, CH koncentracija išauga iki ~27,3 ppm (santykinai išauga ~21 %), o pritaikius TK, SND padi-dėja iki ~34 ppm (santykinai išauga ~51 %), veikiant benzinu, padidėja iki ~55 ppm (santykinai išauga ~144 %).

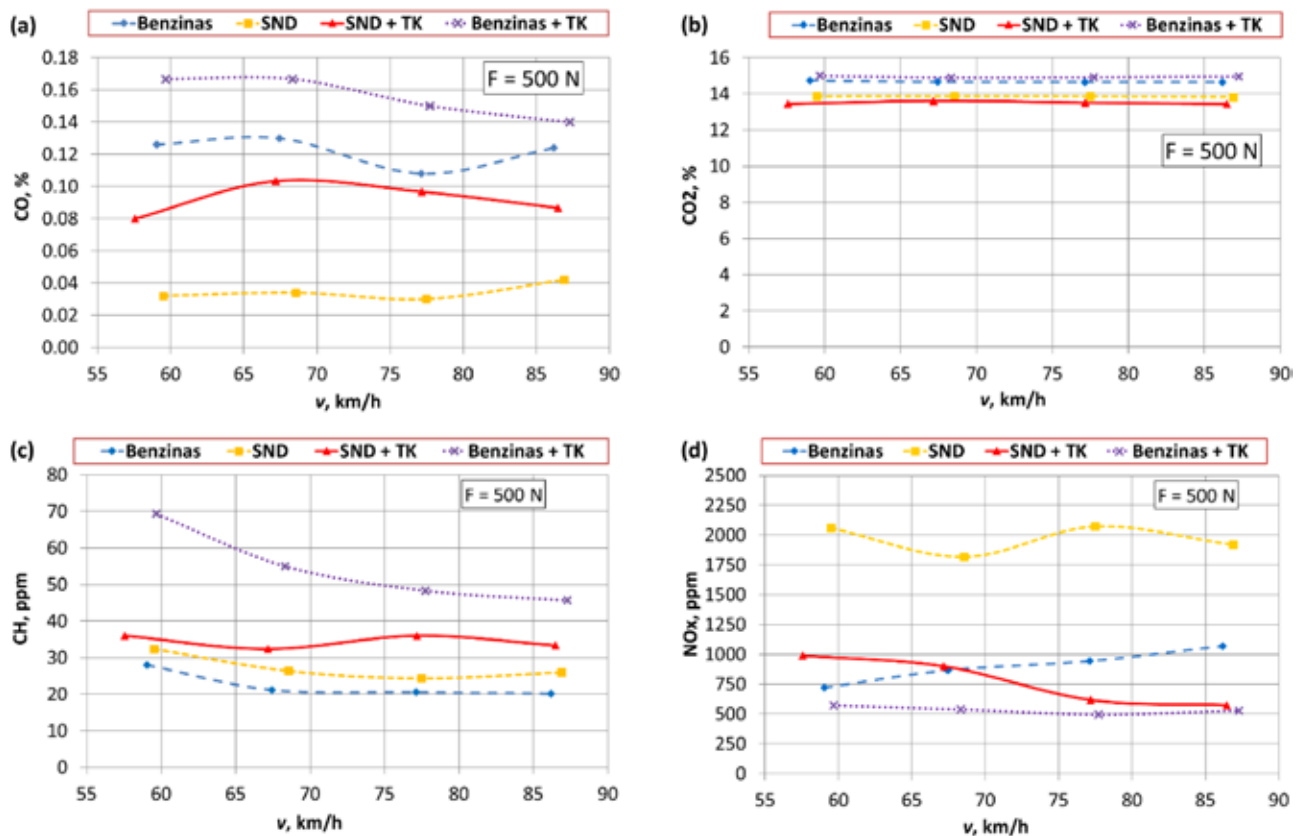
Varikliui veikiant benzinu išmatuota azoto oksidų koncentracija ~899 ppm. Naudojant SND, NO<sub>x</sub> kon-centracija išauga iki ~1968 ppm (santykinai išauga ~119 %). Naudojant SND ir pritaikius TK, NO<sub>x</sub> kon-centracija sumažėja iki ~770 ppm (santykinai suma-žėja ~14 %). Naudojant benziną ir pritaikius TK, NO<sub>x</sub> koncentracija sumažėja iki ~533 ppm (santykinai su-mažėja ~40 %). Lyginant benziną + TK su SND + TK, NO<sub>x</sub> koncentracijos sumažėjimas santykinai siekia ~31 %.

## Išvados

Atlikus automobilio VW *Passat B5* 1.8 l variklio ter-modinaminių rodiklių pokyčių teorinius skaičiavimus, benziną pakeitus suskystintomis naftos dujomis (SND) ir pritaikius turbokompresorių ( $p_{k\_max} = 0,14 \text{ MPa}$ ), nu-statyta modifikacijos įtaka variklio energetiniams ro-dikliams:

1. Maksimalus slėgis cilindre padidėja nuo  $p_z^{Benz.} = 8,3 \text{ MPa}$  iki  $p_z^{SND+TK} = 11,4 \text{ MPa}$  (~38 %). Nominali variklio galia išauga nuo  $P_{e\_max}^{Benz.} = 92 \text{ kW}$  iki  $P_{e\_max}^{SND+TK} = 128 \text{ kW}$  (~39 %). Mak-simalus greitis padidėja nuo  $v_{max}^{Benz.} = 198 \text{ km/h}$  iki  $v_{max}^{SND+TK} = 221 \text{ km/h}$  (~12 %).





6 pav. Variklio ekologinių rodiklių pokytis pritaikius TK ir SND degalus: (a) – anglies monoksido (CO) koncentracija; (b) – anglies dvideginio (CO<sub>2</sub>) koncentracija; (c) – angliavandenilių (CH) koncentracija; (d) – azoto oksidų (NO<sub>x</sub>) koncentracija išmetamosiose dujose

2. Energetiniai variklio rodikliai padidėja, nes turbokompresorius pagerina cilindrų pripildymą degiojo mišinio ir, cilindre išsiskyrus didesniai energijos kiekiui, atliekamas efektyvesnis darbas.
3. Siekiant išvengti variklio defektų dėl didesnio mechaninio ir šiluminio poveikio reikia atlikti detalių atsparumo vertinimą.  
Atlikus variklio stendinius tyrimus nustatyta modifikacijos įtaka ekologiniams rodikliams:
4. CO koncentracija išmetamosiose dujose sumažėja nuo ~0,122 % iki ~0,09 % (santykinai ~26 %). CO<sub>2</sub> koncentracija sumažėja nuo ~14,67 % iki ~13,5% (santykinai ~8 %). CH koncentracija išauga nuo ~22,5 ppm iki ~34 ppm (santykinai ~51 %). NO<sub>x</sub> koncentracija sumažėja nuo ~899 ppm iki ~770 ppm (santykinai ~14 %).
5. CO ir CO<sub>2</sub> koncentracija sumažėjo, nes SND sudėtyje yra mažiau anglies, be to, naudojant SND, degusis mišinys turi didesnę oro perteklių. CH koncentracija išaugo, nes SND lėčiau dega, be to, naudojant TK, vožtuvų perdengimo metu dalis nesudegusių dujų patenka tiesiai į išmetamųjų dujų srautą. NO<sub>x</sub> koncentracijos sumažėjimą galima paaiškinti žemesne SND degimo temperatūra ir lėtesniu degimu.

## Literatūra

1. Butkus, A. Vidaus degimo variklių projektavimo pagrindai. Vilnius: Technika, 2009.
2. Cinar, C.; Sahin, F.; Can, O.; Uyumaz, A. A comparison of performance and exhaust emissions with different valve lift profiles between gasoline and LPG fuels in a SI engine. 2016. Applied Thermal Engineering 107: 1261-1268.
3. Lata, D. Investigation of dual fuel diesel engine with hydrogen and LPG fuel. Birla Institute of Technology, Mesra, Ranchi. 2012. 273 p.
4. Porpatham, K.R. Effect of piston geometry on performance and emission characteristics of an LPG fuelled lean burn SI engine at full throttle condition. 2017. Applied Thermal Engineering 110: 1051-1060.
5. Rakopoulos, D. C.; Hountalas, D. T.; Kakaras, E. C.; Giakoumis, E. G.; Papagiannakis, R. G. Investigation of the performance and emissions of bus engine operating on butanol/diesel fuel blends. 2010. Fuel 89: 2781-2790.
6. Suyabodha, A. Comparison the Rate of Energy Consumption between Gasoline95 and LPG in Spark Ignition Engine under Real Driving Conditions. 2017. Energy Procedia 118: 164-171.
7. Snap-on Equipment GmbH, CARTEC Chassis dynamometers LPS for cars. Germany, 8 p.
8. [interaktyvus] [žiūrėta 2017m. Kovo 28d] nuorodą į internetinį puslapį: <http://gazeo.com/automotive/technology/Autogas-system-generations,article,6486.html>

## PARAMETERS' VARIATION RESEARCH OF VW VEHICLE 1.8L ENGINE, RUNNING ON LIQUIFIED PETROL GAS INSTEAD OF PETROL FUEL

Alfredas Rimkus<sup>1,2</sup>, Airidas Valentas Baranauskas<sup>1</sup>,  
Tadas Vipartas<sup>2</sup>, Mindaugas Melaika<sup>1,2</sup>,  
Dominykas Varabauskas<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

<sup>2</sup> *Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija*

**Abstract.** Paper presents the change of parameters of VW 1.8 L engine which has a liquified petrol gas (LPG) fuel supply system and it is running on LPG fuel

instead of petrol. Research was carried out using serial VW Passat B5 light vehicle with a 1.8 liter petrol engine (ADR), which was upgraded with a turbocharger. The calculation of thermodynamic indicators was carried out in order to analyse the combustion process, the indicating pressure trace of cylinder pressure is given. The efficient engine parameters, engine power and torque characteristics, maximum vehicle speed were determined using numerical calculations when the engine is running on different fuel type and having turbocharger. The variation of ecological parameters (CO, CO<sub>2</sub>, CH, NO<sub>x</sub>) was determined in exhaust gas during the vehicle dyno tests.

**Keywords:** spark ignition engine, turbocharger, liquified petrol gas, engine ecologic parameters.

# MECHANIZMO, SKIRTO AUTOMOBILIO PASYVIAM SAUGUMUI DIDINTI, MODELIO KŪRIMAS IR TYRIMAS

Petras Kaikaris, dr. Rolandas Vitkūnas

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius,  
p.kaikaris@vtdko.lt; r.vitkunas@vtdko.lt

**Anotacija.** Keleivių ir krovinų saugumas transporto priemonėse yra vienas pagrindinių siekių. Jei transporto priemonė atsitrenkia į kliūtį, susidaro didelė kinetinė energija, kuri neigiamai veikia keleivius ir krovinį.

Straipsnyje pateikiamas sukurtas ir tiriamas mechanizmas, kuris gali būti įrengtas transporto priemonėje. Smūgio į kliūtį metu jis susidariusią kinetinę energiją paverčia kitomis energijos rūšimis. Gaminys projektuojamas kaip hidraulinis, pneumatinis ir mechaninis mechanizmas.

Sukurtas veikiantis modelis yra išbandytas laboratorijoje. Tirtas mechanizmo kinetinės energijos pokytis smūgio į kliūtį metu, analizuojama greičio įtaka kinetinės energijos dydžiui, hidraulinio, pneumatinio ir mechaninio mechanizmo parametrų įtaka kinetinės energijos dydžiui kontakto metu ir kinetinės energijos slopinimas.

**Pagrindinės sąvokos:** automobilio saugumas; hidraulinis mechaninis mechanizmas; kinetinės energijos slopinimas.

## Įvadas

Pastaruoju metu ypač rūpinamasi automobilių saugumu. Keleivių ir krovinų saugumas yra vienas pagrindinių transporto saugumo didinimo uždavinių.

**Tikslas** – suprojektuoti mechanizmą, slopinantį kinetinę energiją, kuri susidaro automobiliui judant ir atsitrenkus į kliūtį, kontakto metu.

**Problema.** Kinetinei energijai slopinti po susidūrimo ir paversti kita energijos rūšimi naudojami įvairūs mechaniniai, hidrauliniai bei pneumatiniai įtaisai. Energiją slopinantis mechanizmas turi silpninti smūgio energiją ir taip panaikinti smūgio metu susidarantį energijos poveikį transporto priemonėje (automobilyje) esantiems keleiviams ir vairuotojui, kroviniams. Toks mechanizmas suteiktų galimybę atsisakyti saugos oro pagalvių ar būtų kaip papildomas pasyvaus saugumo elementas. Energiją slopinantis gaminys projektuojamas kaip hidraulinis, pneumatinis ir mechaninis mechanizmas, nes kiekvienas šių mechanizmų tipas turi ypatybių, kurias tikimasi optimaliai panaudoti.

### Uždaviniai:

1. Susipažinti su esamais panašių mechanizmų paten-tais.
2. Išnagrinėti hidraulinio mechaninio pneumatinio mechanizmo veikimo principus.
3. Suprojektuoti mechanizmo modelį.
4. Apibendrinti bandymų matavimų rezultatus.

Kinetinei energijai slopinti smūgio metu galima naudoti hidraulines, pneumatines ir mechanines, elektromagnetines sistemas. Yra sukurta hidraulinė sistema (patentas US 2010/0122864 A1), kurios dėka mažinama važiuoklei tenkančių smūgių jėga, taip pat naudojama ir pneumatinė sistema važiuoklės elementų smūgiams slopinti (patentas CN 201989737), reguliuojamas amortizatorius (patentas DE 10 2010 051 872 A1). Važiuoklėje montuojami įvairūs mechaniniai saugumo mechanizmai (patentas CN201833977, WO2013137516 A1), mažinantys automobilių kontak-

to jėgas. Gali būti naudojami ir mechaniniai įrenginiai [1, 4]. Mechanizmo konstrukcijos išsamiai aprašytos Georgo Pionteko, Stanislovo Gumulos ir Premyslavo Lagievkos darbuose. Juose pristatomas mechanizmas, kuris tiesiaieigio judėjimo jėgą keičia smagračio sukimosi inercijos momentu.

**Metodika.** Sukurtas mechanizmo veikimo teorinis modelis ir atlikti eksperimentiniai tyrimai.

## 1. Sukurto hidraulinio mechaninio pneumatinio mechanizmo schema ir veikimo principas

Automobilyje, kurio masė  $m_1$ , sumontuotas energiją slopinantis hidraulinis pneumatinis mechaninis mechanizmas pasyviai automobilio saugumui didinti (1 pav.). Automobilis sujungtas su buferiu, kurio masė  $m_2$ . Tarp automobilio ir buferio susidaro tam tikras standumas  $k_{12}$  ir smūgio slopinimas  $c_{12}$ . Kai automobilis atsitrenkia į kliūtį (jos standumas  $k_0$  ir smūgio slopinimas  $c_0$ ), prie automobilio buferio sumontuota mechanizmo dalis pradeda judėti greičiu  $v_1$ . Judėdama mechanizmo svirtis hidrauliniam cilindre, dešinėje pusėje, spaudžia skystį, taip didindama slėgį  $p_2$ . Hidraulinio cilindro stūmoklio plotas iš kairės ir dešinės pusių yra  $A_1$  ir  $A_2$ . Hidraulinis cilindras prislopina pradinį smūgį. Cilindre esančios skylutės kiek sulygina slėgį hidraulinio cilindro abejuose pusėse ( $p_1$  ir  $p_2$ ).

Krumpliaštiebis, prie kurio prijungta svirtis nuo buferio per hidraulinį cilindrą, nuo smūgio juda į dešinę sukdamas mechanizmo krumpliaratį (pažymėtas krumpliaracio spindulys  $R_3$ , ant ašies  $O_3$ , jį vadinsime pirmuoju krumpliaraciū). Smūgio metu krumpliaštiebis judėdamas dešinėn įsuka mechanizmą ir gale (nuslinkęs į dešinę iki ribinės padėties dešinėje) praranda kontaktą su krumpliaraciū, kurio spindulys  $R_3$ , palikdamas mechanizmo krumpliaraciū ir kitus elementus suktis, judėti.

Ant ašies  $O_4$  sumontuotas ir kitas krumpliaratis (spindulys  $R_4$ , jį vadinsime antruoju krumpliaraciū), ku-

ris su pirmuoju sujungtas velenu. Šis krumpliaratis ( $R_4$ ) yra sukibęs su krumpliaraičiu  $R_5$  (trečiuoju krumpliaraičiu) ant ašies  $O_5$ . Krumpliaratį  $R_5$  suka krumpliaratis  $R_4$ .

Krumpliaratis  $R_5$  yra ant ašies  $O_5$  sujungtas ašimi su smagračiu (arba galima vadinti ketvirtuoju krumpliaraičiu), kurio spindulys  $R_6$ . Taip pat ant ašies  $O_6$  sumontuotas skriejikas, jo ilgis  $L_{61}$ . Sukdamasis per švaistiklį  $L_6$  pneumatiniame cilindre (cilindro stūmoklio plotas  $A_4$ ) jis generuoja slėgį  $p_4$ . Pneumatinis cilindras slopina smagračio (ir viso mechanizmo) kinetinę energiją.

Skriejiko svorio centras nuo ašies  $O_6$  nutolęs atstumu  $R_{C_6}$  iki taško  $C_{62}$ , o švaistiklio svorio centras  $C_{63}$  nuo skriejiko švaistiklio sujungimo taško  $O_7$  yra nutolęs atstumu  $L_{63}$ . Ant švaistiklio sumontuotas papildomas strypas  $L_{64}$  ilgio, kurio gale (taškas  $C_{64}$ ) yra papildoma masė  $m_{64}$ , besisukanti apie tašką  $O_8$ .

Švaistiklio kitame gale, nuo taško  $O_7$  nutolęs atstumu  $L_{65}$  (priešinga pneumatiniame stūmokliui kryptimi), taške  $O_{10}$  yra  $L_{66}$  ilgio papildomas strypas. Jo gale taške  $C_{66}$  sumontuota papildoma masė  $m_{66}$ .

Pirmasis krumpliaratis savo sukimosi ašies  $O_3$  atžvilgiu gali suktis  $\varphi_3$  kampu, taip pat judėti dėl tamprumo X ašies kryptimi ir Y ašies kryptimi.

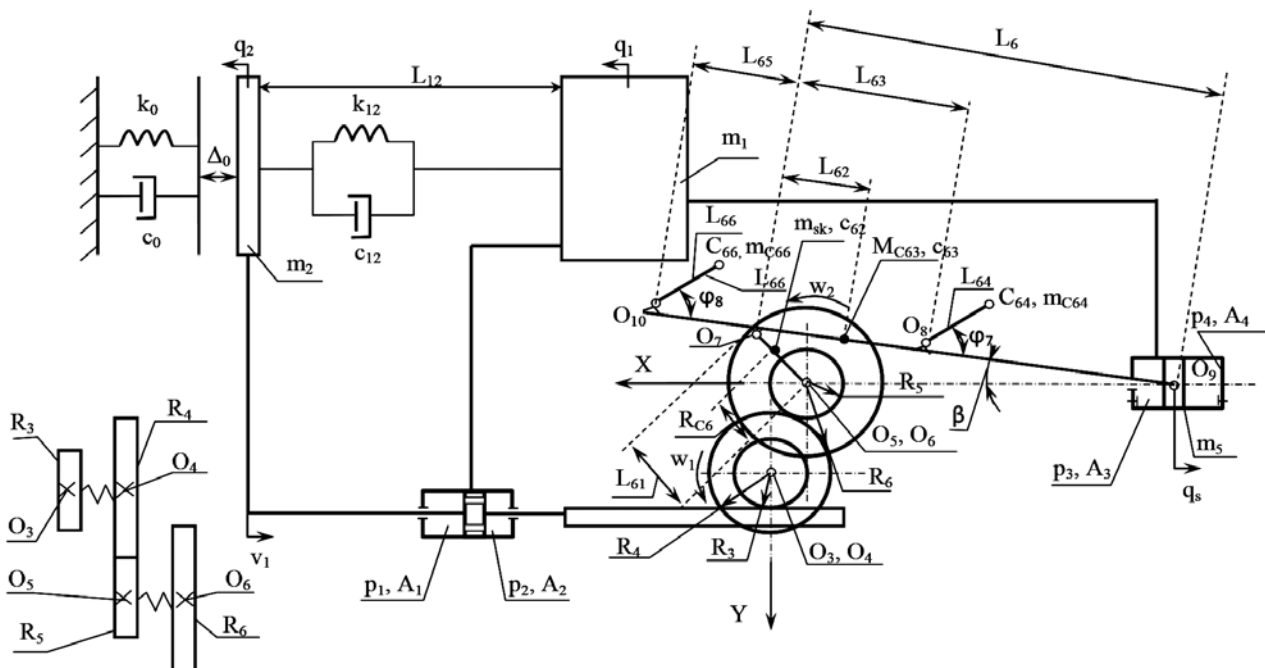
Mechanizmo konstrukcija ir parametrai turi būti tokie, kad hidraulinis cilindras, mechaninė krumpliasriebio ir krumpliaraičių bei skriejiko švaistiklio sistema su papildoma mase ant strypo bei pneumatinis cilindras maksimaliai slopintų kinetinę energiją, gautą automobilio smūgio metu į kliūtį. Taip pat automobilio judėjimo greitis turėtų maksimaliai mažėti, tačiau automobilio pagreičio dydis išlikti saugus.

## 2. Mechanizmo modelis

Pagal projektuojamą schemą (1 pav.) pagamintas hidraulinio mechaninio pneumatinio mechanizmo modelis. Gaminant modelį, konstrukcija projektuota taip, kad būtų galima bandymų metu keisti mechanizmo parametrus.

Modelis pagamintas taip, kad būtų galima keisti potencinę energiją uždedant arba nuimant nuo vežimėlio smagračius. Yra 8 mažesni ir 6 didesni smagračiai.

Taip pat hidraulinį cilindrą, pavaizduotą schemoje 1 pav., modelyje pakeičia reguliuojamas hidraulinis smūgio slopintuvas MA3325EUM.



1. pav. Mechaninio hidraulinio pneumatinio įrenginio transporto priemonės kinetinei energijai smūgio metu slopinti schema



a)

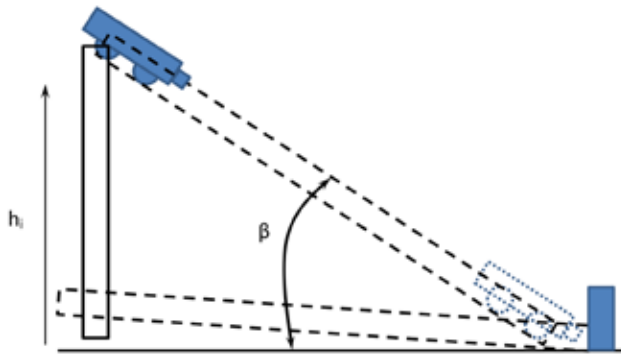
b)

2 pav. Mechaninis hidraulinis pneumatinis įrenginys transporto priemonės kinetinei energijai smūgio metu susilpninti smūgį į kliūtį: a) vaizdas iš šono, b) vaizdas iš viršaus

Vežimėlio su hidrauliniu mechaniniu pneumatiniu mechanizmu modelio nuotraukos pateiktos 2 pav.

### 3. Vežimėlio su mechanizmu bandymai

Vežimėlio važiavimo kelio ilgis yra 3 metrai. Konstrukcija pagaminta taip, kad galima keisti kelio posvyrio kampą  $\beta$ . Taip keičiamas vežimėlio judėjimo greitis ir gaunama skirtinga energija vežimėlio kontakto su kliūtimi metu (3 pav.).



3 pav. Bandymų metu vežimėlio važiavimo kelio posvyrio kampo  $\beta$  keitimo schema

Aukštis keičiamas nuo 290 iki 1290 mm, tokiu būdu galima keisti posvyrio kampą  $\beta$  nuo 5,55 iki 25,46 laipsnio.

Kinetinės energijos kaitai svarbi vežimėlio su mechanizmu masė, todėl buvo nustatyta kiekvienos detalės ar mazgo masė. Vežimėlio su mechanizmu masė bandymų metu keičiama nenaudojant hidraulinių smūgio slopintuvo, keičiant smagračių skaičių ir dydžius.

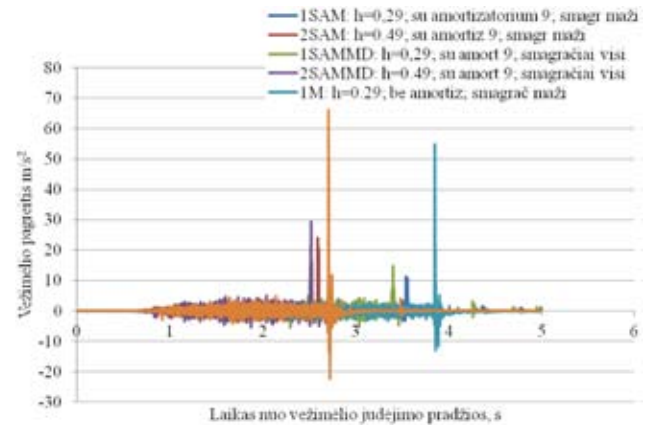
Buvo sudarytas matricinio tipo bandymų planas, kuriame numatyta dėl matavimų tikslumo kiekvieną bandymą kartoti 3 kartus. Tačiau atliekant bandymus pagal sudarytą bandymų planą, kada vežimėlis su visais smagračiais buvo leidžiamas iš 21,30° posvyrio kampo (aukštis  $h_i=1090$  mm), vežimėlio konstrukcija neatlaikė. Vieno iš mechanizmo krumpliaračių tvirtinimas suvirinimu buvo nukirptas dėl didelių poveikio jėgų kontakto į kliūtį metu. Bandymų planas buvo pakeistas, apsiribojant bandymais iki 21,30° posvyrio kampo (aukštis  $h_i=1090$  mm).

### 4. Bandymų matavimų rezultatai

Iš 4 pav. grafiko matome, kad 69 procentais padidėjus posvyrio kampui  $\beta$  (nuo 5,55 iki 9,40 laipsnio) didžiausias teigiamas vežimėlio pagreitis išauga apie 108 procentus.

Kai posvyrio kampas mažas (5,55 laipsnio) ir sumontuoti visi smagračiai, vežimėlio pagreičio maksimalus dydis 25 procentais didesnis, nei tik su mažais smagračiais. Pasirinkus posvyrio kampą (9,40 laipsnio) ir sumontavus visus smagračius, vežimėlio pagreičio maksimalus dydis 20,8 procentais didesnis, nei tik su mažais smagračiais.

Kai posvyrio kampas mažas (5,55 laipsnio), amortizatorius mažina didžiausią vežimėlio pagreitį 4,58 karto ir 2,79 karto, kai posvyrio kampas didesnis (9,40 laipsnio).



4 pav. Smagračių ir amortizatoriaus slopinimo jėgos tyrimo kreivės vežimėlio pagreičiui slopinti (aprašomi aktualūs bandymai, kur 1SAM, 2SAM, 1SAMMD, 2SAMMD, 1M, 2M yra bandymų kodai bandymų matricijoje; amortizatorius 9 – didžiausia hidraulinio smūgio slopintuvo galia; smagračių apibūdinimas – vežimėlio mechanizme bandymo metu sumontuoti smagračiai)

### 5. Išvados

1. Atlikus bandymus ir išanalizavus bandymų rezultatus, nustatyta, kad dėl gamybos ir surinkimo mechanizmo trintis tarp atskirų detalių didesnė. Dėl šios priežasties negalima nustatyti šarnyrinės mechanizmo dalies įtakos pagreičiui.
2. Atliekant bandymus negalima buvo tvirtai įtvirtinti konstrukcijos prie pagrindo, kad būtų nesugadinta patalpų grindų danga. Taigi bandymų metu dėl judėjimo ar papildomų vibracijų galėjo būti gauti netikslūs matavimai.
3. Bandymų metu nustatyta, kad smūgio slopintuvas, kuris buvo naudojamas kaip hidraulinis cilindras, yra efektyvesnis pagreičiui mažinti, kai kelio posvyrio kampas mažesnis (t. y. mažesnis greitis).
4. Bandymų rezultatai parodė, kad smagračiai efektyviau mažina pagreitį, kai didesnis kelio posvyrio kampas (t. y. didesnis greitis).
5. Gavus bandymų rezultatus, galima daryti išvadą, kad norint naudoti hidraulinį mechaninį pneumatinių smūgio slopinimo (energiją slopinantį) įrenginį kiekvienu atveju turi būti nustatomi smūgio slopinimo mechanizmo parametrų dydžiai.

### Literatūra

1. Gumuła, S.; Doruch, H. Układy do hamowania i zabezpieczenia pojazdów przed skutkami zderzeń poprzez przekazanie energii akumulatorom mechanicznym. *Proceedings of the VI Sympozjum Naukowo-Techniczne – SILWOJ' 2003*, ss. 209–214.
2. Gumuła, S.; Łągiewka, L. A method of impact and inertia force

- reduction during collisions between physical objects. *Results of experimental investigations. Journal of Technical Physics*, 2007, 48 (1), 13–27.
3. Gumuła, S.; Łągiewka, L. .Conceptual design of vehicles' protection against the impacts of collisions using the energy transfer method. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 2006, 13 (1), 269–277.
  4. Gumuła, S.; Łągiewka, L. Zmniejszanie siły zderzeń. *Przegląd Techniczny*, 2005.
  5. US 2010/0122864 A1. Hybrid hydraulic drive system for all terrestrial vehicles, with the hydraulic accumulators as the vehicle chassis [online]. Available from Internet: <<http://www.google.com/patent/US2010012286>>
  6. WO 2013137516 A1. A Vehicle bumper where the shock absorber which uses permanent magnet and electromagnet is established [online]. Available from Internet: <<http://www.google.com/patents/WO2013137516A1?cn>>
  7. CN 201833977. Vehicle safety mechanism [online]. Available from Internet: <<http://www.google.com/patents/CN201833977U?cl=zh>>
  8. CN 201989737. Special vehicle chassis gas circuit control device [online]. Available from Internet: <http://www.google.com/patents/CN201989737U?cl=zh>
  9. DE 10 2010 051 872 A1. Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten entnommen [online]. Available from Internet: <<http://www.google.com/patents/DE102011104016B4?cl=en>>

## DEVELOPMENT AND RESEARCH MODELS OF MECHANISM FOR ENHANCING PASSIVE SAFETY OF A MOTOR VEHICLE

**Petras Kaikaris, Rolandas Vitkūnas**

*Vilnius College of Technologies and Design,  
Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius*

**Abstract.** The article describes and analyses a mechanical device designed to enhance safety of a motor vehicle. The topic is addressed by analysing how to absorb kinetic energy during a car collision with an obstacle. The article analyses opportunities to convert motor vehicle's kinetic energy into another type of energy in the case of collision. For this purpose, various mechanical, hydraulic or pneumatic devices are normally used. Such devices are designed to absorb collision energy and reduce or eliminate its impact on the driver, the passengers or cargo in the motor vehicle. The absorber may be used as an additional element of safety to the passenger and the cargo. The energy absorber described in the present article incorporates hydraulic, pneumatic and mechanical components. There are presented physical model scheme, models' photos and a description of the tests.

# KINTAMOSIOS SROVĖS VARIKLIŲ IDENTIFIKAVIMO METODŲ APŽVALGA

Dominykas Beištaras<sup>1</sup>, Antanas Staponas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Naugarduko g. 41, LT-03227 Vilnius, d.beistaras@vtdko.lt,

<sup>2</sup>Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius, a.staponas@vtdko.lt

**Anotacija.** Matematiniai modeliai yra naudingi kuriant ir diegiant naujas sistemas. Procesų, kurie negali būti išsamiai nagrinėjami, modeliams kurti taikoma procesų ir parametrų identifikacija. Dažnai kylanti problema – tinkamo identifikavimo metodo ir programinės įrangos parinkimas. Straipsnyje aptariami procesų identifikavimo pagrindiniai etapai, apžvelgiami svarbiausi kintamosios srovės variklių parametrų identifikavimo metodai, išskiriami simpleksinės paieškos metodai, atlikta identifikavimo programinės įrangos apžvalga. Nustatyta, kad dauguma identifikavimo metodų turi įvairių trūkumų. Metodo pasirinkimas taip pat priklauso nuo nagrinėjamos sistemos pobūdžio.

**Pagrindinės sąvokos:** kintamosios srovės varikliai, paieškos optimizacija, parametrų identifikavimas, simpleksinė paieška.

## Įvadas

Technologijų kūrimo, diegimo ir adaptacijos trūkumą galima paspartinti pasirinkus matematinius sistemų ir procesų modelius. Naudojant modelius galima tirti sistemų dinamiką ir atsaką į trikdžius. Tai yra ypač naudinga, kai tyrimus pavojinga atlikti realioje sistemoje arba kai tiriamas technologijų funkcionalumas ekstremaliomis sąlygomis.

Tačiau egzistuoja procesai, kurių matematinius modelius sudaryti sudėtinga ar net neįmanoma, nes dėsniai, lemiantys tokių procesų pobūdį, mažai žinomi arba nežinomi visiškai.

Kai teorinis modeliavimas yra neįmanomas arba nepatogus, procesams modeliuoti dažnai taikoma procesų ir jų parametrų identifikacija.

Tokiais atvejais svarbiausi sistemos parametrai yra identifikuojami tik iš eksperimentinių įėjimo ir išėjimo duomenų. Toks sudarytas modelis yra vadinamas empiriniu proceso modeliu, o modeliavimo metodas – procesų identifikavimu [17].

Sudarant kintamosios srovės variklių modelius, statoriaus aktyviąją varžą, rotoriaus aktyviąją varžą, statoriaus savąjį induktyvumą, rotoriaus savąjį induktyvumą, statoriaus ir rotoriaus abipusį induktyvumą ir rotoriaus inercijos momentą sunku nustatyti eksperimentiškai, todėl šiems parametrams rasti taikomi įvairūs identifikacijos metodai [9]. Dažnai kylanti problema – tinkamo identifikavimo metodo ir programinės įrangos parinkimas.

**Tikslas** – apžvelgti ir palyginti įvairius kintamosios srovės variklių parametrų identifikavimo metodus.

### Uždaviniai:

- Išnagrinėti empirinių modelių sudarymo procedūrą.
- Apžvelgti ir palyginti dažniausiai naudojamus kintamosios srovės variklių parametrų identifikavimo metodus.
- Aptarti programinius rinkinius, naudojamus parametrų identifikacijai.

### Procesų identifikavimas

Procesų identifikavimo (empirinio modelio sudarymo) procedūrą galima suskirstyti į šiuos etapus:

1. Duomenų ir parametrų įvertinimas. Įėjimo ir išėjimo charakteristikos gaunamos eksperimentiškai, vartotojui pasirenkant matuojamus signalus. Šioms charakteristikoms dažnai taikomi įvairūs apribojimai, kad gauta informacija būtų informatyvi ir tiksli.

2. Modelių rinkinio parinkimas. Šis etapas suprantamas kaip modelių parinkimas iš tam tikro modelių rinkinio. Modelio struktūra yra parenkama, išanalizavus įėjimo ir išėjimo duomenis, nustatant, kuri modelio struktūra labiausiai atitiktų nagrinėjamos sistemos pobūdį.

3. Geriausio modelio išrinkimas. Modelio kokybė įvertinama, atsižvelgiant į identifikacijos metu gautus parametrus.

Pasirinktas modelis gali būti netinkamas dėl šių priežasčių:

1. Pasirinktu identifikavimo metodu negalima rasti tinkamo modelio pagal pasirinktą kriterijų.
2. Kriterijus buvo pasirinktas netinkamai.
3. Netinkamai pasirinktas modelių rinkinys.
4. Naudoti duomenys nebuvo pakankamai tikslūs [12].

## Kintamosios srovės variklių parametrų identifikavimo metodų apžvalga

Asinchroniniai varikliai yra plačiausiai pavarose naudojami energijos keitikliai dėl konstrukcijos paprastumo, mažų eksploatacijos sąnaudų, patikimumo ir efektyvumo [11].

Be klasikinio metodo, kuomet variklio parametrams identifikuoti naudojami nuolatinės srovės, trumpojo jungimo ir tuščiosios veikos bandymai [1, 9], kintamosios srovės variklių parametrams identifikuoti taip pat taikomi mažiausių kvadratų metodas, Kalmano filtras ir simpleksinės paieškos metodai [14].

Mažiausių kvadratų metodo tikslas yra sumažinti skirtumą tarp eksperimentiškai gautų ir apskaičiuotų verčių:

$$V_N(\theta, Z^N) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y(t) - y(t|\theta))^2 \quad (1)$$

čia  $\theta$  – identifikuojamų parametru vektorius,  $Z^N$  – įėjimo ir išėjimo parametru vektorius,  $y(t)$  ir  $y(t|\theta)$  – išmatuotos ir apskaičiuotos parametru vertės [13].

Mažiausiems kvadratams minimizuoti naudojamas Gauso-Niutono algoritmas, kurį plačiau nagrinėjo Cochran [2].

Mažiausių kvadratų metodas gali būti naudojamas asinchroninių varikliu parametru identifikacijai [19], taip pat kitiems optimizavimo ir identifikavimo uždaviniams spręsti.

Kaip šio metodo trūkumai literatūroje minimi nepatikimumas kilus trukdžiams ir identifikuotų verčių taikymas tik vienai variklio srovės vertei [16].

Kalmano filtras yra rekursinis filtras, kuriuo atliekamas tiesinės dinaminės sistemos momentinės būsenos vertinimas, kai sistema yra veikiamą Gauso triukšmu su normaliu pasiskirstymu. Kalmano filtras yra skirtas proceso būsenai  $x \in +R^n$  vertinti, kai procesas yra aprašytas vektorine ir matricine formomis, pateiktomis tiesinėmis diferencialinėmis lygtimis:

$$\dot{x} = Fx + w, \quad (2)$$

kur  $x$  yra būsenos kintamųjų vektorius  $x \in +R^n$ . Kiekvienas šio vektoriaus kintamasis yra sistemos būseną aprašantis parametras.  $F$  – sistemos matrica, kuri aprašo, kaip sistemos būseną keičiasi laiko požūriu,  $w$  – atsitiktinis triukšmo vektorius, apibūdinantis neapibrėžtumą ar patikimumą mūsų sistemos modelyje.

Kalmano filtravimo proceso algoritmas yra sudarytas iš dviejų etapų – prognozavimo ir korekcijos, kurie atliekami šešiais etapais (1 pav):

- Nustatomas diskretaus laiko sistemos modelis ir dinaminio proceso lygtys, matavimų lygtys ir susiję parametrai.
- Prieš filtravimo procesą turi būti apibrėžtos pradinės būsenos ir klaidos kovariacijos matricos.
- Įvertinamos esamos būsenos ir kovariacijos matrica naudojama nuspėti kitai sistemos būsenai.
- Atliekamas Kalmano stiprinimo matricos skaičiavimas.
- Gaunama nauja matavimų seka.
- Apskaičiuojama nauja kovariacijų matricos vertė [15].

Kalmano filtras gali būti naudojamas asinchroninių varikliu parametru identifikacijai [20] ir įvairių gėdimų paieškai [21].

Kalmano filtro pagrindinis trūkumas yra tas, kad identifikuojant pasirenkama tiesinė sistema ir jos matematinis modelis, o realios sistemos dažniausiai yra netiesinės [10].

## Simpleksinės paieškos metodų sudarymo principai

Tarp gradientinių, atsitiktinės paieškos ir kitų metodų naudojami ir simpleksinės paieškos metodai: nuoseklus simpleksinis metodas, *Nelder-Mead* – kin-

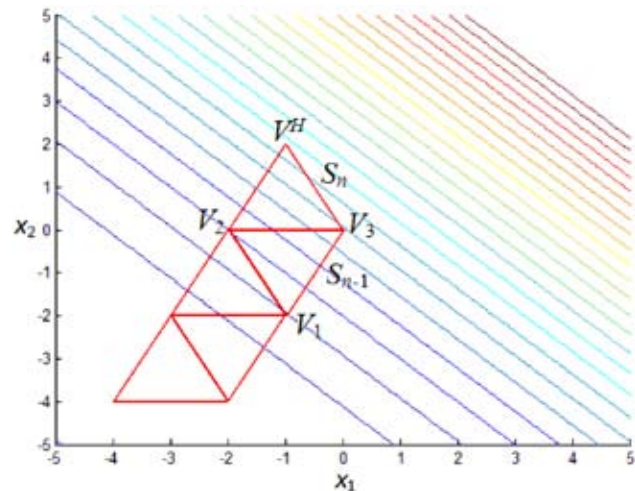
tamo dydžio ir žingsnio algoritmas be galimybės grįžti, stačiakampės simpleksinės paieškos metodai.

Euklidinėje  $k$ -matėje erdvėje  $k$ -matis simpleksas yra figūra, sudaryta iš  $k+1$  taškų (viršūnių). Vienmatėje erdvėje simpleksas yra atkarpa, dvimatėje erdvėje – trikampis, trimatėje erdvėje – trikampė piramidė (tetraedras) ir t. t. Simpleksas yra reguliarus, jeigu briaunos  $S$  tarp viršūnių yra lygios.

Iš bet kokio simplekso, atmetus vieną viršūnę, galima gauti naują simpleksą prie likusių viršūnių pridėjus naują tašką. Norint įvertinti simplekso judėjimo kryptį, visose viršūnėse  $V_j, j=1, \dots, k+1$  turi būti matuojamos ir įvertinamos tikslo funkcijos reikšmės. Ieškant maksimumo, tikslingiausia judėti nuo viršūnės, turinčios mažiausią funkcijos reikšmę, link priešingos simplekso briaunos (1 pav). Naujos viršūnės koordinatės skaičiuojamos taip:

$$x_{si}^H = \frac{2}{k}(x_{1i} + x_{2i} + \dots + x_{s-1,i} + x_{s+1,i} + \dots + x_{k+1,i}) - x_{si}, \quad (3)$$

čia:  $x_{si}$  –  $i$ -oji viršūnės  $V_s$  koordinatė.



1 pav. Nuoseklus simplekso judėjimas tikslo link dvimatėje erdvėje

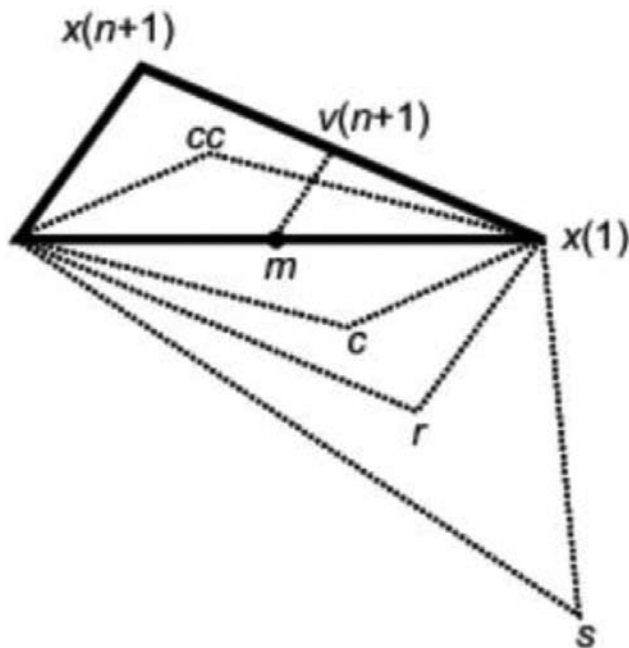
Pastovus simplekso dydis negarantuoja judėjimo dideliu greičiu paieškos pradžioje ir tikslaus ekstremumo suradimo optimizacijos pabaigoje. Siekiant greito ir tikslaus uždavinio sprendimo, reikia keisti simplekso dydį [3, 6, 7]. Tam gali būti naudojamas *Nelder-Mead* kintamo dydžio simplekso algoritmas (2 pav).

2 paveiksle  $cc, m, c, r$  ir  $s$  raidėmis yra žymimos naujos gautos viršūnės.

Stačiakampė simpleksinė paieška gali apriboti simplekso orientacijų skaičių, kai valdomų kintamųjų yra daugiau nei du, vadinasi, įmanoma taikyti daugiaryšes Markovo grandines paieškos analizės ir algoritmų sintezės uždaviniams spręsti. Kai trukdžiai maži, reguliaraus simplekso paieškos efektyvumas yra didesnis negu stačiakampės simpleksinės paieškos, kai pirma pradinio simplekso orientacija, tačiau didelių trukdžių aplinkoje stačiakampės simpleksinės paieškos greita veika kopiant yra didesnė [3].

Simpleksinės paieškos metodai gali būti naudojami





2 pav. Simpleksas sudarytas pagal Nelder–Mead algoritmą dvimatėje erdvėje

sinchroninių generatorių valdymo sistemose [5], stochastinių automatinio valdymo sistemų algoritminėje sintezėje [4], PID reguliatoriams derinti [18].

Atliekant identifikavimo metodų analizę matyti, kad dauguma naudojamų kintamosios srovės variklių parametrų identifikavimo metodų turi įvairių trūkumų, todėl siūloma metodams pagerinti naudoti neraiškiają logiką, genetinius algoritmus ir neuroninius tinklus.

## Identifikavimo programinės įrangos apžvalga

Procesams ir parametrų identifikuoti gali būti naudojami *Matlab* ir *LabView* programiniai rinkiniai.

*Matlab* yra daugiaplatformė *MathWorks* programinė įranga, skirta algoritmams kurti, duomenų analizei ir vizualizacijai.

Sistemų identifikavimo modulis yra programinio rinkinio *Matlab* dalis, kuria galima kurti dinaminių sistemų matematinius modelius, naudojant eksperimentiškai gautus įėjimo ir išėjimo duomenis. Kuriant modelius galima naudoti laiko ir dažnių srityse esančius įėjimo duomenis, siekiant identifikuoti tolydaus ir diskretaus laiko procesų modelius.

Sistemų identifikavimo modulyje taikoma tokia identifikavimo eiga ir galimybės:

1. Duomenys perkeliama į *Matlab* darbinę erdvę (angl. *workspace*), analizuojami ir vaizduojami laiko ir dažnių srityse.
2. Identifikuojami tiesiniai arba netiesiniai modeliai (netiesiniai „juodosios dėžės“ tipo modeliai, modeliai su impulsiniais arba vienetiniais šuoliniais įėjimais, modeliai, sudaryti iš žemos eilės perdavimo funkcijų, modeliai, sudaryti iš diferencialinių lyg-

čių, įėjimo ir išėjimo charakteristikomis apibūdinami daugianariai modeliai).

3. Atliekama modelio tinkamumo patikra.
4. Identifikavus modelį ir jo parametrus galima gauti šio modelio diskretaus laiko charakteristikas, taip pat yra galimybė ištiesinti netiesinius modelius, nagrinėjant netiesinės charakteristikos dalis kaip tiesines ir susieti atskirus modelius į vieną.
5. Identifikuotus modelius galima naudoti realių procesų imitacijoms.

Sistemų identifikavimo modulis yra programinio rinkinio *LabView* dalis, kuria galima kurti diferencialinių lygčių forma perteiktus modelius, gautus remiantis realiomis sistemomis arba įėjimo ir išėjimo charakteristikomis, kai sistema traktuojama kaip juodoji dėžė.

Modulio galimybės:

- Eksperimentiškai gautos informacijos apdorojimas.
- Tiesinės sistemos identifikacija.
- Perdavimo funkcijos arba dažninės perdavimo funkcijos identifikacija.
- Identifikuotos sistemos modelio patvirtinimas, naudojant kitus, ne eksperimento metu gautus duomenis.
- Identifikuoto modelio analizė, naudojant Bode diagramas, Naikvisto stabilumo kriterijų.
- Modelio parametrų analizė [8].

Lyginant identifikavimo modulius *Matlab* ir *LabView* programiniuose rinkiniuose, matyti, kad abu moduliai mažai skiriasi funkcionalumu, todėl renkant programinę įrangą svarbus atsižvelgti į vartotojo poreikius modeliuojant identifikuojamą sistemą.

## Išvados

1. Dauguma pastaruoju metu taikomų kintamosios srovės variklių identifikavimo metodų turi įvairių trūkumų: nepatikimi kilus trukdžiams, neaiški jų identifikacija, pasirinkus, kad sistema yra tiesinė ir pastovaus dydžio simplekso atveju, ir tikslaus ekstremumo suradimo optimizacijos pabaigoje.
2. Metodams pagerinti siūloma naudoti neraiškiają logiką, genetinius algoritmus ir neuroninius tinklus.
3. Lyginant identifikavimo modulius *Matlab* ir *LabView* programiniuose rinkiniuose, matyti, kad abu moduliai mažai skiriasi funkcionalumu, todėl renkant programinę įrangą svarbus atsižvelgti į vartotojo poreikius modeliuojant identifikuojamą sistemą.

## Literatūra

1. Chunyuan, B.; Ruixia, C.; Yongkui, M.; Chonghui, S. A Parameter Identification Method of Induction Motor Based on three level Inverter, *Second International Conference on Digital Manufacturing & Automation*, p. 101–104.

2. Cochran, B.; Cadzow, J. Linear recursive adaptive equalization utilizing a modified Gauss – Newton algorithm, *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, vol 34, issue 7, p. 834–841.
3. Dambrauskas, A.; Rinkevičius, V. Stačiakampės simpleksinės paieškos statistinės charakteristikos. *Elektronika ir elektrotechnika*. Kaunas: Technologija, t. 51, nr.2, 2004, p. 64–67. ISSN 1392–1215.
4. Dambrauskas, A.; Rinkevičius, V. Stochastinių automatinio valdymo sistemų algoritminė sintezė. *Elektronika ir elektrotechnika*. Kaunas: Technologija, t. 63, nr.7, 2005, p. 49–52. ISSN 1392–1215.
5. Dambrauskas, A.; Karaliūnas, B.; Šulskis, D. Synthesis of the adaptive excitation control system of high power synchronous generators, *Proceedings of electrotechnical institute*, Issue 226, 2006, p. 5–17.
6. Dambrauskas, A. *Simpleksinės paieškos metodai*. Vilnius: Technika, 1995, p. 230. ISBN 9986-05-183-5.
7. Dambrauskas, A. *Simpleksinės paieškos statistinė teorija*. Monografija, 2007, p. 260. ISBN 978-9955-28-100-9.
8. Halvorsen, H. P. *System Identification and Estimation in LabVIEW*. University College of Southeast Norway, 2016.
9. Janickas, R. *Mechatroninių pavarų parametrų identifikavimas realiuoju laiku*. Daktaro disertacija. Vilnius: Technika, 2013, p. 124. ISBN 978-609-457-577-8.
10. Kalman, R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. *Transactions of the ASME–Journal of Basic Engineering*, 82 (Series D), 1960, p. 35–45.
11. Kriaučiūnas, J. *Bejutiklių asinchroninių dažninių pavarų tyrimas*. Daktaro disertacija. Vilnius: Technika, 2013, p. 112.
12. Ljung, L. *System Identification Toolbox. For use with MATLAB*. The MathWorks, Inc, 1995.
13. Ljung, L. *System Identification*. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, 1999.
14. Odhano, S. A.; Cavagnino, A.; Bojoi, S.A.; Tenconi, A. Induction Motor Magnetizing Characteristic Identification at Standstill with Single-Phase Tests Conducted Through the Inverter. *Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), IEEE International*, 2015. p. 960–966.
15. Rudinskas, D. *Bepiločių orlaivių skrydžio parametrų matavimų duomenų perdavimo saugos metodikos sukūrimas*. Daktaro disertacija. Vilnius: Technika, 2011.
16. Saleem, A.; Issa, R.; Tutunj, T. Hardware-In-the-Loop for on-line identification and control of three-phase squirrel cage induction motors. *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 18, 2011, p. 277–290.
17. Simutis, R. *Sistemų modeliavimas ir identifikavimas*. Vilnius: Vilniaus pedagoginio universiteto leidykla, 2008, p. 178, ISBN: 978-9955-20-255-4.
18. Sinlapakun, V.; Assawinchaichote, W. Optimized PID controller design for electric furnace temperature systems with Nelder Mead Algorithm. *12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2015, p. 1–4.
19. Vieira, R. P.; Azzolin, R. Z.; Grundling, H. A. Parameter identification of a single-phase induction motor using RLS algorithm. *Brazilian Power Electronics Conference*, 2009, p. 517–523.
20. Wang, S.; Dinavahi, V.; Xiao, J. Multi-rate real-time model-based parameter estimation and state identification for induction motors. *IET Electric Power Applications*, 2013, p. 77–86. ISSN 1751-8660.
21. Zhang, X.; Foo, G.; Vilathgamuwa, M. D.; Tseng, K. J.; Bhangu, B. S.; Gajanayake, C. Sensor fault detection, isolation and system reconfiguration based on extended Kalman filter for induction motor drives, *IET Electric Power Applications*, vol. 7, issue 7, 2013, p. 607–617.

## A review of induction motor parameter identification methods

Dominykas Beištaras, Antanas Staponas

Vilnius College of Technology and Design  
Vilnius Gediminas Technical university

**Abstract.** Mathematical models are useful when designing new systems. However, there are systems, that can't be easily modeled using conventional methods, therefore process and parameter identification is used to help model these systems. Frequent problem that occurs is choosing a proper identification method and software. This article deals with the main steps of process identification, most common induction motor parameter identification methods with main focus on simplex optimization methods. A brief review of software for parameter identification has been made. Choosing a identification methods depends on the system.

**Keywords:** induction motors, parameter identification, simplex optimization

# LENGVŪJŲ AUTOMOBILIŲ PADANGŲ PROTEKTORIAUS GYLIO KAITOS DINAMIKA, NAUDOJANT TRIJŲ TAŠKŲ MATAVIMO METODĄ

Deividas Navikas, Petras Kaikaris, Saulius Stravinskas, Vytenis Surblys, Donatas Kriaučiūnas, Tadas Vipartas, Audrius Matulis

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius,  
d.navikas@vtdko.lt; p.kaikaris@vtdko.lt; s.stravinskas@vtdko.lt; v.surblys@vtdko.lt;  
d.kriaučiūnas@vtdko.lt; t.vipartas@vtdko.lt; a.matulis@vtdko.lt;

**Anotacija.** Straipsnyje analizuojama lengvųjų automobilių padangų protektoriaus gylio kaita Vilniaus mieste 2016 metų žiemos periodu. Naudojant trijų taškų matavimo metodą, pateikiama atliktų matavimų rezultatai ir statistiniai rodikliai. Nagrinėjamos netolygaus padangų protektoriaus gylio kaitos priežastys. Aprašoma eksperimentinių matavimų metodika ir paplitusios sistemos, naudojamos padangų eksploatacinių rodiklių stebėsenai. Pateikti reikiamų minimalių matavimų skaičiavimai siekiant nustatyti padangos protektoriaus gylį. Pagrindinis tikslas – ištirti automobilių padangų protektoriaus gylį eksploatacijos metu, naudojant trijų taškų matavimo metodą. Šie duomenys gali būti pritaikyti padangų protektoriaus būsenos stebėsenos sistemų ir metodų tikslumui didinti. Suformuluotos išvados ir pasiūlymai.

**Pagrindinės sąvokos:** automobilio padanga, padangos protektoriaus gylis, trijų taškų matavimo metodas, slėgis, stebėsenos sistema.

## Įvadas

Saugumas keliuose yra viena prioritetinių sričių, kuria domisi transporto srities mokslininkai [5]. Pagrindinis tikslas – iki 2020 metų sumažinti Europos Sąjungos šalyse eismo įvykių skaičių iki 50% [1], [3]. Tyrėjai nuolat atlieka tyrimus ieškodami naujų būdų, tobulindami jau esamus, norėdami patikslinti saugumo sistemų poveikį.

Atliktuose tyrimuose [2], [7] analizuojamos eismo vykių priežastys. Pagrindine problema įvardijama kelio ir rato sąveikos veiksnys.

**Tikslas** – pasirinkus atsitiktinį automobilių skaičių Vilniaus mieste, naudojant trijų taškų metodą nustatyti padangų protektoriaus gylio variaciją ir įvardyti netinkamas eksploatacijos sąlygas.

### Uždaviniai:

1. Pasirinkus atsitiktinį automobilių skaičių pamatuoti padangų protektoriaus gylį trijose vietose (vidinėje, vidurinėje ir išorinėje).
2. Užfiksuoti automobilių padangų senumą.
3. Gautus duomenimis statistiškai apdoroti, įvardyti netinkamas eksploatacijos sąlygas ir pagrįsti naujo metodo pritaikomumą.

Padangų protektorius yra vienas pagrindinių padangos konstrukcinių elementų, lemiančių padangos funkciją, dėvėjimąsi, triukšmo lygį, degalų sąnaudas ir saugumą. Šioms funkcijoms atlikti svarbūs ir kiti parametrai, tokie kaip ratų geometrija ir padangų slėgis. Dažniausiai netolygų padangų protektoriaus dilimą sukeliančios priežastys susijusios su netinkamu oro slėgiu padangose:

1. Per didelis oro slėgis padangose lemia padangos vidurio nusidėvėjimą.
2. Dėl per mažo padangų slėgio padangose nudyla padangos kraštai.

Padangų gamintojai, bendradarbiaudami su automobilių gamintojais, be klasikinių padangos protektoriaus gylio indikatorių (1 pav.) vis plačiau taiko įvairias padangų slėgio ir protektoriaus gylio stebėsenos sistemas (2 pav.). Šios sistemos užtikrina ne tik slėgio, nuo kurio priklauso saugumas kelyje, stebėseną, bet ir padangų eksploatacinių savybių ilgalaikiškumą.



1 pav. Padangų protektoriaus gylio dėvėjimosi indikatoriai [6]

Nauja *Continental* gamintojo sukurta sistema suteikia galimybę stebėti ne tik slėgį padangose, bet ir padangos protektoriaus gylio kaitą (2 pav.)



2 pav. *Continental* padangos slėgio ir protektoriaus gylio stebėsenos sistema [4]

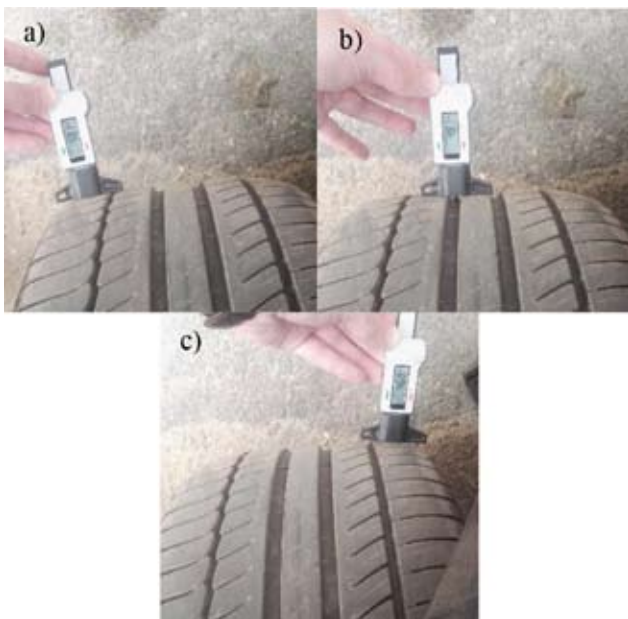
Padangų protektoriaus gylio matavimo metodika nėra reglamentuota norminiais dokumentais ir ma-

tavimai atliekami padangos kontakto vietoje su kelio danga vizualiai mažiausio protektoriaus gylio vietoje.

Matavimo rezultatai atskleidžia, ar padangos protektoriaus gylis atitinka KET reikalavimus. Vasaros laikotarpiu minimalus protektoriaus gylis turi būti 1,6 mm, žiemos – 3 mm. Šis matavimo būdas nėra tikslus ir nepažodo realios padangos būklės bei galimų eksploatacinių automobilio ratų geometrijos ir netinkamų padangos eksploatacinių sąlygų. Taigi reikia tikslinti ir unifikuoti šią matavimo metodiką, kad būtų galima tiksliau informuoti automobilio valdytoją apie besikeičiančias padangos eksploatacines sąlygas, netinkamą slėgį padangose, galimus ratų geometrijos netinkamus kampus.

## Eksperimentinis tyrimas

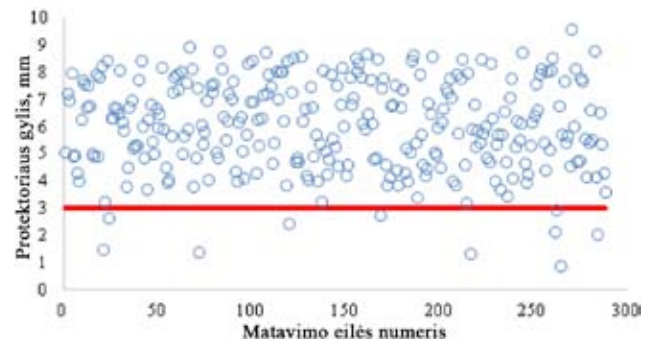
Atliekant tyrimą atsitiktinai pasirinkti 24 automobiliai Vilniaus mieste ir pamatuotas padangų protektoriaus gylis trijuose padangos protektoriaus vietose (3 pav.).



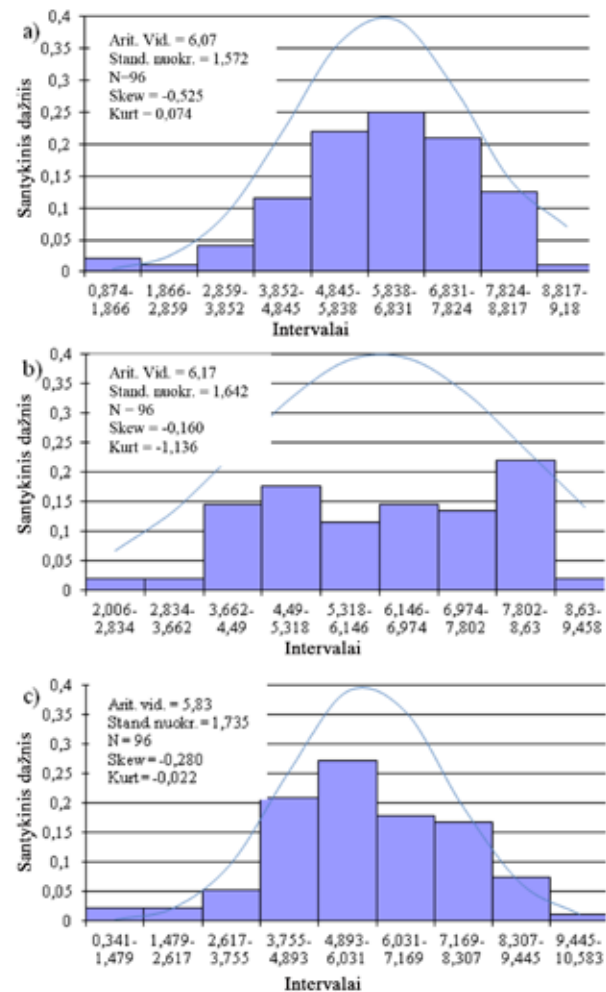
3 pav. Padangų protektoriaus gylio matavimas trijuose taškuose: a – padangos protektoriaus išorinėje dalyje; b – padangos protektoriaus vidurinėje dalyje; c – padangos protektoriaus vidinėje dalyje

Duomenys buvo surinkti 2016 m. sausio mėnesį, todėl pagal KET reikalavimus minimalus padangų protektoriaus gylis turėtų būti ne mažesnis nei 3 mm. Taip pat buvo fiksuojama padangų pagaminimo data. Gauta padangų protektoriaus gylio duomenų sklaida (4 pav.) rodo, kad matavimo duomenys labia skirtingi (nuo minimalios reikšmės, kuri lygi 0,91 mm., iki maksimalios – 9,54 mm.). 10 matavimų rezultatų rodo, kad padangų protektoriaus gylis yra mažesnis nei reikalaujama KET.

Gavus skirtingus matavimo rezultatus sunku pasakyti, koks padangų protektoriaus gylio pasiskirstymas vertinant tris padangos taškus. Dėl šios priežasties duomenys buvo suskirstyti į tris grupes: padangos išorinės,



4 pav. Matavimo rezultatų sklaida



5 pav. Padangų protektoriaus gylio histogramos, normaliojo skirstinio teorinės kreivės ir statistiniai rodikliai: a – padangos vidinė pusė; b – padangos vidurinė dalis; c – padangos išorinė pusė.

vidurinės ir vidinės pusės rodmenys. Gauti rezultatai ir jų statistiniai rodikliai pateikti 5 pav.

Padangos protektoriaus gylio didžiausias aritmetinis vidurkis gautas, kai matavimai atlikti padangos viduryje (6,17 mm). *Skew* ir *Kurt* reikšmės mažesnės už kritines, kurios gaunamos dauginant standartinio nuokrypio reikšmes tris ir penkis kartus ( $3Skew_a=3,88$ ,  $3Skew_b=4,43$ ,  $3Skew_c=5,22$ ,  $5Kurt_a=9,60$ ,  $5Kurt_b=11,94$ ,  $5Kurt_c=15,72$ ). Dėl šios priežasties visų matavimų rezultatai (4 pav.) pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį.

Palyginus automobilių padangų senumą ir gamintoją, paaiškėjo, kad 16 automobilių, kurių visos keturios

padangos buvo vieno gamintojo, seniausios padangos pagamintos 2006 metų 17 savaitę, naujausios – 2014 metų 32 savaitę. Visų kitų automobilių padangų poros ant ašių buvo skirtingos. Seniausios pagamintos 2004 metų 20 savaitę, naujausios – 2014 metų 11 savaitę.

### Minimalus būtinas reprezentatyvios imties dydis

Padangų protektoriaus gyliui nustatyti atlikti atsitiktiniai matavimai, kurių minimalus būtinas matavimų skaičius (duomenų skaičius) gali būti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (1)$$

čia  $n$  – minimalus būtinas duomenų skaičius,  $t$  – pasirenkamas patikimumo laipsnis (arba tikimybė gauti teisingą atsakymą), matuojamas standartinio nuokrypio vienetais nuo  $t$  pasiskirstymo kreivės centro;  $\sigma$  – matavimų bendras standartinis nuokrypis;  $\Delta$  – leistinoji paklaida tarp apskaičiuoto aritmetinio vidurkio ir tikrojo vidurkio.

Kai Stjudento skirstinio dvipusio testo reikšmingumo lygmuo pasirenkamas 95% (laisvės laipsnių skaičius –  $\infty$ ), tai  $\alpha=0,05$ , o  $t=1,96$ .

Leistinoji paklaida skaičiuojama pagal formulę:

$$\Delta = \frac{\delta^2 \cdot \bar{X}^2}{100}, \quad (2)$$

čia  $\delta$  – leidžiama santykinė paklaida (gali būti 5%, 10%, 15% arba 20%);  $\bar{X}$  – padangos protektoriaus gylio aritmetinis vidurkis.

Leidžiama santykinė paklaida ( $\delta$ ) pasirinkta 5%. Naudojant visų matavimų aritmetinį vidurkį (6,022 mm) ir standartinį nuokrypį (1,657 mm), gautas minimalus matavimų skaičius ( $n=0,128$ ). Vadinasi, naudojant visą imtį (288) minimalus matavimų skaičius turėtų būti 1, taigi atitinka reikalavimus. Bet standartinio nuokrypio reikšmės (5 pav.) rodo, kad duomenys varijuoja, ir didžiausia aritmetinio vidurkio (6,17 mm) reikšmė gauta matuojant vidurinėje padangos protektoriaus dalyje. Tiksliau būtų matuoti trijuose taškuose ir spręsti apie padangos protektoriaus būklę bei jos eksploatacinius rodiklius bei galimas netinkamo dilimo priežastis (ratų geometrija, slėgis padangose).

### Išvados

1. Atlikus 96 automobilių padangų protektoriaus gylio matavimus trijuose padangos protektoriaus vietose (protektoriaus išrinėje, vidurinėje ir vidinėje pusėje), nustatyta, kad 10 padangų protektoriaus gylis neatitiko minimalių KET reikalavimų žiemos laikotarpiu (protektoriaus gylis buvo mažesnis nei 3 mm).
2. Didžiausia aritmetinio vidurkio reikšmė gauta atlikus matavimus padangos viduryje (6,17 mm).

Susumavus duomenis, matyti, kad naudojant trijų taškų matavimo metodiką, kai padangos protektorius matuojamas padangos vidinėje, vidurinėje ir išorinėje pusėje, padangų protektoriaus gylio vidurkis skiriasi 0,2 mm.

3. Atlikto tyrimo duomenimis, matavimai tikslesni, kai matuojama trijuose padangos vietose, nors aritmetinių vidurkių skirtumas lyginant padangos vidurio matavimo rezultatus su vidine puse yra 0,1 mm, o su išorine – 0,34 mm.
4. Apskaičiuotas minimalus matavimų skaičius ( $n=1$ ) atskleidžia, kad dabartiniai matavimai, kai atliekamas vienas matavimas pasirinktoje vietoje, yra teisingas ir pagrįstas, bet jis neparodo tikslų padangos protektoriaus eksploatacijos sukeltų dilimo tendencijų, kurių priežastimi gali būti per didelis arba per mažas slėgis padangose ar netinkami ratų geometrijos kampai.

### Literatūra

1. European Transport Safety Council, *RANKING EU PROGRESS ON ROAD SAFETY, 11th Road Safety Performance Index Report*, 2017 June.
2. European Transport Safety Council, *Road accident data in the enlarged European Union*, 2006, p.1–30.
3. Europos Komisija, *CARS 2020: konkurencingos ir tvarios Europos automobilių pramonės veiksmų planas*. Briuselis, 2012.
4. Fung, D. Continental developing tyre tread depth monitor for 2017 release, *Car advice*, 2014 [interaktyvus]. [žiūrėta 2017 m. birželio 30d.]. Prieiga internetu: <http://www.caradvice.com.au/285887/continental-developing-tyre-tread-depth-monitor-for-2017-release/>
5. Matsuzaki, R.; Todoroki, A. Wireless monitoring of automobile tires for intelligent tires, *Sensors*, 8(12), 2008, p. 8123-8138. doi:10.3390/s8128123.
6. *Michelin official site* [interaktyvus]. Michelin oficiali svetainė [žiūrėta 2017 m. birželio 26d.]. Prieiga internetu: <http://thetire-digest.michelin.com/every-day-check-for-wear>.
7. Technical Research Centre of Finland (VTT), *Intelligent tyre systems – state of the art and potential technologies*, Deliverable D7, 2001.

### AUTOMOBILES TYRES TREAD VARIATION USING THREE POINTS MEASURING METHOD

Deividas Navikas<sup>1</sup>, Petras Kaikaris<sup>2</sup>, Saulius Stravinskas<sup>3</sup>, Vytenis Surblys<sup>4</sup>, Donatas Kriauciūnas<sup>5</sup>, Tadas Vipartas<sup>6</sup>, Audrius Matulis<sup>7</sup>

Vilnius College of Technologies and Design,  
Antakalnis str. 54, LT-10303 Vilnius, e-mail:

**Abstract.** The article analyzes the tire tread depth of automobiles in Vilnius city during the 2016 winter period. Using the three-point measurement method,

the results of the accomplished measurements and their statistical indicators are presented. The causes of tire tread depth variation is analyzed. An overview of the experimental measurement methodology and the most commonly used systems to track and determine tire performance are presented. The calculation of the minimum measurements, of the depth of tire tread, is presented. The main objective using a three-point

measurement method is to investigate the tire's tread depth during operation. These data can be used to increase the accuracy of tire tread depth monitoring systems and methods. Formulated conclusions and suggestions.

**Keywords:** automobile tyre, tyre tread depth, three-point measuring method, pressure, monitoring system.

# IEŠMO PAVAROS VIBRACIJŲ DIAGNOSTIKOS SIGNALŲ ANALIZĖ

Dr. Vytautas Gargasas

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius  
v.gargasas@vdtko.lt

**Straipsnio anotacija.** Geležinkelio ieško pavaros diagnostikos automatizavimas – tai perspektyvi mokslo ir technologijų vystymo kryptis. Įdiegta diagnostikos sistema gali aptikti net ir besivystančius gedimus. Tai leistų imtis veiksmų gedimui dar neįvykus. Ieško pavara generuoja skirtingos rūšies signalus, atspindinčius pavaros būklę. Šiame darbe vystoma pavaros mechaninių virpesių signalo taikymo automatizuotai diagnostikos sistemai idėja, pasiūlomas skirtingų signalo rinkinių tinkamumo diagnostikos sistemai įvertinimo bei palyginimo būdas. Pateiktos rekomendacijos, kuriomis remiantis galima užfiksuoti kokybiškus, realiomis sąlygomis veikiančios ieško pavaros virpesių diagnostikos signalus.

**Pagrindinės sąvokos:** ieško pavara, automatizuota objektų diagnostika, vibracijų signalo analizė, signalo požymiai.

## Įvadas

Geležinkelio ieško pavaros diagnostikos proceso automatizavimas – viena ir perspektyviausių kryžių, leidžianti padidinti geležinkelio eismo saugumą. Paprastai techninis ieško pavarų aptarnavimas vyksta iš anksto nustatytu periodiškumu ir to kartais nepakanka, kad pavara nesugestų netikėtai. Automatizuotos ieško pavaros diagnostikos procesas apimtų pavaros kontrolę kiekvieno perjungimo metu – daug dažniau, nei techninės eksploatacijos normose numatytu periodiškumu. Be to, automatizuota diagnostikos sistema leistų ne tik nustatyti jau įvykusį gedimą, bet ir atpažinti besivystančio gedimo požymius. Taip būtų galima imtis veiksmų gedimui dar galutinai neįvykus. Tokiu būdu galima dažniau išvengti geležinkelio eismo trikdžių, atsirandančių dėl ieško ar ieško pavaros gedimo.

Pasaulyje yra tiriamos ir naudojamos kelios skirtingos ieško pavaros diagnostikos organizavimo idėjos. Techninės-organizacinės diagnostikos priemonės, reguliari pavaros patikra, atliekant apžiūrą, techninis aptarnavimas, analizuojamas Enfanovo publikacijoje [7]. Čia apsiribojama elektros variklių keitimo ir tikrinimo periodiškumu. Diagnostikos automatizavimo idėjas aprašė Daunoras [2]. Čia analizuojama pavaros nuolatinės srovės elektros variklio patikra, įsuktam variklio rotorui veikiant generatoriniu režimu. Generuojama įtampa – tai diagnostikos signalas, pagal kurio formą sprendžiama apie ieško pavaros variklio būklę. Egzistuoja ieško pavarų diagnostikos sistemos ir priemonės, paremtos variklio maitinimo srovės matavimu: stoties budėtojo pulte sumontuotas kontrolinis ampermetras, pagal kurio rodmenis stoties budėtojas gali įvertinti padidėjusią pavaros valdymo srovę, pailgėjusią ieško perjungimo trukmę ir iš to daryti išvadą apie valdomo ieško būklę. Šiuo principu remiantis tiriami ir skaitmenine pavaros valdymo srovės analize paremta automatizuotos diagnostikos sistemos idėja. Šia tema galima rasti nemažai publikacijų: Asada, Daunoras, Silmon [1, 2, 5] tiria ieško nuolatinės srovės variklio pavaros srovės formas ir teigia,

kad joje galima išskirti daugumą diagnostikai svarbių požymių: ieško perjungimo trukmę, starto srovės ir srovės reikšmę nusistovėjusiam režime. Pavaros variklio maitinimo srovės signalu atsispindi ir vibracijos, sukeltos variklio kolektoriaus ar apvijų defektų, pavaros reduktoriaus ar guolio gedimų, ieško smailės sukeltiems eigos mechaninės apkrovos netolygumų. Todėl tokia sistema diagnozuoja ne vien elektrinę ir mechaninę ieško pavaros dalį, bet ir patį iešmą. Nuolatinės srovės varikliai vis rečiau naudojami geležinkelio iešmų pavarose, o modernizuojant infrastruktūrą, jie keičiami asinchroniniais trijų fazių varikliais, kuriuose nėra rotorinio kolektoriaus, apvijų ar šepetėlių. Trifazio pavaros variklio maitinimo srovės signalo formos analizei ir pavaros diagnostikai pasiūlytas uždavinys publikuojamas Burek darbuose [6] ir yra dar visai naujas, pilnai neiširtas.

Tačiau praktiškai taikant pavaros valdymo srovės analize paremtas automatizuotas diagnostikos būdus, ar planuojant tokių sistemų eksperimentinį tyrimą, susiduriama su organizaciniais keblumais. Kiekvienas iš šių būdų reikalauja invazijos į pavaros valdymo schemą. Tokie pakeitimai nėra reglamentuoti techninėje dokumentacijoje ir kelia papildomus pavaros valdymo schemas patikimumo užtikrinimo klausimus.

Jonkung Lee (2016) [3, 4] naujausiose publikacijose pristato pavaros akustinio garso signalo analizės taikymą diagnostikai. Tačiau ieško pavaros dažnai eksploatuojamos akustiniame triukšme, todėl tikslinga ieškoti triukšmui atsparesnių signalo fiksavimo būdų.

## Pavaros vibracijų tyrimo principai

Vilniaus technologijos ir dizaino kolegijos Geležinkelio stočių automatikos laboratorijoje iškelta ieško pavaros automatizuotos diagnostikos idėja, paremta ieško pavaros skleidžiamų virpesių analize. Laboratorijoje atliktais tyrimais išsiaiškinta, kad galimus ieško pavaros gedimus galima užfiksuoti analizuojant pavaros skleidžiamų vibracijų signalus. Deja, laboratorijoje esanti ieško pavara SP-3 yra idealios būklės ir dėl

to nepavyko užfiksuoti gedimo sukkelto signalo. Todėl buvo apsiribota pavaros perjungimo pliuso ir minuso kryptimi identifikavimo uždaviniu. Eksperimento eigoje buvo išbandyti įvairūs pavaros vibracijų signalo matematinės transformacijos būdai ir nustatyta, kad geriausiai signalo požymiai išsiskiria naudojant kombinuotą transformaciją – signalo spektro autokoreliacijos funkciją.

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(k)e^{2inkx} dx \quad (1)$$

$$R_f(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x+\tau)f(x)dx \quad (2)$$

Tokiu būdu transformavus pavaros virpesių signalą gaunama identiškumo funkcija yra tolydi. Laboratorijoje užfiksuoto pliuso ir minuso kryptimis besisukančio pavaros variklio ir mechanizmų sukeliama virpesiai skyrėsi tarpusavyje. Tyrimo išvadose buvo teigiama, kad jei pasiūlytas būdas yra jautrus tokiam nedideliame signalo skirtumui, tai labai tikėtina, kad pavaros defektas atsispindės pavaros skleidžiamose vibracijose ir bus dar lengviau atpažintas.

Petro Vileišio geležinkelių transporto fakultetas glaudžiai bendradarbiauja su AB“ Lietuvos geležinkeliai“ ir ateityje tikimasi laboratorijoje pasiteisinusias ieško pavaros automatizuotos diagnostikos idėjas patikrinti realiomis sąlygomis. Tačiau tikintis kuo tikslesnio ir naudingesnio rezultato, prieš organizuojant šį eksperimentą tikslinga išanalizuoti kai kuriuos klausimus laboratorijoje. Vienas iš tokių klausimų – kuriuose pavaros taškuose užfiksuotas virpesių signalas geriausiai tinka ieško pavaros diagnostikai.

Automatizuotos diagnostikos sistemų struktūra paprastai susideda iš:

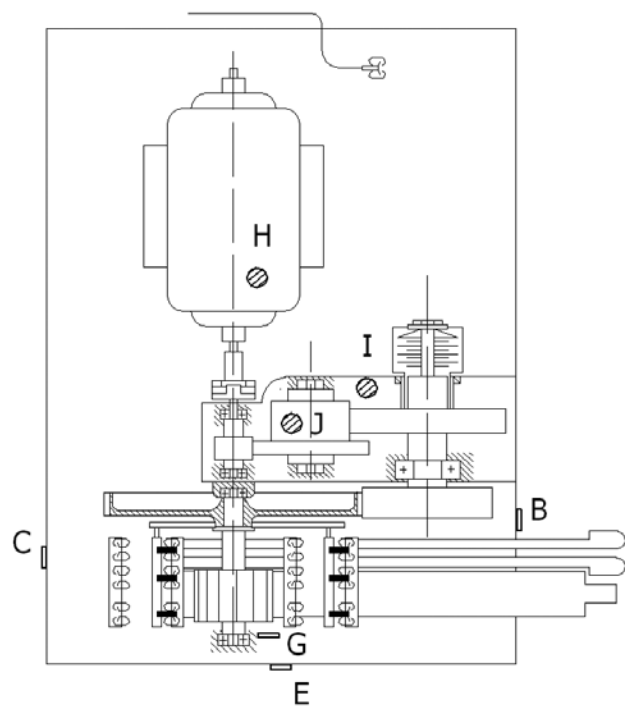
1. Diagnostikos signalo fiksavimo įrangos,
2. Signalo klasifikavimo požymių įvertinimo algoritmo,
3. Požymių klasifikatoriaus.

Šio tyrimo eigoje bus atliekama diagnostikos signalo fiksavimo vietos analizė, pasitelkus jau anksčiau ištirtą klasifikavimo požymių radimo būdą. Kol kas, neturint sukauptos požymių aibės, yra anksti tirti sistemai tinkamiausią klasifikatoriaus algoritmą. Nepaisant to, tyrimo eigoje bus pasiūlomas kiekviename taške užfiksuotų signalų tinkamumo diagnostikos sistemai įvertinimo ir palyginimo būdas. Šis būdas bus paremtas galimybe požymius klasifikuoti geometrinio Fišerio klasifikavimu. Tai vienas iš elementariausių klasifikatorių ir nebūtinai jis ateityje turėtų būti pasirinktas tinkamiausiu. Tačiau šio tyrimo eigoje daroma prielaida, kad Fišerio klasifikatorius yra pakankamas signalo informatyvumui įvertinimo būdai pagrįsti.

Laboratorijos sąlygomis nėra galimybės užfiksuoti defektą turinčios pavaros virpesius, todėl ir toliau tyrimai bus vykdomi analizuojant pliuso ir minuso kryptimi besisukančios pavaros skleidžiamų virpesių atskyrimu.

## Virpesių matavimo vietos pavaroje

Geležinkelio ieško pavaros virpesiai į elektrinį signalą keičiami pjezo-elektriniu jutikliu. Vienas toks jutiklis užfiksuoja tik viename pavaros taške skleidžiamus mechaninius virpesius. Eksperimento metu naudojamas pjezo-elektrinis jutiklis yra 2 cm diametro disko formos. Todėl ir pavaros vieta, kuriame fiksuojami virpesiai, turi būti tokia, kad jutiklis galėtų priglusti visu paviršiaus plotu prie lygaus pavaros elementų paviršiaus. Parenkant virpesių matavimo vietas taip pat atsižvelgiama į virpesių šaltinių (guolių, reduktoriaus) vietas. Taip pat buvo fiksuojami virpesiai ir pavaros išorėje, siekiant išsiaiškinti ar diagnostikai tinka signalai, kuriuos jutikliu galima užfiksuoti neatidarant pavaros gaubto.



1 pav. Virpesių matavimo vietos pavaroje. Eksperimento eigoje buvo pasirinktos šios virpesių matavimo vietos: A – pavaros gaubtas, jutiklis tvirtinamas iš vidaus; B – pavaros išorėje, šalia trauklių, C – pavaros išorėje, trauklių angai priešingoje sienelėje; D – gaubto išorėje, virš kontaktinių kaladžių; E – išorinės priekinės sienelės viduryje; F – Pavaros gaubtas, ties pavaros centru; I – reduktoriaus apatinė dalis; J – reduktoriaus dangtelis; G – šalia pagrindinio veleno guolio, H – ant variklio korpuso.

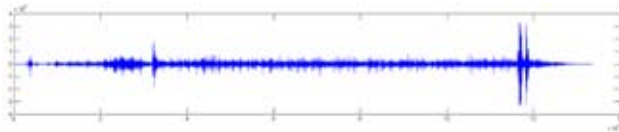
## Signalų analizė

Signalų skaitmenizavimui pasirinktas prietaisas, fiksuojantis signalą 45000 kartų per sekundę, diskretizuojantis 16 bitų tikslumu. Kiekviename taške užfiksuoti 3 signalai, pavaros sukimosi į pliuso padėtį metu ir 3 signalai pavaros sukimosi į minuso padėtį metu. Virpesių fiksavimas atliktas dešimtyje skirtingų pavaros vietų ir taip užfiksuota 60 atskirų signalų.

Užfiksuotuose virpesiuose galima išvelgti tris pagrindinius etapus: 1. Paleidimo etapas, 2. nusistovėjęs



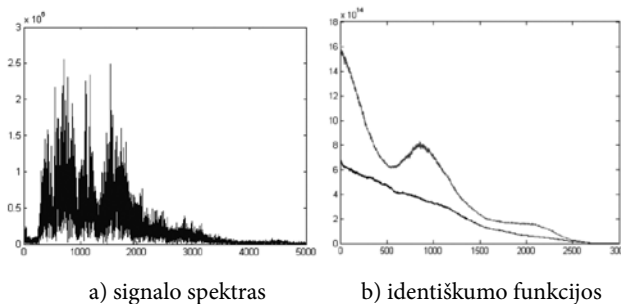
režimas, ir 3. stabdymo etapas. Paleidimo ir stabdymo etapai pasižymi kontaktinių kaladėlių smūgiais. Šie smūgiai yra labai svarbūs, matuojant ieško perjungimo laiką, diagnozuojant pačių kontaktų būklę.



2 pav. Pavaros perjungimo virpesių (tiriamasis) signalas

Tačiau jų amplitudė yra palyginti didelė ir, jei skaičiuosime viso perjungimo metu užfiksuotą signalą – kontaktų smūgių fragmentai gali užgožti žemesnės amplitudės virpesius signale. Spektro ir autokoreliacijos funkcijos, kurių pagalba bus transformuojamas signalas, labiausiai atsitiktinių stochastinių procesų analizei. Kaip tik tokiu procesu galima pavadinti nusistovėjusį režimą. Kaip tik šioje signalo dalyje labiausiai tikėtina užfiksuoti defektuoto guolio, reduktoriaus, variklio, netolygiai judančios smailės sukeliamus virpesius. Todėl šio tyrimo eigoje bus tiriami tik nusistovėjusio režimo virpesiai.

Kiekvieno iš signalo identiškumo funkcija gaunama dviem etapais: 1. Apskaičiuojamas signalo spektras (greitoji Furje transformacija) 2. Skaiciuojama gautos funkcijos autokoreliacija.



3 pav. I-tojo jutiklio signalo transformacijos rezultatas

Apskaičiavus signalo spektrą pastebėta, kad maksimalus pavaros sukeliamų virpesių dažnis yra 4 kHz. Dėl to, prieš pereinant prie autokoreliacijos funkcijos skaičiavimo etapo, išskiriama tik informatyvioji signalo spektro dalis.

Atlikus autokoreliacijos funkcijos transformaciją, pastebėta, kad ne visose vietose esantieji virpesiai tinkamai atspindi pavaros sukimosi krypties atskiriami tinkamus virpesius. Tačiau siekiant palyginti skirtingų pavaros vietų virpesius tarpusavyje ir nustatyti kuriose vietose fiksuojami virpesiai geriausiai tinka diagnostikos signalui, o kuriuose netinka, siūlomas originalus signalų rinkinio tinkamumo klasifikavimui  $I$  skaičiavimo būdas. Vertinimo esmė yra paremta geometrinio Fišerio klasifikatoriaus principais: patikimiausiai skirtingų klasių požymiai atskiriami tada, kai: jų vidurkiai yra pakankamai toli vienas nuo kito, o požymių aibės nepersidengia. Tada siūlomas signalo tinkamumo klasifikavimui indeksas turės tuo aukštesnę reikšmę, kuo

klasių vidurkiai toliau vienas nuo kito ir kuo mažiau persidengs tos pačios klasės požymiai. Siekiant indeksą  $I$  palyginti tarpusavyje, kiekvieno rinkinio požymių reikšmės yra normalizuojamos, t. y. dalinamos iš maksimalios vertės požymio rinkinyje reikšmės. Sakykim, kad kiekvienai iš identiškumo funkcijų įvertinti bus parinkti du požymiai: funkcijos reikšmė 300-tajame ir 1100-tajame masyvo taške.

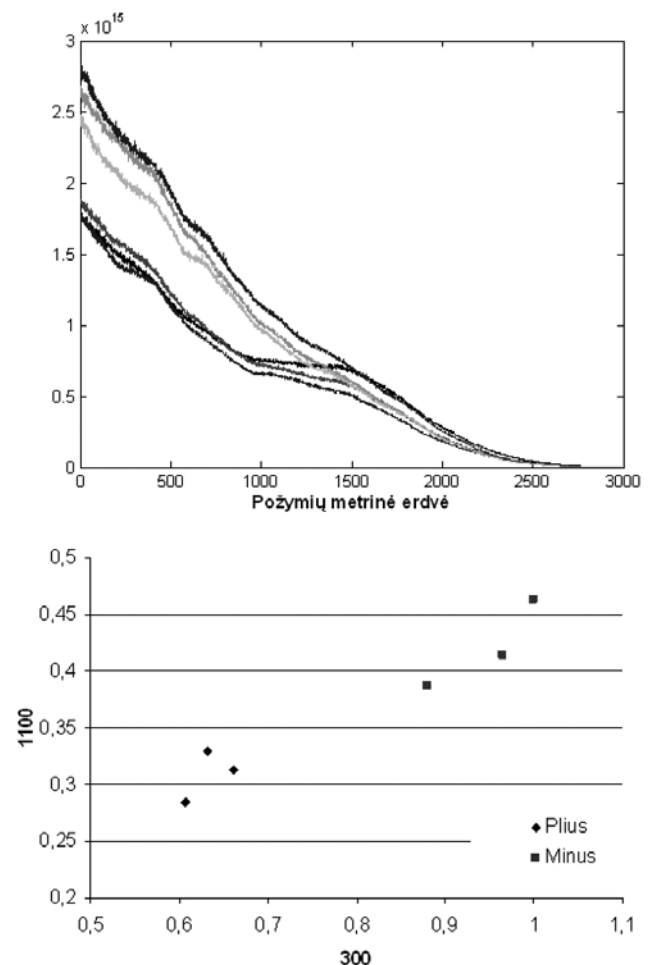
$$I = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \left( \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_{ij} \right| \right) + \sum_{j=1}^k (\min[A_i] - \max[B_i]), \quad (3)$$

kur  $n$  – kiekvieną klasę aprašančių signalų skaičius,  $k$  – signalui aprašyti pasirinktų požymių skaičius,  $A_{ij}$  – A klasės signalų grupės  $i$ -tojo signalo  $j$ -tasis požymis. Ši formulė taikoma, jei A klasės požymių vidurkis didesnis už B klasės požymių vidurkį  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{ij} > \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_{ij}$ . Priešingu atveju, jei  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{ij} < \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_{ij}$ , tada:

$$I = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \left( \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_{ij} \right| \right) + \sum_{j=1}^k (\min[B_i] - \max[A_i]). \quad (4)$$

Mūsų atveju kiekvienai klasei sukaupytų signalų skaičius  $n = 3$ , požymių skaičius  $k = 2$ .

Požymiai – normalizuotos funkcijų reikšmės taškuose 300 ir 1100. Pavyzdžiui imkime J vietoje esančių jutikliu užfiksuotų vibracijų identiškumo funkcijų šeimą (4 pav.).



4 pav. J vietoje esančių jutikliu užfiksuotų virpesių identiškumo funkcijos ir požymių išsidėstymas metrinėje erdvėje

Iš 4 pav. matyti, kad atskirų klasių identiškumo funkcijos reikšmės taškuose 300 ir 1100 išsidėstę tinkamai, klasifikavimo atžvilgiu: atskirų klasių požymių aibės nepersidengia, o vidurkiai yra pakankamai toli vienas nuo kito. Šiuo atveju apskaičiuotasis tinkamumo klasifikavimui indeksas turėtų būti palyginti aukštas. Apskaičiavus  $I_j = 0,352$ .

1 lentelė. Skirtinguose taškuose užfiksuotų signalų tinkamumo klasifikavimui palyginimas

Nr.	Jutiklis	Jutiklio vieta	Tinkamumas klasifikavimui $I$
1.	I	Reduktoriaus apatinė dalis	0,62776
2.	C	Pavaros išorėje, trauklių angai Priešingoje sienelėje	0,37932
3.	J	Reduktoriaus dangtelis	0,35188
4.	G	Šalia pagrindinio veleno guolio	0,29059
5.	B	Pavaros išorėje, šalia trauklių	0,21583
6.	H	Ant variklio korpuso	0,1985
7.	A	Pavaros gaubtas, jutiklis tvirtinamas iš vidaus	0,18444
8.	F	Pavaros gaubto išorėje, ties pavaros centru	0,0165
9.	E	Išorinės priekinės sienelės vidurys	-0,02799
10	D	Gaubto išorėje, virš kontaktinių kaladžių	-0,04901

Iš 1. lentelėje pateiktų tyrimo rezultatų matoma, kad ne visi tirtieji pavaros taškai leidžia užfiksuoti tinkamos kokybės diagnostikos signalus. Reikia pastebėti, kad kiekvienam signalų rinkiniui individualiai parinkus informatyviųjų požymių ordinate (nebūtinai turi būti 300-tasis ir 1100-tasis taškai), galima pasiekti ir geresnę klasifikavimo tinkamumo rodiklį. Tačiau rezultato esmės tai nepakeistų. Atliktas tyrimas leidžia suformuoti realiomis sąlygomis veikiančių įrenginių tyrimo planavimui svarbias išvadas:

## Išvados

1. Kokybiškiausias klasifikavimo signalas gaunamas pjezo-jutiklį tvirtinant pavaros viduje, prie geležinkelio iešmo pavaros reduktoriaus apatinės dalies.
2. Jei eksperimento metu nebus galimybės atidaryti pavaros gaubto, jutiklį tikslinga tvirtinti prie šoninės sienelės, netoli trauklių judėjimo ašies vietos.
3. Jokiu būdu nerekomenduojama fiksuoti pavaros gaubto virpesių signalo – gaubto virpesiai duoda klasifikavimui netinkamos kokybės signalą.
4. Pasiūlyta formulė, įvertinanti normalizuotų požymių klasių vidurkių skirtumą ir požymių persidengimo lygį, yra tinkama ir gali būti taikoma skirtingais būdais gautų požymių palyginimui ir apytiksliai klasifikavimo požymių tinkamumo klasifikuoti įvertinimui.

5. Gauti rezultatai labai svarbūs ir gali būti pritaikyti planuojant diagnostikos sistemos galimybių tyrimą realiomis iešmo pavarų eksploatavimo sąlygomis.

## Literatūra

1. Asada, T. Roberts, C. Koseki, T. An algorithm for improved performance of railway condition monitoring equipment: Alternating-current point machine case study. *Transp. Res. C Emerg. Technol.* 2013, 30, p.81–92.
2. Daunoras, J. Gargasas, V. Knyš. A. Evaluation of Railway Switch Drive Operating Condition Using Control Current Features // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: Technologija, 2010. – No. 10(106). – p. 71–74.
3. Jonguk, L. Heesu, C. Daihee P. Yongwha. Ch. Hee-Young K. Sukhan, Y. Fault Detection and Diagnosis of Railway Point Machines by Sound Analysis. *Sensors*, 2016, 16, p.549–558.
4. J Lee, H Choi, D Park, Y Chung, HY Kim, S Yoon. Fault detection and diagnosis of railway point machines by sound analysis – *Sensors*, 2016, 16, 549
5. Silmon, J. Roberts, C. Improving railway switch system reliability with innovative condition monitoring algorithms. *Proc. Inst. Mech. Eng. F J. Rail Rapid Transit* 2010, 224, p.293–302.
6. Буряк, С. Ю. Гаврилюк, В. И. Гололобова, О. А. Безнарыт-ный, А. М. Исследование диагностических признаков стрелочных электроприводов переменного тока. *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта, выпуск № 4 (52), 2014, с.7–22.*
7. Ефанов, Д. В. Богданов, Н. А. Контроль параметров стрелочных приводов. *Проблемы безопасности и надежности микропроцессорных комплексов, выпуск № 1, 2015, с.118–128.*

## RESEARCHES OF FOIL ADDITIVES INFLUENCED BY OILS WORKING CHARACTERISTICS

Vytautas Gargasas

Vilnius College of Technology and Design

**Abstract.** Automation of railway point machine diagnostic is a viable direction of science and technology development. Automated point gear diagnostic system can detect emerging faults and allow you to take action before a fault happens. The point machine generates different types of signals for condition detection. This work represents the idea of mechanical vibration signal analysis for automated diagnostic system. A new method for evaluation and comparing the suitability of different signal sets for the diagnostic system is presented. In conclusions recommendations to capture high-quality diagnostic vibro-signals are presented.

**Keywords:** Point machine, automated diagnostic, Analysis of vibro-signal, signal features.

# SELEKTYVAUS IR JUODAI DENGTO SAULĖS KOLEKTORIŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS

Virginija Urbonienė, Povilas Milius, Šarūnas Taraškevičius

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

**Anotacija.** Senkant iškastinio kuro atsargoms, mokslininkai ir ekspertai vieningai sutaria, kad būtina ieškoti alternatyvių energijos gavimo būdų, vienas kurių - Saulės energijos panaudojimas švarios energijos gamybai. Atsinaujinančių išteklių panaudojimas energijos gamybai leidžia sumažinti išmetamų teršalų kiekius į atmosferą taip įtakojant klimato kaitos mažinimą.

*Saulės kolektorių paskirtis* – pašildyti vandenį, tiekiamą į pastato karšto vandens sistemą. Saulės kolektoriai yra įvairių tipų, iš kurių dažniausiai naudojami vakuuminiai ir plokštieji.

Šiame straipsnyje analizuojamas *plokščiųjų* saulės kolektorių (selektyvaus ir juodai dengto) efektyvumas. Tyrimui atlikti naudojamas *Saulės kolektoriaus laboratorinis stendas*.

**Pagrindinės sąvokos:** srauto debitas, apšvieta, efektyvumas (naudingumo koeficientas), šiluminė galia, posvyrio kampas.

## Įvadas

Saulės kolektoriai gali būti naudojami ir pastatų šildymui, ir karštam vandeniui ruošti. Saulės kolektoriai „sugeria“ saulės energiją ir ją perduoda sistemoje cirkuliuojančiam šilumnešiui, kuriuo dažniausiai gali būti specialus neužšalantis skystis (pvz., glikolis). Pašilęs skystis perduoda šilumą pastato karšto vandentiekio arba šildymo sistemai.

Saulės kolektoriai skirstomi į du pagrindinius tipus: *plokščiuosius ir vakuuminius*.

Eksperimentinio tyrimo metu naudojami *plokštieji* Saulės kolektoriai.

Patys populiariausi yra plokštieji kolektoriai dėl jų paprastumo bei ilgaamžiškumo.

Pagrindiniai plokščiojo kolektoriaus elementai yra: absorberis, vamzdelis su tarpiniu šilumos nešėju - vandeniu, skaidrus dangtis, šilumos izoliacijos sluoksnis, korpusas. Absorberyje Saulės energija paverčiama šilumine energija. Vakuuminių ir plokščiųjų kolektorių veikimo principas yra panašus: per specialią dangą, vadinama selektyvu, sugeriama šiluminė Saulės energija, kuri perduodama šilumnešiui. Ši dangą paprastai sugeria apie 95 % Saulės energijos.

Saulės kolektorių efektyvumas priklauso nuo keleto aspektų:

1. Saulės spinduliuotės intensyvumo, t. y. saulės energijos kiekio, kuris tenka žemės paviršiaus vienetui.
2. Šilumnešio temperatūros palaikymo.

Lauko temperatūra taip pat daro įtaką efektyvumui: kuo labiau skiriasi temperatūra cirkuliuojančiame šilumnešyje ir lauke, tuo mažesnis efektyvumas.

Plokštieji kolektoriai daugiau energijos pagamina, kai saulės spinduliai krenta į juos tiesiogiai, statmenai, t. y. vasarą. Plokštiesiems saulės kolektoriams daugiau įtakos turi aplinkos temperatūra.

Didžiausias plokščiųjų kolektorių trūkumas – trumpas efektyvus veikimo laikas, dideli šilumos nuostoliai į aplinką.

## Tyrimų metodika ir eksperimentinis stendas

*Eksperimentinio tyrimo tikslas* – nustatyti bei palyginti *selektyvaus ir juodai dengto* Saulės kolektorių efektyvumą keičiant vėsinančio skysčio srautą (debitą).

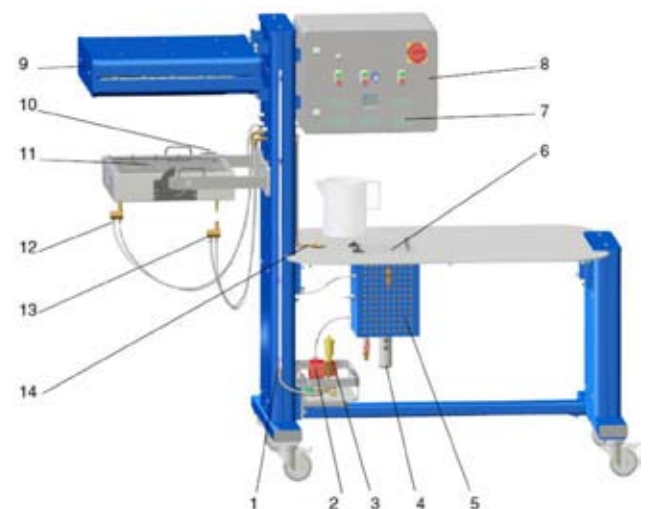
Tyrimui atlikti naudojamas *Saulės kolektoriaus laboratorinis stendas*.

Eksperimentinio tyrimo aprašymo skyriai:

1. Tyrimų stendo aprašymas.
2. Parametrų matavimai.
3. Teorinė dalis.
4. Tyrimų eiga.

## Tyrimų stendo aprašymas

### Stendo konstrukcija.



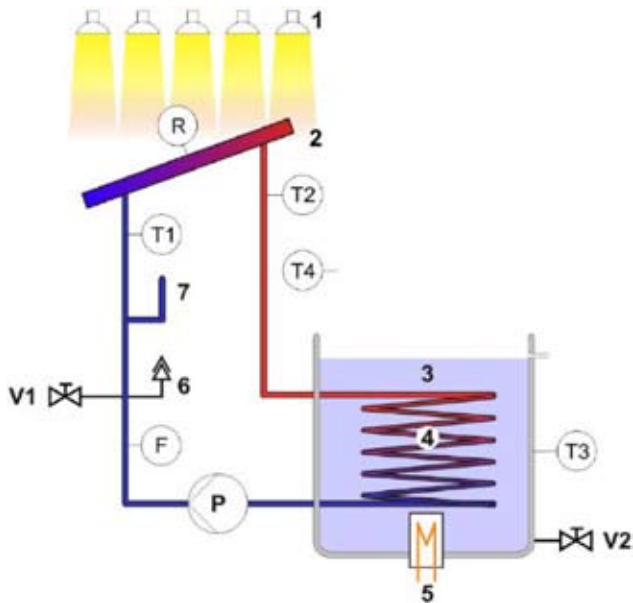
1 pav. Bazinio modulio komponentai. 1 – persipylimo vamzdelis, 2 – siurblys, 3 – nuorintojas, 4 – kaitintuvas, 5 – vandens talpa, 6 – vandens talpos dangtis, 7 – matuojamų dydžių ekranėliai, 8 – valdymo skydelis, 9 – apšvietimo blokas, 10 – apšvietos jutiklis, 11 – plokščiasis kolektorius, 12 – įtekantis srautas į kolektorių, 13 – ištekantis iš kolektoriaus srautas, 14 – keičiamas absorberis

### Bazinio modulio proceso aprašymas.

Šviesa iš apšvietimo bloko (1) krinta į plokščiąjį kolektorių (2). Plokščiojo kolektoriaus absorberyje vamzdeliuose esantis šilumos nešėjas (vanduo) šyla. Siurbliu (P) šilumos nešėjas (karštas vanduo) tiekiamas į talpoje (3) (šilumokaityje) esantį spirale susuktą vamzdelį (4). Vanduo talpoje šyla, o šilumą perduodantis skystis atvėsta. Siurblys atvėsintą šilumos nešėją stumia atgal į plokščiąjį kolektorių, sukurdamas uždarą saulės kolektoriaus grandinę.

Saulės kolektoriaus grandinėje yra nuorintojas (6) ir persipildymo vamzdelis (7). Temperatūra matuojama jutikliais ( $T_1, T_2, T_3, T_4$ ) visuose atitinkamuose taškuose. Šildytuvas (5) gali būti naudojamas tam, kad sutrumpintų vandens šildymo laiką talpoje (pvz., atliekant matavimus esant aukštesnei temperatūrai).

### Bazinio modulio schema.



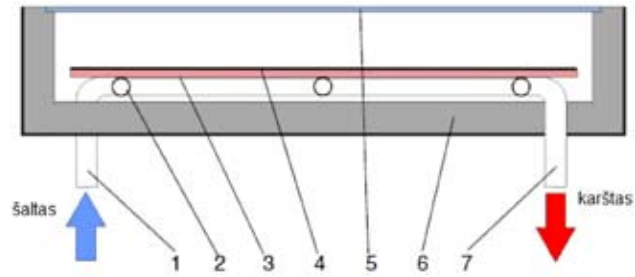
2 pav. Modulio schema. 1 – apšvietimo blokas, 2 – plokščiasis kolektorius, 3 – vandens talpa, 4 – šilumokaitis, 5 – vandens elektrinis šildytuvas, 6 – nuorintojas, 7 – persipildymo vamzdelis, P – siurblys, V1 – vandens kontūro užpildymo sklendė, V2 – vandens talpos sklendė, R – apšvietimo jutiklis, F – debito matuoklis, T1 – įtekancio į kolektorių vandens temperatūra, T2 – ištekancio iš kolektoriaus vandens temperatūra, T3 – vandens talpoje temperatūra, T4 – aplinkos temperatūra

### Plokščiasis kolektorius.

Plokščiasis kolektorius konvertuoja sugertąją absorberiu (3) spinduliuotės energiją į šilumą. Šiluma perduodama šilumos nešėjui (vandeniui), cirkuliuojančiam variniais vamzdeliais (2). Nuimamas stiklinis dangtis (5) sumažina plokščiojo kolektoriaus šilumos nuostolius. Be to, plokščiojo kolektoriaus apačia ir šonai yra izoliuoti (6). Plokščiasis kolektorius turi du keičiamus absorberius su skirtingomis dangomis: absorberis su selektyvia danga ir absorberis su juoda danga. Šie absorberiai gali būti naudojami nustatant kolektoriaus našumą esant skirtingoms spinduliuotėms.



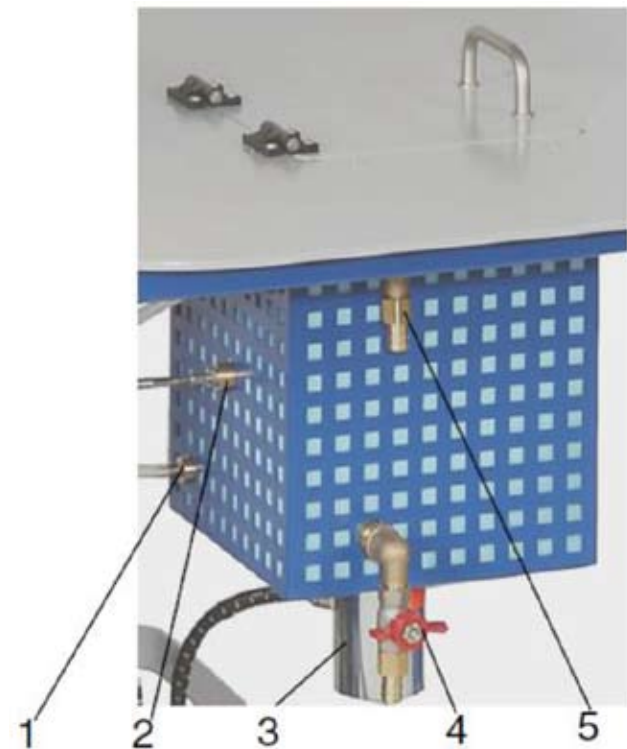
3 pav. Absorberis



4 pav. Plokščiojo kolektoriaus pjūvis. 1 – įtekėjimas į kolektorių, 2 – variniai vamzdeliai, 3 – absorberis, 4 – danga, 5 – stiklinis dangtis, 6 – kolektoriaus izoliacija, 7 – ištekėjimas iš kolektoriaus

### Vandens talpa.

Pašildytas skystis patenka į šilumokaitį, esantį vandens talpoje. Vandens talpa gali dirbti dviem skirtingais režimais: esant pastoviai ar kintamai vandens temperatūrai.

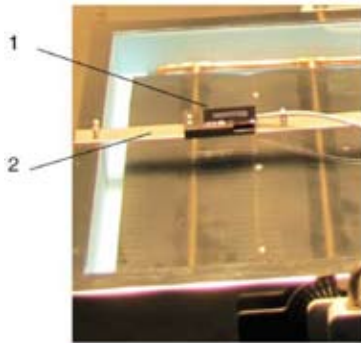


5 pav. Vandens talpa. 1 – šilumokaičio išvadas, 2 – temperatūros jutiklis T3, 3 – kaitintuvas, 4 – talpos užpildymo sklendė, 5 – talpos persipildymas

## Parametrų matavimai

### Apšviestumo matavimas.

Apšviestumo jutiklis naudojamas nuolatinio kolektoriaus apšviestumo matavimui. Laikikliu jutiklį galima perkelti į bet kurį kolektoriaus paviršiaus tašką. Apšviestumo jutiklis yra žinomo jautrumo kalibruotas saulės elementas. Apšviestumas paverčiamas įtampos signalu, kurio vertė rodoma valdymo skydelio indikatoriuje ir matuojama kW/m<sup>2</sup>.



6 pav. Apšviestumo jutiklio vieta. 1 – apšviestumo jutiklis, 2 – jutiklio laikiklis

### Temperatūrų T1 ir T2 matavimas.

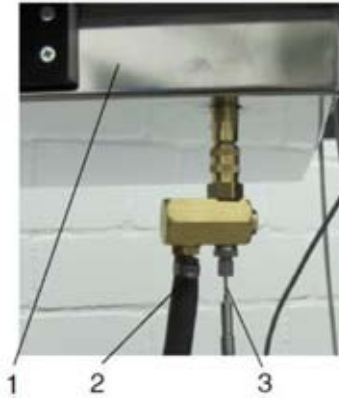
Šilumos perdavimo skysčio temperatūra matuojama temperatūros jutikliais T1 ir T2 kolektoriaus įėjime ir išėjime.

### Temperatūros T3 matavimas.

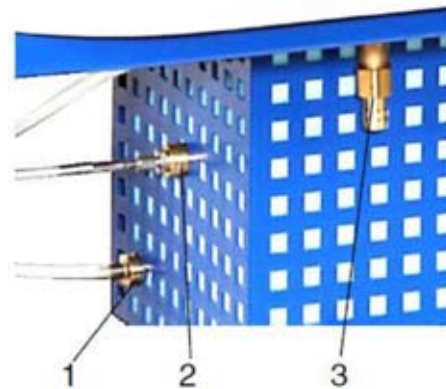
Šilumos perdavimo skystis, tekėdamas per šilumokaitį, sušildo talpoje esantį vandenį. Talpoje esančio vandens temperatūra matuojama temperatūros jutikliu T3. Šis temperatūros jutiklis yra įmontuotas ties talpos viduriu.

### Debito nustatymas.

Šilumos perdavimo skysčio debitas nustatomas keičiant siurblio sukimosi greitį. Debito vertė rodoma skaitmeniniame indikatoriuje, esančiame valdymo skydelyje.



7 pav. Temperatūros matavimas. 1 – kolektorius, 2 – jungtis, 3 – temperatūros jutiklis T1



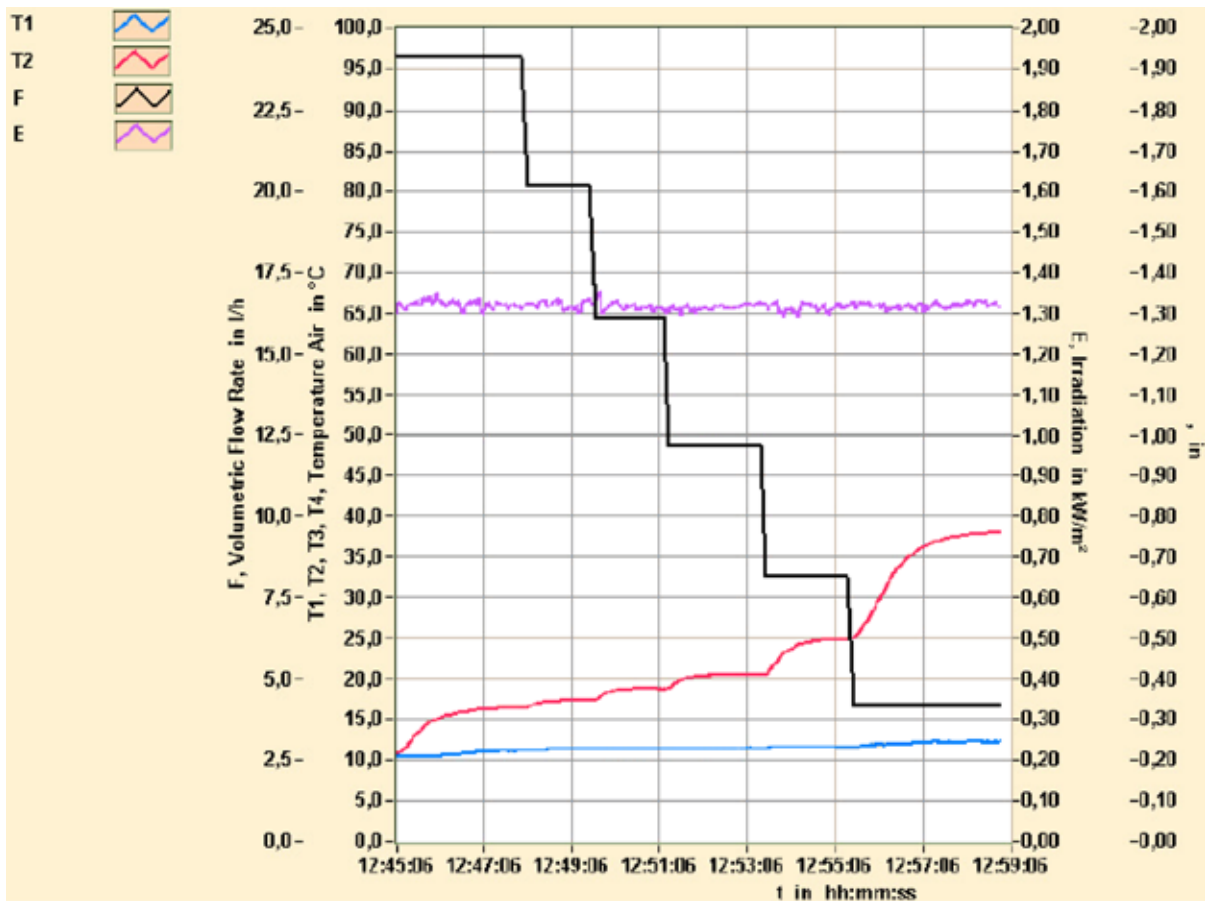
8 pav. Temperatūros jutiklis. 1 – šilumokaičio išvadas, 2 – temperatūros jutiklis T3, 3 – persipildymo išvadas

1 lentelė. Selektivaus kolektoriaus tyrimo rezultatai

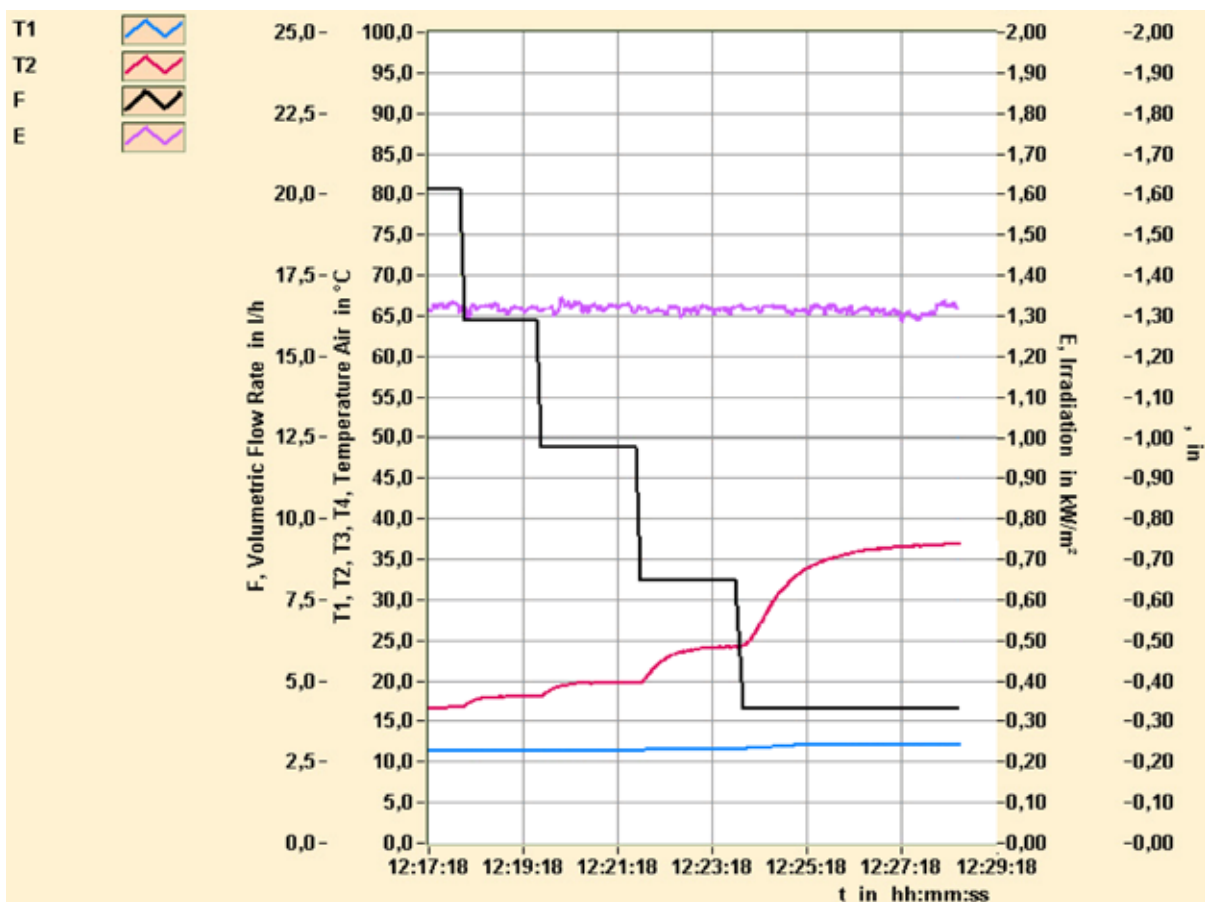
Laikas	Temperatūros				Debitas F	Apšvies tumas R	Apšvieta Ps	Galini gumas Pn	Efektyv vumas ηcol	Temp skirt dT	Tankis ρ	Sav. Šiluma cp	Kolekt Plotas A
	T1	T2	T3	T4									
[min:s]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[l/h]	[kW/m <sup>2</sup> ]	[kW]	[kW]	[%]	[°C]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kgK]	[m <sup>2</sup> ]
47:51,7	11,30	16,41	9,75	19,43	24,05	1,318	0,144	0,143	0,994	5,106	999,13	4,188	0,109
49:27,2	11,41	17,37	9,96	19,12	20,15	1,335	0,146	0,139	0,959	5,957	999,0	4,187	0,109
51:08,2	11,44	18,72	10,08	19,19	16,12	1,313	0,143	0,136	0,952	7,277	998,9	4,187	0,109
53:20,7	11,41	20,43	10,11	19,22	12,19	1,327	0,145	0,128	0,883	9,016	998,81	4,186	0,109
55:20,2	11,49	24,77	10,14	19,24	8,16	1,318	0,144	0,126	0,876	13,28	999,48	4,184	0,109
58:47,0	11,51	38,02	9,98	19,43	4,16	1,322	0,144	0,128	0,886	26,51	997,0	4,179	0,109

2 lentelė. Juodai dengto kolektoriaus tyrimo rezultatai

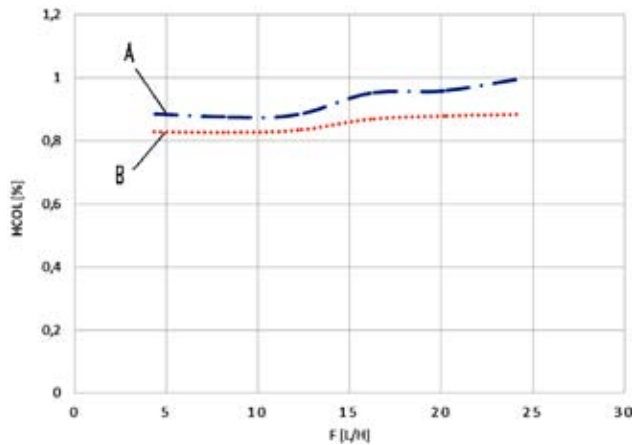
[min:s]	T1	T2	T3	T4	F	R	Ps	Pn	ηcol	dT	ρ	cp	A
[min:s]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[l/h]	[kW/m <sup>2</sup> ]	[kW]	[kW]	[%]	[°C]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kJ/kgK]	[m <sup>2</sup> ]
15:47,9	11,12	15,67	9,93	18,25	24,07	1,325	0,144	0,128	0,883	4,56	999,3	4,188	0,109
17:52,9	11,38	16,78	10,06	18,23	20,15	1,322	0,144	0,127	0,878	5,40	999,2	4,188	0,109
19:33,9	11,43	18,10	10,19	18,28	16,11	1,320	0,144	0,125	0,868	6,67	999,1	4,187	0,109
21:39,4	11,43	19,81	10,16	18,36	12,19	1,307	0,142	0,119	0,833	8,38	999,0	4,187	0,109
23:44,9	11,48	24,12	10,19	18,38	8,12	1,322	0,144	0,119	0,827	12,65	998,6	4,185	0,109
27:48,9	12,13	36,64	9,96	18,52	4,16	1,305	0,142	0,118	0,829	24,51	997,2	4,179	0,109



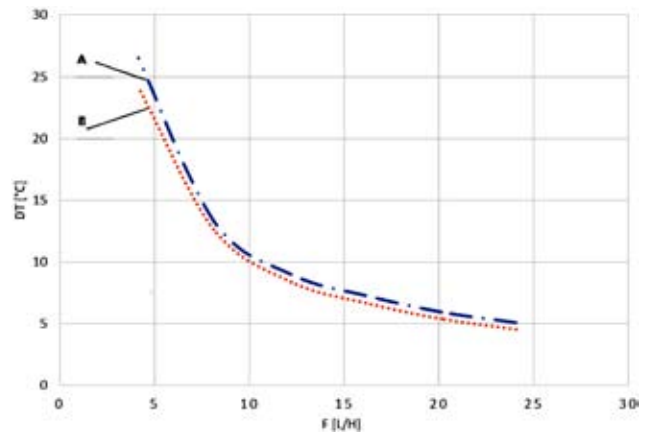
9 pav. Selektivaus kolektoriaus diagrama. T1 °C – tiekiamo į kolektorių vandens temperatūra, T2 °C – grįžtamo iš kolektoriaus vandens temperatūra, F (l/h) – vandens debitas, E (kW/m<sup>2</sup>) – juodai dengto kolektoriaus apšvieta



10 pav. Juodai dengto kolektoriaus diagrama. T1 °C – paduodamo į kolektorių vandens temperatūra, T2 °C – grįžtamo iš kolektoriaus vandens temperatūra, F (l/h) – vandens debitas, E, kW/m<sup>2</sup> – juodai dengto kolektoriaus apšvieta



11 pav. Kolektorių efektyvumo kreivės: A - selektyvaus, B-juodai dengto.



12 pav. Kolektoriaus skysčio temperatūros skirtumo kreivės A-selektyvaus, B-juodo

### Eksperimento eiga

Saulės šiluminės energijos modulis yra valdomas ir kontroliuojamas interaktyvios programinės įrangos pagalba. Matuojamų dydžių reikšmės pateikiamos realiu laiku *sistemos, šilumnešio ir vandens talpos parametrų* diagramose. Matavimų rezultatai fiksuojami duomenų lentelėje.

*Eksperimento tikslas:*

Ištirti sistemos darbą esant skirtingiems kolektoriaus srauto debitams bei skirtingai dengtiems kolektoriams.

Tiriamas šilumnešio temperatūrų pokytis kolektoriaus įėjime ir išėjime bei šiluminės galios bei našumo kitimas.

Vandens talpoje 3 (2 paveikslas) aušinimas vykdomas vandentiekio vandeniu; sklende  $V_2$  temperatūra  $T_3$  palaikoma pastovia. Kintama varža keičiant siurblio P sukimosi greitį, keičiamas srauto debitas F.

Tyrimas pradedamas, nustačius fiksuotą 24 l/h debito reikšmę, ir laukiama, kol iš kolektoriaus (2) grįžtančio vandens temperatūra  $T_2$  pasieks pastovią vertę. Duomenys fiksuojami lentelėse 1 ir 2. Eksperimentas tęsiamas mažinant debitą kas 4 l/h duomenis fiksuojant lentelėse.

### Išvados

1. Didinant skysčio srautą per abu (selektyvųjų ir juodai dengtą) kolektorių, jų efektyvumas (naudingumo koeficientas) didėja.
2. Selektivaus kolektoriaus efektyvumas yra didesnis nei juodai dengto dėl mažesnių šiluminio spinduliavimo nuostolių ilgųjų bangų diapozone (14 paveikslas).

3. Saulės kolektorių tekančio skysčio temperatūra mažėja didinant srauto debitą (15 paveikslas). Naudingumo koeficientas bus didesnis dirbant žemesnių temperatūrų ribose.

Selektivaus kolektoriaus efektyvumas yra didesnis nei juodai dengto kolektoriaus.

### EFFICIENCY RESEARCH OF SELECTIVE AND BLACK COATED SOLAR COLLECTORS

Virginija Urbonienė, Povilas Milius, Šarūnas Taraškevičius

Vilnius College of Technologies and Design

With the diminishing of fossil fuels resources, scientists and experts unanimously agree that it is necessary to look for alternative energy sources, one of which is the use of solar energy for production of clean energy. The use of renewable resources for energy production enables to diminish the amount of emitted pollutants into the atmosphere and has an impact on diminishing the climate change.

*The aim of solar collectors* is to heat water that is supplied to the hot water system of a building.

Solar collectors are of different types. The most commonly used are vacuum and flat ones.

This article analyses the efficiency of flat solar collectors (selective and coated in black).

*Laboratory stand of solar collector* is used for this research.

**Key concepts :** flow rate, illuminance, efficiency, thermal input, angle of inclination.

# ŠILO TILTO DEFORMACIJŲ STEBĖJIMO REZULTATŲ APŽVALGA

Natalija Augūnienė, Jelena Pavliukovič

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

Anotacija. Nuolatiniai stebėjimai būtini intensyviai naudojamoms ir didele gedimo tikimybe pasižyminčioms statinio konstrukcijoms. Tiriant būklę nustatomi konstrukcijų defektai ir pažeidimai, prognozuojamos jų plitimo tendencijos, atliekami konstrukcijų laikomosios galios patikrinamieji skaičiavimai, įvertinant būsimą apkrovą po rekonstrukcijos ir kitokį galią poveikį. Neretai tenka nustatyti konstrukcijų, veikiamų agresyviosios aplinkos, vibracinių ir smūginių apkrovų, pažeistų gaisro ir pan., būklę. Straipsnyje pateikiamas tyrimo objektas, apžvelgta deformacijų stebėjimo metodika bei deformacijų atsiradimo priežastys. Surinkti matavimų duomenys apdoroti matematiniais metodais. Atlikta visų, 14 metų, matavimų ciklų apžvalga, duomenys pateikti grafiškai. Analizuojant grafikus, ištirti statinio pokyčiai ir pateiktos galimos jų atsiradimo priežastys.

**Pagrindinės sąvokos.** Precizinis niveliavimas, deformacijos, nuosėdžiai, netolygus pokrypis.

## Įvadas

Tiltai yra sudėtingi ir brangūs susisiekimo statiniai, turintys didelę reikšmę ekonominiams, politiniams ir kultūriniais ryšiams. Ilgą laiką vyravo nuomonė, kad gelžbetoniniai tiltai yra ilgaamžiai statiniai, kuriems pakanka tik įprastos nuolatinės priežiūros, bet pastaraisiais dešimtmečiais visose šalyse pastebimas intensyvus fizinis ir moralinis šių statinių senėjimas. Tiltas, kaip konstrukcinė struktūra, savo sandarą mažai kuo skiriasi nuo įprastų pastatų ar statinių. Vienas pagrindinių tilto konstrukcinių elementų yra perdanga, laikanti tilto paklotą ir perimanti vertikalias bei horizontalias kintamąsias apkrovas: transporto priemonės, vėją, temperatūrą ir kt.

Lietuvoje yra daug įtemptojo gelžbetonio dėžinio skerspjūvio tiltų ir viadukų. Šiems tiltams būdingas sijų pleišėjimas ir dideli perdangų įlinkiai. Sistemingai atliekant šių tiltų priežiūrą ir stebint plyšių plokščių pokyčių kitimo dinamiką galima sekti jų degradacijos procesus ir užkirsti kelią statinio griūčiai. Ilgametės tiltų stebėsenos duomenys leidžia analizuoti sustiprintų ir nesustiprintų tiltų perdangų įlinkių kitimo tendencijas, sekti plyšių plokščių pokyčių dinamiką, taip pat teikti įvairias rekomendacijas dėl tolimesnės jų eksploatacijos ir planuoti tiltų ir viadukų remontą.

Statinių stebėsenos metu nustatomi šie rodikliai:

- perdangų įlinkiai ir deformacijos;
- perdangose ir atramose atsivėrusių plyšių plokščių pokyčiai;
- atraminių guolių pasisukimas ir atramų nuosėdžiai;
- perdangos mazgų poslinkiai ir posūkiai.

Deformacijos gali būti vertikaliosios (sėdimai) bei poslinkis horizontalioje padėtyje. Statinių sėdimo priežastys: nevienoda statinio pagrindo geologinė struktūra; grunto pakilimas (pūtimasis) dėl šalčio įtakos; drėgmės ir grunto atšilimas; statinių svoris; slėgio pasikeitimas į gruntą pasikeitus statinio svoriui; netolygus slėgio pasiskirstymas atsižvelgiant į statinio svorį po pamatais; pamatų matmenys; kietumas ir forma; dinaminės apkrovos į pagrindus; grunto stiprumo pokytis

atliekant požeminę statybą; žmogaus įtaka; dirbantys mechanizmai ir kt.

**Tyrimo tikslas** – atlikti Šilo tilto deformacijų tyrimus pagal ilgamečius matavimo rezultatus.

**Darbo aktualumas.** Deformacijų tyrimai, analizuojantys ir sisteminantys daugiamečių matavimų duomenis, yra svarbūs ir aktualūs, teikiant rekomendacijas dėl tolimesnės tiltų eksploatacijos.

## Tyrimo objektas

Tyrimo objektas yra Vilniaus miesto transporto ir komunikacijų tiltas, jungiantis Neries krantus, Antakalnio rajono Šilo g. su Žirmūnų rajono Minties g. (žr. 1 pav.). Tiltą projektavo Almatos „TRANSNII-PROJEKT“ institutas, statė UAB „Tilsta“. Tiltas pradėtas statyti 1989 m., baigtas – 1997 m. rugsėjo 13 d. Tiltą pagrindinė konstrukcija yra keturių angų, penkių gelžbetonio sijų, skerspjūvyje iš surenkamų vieno do aukščio dėžės profilio elementų, sujungtų iš anksto įtemptais didelio stiprio lynais K – 7. Perdangą sudaro keturios dėžės profilio sijos, sumontuotos kabamuoju metodu iš 2 m ilgio ir 3,2 m aukščio blokų. Už tilto galinių atramų esančios kameros perdengtos gelžbetonio sijomis. Suminis tilto ilgis – 180,9 m, bendras tilto ilgis 192,7 m, bendras plotis 32 m, važiuojamosios dalies plotis 16 m, pėsčiųjų zonos plotis 2,5 m. Tiltas keturių eismo juostų.

## Deformacijų stebėjimo metodika

Statinių būklę įvertinama matuojant jų horizontalias ir vertikalias deformacijas. Sėdimų stebėjimai vykdyti pagal II-os kl. geometrinio niveliavimo metodiką. Visi atlikti ciklų matavimai, nuo 2002 m. iki 2016 m., vykdyti laikantis markių niveliavimo schemas ir nuo tų pačių pradinių reperių. Tik nežymus niveliavimo schemas pasikeitimas įvyko sunaikinus pradinį, VTDK Naujųjų rūmų pamate įbetonuotą, sieninį reperių Nr. 899.





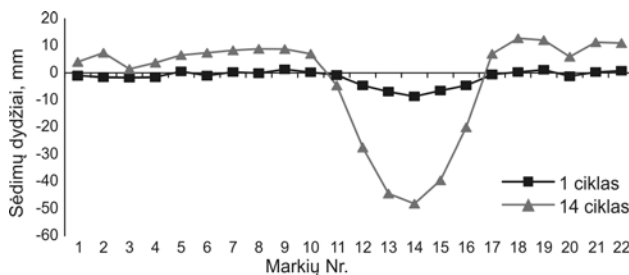
1 pav. Šilo tilto markių išdėstymas ortofotonuotraukoje

Aukščių pagrindą sudaro keturi reperiai, dešiniajame krante (Antakalnio g.) – T7 ir T13, kairiajame (Žirmūnų g.) – Rp. 0101 ir Rp. 601.

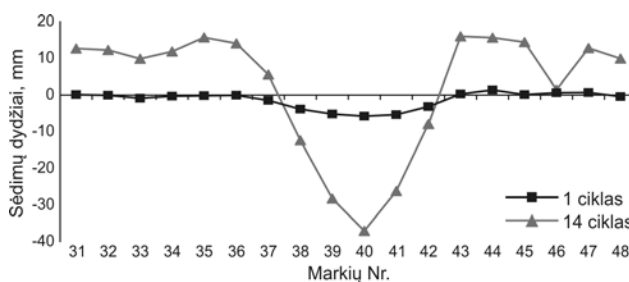
Tilto markių matavimai buvo vykdyti skaitmeniniu nivelyru GeoMax ZDL700. Deformacinėmis markėmis pasirinkti į tilto turėklų statramsčius įsukti varžtai, kurių galvučių kraštai kyšo iš betono. Tokių markių dešinėje tilto pusėje pasirinkta 22 (Nr. 1–22), o kairėje – 18 (Nr. 31–48). Markių išsidėstymas matomas 1 pav.

## Rezultatai

Tęsiant Šilo tilto markių deformacijų stebėjimus, atliktas 14 ciklo matavimų rezultatų įvertinimas ir pateiktos jo išvados. Susisteminius visų ciklų rezultatus nustatyta, kad kinta kiekvienos deformacinės markės aukščiai kiekviename cikle (žr. 2 pav. ir 3 pav.).



2 pav. Dešinėsios pusės vertikalųjų deformacijų pokyčiai

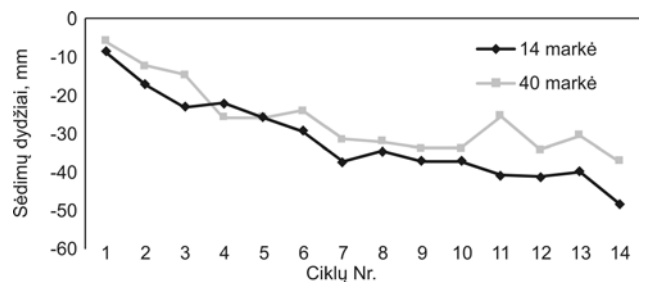


3 pav. Kairiosios pusės vertikalųjų deformacijų pokyčiai

Paskutinio ciklo matavimų duomenys rodo, kad labiausiai kinta dešinėje tilto pusėje esančios 14 markės padėtis (-48,2 mm) ir kairėje pusėje – 40 markė (-37,1

mm). Sėdimo priežastys gali būti įvairios: oro sąlygos, padidėjęs transporto srautas, laiku nepašalinti tilto konstrukcijos defektai, požeminio grunto judėjimas ir kt.

Šių markių vertikalųjų sėdimų reikšmės, visų ciklų matavimo metu, pateiktos 4 pav.



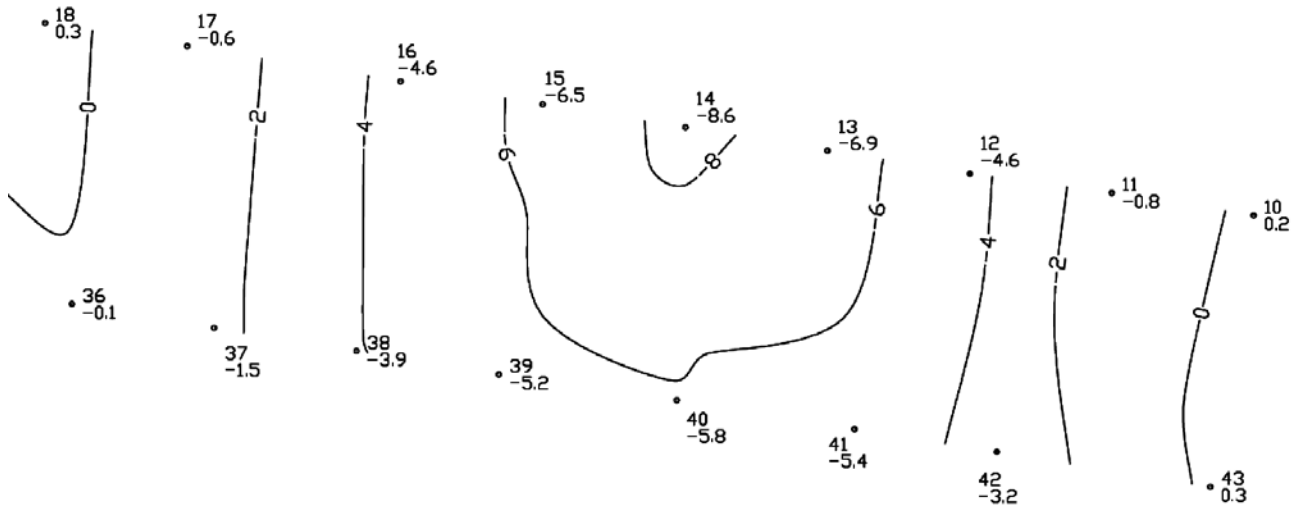
4 pav. 14 ir 40 markių vertikalųjų deformacijų pokyčiai

Tilto markių nestabilumą bei deformacijų židinius galima išbraižyti vienodo nuosėdžio linijomis, kurios vadinamos izolinijomis, pasirinkus laiptą 2 mm. Taip galima analizuoti deformacijų markes bei stebėti, kurios tilto vietos kito labiausiai (žr. 5 pav. ir 6 pav.). Tai parodo, kad jau 1-ojo ciklo metų 14 markėje buvo didžiausias nuosėdis, siekiantis -8,6 mm.

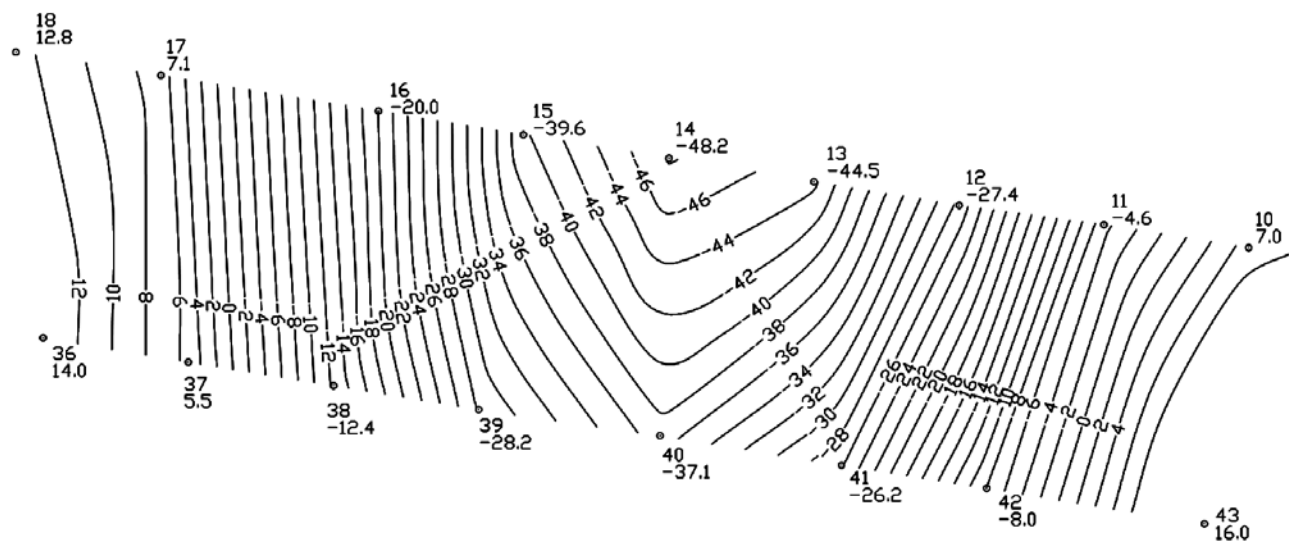
14-ame cikle aiškiai matoma tilto konstrukcijos deformacijos kryptis: Markės 17,16, 36, 37, 38, 39, 13, 12, 11, 10, 41, 42, 43 rodo tolygų tilto konstrukcijų sėdimą (žr. 6 pav.). 14 markė turi didžiausią nuokrypį per visą matavimų laikotarpį – -48,2 mm.

Pateikti pradinio ir paskutinio matavimo ciklų markių nuosėdžiai aiškiai rodo, kad didžiausi pokyčiai įvyko 14 ir 40 markėse, o mažiausi – 3 ir 46 markėse. Didžiausias reikšmės pokytis kairėje tilto pusėje 40 markėje ir jis yra -37,1 mm, o mažiausias 46 markėje – 1,4 mm. Didžiausias reikšmės pokytis dešinėje tilto pusėje 14 markėje ir jis siekia -48,2 mm, o mažiausias 3 markėje – 1,4 mm (žr. 3 pav. ir 4 pav.).

Markių nuosėdžiams stebėti, duomenims vizualizuoti bei analizuoti, praverčia ArcGIS programoje esanti permatomų sluoksnių kūrimo galimybė. Tai leidžia ne tik matyti kiekvieno ciklo vertikalųjų deformacijų pokyčius, bet ir vizualiai įvertinti markių nuo-



5 pav. 1-ojo ciklo markių nuosėdžiai



6 pav. 14-ojo ciklo markių nuosėdžiai

sėdžius bei nuosėdžių pasiskirstymą kiekviename cikle (žr. 7 pav. ir 8 pav.).

Vizualizuotų duomenų, jų pateikimas gerina informacijos suvokimą ir didina analitinį supratimą, bei rezultatų sklaidos kokybę (žr. 8 pav.). 3D vaizde galima stebėti markių sėdimo rezultatus bei daryti išvadą, kad nuolat sėda tilto vidurys, o galai nežymiai svyruoja.

Kadangi labiausiai sėda šios dvi markės, tai papildomai įvertinami jų pokrypiai (netolygus sėdimas), kurie skaičiuojami pagal šią formulę:

$$i_{1-2} = \frac{\Delta s_{1-2}}{l_{1-2}} \quad (1)$$

čia:  $l_{1-2}$  – atstumas tarp markių, 1 ir 2 – markių numerai,  $\Delta s_{1-2}$  – atitinkamas markių sėdimų skirtumas.

Gauti rezultatai parodo, kad trijuose paskutiniuose matavimų cikluose 14 markė turi didesnius sėdimo rezultatus negu 40 markė. Paskutiniame cikle 14 markės sėdimo dydis yra 11 mm didesnis nei 40 markės. Galima teigti, kad tilto konstrukcijos dešinėje pusėje ties 14 marke yra nestabilumo požymių. Lyginant sukauptų

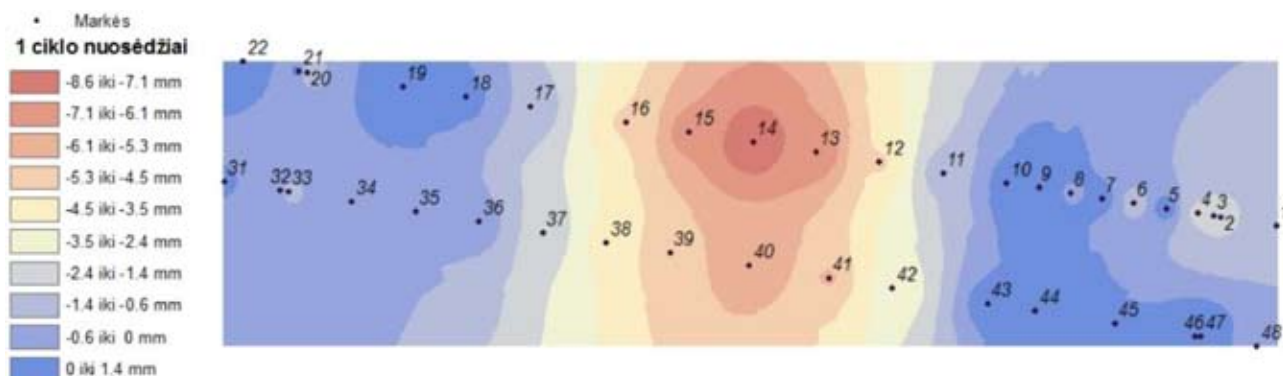
duomenų rezultatus pastebimas netolygus markių sėdimas, t. y. kiekviename matavimų cikle vidutiniškai 14 markė sėda 5,4 mm per metus daugiau nei 40 markė (žr. 10 pav.).

## Išvados

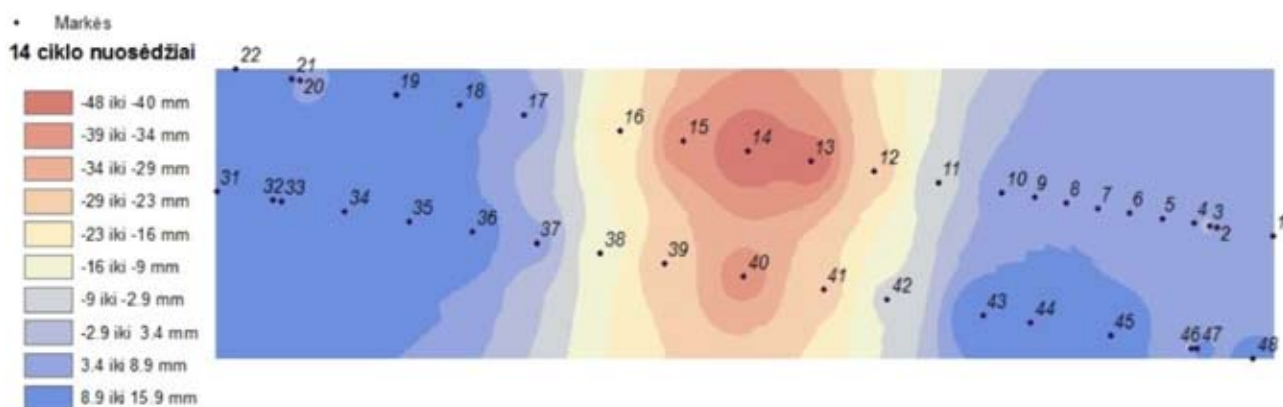
1. Tyrimų metu nustatyta, kad tilto konstrukcija sėda nevienodai. Išskiriamos dvi markės, kuriose vyksta žymūs pokyčiai (sėdimai). Dešinėje tilto pusėje esanti 14 markė sėdo daugiausiai -48,2 mm, o kairėje pusėje – 40 markė sėdo -37,1 mm. Tai rodo, kad tiltas ne tik sėda, bet ir krypsta.

2. Markių Nr. 14 ir Nr. 40 sėdimo greitis per metus siekia apie -3,7 mm ir -2,9 mm. Iš markių sėdimo duomenų matyti, kad, praėjus 14 metų nuo stebėjimo pradžios, sėdimo greitis nemažėja. Nėra jokių požymių, kad tilto konstrukcija pradėtų stabilizuotis.

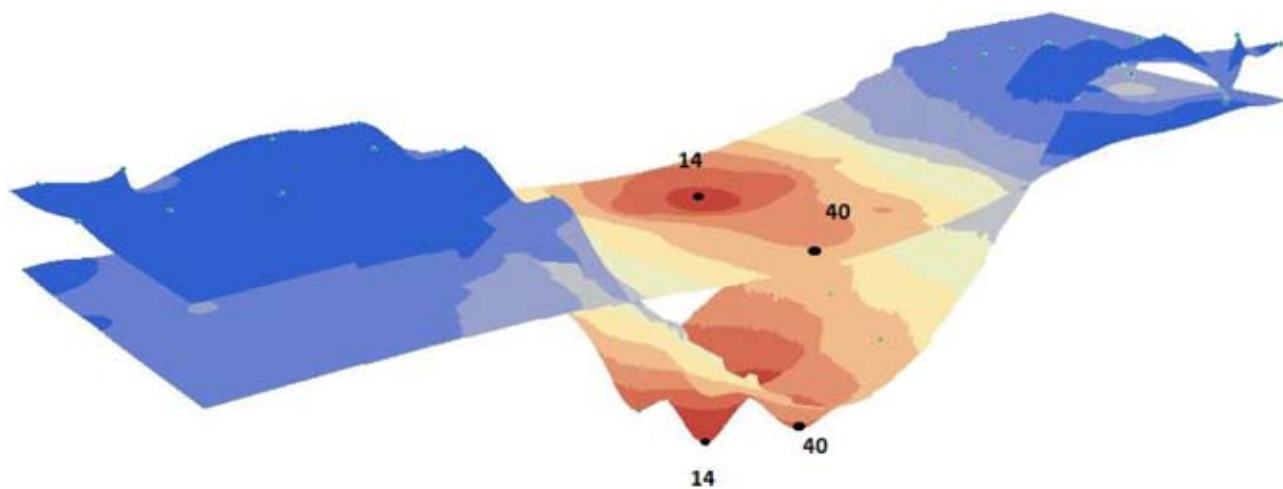
3. Atlikus 3D vizualizavimą galima pamatyti, kad žymūs ir ilgai trunkantys sėdimai vyksta ties tilto viduriu. Taip pat nustatyta, kad tiltas labiau krypsta į dešinę pusę.



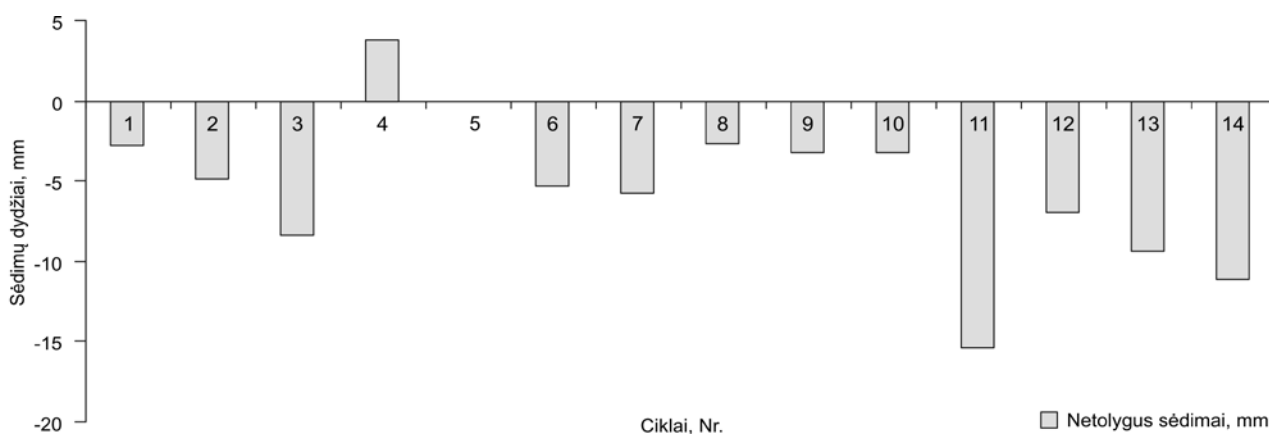
7 pav. 1-ojo ciklo tilto markių nuosėdžių vizualizavimas



8 pav. 14-ojo ciklo tilto markių nuosėdžių vizualizavimas



9 pav. 1-ojo ir 14-ojo ciklų vaizdas 3D



10 pav. 14 ir 40 markių netolygus sėdimai

4. Sisteminant visų ciklų markių nuosėdžių matavimo rezultatus naudinga taikyti įvairius vizualizacijos būdus stebėjimo rezultatų analizei atlikti. Izolinijos vaizduoja deformacijų kryptį bei deformacijų tolygumą. ArcGIS programoje galima kurti erdvinį vaizdą, grafiškai pavaizduoti gautų rezultatų sklaidą.

5. Dėl vibracijų atsiradusios deformacijos dažnai vystosi kitaip (jų intensyvumas ir greitis didėja) nei deformacijos, atsiradusios dėl statinio gruntų apkrovimo. Šios deformacijos daug pavojingesnės, todėl jas daugelį metų reikia nuolat stebėti geodeziniais metodais.

## Literatūra

1. Aksamitauskas, V. Č. *Inžinerinių statinių deformacijų tyrimas geodeziniais metodais. Mokslo darbų apžvalga. Technologijos mokslai, matavimų inžinerija*. Vilnius: Technika, 2011. ISBN 978-9955-28-819-0
2. Aksamitauskas, V. Č. et.al. *Investigation of Error Sources Measuring deformation of Engineering Structures by geodetic Methods*. Vilnius: Technika, 2010. ISBN 978-9955-28-592-2.
3. Augūnienė, N.; Pavliukovič, J. Šilo tilto nuosėdžių vizualizavimas. *Technologijos ir menas. Tyrimai ir aktualijos*, 2016, Nr. 7, p.52-56.
4. Augūnienė, N.; Pavliukovič, J. Šilo tilto nuosėdžių stebėjimų tyrimas. *Technologijos ir menas. Tyrimai ir aktualijos*, 2014, Nr. 5, p.46-50.
5. Jokūbaitis, V.; Vėnas, G. Š. Statinių konstrukcijų techninės būklės vertinimas: *Mokomoji knyga*. Vilnius: Technika, 2012.
6. Kurpavičius A. G., Paukštienė, R. Šilo tilto per Nerį dešimties metų nuosėdžių stebėjimo rezultatai. *Technologijos ir menas. Tyrimai ir aktualijos*, 2013, Nr. 4, p.78-82.
7. Азаров, Б. Ф. Современные методы геодезических наблюдений за деформациями инженерных сооружений. *Ползуновский вестник*, 2011, № 1, 19-29 с.
8. Зарзура, Ф. Х.; Мазуров, Б. Т. Динамика мостов по результатам геодезического мониторинга с использованием ГНС-технологий в условиях влияния ветра и транспортного движения. *Интерэкспо гео-Сибирь*, 2014, № 1, 181-186 с.
9. Марфенко, С. В. *Геодезические работы по наблюдению за деформациями сооружений: Учебное пособие*. М.: Изд-во МГУТиК, 2004.
10. Шеховцов, Г. А.; Шеховцова, Р. П. *Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений: Монография*. Н. Новгород: ННГАСУ, 2009.

## OVERVIEW OF ŠILAS BRIDGE DEFORMATION MONITORING

Natalija Augūnienė, Jelena Pavliukovič

Vilnius College of Technologies and Design

**Abstract.** The continuous monitoring is required for those building structures, which are intensively used and there is a high probability of their failure. When examining the condition, defects and damages for the structure are determined and then their spread trends can be predicted. For this purpose, verifiable calculations of the carrying capacity of structures are carried out, considering the future post-reconstruction load and other possible impacts.

Sometimes it is necessary to estimate the condition of structures under the impact of corrosive atmosphere, vibration, shock loads or fire.

The article presents the object of the research, the deformation monitoring methodology and causes of deformation are surveyed. The collected measurement data is processed by mathematical methods. 14 years of the measurements cycles are reviewed and the data is presented graphically. After its analysis, changes in the structure were investigated and the possible causes of their occurrence are provided.

**Keywords.** Precise leveling, deformations, settlement, uneven tilt.

# ONE BELT ONE ROAD INITIATIVE AND EASTERN BALTIC PORTS EXPECTATIONS: GAP BETWEEN ECONOMIC THEORY AND BUSINESS PRACTICE

Elena G. Efimova

*St. Petersburg State University, e.efimova@spbu.ru*

**Abstract.** World economic crises, anti-Russian sanctions and counter sanctions destabilized handled cargo volumes in the Eastern Baltic ports. Seeking new cargo resources became an important problem for the port authorities. Asian direction, Chinese in particular, attract an attention of official institutes and business entities that are involved in transportation activities.

Chinese-European land traffic can be realized by different ways. The primary beneficiaries of transport networks are commodities owners. They choose routes and logistical technologies to provide the shortest, the cheapest and the fastest delivery of goods. Spatial development and logistics theories demonstrate simple and easy mechanisms of cargo delivering. But in practice we are faced with unexpected commercial solutions.

The goal of this report is to explain the differences between theoretical recommendations and business practice. To reach the goal we analyze international trade flows, summarize Eastern Baltic Port Authorities features, evaluate the political factor influence on trade and transport sector activity.

**Key words:** transport, logistics, One Belt One Road Initiative, Eastern Baltic ports

## Introduction

The reasonability of establishing strategic transport links is primarily determined by the steady commodities flows. The basis for the development of transnational transport network can be formed either goods generated by the bilateral trade of neighboring countries, or, more politically and economically perilously, the international transit.

Modern Baltic States – Russia trade relations are based on the historical business contacts. Taking into account similar levels of national technology development, inter industry commercial transfers can be explained by Heckscher-Ohlin-Samuelson two-factor theoretical model. E. Heckscher and B. Ohlin have shown that inter-regional trade caused by the different resource sufficiency and the intensity of using resources in different countries. The international goods exchange is considered as the result of differences in the endowment of factors (Ohlin 1967). The New Trade Model by P. Krugman takes into consideration intra-industry commercial relationships between countries (Krugman 1994). P. Krugman has shown that countries export products that are redundant in the domestic markets.

S. Braakman, who specializes in the economic geography, substantiate the location of the largest economic and transportation centers of Western Europe. He shows the mainline of the road network locates along the optimal (shortest) routes movement of goods. (Brakman 2003).

Historically the formation of traffic routes occurred by natural way. Originally inter-firm trade flows were involved in international trade only. Subsequently, the foreign operations of transnational corporations (TNC) have become to define the occupancy rates of the linear and nodal elements of transport infrastructure. Under the circumstances priorities of selecting criteria in delivery ways were changed. Participants of the interre-

gional trade became increasingly interested in reducing the overall transport and logistics costs and minimizing business risks associated with compliance with contractual terms. The new goals can be achieved, in particular, by means of institutional cooperation between concerned commercial entities and national governmental institutions providing the transportation process.

Regional integration processes in the transport sphere result in transit traffic. Recent experience in trans-border relations shows that efficient cooperation brings mutual benefits to all collaborating parties. The experts identify several levels of trans-boundary cooperation, including local contacts on specific issues, the interaction between the local political and governmental bodies, complex network contacts that involve interaction at various levels and in different fields (Shinkovski 2004). Transport and logistics cooperation, in transit issues especially, is an example of cross-border network contacts, where the interests of many political and business actors are intersected.

Many factors affect the effectiveness transportation and transit system due to the infrastructure is involved in the development of different spheres of society. The list of main factors includes the internationalization of national economic systems, the willingness of governments and population to participate in internal processes, the coincidence of their political and economic agendas, and territorial location in the region. The climate aspects should be considered in selecting the appropriate mode of cargo transportation. When the key forces and goals are defined, the impact on development of transit shows the region's ability to provide transit traffic (internal factors): the level of transport infrastructure development, ability to provide fast and safe transportation, professional knowledge and skills of local inhabitants in international business and technical supporting, an fair distribution of revenues from transport and transit activities, etc. (Tsvetkov 2014)

### Methodology

Basic method in quantitative analysis of foreign trade is statistical analysis. The method represents visually the current situation in the sphere and defines the further prospects of its development. The results and the comparison of factual data as well allowed analyzing the strengths and weaknesses of Russia – Baltic States transport and transiting cooperation.

Dynamics in transport and logistics relations and business contacts allows us to identify the factors that shape national transit policy but also to submit its short-term forecasts. To resolve the problem we use statistical ten-year series to character the functioning separate sectors of the Baltic States transport markets.

### Empirical studies

The current legislation of the Russian Federation motivates shippers and cargo owners to use the service capacities of Russian ports. Some Russian companies have found their handle niche in domestic ports. Other business entities, having in focus on their assets in Baltic States ports, do not change its time-tested freight routes. To support national ports and guarantee solid cargo traffic Baltic States’ officials and business actors implement a strategy for attracting Asian transit. Ambitious project One Belt, One Road One is considered as the most promising project for the survival of port infrastructure. The task of empirical research is to assess the potential opportunities and infrastructure ports of the Baltic States to find their segment of international traffic.

From the point of view of objective economic interests, Russia is a more ambitious trade partner for the Baltic States than China. Foreign trade statistics revealed the fact (table 1).

Table 1. Comparative statistics on foreign trade of the Baltic States with Russia and China, 2016, %

	National import from Russia/ national import from China	National export to Russia / national export to China
Latvia	456%	260%
Lithuania	194%	250%
Estonia	212%	288%

Source: Trade statistics for international business development [http://www.trademap.org/Country\\_SelProductCountry\\_TS.aspx?nvpm=1|643||||TOTAL|||2|1|1|2|2|1|2|1|1](http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm=1|643||||TOTAL|||2|1|1|2|2|1|2|1|1)

Nowadays Kazakhstan is in focus of Baltic States business entities. We include the country in our research to understand its role in Baltic Sea region states’ foreign trade. The countries’ dynamics of international trade flows in the study region are presented below. Charts (fig. 1–6) excepting fig. 4a, 5b, 6b show declining or stagnation the trade volume in the region.

Thus, Poland and Sweden are much more involved in Chinese trade flows. Cargo flows to Sweden seems to be prospect from the point of view of transit. Depending on the location of Scandinavian business entities the ports of Gdansk, Klaipeda, and Riga provide the shortest route for Asian commodities. Finland-China foreign trade demonstrated stable volumes in 2012–2016. Main lines of the Russian Rail Network can be used for the optimal delivering.

Sweden is the most attractive Chinese trade partner

Table 2. Lithuania’s import and export (mln US\$)

	Lithuania’s import					Lithuania’s export				
	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
China	682	751	884	806	784	86	117	135	113	136
Russia	10401	9784	7621	4597	3958	5598	6467	6755	3479	3374
Kazakhstan	164	200	717	318	371	444	586	545	430	317

Source: Trade statistics for international business development [http://www.trademap.org/Country\\_SelProductCountry\\_TS.aspx?nvpm=1|440||||TOTAL|||2|1|1|1|2|1|2|1|1](http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm=1|440||||TOTAL|||2|1|1|1|2|1|2|1|1)



Fig. 1. Lithuania’s import (a) and export (b)

Table 3. Latvia's import and export (mln US\$)

	Latvia's import					Latvia's export				
	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
China	447	446	468	461	444	60	111	140	120	130
Russia	1513	1405	1356	1192	1051	1446	1551	1457	927	871
Kazakhstan	84	52	43	128	8	60	80	64	47	43

Source: Trade statistics for international business development  
[http://www.trademap.org/Country\\_SelProductCountry\\_TS.aspx?nvpm=1|428|||TOTAL|||2|1|1|2|2|1|2|1|1](http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm=1|428|||TOTAL|||2|1|1|2|2|1|2|1|1)



Fig. 2. Latvia's import (a) and export (b)

Table 4. Estonia's import and export (mln US\$)

	Estonia's import					Estonia's export				
	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
China	1413	1466	1506	1262	1262	138	157	204	171	191
Russia	2330	1873	2161	1544	1150	3180	3274	2473	1346	1302
Kazakhstan	143	70	98	61	48	170	170	138	47	38

Source: Trade statistics for international business development. [http://www.trademap.org/Country\\_SelProductCountry\\_TS.aspx?nvpm=1|233|||TOTAL|||2|1|1|2|2|1|2|1|1](http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm=1|233|||TOTAL|||2|1|1|2|2|1|2|1|1)

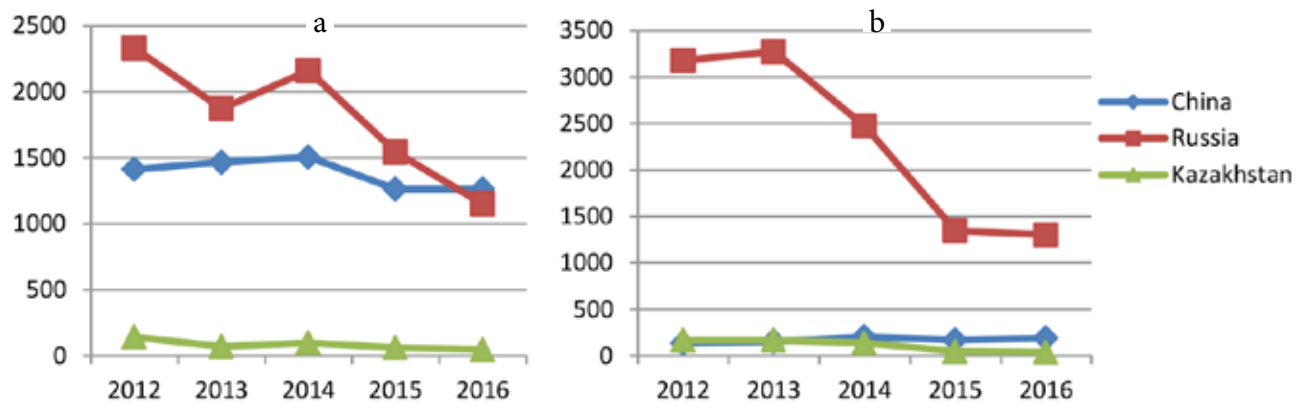


Fig. 3. Estonia's import (a) and export (b)

in Nordics. Decreasing Finland's import from China is explained by the reorganization of Nokia OYJ in particular. Nowadays the largest Finnish company is on UNCTAD TNC prestige rating (78<sup>th</sup> position according to the World Investment Report-2017). So, growth of China-Finland trade flows can be expected.

The charts show that the economic crisis has had a significant impact on this trading relationship, excepting Chinese export to Finland. Stable commodities flows need in an adequate infrastructure. As we noted

above, the main flow of goods is expected in the ports of Gdansk, Klaipeda and Riga. Let's consider the basic capacities of the ports and its future possibilities.

### Factual data analysis

Ports' facilities to attract Asian cargoes consider from two points of view: its geographical location and logistical capacities. According to the criteria three Bal-

Table 5. Poland's import and export (mln. US\$)

	Poland's import					Poland's export				
	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
China	17258	19301	22993	22380	23448	1749	2120	2251	2017	1911
Russia	27956	25261	23406	14359	11537	9898	10805	9408	5707	5787
Kazakhstan	393	590	1719	948	538	568	597	571	402	326

Source: Trade statistics for international business development. [http://www.trademap.org/Country\\_SelProductCountry\\_TS.aspx?nvp m=1|616|||TOTAL|||2|1|1|2|1|2|1|1](http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvp m=1|616|||TOTAL|||2|1|1|2|1|2|1|1)



Fig. 4. Poland's import (a) and export (b)

Table 6. Sweden's import and export (mln. US\$)

	Sweden's import					Sweden's export				
	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
China	6621	6720	7292	6987	6512	5498	6004	5771	5321	5336
Russia	8904	7051	7938	4521	3660	3365	3531	3145	1702	1659
Kazakhstan	16	17	16	7	15	175	148	92	82	147

Source: Trade statistics for international business development. [http://www.trademap.org/Country\\_SelProductCountry\\_TS.aspx?nvp m=1|752|||TOTAL|||2|1|1|2|2|1|2|1|1](http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvp m=1|752|||TOTAL|||2|1|1|2|2|1|2|1|1)

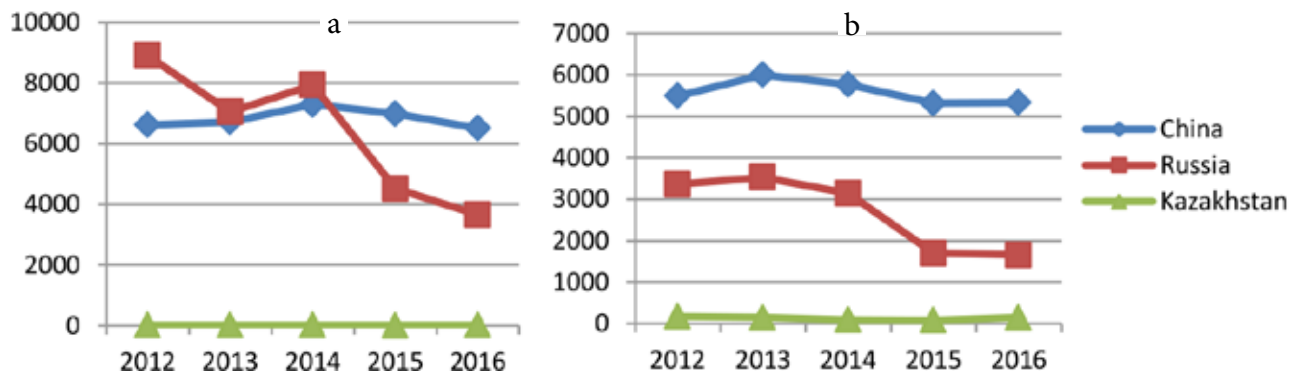


Figure 5a Sweden's import (a) and export (b)

tic Sea ports can compete for large-scale traffic flows from Asia.

**Port of Gdansk**

The technical possibilities of direct sea links with Asian ports lead to the development of DCT. The statistics of container handling (table 9) demonstrates rapid growth and positive prospects.

The Port Authority makes smart business policy and increases cooperation with the city government. As a result E class and Triple-E class container ships started to call at the Port of Gdansk in 2011 and 2013

respectively. Two shipping alliances<sup>1</sup>, and four shipping lines<sup>2</sup> replenished the list of shipping companies in DCT Gdansk in 2015. Construction of a new terminal aimed at doubling the annual cargo handling capacity of the DCT to 3 million TEU was began in January 2015. As a result, container “buffer” was estimated to be 1,700,627 TEU in 2016. In October 2016, Deepwater Container Terminal (DCT) Gdansk became the largest container terminal in the Baltic.

1 2M (Maersk Line and MSC) and G6 (APL, Hapag-Lloyd, HMM, MOL, NYK and OOCL)  
 2 UASC, Teamlines, Hamburg Sud and DAL



Таблица 7. Finland's import and export (mln. US\$)

	Finland's import					Finland's export				
	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
China	3384	2329	2458	2157	2123	3186	3495	3205	2666	2850
Russia	11737	12324	10016	5740	6083	7057	6871	5930	3350	3152
Kazakhstan	421	633	689	221	146	209	196	215	129	117

Source: Trade statistics for international business development. [http://www.trademap.org/Country\\_SelProductCountry\\_TS.aspx?nvp m=1|246|||TOTAL||2|1|1|2|2|1|2|1|1](http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvp m=1|246|||TOTAL||2|1|1|2|2|1|2|1|1)

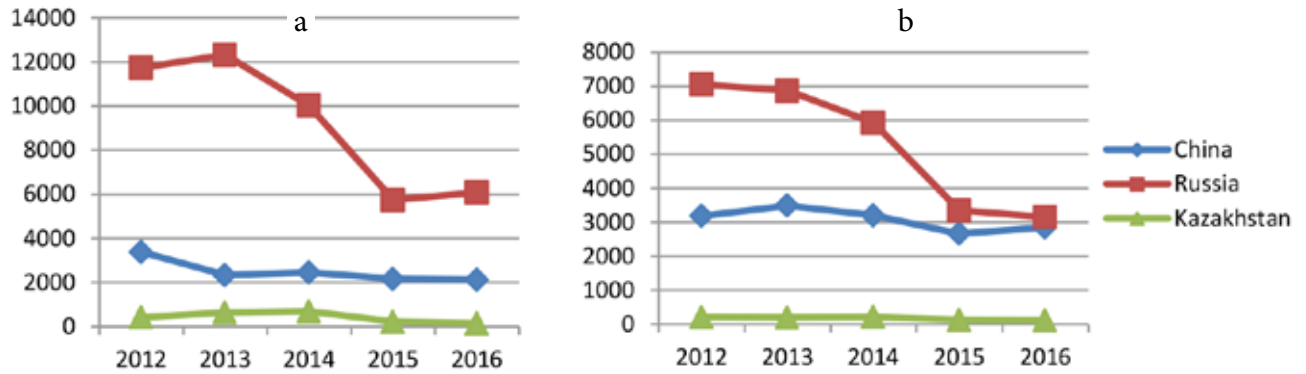


Fig. 6. Finland's import (a) and export (b)

Table 8. China – Nordics bilateral trade (mln. US\$)

	China's import					China's export				
	2012	2013	2014	2015	2016	2012	2013	2014	2015	2016
Sweden	6923	6987	6792	6417	6158	6416	6799	7168	7099	6310
Denmark	2904	3376	4057	4095	4238	6541	5711	6548	6151	5404
Finland	3833	3906	4051	3485	3455	7441	5832	5099	3541	2875
Norway	3068	3468	4469	4146	3231	3020	2737	2731	2857	2600

Source: Trade statistics for international business development. [http://www.trademap.org/Country\\_SelProductCountry\\_TS.aspx?nvp m=1|156|||TOTAL||2|1|1|1|2|1|2|1|1](http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvp m=1|156|||TOTAL||2|1|1|1|2|1|2|1|1)

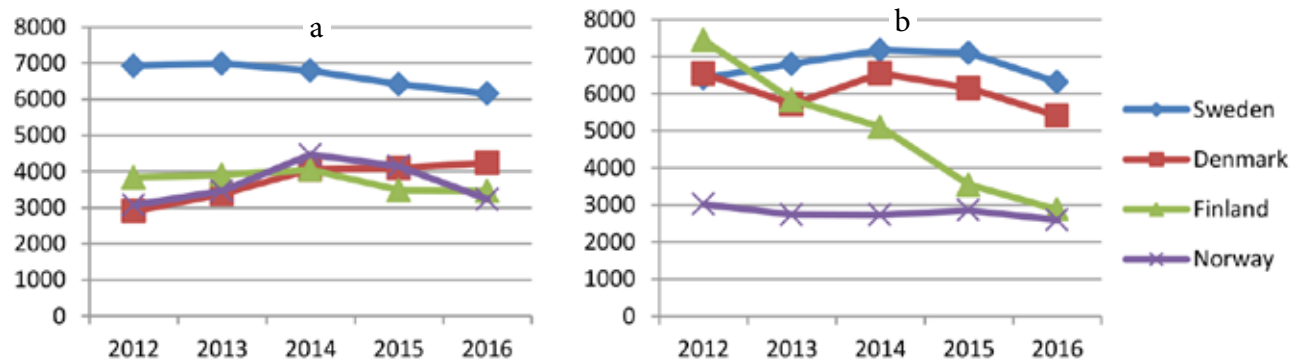


Fig. 7. China's import (a) and export (b)

Table 9. Container handling in DCT Gdansk, 2006–2017

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
TEU	78364	96873	185661	240623	511876	685643	928905	1177623	1212054	1091202	1299373
tonnes	753685	840202	1361693	2321910	4947223	6100512	7629909	9745259	10366114	10706301	13398464

Source: Port of Gdansk official web-site <http://www.portgdansk.pl/about-port/cargo-statistics>

### Port of Klaipeda

Authority of Port of Klaipeda gives statistical data about container turnover of post-Soviet states' ports (table 10).

Geographical location of Klaipeda ensures the shortest way of cargo delivering from China to Swe-

den, southern Norway and Denmark. It is the primary advantage of the port that attracts cargo owners to handle the commodities in Klaipeda.

The possibilities of spatial expanding Port of Klaipeda are limited. New avant-port is under construction. The relocation of freight terminals from old har-

Table 10. Container turnover in the ports of the Eastern coast of the Baltic sea, TEU

Port	Container turnover			
	2013	2014	2015	2016
St. Petersburg	2,514,440	2,374,876	1,715,139	1,745,182
Klaipeda	402,747	450,428	392,674	443,312
Riga	381,099	387,603	355,241	385,937
Tallinn	253,627	260,293	208,784	202,327
Kaliningrad	322,624	325,189	179,378	189,180
Ust' Luga	64,000	106,757	89,820	83,934
Liepaja	4,523	3,615	3,669	2,312

Source: Port of Klaipeda official web-site [www.portofklaipeda](http://www.portofklaipeda)

bor to the open sea places is planned. But the Council of Klaipeda has not finally approved the General plan of the city development yet. So application to the EU for funding is pointless.

In the case of excess demand on transshipment facilities over supply, a part of the cargo can be transfer to nearby ports. Leading shipping companies calling at the port of Klaipeda go to the port of Gdansk as well. Thus, choosing the shipping company is not decisive factor in routing procedure of consignors. The main criteria are own assets in the port. There were some positive cases of the foreign direct investment (FDI) in the port. Port operator "China Merchants" proposed to build a specialized container port in Klaipeda. It would be a guarantee of Chinese goods transshipment through the port. JSC "Belaruskali" owns by 30% terminal bulk cargo assets. Belarusian company is the main shareholder of the Lithuanian JSC "Fertimara" that is engaged in cargo transportation by sea, ship brokerage and chartering, and provides freight forwarding services. The company also offers customs brokerage and warehousing services as well as cargo handling (Fertimara official web-site).

As argument 'pro' port development is international cargo liner trains. Railway routes connect port of Klaipeda with Lithuanian regions, post-Soviet countries and China. We note that "Merkurijus" shuttle links two neighbor ports: Klaipeda and Kaliningrad.

### Free Port of Riga

Free Port of Riga may be useful for traffic to Northern Scandinavian territories. Riga is the nearest transshipment port for cargo delivered to Stockholm, Oslo, Northern Sweden and Norway.

The administration of Free Port is interested in joining the project "One Belt, One Road". Chinese consignors consider the port Authorities as a serious player. Latvia borders Russia, and it has reliable transport infrastructure developed in the Soviet period. That is why the freight train linking Riga and Yiwu (Eastern China) is already running.

The positive argument 'pro' transit attraction is implementation of environmental requirements. Modern logistic and handling infrastructure on Krievu Island

will result in reducing pollution in the city historic centre because of the cargo terminals transfer. The project includes construction of four water berths with depth of 15.5 m with the possibility of further deepening to 17 m. Thus, the port of Riga can become deeper port than Klaipeda and Gdansk harbors in prospect.

### Discussion

The research is based on official statistical data and facts. Nevertheless the main issues lie in a political dimension. Policy makers generate different scenarios of Asian cargo flow route depending on official and business actors' behavior. But it is difficult to predict the power balance in the future.

The basic determinant of cargo flows' distribution is the competition. It includes not only geographical location and technical facilities of the ports and territories but other factors endowment, motivation of powerful external actors. In frame of "One Belt, One Route" initiative competition realize in different forms. It is competing between ports of Baltic States and Poland. Russian Baltic ports, except Kaliningrad, will be unlikely to participate in the distribution of Asian cargo flows.

Rivalry for FDI can result in selling port assets to transnational corporations and strengthening foreign actors' influence on the transit and logistics business. On other hand, the presence of direct investment in port assets is a guarantee of loading port facilities with goods of the assets owners.

National governments' and port authorities' position is important as well. Thus, Estonian officials did not participate in large-scale forum of "One Belt, One Road" held in Beijing in May 2017 due to a small proportion of Estonia in Chinese transit traffic. Moreover the most investment projects in the country are frozen. However, even under the circumstances economic and commercial factors will play a leading role.

### Conclusion

The strategic goal of the Baltic States and Poland ports is defined by their niche in international traffic. Port of Gdansk has the best technical opportunities in Asian cargo flows attracting. But its geographical location is worse than the port of Klaipeda. The weak position of the port of Kaliningrad is determined by the necessity of double customs procedures and special railway tariffs policy.

The gap between theoretical recommendations and business practice in transport transit issues is explained by the different levels of motivation. Theoretical recommendations are generated to support national security by the officials on the state or regional levels. Business activity is defined by the profitability of projects.

## References

1. Brakman S., Garretsen H., van Marrewijl Ch. 2001 An introduction to geographical economics. Cambridge University Press. UK.
2. Krugman Paul R. 1994 Rethinking international trade MIT Press.
3. Fertimara JSC official web-site <https://fertimar.lt/en/about-us>
4. Investment and the Digital Economy. World Investment Report (2017) United Nations Publication. Geneva.
5. Ohlin, Bertil G. (1967) Interregional and international trade. Harvard University Press, Cambridge, Mass.
6. Port of Gdansk official web-site <http://www.portgdansk.pl/about-port/cargo-statistics>
7. Port of Klaipeda official web-site [www.portofklaipeda](http://www.portofklaipeda)
8. Shinkovski M.Yu. (2004) Cross-border cooperation as a factor of Russian Far East development (In Russian) Шинковский М.Ю. (2004) Трансграничное сотрудничество как рычаг развития российского Дальнего Востока // Полис», № 5.
9. Trade statistics for international business development. [http://www.trademap.org/Country\\_SelProductCountry\\_TS.aspx?nvpm](http://www.trademap.org/Country_SelProductCountry_TS.aspx?nvpm)
10. Tsvetkov V.A., Zoidov K.Kh., Medkov A.A. (2014) The formation of evolutionary model of Russian transport and transit system in the terms of integration and globalization (In Russian) Цветков В.А., Зойдов К.Х., Медков А.А. (2014) Формирование эволюционной модели транспортно-транзитной системы России в условиях интеграции и глобализации // М. : ИПР РАН; СПб.: Нестор-История. URL: [http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o\\_1920957#499](http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_1920957#499)

# USAGE OF INTELLIGENT TECHNOLOGIES IN CHOOSING THE STRATEGY OF TECHNICAL MAINTENANCE OF LOCOMOTIVES

O. Ochkasov, O. Shvets, L. Černiauskaitė

*Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine. Department "Locomotives", abochkasov@gmail.com ORCID 0000-0002-7719-7214*

**Abstract.** The paper substantiates the need to improve the existing strategy in organization of maintenance and repair of locomotives. Many railway companies continue to use the preventive maintenance system for railway engines repairs. This system of maintenance requires considerable funds for repair work, and the amount of repair work not always corresponds to the actual technical condition of the locomotive. The usage of this approach in the organization of maintenance can be considered as morally obsolete. Especially this approach is not effective for locomotives equipped with on-board diagnostic systems. The analysis of maintenance and repair system for locomotives used on Ukrainian and Lithuanian railways is carried out. Alternative approaches to the organization of the locomotive maintenance system and experience of their use in the world are considered. Approaches and methods for the development of an intelligent strategy of maintenance and repairs are proposed. Requirements to the structure and contents of the baseline data for the development of intelligent systems are formulated. A technology for the collection and processing the information of the diagnostic systems for the intellectual strategies development of technical content is proposed. The transition to more advanced strategy of hauling equipment maintenance will lead to a reduction in the cost of repairs while achieving a high level of reliability.

**Keywords:** locomotive, maintenance, repair, intelligent technologies, diagnosis

In most cases, speaking about intelligent (Smart) transport technologies, first of all, one means different rolling stock and infrastructure management systems, information monitoring and security systems, interactive systems of customer communication and so on. In addition to these systems, it is necessary to develop intelligent systems for the organization of repair and maintenance of rolling stock for the improvement of all modes of transport. The purpose of creating such systems is to reduce operating costs while improving reliability and traffic safety.

In general, the maintenance (repair) strategy is a system of rules (a set of provisions) for managing the technical state of a product in the process of maintenance (repair). At this, the adopted rules and regulations are based on the usage of diagnostics, forecasting theories, automatic control, probabilities, machine reliability and optimization [5].

Developments of intelligent strategies of repair management are conducted for various modes of transport [1-5], including for railway transport. When organizing repair of locomotives, existing strategies for organizing of intelligent life-cycle management systems (system management of maintenance) used in other transport industries can be applied. The possibility of using the existing strategies is explained by the analogy of the physical processes leading to failures and by similar purposes of creating the such systems.

The development of intelligent strategies for organizing the repair of rolling stock must first of all be performed for locomotives, since the locomotive is a technically complex object with a high cost. Modern locomotives are equipped with on-board diagnostics systems. For example, on Ukrainian railways there are electric locomotives DS3, VL11M/6, fast-speed passenger trains HRCS2; on the Lithuanian railways ER20CF diesel-electric locomotives are operated, diesel-electric trains 620M, 630M, electric trains EJ575.

The review given in [4, 7] considers intelligent systems of analyzing data and monitoring the state of locomotives developed by leading world companies, as well as managing the reliability of a locomotive fleet. Companies provide their services to owners of rolling stock equipped with on-board electronics systems. The general trends of the developed systems are: usage of wireless technologies for data transmission, remote monitoring of the technical state of the locomotive, usage of data analysis technologies for a large amount. An increase in the time of the locomotive usage, reduction of failures in the route, reduction in the time spent in the depot is the result of using the locomotive fleet management systems.

The development of an intellectual strategy for the technical maintenance of locomotives requires the use of a systematic approach, since the objective of the system is to manage with the reliability of the entire locomotive fleet and plan the work of the repair units. When developing a strategy for the technical maintenance of locomotives, it is necessary to solve the following problems:

1. Development of a technique for the nodes ranking according to the degree of their impact on locomotive efficiency and traffic safety.
2. Development of a technique for choosing a node that limits the setting of the entire locomotive for repair based on the results of diagnosis.
3. Choice of the criterion, according to which the locomotive is planned to be repaired when it is selected from the general locomotive fleet.
4. Development of a technique for determining the residual technical resource for the node, system and the locomotive in general.
5. Development of a technique for determining the rational volume of locomotive repair operations.
6. Development of a technique for planning the loading of repair units, taking into account the techni-

- cal state of the locomotive fleet and the volume of planned repair work.
7. Development of a technique for planning the logistic support for repair units, taking into account the technical state of the locomotive fleet and the volume of planned repair work.
  8. Choice of the criterion for the organization of control systems for the reliability of rolling stock fleet using diagnostic results.
  9. Technology development of organizing the collection, analysis and storage of information of the locomotive fleet reliability management system.

The structural scheme of the proposed intellectual strategy for locomotive fleet management is shown in Figure 1. The initial data for the locomotive fleet management system is live data of operation (actual mileage, performed work), data on performed repairs (type of repair, date and mileage at the time of repair), and data of diagnostic systems. Based on the initial data, the control system selects the locomotives from the general fleet in accordance with the used criteria and potentials of the repair units.

An integral part of the intellectual strategy for organizing the repair of rolling stock is the maintenance and repair system. The maintenance and repair system includes a combination of technical means, regulatory documentation for maintenance and repair, and contractors. The objective of the technical maintenance system of vehicles is constant monitoring and maintenance of their technical condition and reliability at a level sufficient to fulfill their assigned functions or readiness for usage and performance of operating objectives. In general, such service systems in the theory of the organization of repair and maintenance of technical means are as follows:

- maintenance and repair system for failure,
- routine-preventive system,
- repair system upon actual status,
- combined maintenance and repair system.

The Lithuanian and Ukrainian railways use a routine-preventive system of maintenance and repair for locomotives. It is known that the routine-preventive system of maintenance requires considerable funds for repair work, and the amount of repair work not always corresponds to the actual technical condition of the locomotive. The usage of such approach in the organization of maintenance can be considered as morally obsolete. Especially this approach is not effective for modernized locomotives and new ones equipped with on-board diagnostics systems. Maintenance systems taking into account the actual technical condition of the locomotives or the combined system of maintenance are more progressive. For example, linking of repair intervals to the hours of a diesel operation does not take into account the diesel operating modes, idle speed or run positions.

When using diagnostic systems, it becomes possible to take into account the power realized by the diesel-generator set (for diesel-electric locomotives with electrotransmission). It more accurately reflects the performed work and takes into account the operating conditions.

In order to use the results of diagnostic systems, it is necessary to create information-and-technical centers for managing the technical condition of locomotives. The objective of these centers is the development and implementation of supporting systems for maintenance and repair of locomotives in live mode.

The work of these systems should be based on modern mathematical methods using: reliability theory, statistical analysis, fuzzy logic systems and neural networks, queuing theory, logistics methods, etc. The development of such systems is a time consuming and science-intensive objective. The transition to a more advanced maintenance system of the locomotive fleet will be a result of their introduction. It will lead to a reduction in repair costs, while ensuring a high level of reliability. A simple control of the repair intervals in

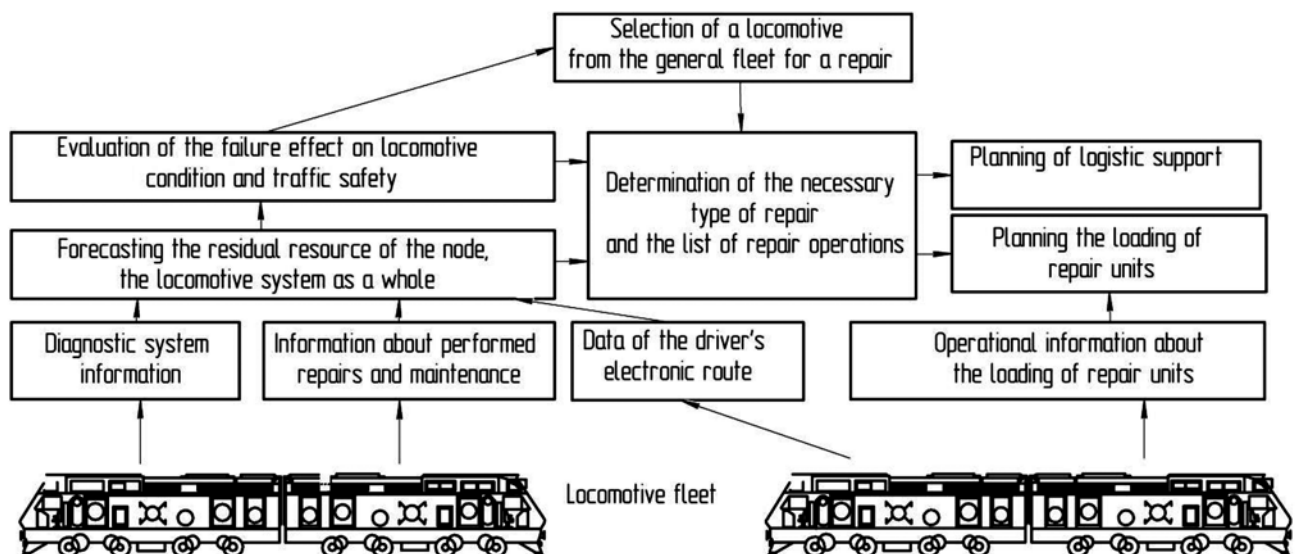


Figure 1. Structural diagram of the intellectual strategy of locomotive fleet management

the direction of increasing or decreasing their values is an analogy of guessing the answers, which can have serious consequences both from technical and economic points of view [6].

When researching the technical state of locomotive nodes upon the results of diagnosis, statistical methods of research are the most common ones. Statistical methods are based on the forecasting the failure situation of a locomotive node, taking into account the statistical law of the residual resource distribution. The technology of using such methods is known, it consists in the statistical analysis of data sets. Using the existing mathematical packages in order to analyze statistical data greatly simplifies the calculation process. The main problem of usage of statistical methods is the determination of the criterion, that is, the parameter by which the change in the technical state of each particular node and the locomotive unit will be evaluated, as well as the determination of the corresponding law by which this parameter occurs. Usage of statistical methods is expedient only if the law of variation in the technical state of each particular node corresponds to one of the basic types of distribution laws for which the basic calculated relations are known.

Analysis of modern methods of the diagnostic results and forecasting changes of parameters in different technical areas has shown that to date neural networks are widely used in solving of various problems in different fields of human activity. Neural networks are actively used wherever conventional algorithmic methods prove to be ineffective or completely impossible.

The neural network functions similarly to the human brain; the principle of its operation is the parallel operation of many simple elements (neurons) and their interaction with each other. In the human brain, neurons interact through a series of pulses lasting several milliseconds. Each pulse represents a frequency signal with a frequency of several to hundreds of hertz. The frequency of neuron interaction is much less than the frequency of modern computers, but at the same

time, the human brain can process analog information much faster than a computer, that is: recognize images, detect taste, recognize sounds, read the handwriting of others, and operate with qualitative parameters. All this is realized through a network of neurons connected by links. In other words, the brain is a system of parallel processors, working much more efficiently than popular now sequential calculations, which allows us to talk about the promise of neural networks.

The main question that can be solved in the study of the technical state of locomotive nodes using neural networks is the problem of the classifying the locomotive node failures, determining the technical state of the locomotive based on an analysis of the previous experience and the results of their diagnosis. Artificial neural networks can be used to solve the problem of classifying the faults of locomotive nodes and forecasting the values of the nodes parameters. The architecture of an artificial neural network, which has the name of a multilayer perceptron, received the most common application to solve these problems. The structure of the multilayer perceptron is shown in Figure 2.

An example of a neural network [9] used for studying the traction motors operation of DE1 electric locomotives is shown in Figure 3. The list of controlled parameters is established in accordance with the list of parameters controlled by the on-board diagnostics system of DE1 electric locomotives.

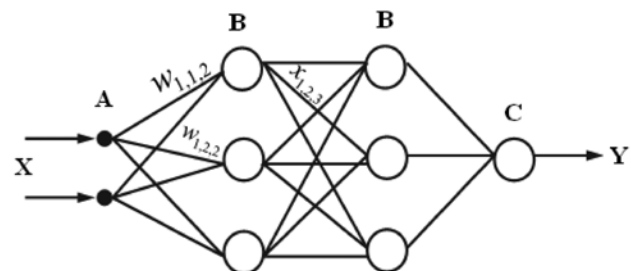


Figure 2. Structure of the multilayer perceptron. A – input layer of neurons, B – hidden layer of neurons, C – output layer of neurons, X – set of input signals, Y – set of output signals,  $w$  – weighting coefficients of links between neurons

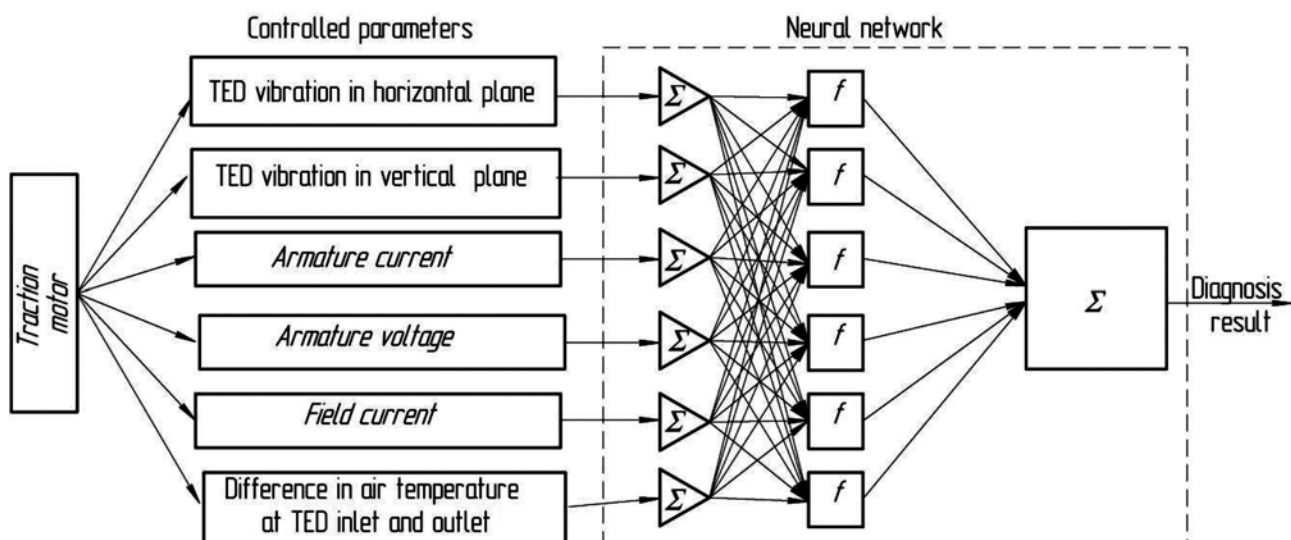


Figure 3. Structure of the neural network for the study of the traction engines operation of DE1 electric locomotives

When solving the problem of classifying faults of locomotive nodes using the multilayer perceptron, the controlled node is characterized by a set of parameters. For analysis, it is necessary to determine the possible number of serviceable and unserviceable technical states of this node. Based on the control parameter sets, it is determined to which class the node belongs, that is, it is necessary to choose the exact technical state to which the node belongs. The availability of sufficient data will allow solving the problems of changes forecasting in the technical condition of the nodes. Electric locomotives DE1 are equipped with an on-board diagnostic system, its operation results can be processed using neural networks, which will increase the efficiency of the diagnostic system and the reliability of electric locomotives.

In addition, neural networks allow solving the problems of approximation, determining the unknown law of changing the values of the sampled data. A feature of neural networks is the ability to analyze data subject to complex multidimensional dependencies, as well as data analysis distorted by external noises.

The above considered examples allow us to talk about the prospects of using the neural networks and systems of not clear logic for analyzing the technical state of locomotives. The mathematical apparatus of neural networks is designed at a sufficient level, which makes it possible to use applied mathematical packages for the analysis of data sets.

The result of the introduction of intelligent control systems for the reliability of the locomotive fleet will be the transition from a routine-preventive strategy to a maintenance one taking into account the actual state and results of diagnosis.

The main advantages of the intellectual strategy of the locomotive fleet maintenance are as follows:

- possibility of forecasting the failure of locomotive units on the basis of an individual operating history and forecast models;
- diagnosis and accounting of the work performed by the locomotive without entering the depot of the registry, remote monitoring of the technical state of the locomotive;
- automation of the planning and organization process of repair services, taking into account resources limitations and the consequences of possible failures.

The introduction of such systems is obvious and unavoidable for a locomotive fleet, in view of the rate of development of artificial intelligence systems and the analysis of large amounts of data. The first stage of the introduction of such systems is the creation of automated systems of accumulation and data analysis on the reliability and operation of a locomotive fleet.

## References

1. Bodnar, B. Ye., Ochkasov, A. B., Bobyr, D. V. Improving operation and maintenance of locomotives of ukrainian railway. *Technologijos ir Menas Technology and Art*, 2016, No. 7, p.109-114
2. Bodnar, B. Ye., Ochkasov, A. B. Povyssheniye ekspluatatsionnoy nadezhnosti podvizhnogo sostava: razvitiye sistem diagnostirovaniya [Increase of operational reliability of rolling stock: development of diagnostic systems]. *Lokomotive Inform*, 2011, No. 1-2, P.56-58.
3. Bodnar, B. Ye., Ochkasov, A. B., Shvets, O. M. Primeneniye neyronnykh setey dlya opredeleniya tekhnicheskogo sostoyaniya lokomotivov [Application of neural networks for determining the technical state of locomotives]. *Lokomotive Inform*, 2009, No. 9-10, p.4-6.
4. Khabardin, V. N., Chubareva, M. V. Sovremennyye strategii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta mashin v selskom khozyaystve [Modern strategies of maintenance and repair of machines in agriculture]. *Scientific-Practical Journal Vestnik IrGSHA*, 2014, No. 60, p.124-132.
5. Nauchnyye osnovy postroyeniya sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta samoletov grazhdanskoy aviatsii: uchebnoye posobiye [Scientific basis for the construction of the maintenance and repair system of aircrafts in civil aviation: Study guide]. Moscow: MGTU GA, 1994. ISBN5-86311-030-9.
6. On-board locomotive monitoring technology (part 1) [interactive]. Access via Internet: <http://www.progressiverailroading.com/mechanical/article/On-board-locomotive-monitoring-technology-part-1--47893>.
7. On-board locomotive monitoring technology (part 2) [interactive]. Access via Internet: <http://www.progressiverailroading.com/mechanical/article/On-board-locomotive-monitoring-technology-part-2--48179>.
8. Skalozub, V. V., Osovik, V. M. Indyvidualni intelektualni modeli dlia ekspluatatsii odnoridnykh zaliznychnykh tekhnichnykh system na osnovi parametriv potochnoho stanu [Individual intellectual models for the operation of homogeneous railway technical systems based on the parameters of the current state]. *Information and Control Systems on the Railway Transport.*, 2014, No. 6, p.8-12.
9. Technology update: On-board monitoring systems [interactive]. Access via Internet: <http://www.progressiverailroading.com/mechanical/article/Technology-update-On-board-monitoring-systems--51300>.
10. Vaychunas, G.; et al. Obosnovaniye mezhremontnykh periodov modernizirovannykh teplovozov litovskikh zheleznykh dorog [Justification of the repair intervals of modernized diesel locomotives on the Lithuanian railways]. *Problems and Perspectives of Railway Transport Development: Theses of the 77th International Scientific and Practical Conference (11.05-12.05.2017)*. Dnipro, 2017. P.4-6.

# IMPACT OF THE EU COHESION POLICY ON DISPARITIES IN SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF POLISH REGIONS IN THE YEARS 2004–2016

Adam Oleksiuk

University of Warmia and Mazury, Michała Oczapowskiego 2, 10-719 Olsztyn, Poland  
adam.oleksiuk@uwm.edu.pl; adam.oleksiuk@interia.pl

**Abstract.** The hitherto impact of the Cohesion Policy on the social and economic development of Poland has been unequivocally positive. The EU funds have significantly influenced economic growth, investment activity, R&D expenditures and the Polish labour market, as well as the internal and external equilibrium of the economy. The studies indicate that the EU funds have accelerated the GDP growth and the process of the real economic convergence towards the EU Member States. The implementation of the Cohesion Policy has contributed not only to narrowing the gap between Poland and the EU average level of the socio-economic development, but also to mitigating the processes of internal differentiation. The gap in the economic development of all Polish regions against the EU average has gradually been closing since the accession. The impact of the EU funds has been subject to a regular evaluation on the basis of selected indicators related to the implementation of the objectives set out in the main strategic documents, i.e. the National Development Plan 2004–2006, the National Cohesion Strategy 2007–2013, and the Partnership Agreement 2014–2020. The impact of the Cohesion Policy on the Polish economy in the years 2004–2016 is evaluated on the basis of the studies carried out by the Institute for Structural Research with the use of the model EUImpactMOD, which belongs to the category of dynamic stochastic general equilibrium models (DSGE). Additionally, some indicators have been estimated with the use of econometric module and databases of Eurostat, Ministry of Regional Development of Poland, The Central Statistical Office of Poland and The National Bank of Poland databases.

**Key words:** Cohesion Policy Funds, European Union, Polish Regions, Economic Growth, Investment Activity, R&D Expenditures, Quality Life, Labour Market.

## Introduction

On May 1 2004 when Poland joined the European Union it was one the poorest Member States, with the country's GDP per capita (at PPS) amounting to mere 48% of the EU average (in 2003) [2]. But this very figure did not reveal important interregional differences in socio-economic development that existed at that time at the level of the country's NUTS-2 regions (voivodeships). Despite noticeable improvement observed in all NUTS-2 regions between 2004 and 2014 in terms of their closing of the gap towards the EU-average GDP per capita five Eastern Poland voivodeships (lubelskie, podlaskie, podkarpackie, warmińsko-mazurskie and świętokrzyskie so far haven't managed – despite significant allocations of the Cohesion Policy funding – to reach even 50% of the said average [5]. In my opinion the indicating that there are serious structural factors at play when it comes to expanding and utilizing their development potential.

On the eve of the country's accession to the European Union, Polish regions were – together with Romanian, Bulgarian and Hungarian ones – among the poorest NUTS-2 units in the European Union, with their GDP per capita ranging from 34% of the EU average in the poorest voivodeship of Eastern Poland lubelskie (followed by podkarpackie with 35%, podlaskie and warmińsko-mazurskie with 36% and świętokrzyskie with 38%) to 72% in mazowieckie (whose level of development is heavily influenced by the presence of Warsaw, and hides profound intraregional differentiation) [4].

The EU Cohesion Policy place an important role in the development of Poland and of its regions, as i.a. attested by the fact that until the end of 2015 the country has spend approximately EUR 78.4 billion of its allocation. Average allocation of CP funding over the period 2004–2016 amounted to 1.8% of the country's GDP, with the ratio of the said funding reaching as much as 2.8% of the GDP in 2012 and exceeding 2.5% in the period 2013–2016 [4].

In the years 2004–2016, the highest nominal amounts of CP payments were recorded in [4]: mazowieckie (over EUR 12.6 billion), śląskie (over EUR 7.9 billion) and dolnośląskie (almost EUR 6 billion), the voivodeships of Eastern Poland stand out as the most important beneficiaries of the said policy when their allocations are compared to regional GDP or expressed in per capita terms. It should be underlined that in case of warmińsko-mazurskie and podkarpackie the CP allocations in the analyzed period exceeded 3% of the regional GDP and amounted to – respectively – EUR 2.5 thousand and EUR 2.7 thousand in per capita terms.

In the period 2004–2016 Poland was one of the fastest growing EU economies, and therefore has recorded, along with Slovakia, one of the highest cumulated increase in the GDP among the EU member states, expanding by almost 59% (compared to 14.8% in case of the EU). The relatively high economic growth in the years 2004–2016 resulted, to a significant extent, from the disbursement of the EU funds, which for example allowed the Polish economy to absorb the effects of external crisis during the financial crisis. In the article



we would like to present i.a. – in a detailed way – the results of selected econometric research commissioned by Polish governmental agencies, which attempt to quantify the impact of Cohesion Policy on the selected macroeconomic indicators, attesting to the benefits derived by the national economy and by regions from the implementation of the said policy. For example the most recent research contributed by the *Institute for Structural Studies* (using the family of Hermin models – 16 separate models of each of the voivodeships and an overarching national model) confirms the positive impact of the CP intervention on the that throughout the analysed period estimating that almost 17% of the annual average growth in the period 2004–2016 resulted from the implementation of projects co-financed from the EU funds [6].

Another interesting finding derived from the discussed research indicates that  $\frac{1}{4}$  of the progress in closing the gap between Poland and the EU average level of development in the period 2004 and 2016, when the above-mentioned gap narrowed by 21 p.p. (from 48% in 2003 to 69% in 2016) [5] is attributable to the Cohesion Policy intervention.

Namely in 2014, GDP *per capita* (at PPS) in five voivodeships of eastern Poland still did not exceed 50% of the EU average [5], as these voivodeships reported a relatively low degree of convergence – since 2004 they narrowed the development gap by from 11 p.p. (in case of świętokrzyskie), through 12 p.p. in warmińsko-mazurskie to 13 p.p. (in case of lubelskie, podlaskie, podkarpackie). Econometric research indicates that the impact of the CP in those regions was the strongest in Poland – with approximately 25 to 30% of the convergence (in podlaskie and lubelskie) to as much as 50% of it (in warmińsko-mazurskie) resulting from the implementation of projects co-financed from the EU funds. However, this progress pales in comparison with the achievements of the most developed voivodeships – that is of mazowieckie (closing the gap by 36 p.p. – to reach 108% of the EU average in 2014) and of dolnośląskie (closed the gap by 27 p.p. and reached 76% of the EU average) [4]. In the latter regions, approximately 23 – 24% of the convergence resulted from the implementation of CP [4].

Despite the Cohesion Policy intervention regions of Eastern Poland continue to stand out as the most affected by the problem of destitution, with the highest percentage of people subject to this problem recorded in 2014 in warmińsko-mazurskie and podlaskie voivodeships, where about one person in four was at risk of relative poverty as opposed to 11–12% in mazowieckie, śląskie and dolnośląskie. To reduce regional disparities it is indispensable to stimulate more robust economic performance in lagging regions, which will be important for promoting faster and more inclusive growth of the country. For example IMF [7] experts estimate that if one third of the gap in the GDP per capita level that currently exists between the regions charac-

terized by the higher than national average level of development and those recording below average figures were to be reduced it could expand the country's GDP per capita by 7%, leading therefore to additional convergence to the EU-28 average income level by about 5 percentage points [7].

Such circumstances point out to the need of stimulating, i.a. productivity in the lagging regions as a path to reducing regional disparities, since there is a robust empirical relationship between the level of per capita income and productivity, with more developed regions displaying higher productivity than the less developed ones. It should be also underlined here, that regional productivity, which determines that development potential of individual regions depends also on many factors, other than the regions' current level of development as measured by their GDP per capita figures. The identification of such factors constitutes an important challenge for formulating policy options conducive to narrowing the differences in development. In such a context I would like to discuss the factors which impact the productivity at the regional level and assess their importance in case of Polish regions. The impact of the EU funds has been subject to a regular evaluation on the basis of selected indicators related to the implementation of the objectives set out in the main strategic documents, i.e. the National Development Plan 2004–2006, the National Cohesion Strategy 2007–2013, and the Partnership Agreement 2014–2020. The impact of the Cohesion Policy on the Polish economy in the years 2004–2016, including forecasts up to 2023, is evaluated on the basis of the studies carried out by IMAPP and the Institute for Structural Research with the use of the model EUImpactMOD, which belongs to the category of dynamic stochastic general equilibrium models (DSGE). Additionally, some indicators have been estimated with the use of econometric module [6].

### The Cohesion Policy Funds Used in Poland in the Years 2004–2016

By the end of 2016, Poland has used PLN 358.4 billion from the structural funds and the Cohesion Fund<sup>1</sup>. The average annual payment under the Cohesion Policy amounted in the analysed period (2004–2016) to 1.8% of the GDP. In regional terms, the highest nominal amount of payments in the years 2004–2016 was allotted to the following voivodeships: Mazowieckie – over PLN 58.2 billion and Wielkopolskie – over PLN 35.3 billion, followed by the Dolnośląskie – over PLN 27.7 billion and Łódzkie voivodeships – PLN 26.7 billion. The lowest nominal amount of payments was recorded in the Opolskie Voivodeship – PLN 7.7 billion and the Lubuskie Voivodeship – approx. PLN 9.6 billion [4]. Taking into account the Cohesion Policy funds

1 As per the amount of the payment requests – the EU co-financing.

in relation to GDP and in per capita terms, the highest level of payments was observed in the Warmińsko-Mazurskie and the Podkarpackie voivodeships (in these regions the EU funds were equivalent to respectively 3.4% and 3% of GDP and to PLN 13.1 thousand and 11.3 thousand per capita) [4]. During the analysed period, the greatest EU support was directed towards projects related to the development of basic infrastructure (transport infrastructure, energy, environmental protection, and social infrastructure). In the majority of voivodeships, these expenditures amounted to approx. 2/3 of the total funds received. The remaining part of the invested funds was distributed nearly equally between the human resources development and the direct support for the production sector. There is a similarity between various regions in terms of the support structure. However, certain difference in this respect is characteristic for the Opolskie and the Lubelskie voivodeships: (where the expenditures on infrastructure -approx. 50%- are relatively low, while the support for the production sector is relatively high).

The investments co-financed from the EU funds account for a significant share of public investments in Poland. In 2016, the total investment outlays amounted to PLN 242.6 billion, out of which public investments accounted for approx. 37.3% (over PLN 90 billion<sup>2</sup>) [4]. The average share of the investments financed from the EU funds in the total public investments had been on an increasing trend since Poland's accession to the EU and in 2013 it exceeded 50%. In recent years, however, the said share was gradually declining – from 48.6% in 2014, to 44.4% in 2015 and to 35.3% in 2016, and it exhibited certain regional differentiation [4]. The investments financed from the Cohesion Policy dominated in Opolskie, Łódzkie, Lubelskie and Podlaskie voivodeships (where their share amounted to from 55% to over 70% of the public investments). On the other hand, in Śląskie, Mazowieckie, Kujawsko-Pomorskie voivodeships majority of public investments was financed from domestic sources<sup>3</sup>.

### Economic Growth and Structural Changes in the Economy

In the years 2004–2016, Poland, along with Ireland and Slovakia, achieved the highest cumulative increase in GDP among the EU Member States. Since the EU accession the country's economy has expanded by nearly 63.4%, while the average cumulative increase in the EU-28 amounted to 17.2% [5]. The relatively high economic growth in Poland in the years 2004–2016 (amounting to 3.8% on an annual average basis, as against 1.2% in the EU-28) was to a large extent driven by the use of the EU funds. During the economic crisis, the EU funds allowed to cushion the effects of external shocks and con-

tributed to the implementation of the national policy for the stabilization of public finances [1].

The impact of the Cohesion Policy on the economic growth was positive throughout the entire analysed period – **it is estimated that over 11% [4] of the average annual growth resulted from the implementation of the EU co-financed projects.** By stimulating the investment demand, the EU funds affected the increase in both disposable income and consumer demand, thus contributing to the GDP growth. The inflow of the EU funds significantly contributed to the real GDP growth.

The observed positive impact of the EU funds on the level of economic activity in the country is related to the existence of two basic channels through which the EU funds influence the economy, namely the demand channel and the supply channel. The impact of the funds exerted through **the demand channel** is particularly strongly related to the scale of the inflow of the funds in individual years. The funds received boost aggregate demand in the economy in a given year, above all by stimulating investments (both the public ones, e.g. in the field of transport infrastructure, and the private ones, e.g. through the direct support for investments carried out by enterprises). Simultaneously, the increased investment activity of the state and enterprises generates an additional demand for labour, which leads to the increased disposable income of the population by expanding employment level and by the gradual increase in salaries, as well as has a positive impact on the value of the consumer demand. It should be underlined, therefore that the existence of the demand effect depends on the constant inflow of the EU funds; once they expire (e.g. in relation to the expiry of a given financial perspective), the effect disappears. The years 2015–2016 illustrate such a case. In addition to bringing about an increase in aggregate demand, the European funds exerted a positive impact on the value of GDP through **the supply channel**. The funds received contributed to the expansion of the economy's productive capacity by accelerating the accumulation of the private capital by enterprises (thanks to subsidies and investment loans), expanding the public capital stock (through the development of basic infrastructure) and enhancing the quality of the human capital. This has caused a gradual increase in labour productivity, and consequently contributed to expanding productive capacity of the entire economy. In contrast to the demand effects, the surfacing of supply effects takes more time and requires a systematic inflow of the EU funds; however, the supply effects were relatively more durable than the demand effects of the interventions.

Significant weakening of the EU funds impact on the level of GDP is visible in the years 2016–2017, due to both full utilization of the funds under the 2007–2013 financial perspective and still limited scale of the projects under the 2014–2020 financial perspective. As a result, these years are characterized by a significant

2 Estimated on the basis of the share of public investments in 2015.

3 Data for the voivodeships for 2015.

weakening of the demand stimulus, particularly when it comes to stimulating investments in the economy.

The investments financed from the EU funds constitute also **a factor stimulating changes in the sectoral structure of the economy**, as evidenced particularly by the increased share of sector II (industry and construction), in the gross value added, with the concomitant decrease in the share of sector I (agriculture).

The funds fuelling the Polish economy under the Cohesion Policy contribute also to the intensification of the processes of real economic convergence between Poland and the EU, thus implementing one of the fundamental objectives of this policy. Poland catching up to the average level of economic development in the European Union results, on one hand, from dynamic economic growth, associated with the increase in the material and human capital endowment, and from the technological progress which boosts labour productivity on the other hand.

In the years 2004–2016, **the gap between Poland and the EU-28 in GDP per capita (in PPS) terms noticeably narrowed – by 21 p.p.** (from 48% in 2003 to 69% in 2015, **out of which nearly 1/5 resulted from the implementation of the Cohesion Policy** [4] [5]. The EU funds should enable Poland to reach 75%–78% of the EU average GDP per capita level by 2020 [4].

What is equally important, **the implementation of the Cohesion Policy contributes not only to narrowing of the gap between Poland and the average level of the social and economic development of the EU-28, but also to mitigating the processes of internal diversification.** The gap between Polish regions and the average level of economic development of the EU-28 countries has been decreasing gradually, as the EU funds help all Polish regions to move closer to the average level of the economic development of the EU-28 countries, although the convergence process is differentiated territorially.

In 2015, GDP per capita (in PPS) in five voivodeships of Eastern Poland did not exceed 50% of the EU average [5]. Furthermore, these voivodeships demonstrated a relatively low pace of convergence to the EU-28 average. In the years 2004–2015, GDP per capita (in PPS) in relation to the EU-28 average level increased in each of these regions by from 11 p.p. (the Świętokrzyskie Voivodeship) to 13 p.p. (the Podlaskie Voivodeship). Simultaneously, the impact of the Cohesion Policy was the greatest in these regions – from approx. 33–35% of the gap narrowed (Świętokrzyskie and Lubelskie voivodeships) to as high as 42% (the Warmińsko-Mazurskie Voivodeship) being driven by the projects co-financed from the EU funds. The fastest convergence process towards the EU average was observed in the richest voivodeships – Mazowieckie (by 37 p.p.) and Dolnośląskie (by 27 p.p.) [4]. In these regions, approx. 15% of the gap's narrowing resulted from the implementation of the investment projects co-financed from the EU funds.

## Investment Activity and R&D Expenditures

One of the factors determining the economy's development potential is the relation between the funds allocated to consumption and those allocated to accumulation, with the gross fixed capital formation (GFCF) expenditures being the most important component of the latter [1]. In 2016, the GFCF expenditures (in current prices) and were, despite a decrease in 2016, over two times higher than in the year preceding our country's EU accession (they amounted to PLN 334.3 and PLN 153.7 billion respectively) [4]. The implementation of the Cohesion Policy in Poland contributed to the expansion of the scale of investments in the economy. The EU funds allowed to considerably increase investment expenditures by stimulating public investments, under which large investment projects have been carried out, including the development of transport infrastructure. Significant funds were also earmarked for subsidies and investment loans for companies. These funds improved the profitability of the investment projects carried out and limited the scale of the financing gap in the economy, thus expanding the scale of the private sector's investment activity. **The greatest impact was recorded in the years 2012–2015, when the EU expenditures allowed to increase the GFCF expenditures by over 30%** [2] compared with the scenario implying the absence of the Cohesion Policy.

It should be noted that the impact of the EU funds on the value of investments in the economy is only partly related to the implementation of the projects co-financed from the EU funds. A large part of additional investment expenditures was generated by enterprises which are not direct beneficiaries of the Cohesion Policy. Such enterprises increased their fixed capital formation expenditures in order to expand their productive capacity in the light of an increasing aggregate demand in the whole economy. On the supply side, a positive impact on the investment activity of all entrepreneurs was generated by investments in the public sector which improved the private sector's productivity by expanding the stock of public capital in the economy.

The investment rate, which reflects the share of the gross fixed capital formation expenditures in GDP, recorded a significant decrease in 2016 compared to the preceding year – the rate amounted to 18.1% of GDP (as against 20.1% in 2015) – and was lower by 1.6 p.p. than the EU average [2]. It should be underlined that the highest investment rate was observed in Poland in the years 2007–2009 (from 21.4% to 23.1%), mainly thanks to the private sector's investments, but also on the account of growing share of the public investments, including those of the general government sector. The annual average investment rate in the years 2004–2016 was lower than in the EU and was the lowest one in the region of Central and Eastern Europe.

In the entire analysed period (2004–2016), **the impact of the Cohesion Policy on the investment rate was positive** – the use of the EU funds increased the indicator's value by at least 5 p.p. beyond the level which would be achieved in case of no financial assistance from the EU.

The inflow of the EU funds **also favourably influenced labour productivity**. This was mainly related to the employees enhanced access to the means of production, to their improved skills and competences (human capital) and to the expanded stock of public capital in the economy (public infrastructure). During the entire period 2004–2016, labour productivity in Poland increased faster than in the EU-28. Compared to the EU average, its level expressed in GDP per working person (taking into account differences in the purchasing power of currencies) increased from slightly over 60% in 2004 to 75.2% in 2016 [2]. The EU funds contributed approx. 2 p.p. in the years 2012–2015 and 1.5 p.p. in 2016 to narrowing the gap between labour productivity in Poland and the EU-28 average value.

It is worth noting at the same time that the impact of the EU funds on labour productivity is significantly lower than the analogous impact on GDP. This results from a positive impact of the Cohesion Policy on the level of employment, which is another – apart from labour productivity – factor influencing the value of GDP. **The relation of R&D expenditures to GDP** is still low in Poland – in 2015 it amounted to 1% (as against the EU average of 2.03%) [5], while the persisting challenge for our country is to achieve the desired “national goal” of the Europe 2020 Strategy, as well as the respective goal of the Strategy for Responsible Development set at the level of 1.7% of GDP by 2020 [3].

It should be noted that the share of R&D expenditures in GDP has been gradually increasing and is now almost two times higher than the one recorded in 2004 (0.55% compared to the EU average of 1.75%) [5]. It should also be noted that there is a gradual change visible when it comes the low level of research and development investments in the business enterprise sector. Low R&D investments on the part of the said sector not only resulted in the sector's low share in the R&D expenditures in Poland but also were particularly disadvantageous for the economy.

**The EU funds have significantly contributed to increasing the share of R&D expenditures in GDP** – it is estimated that in recent years their impact amounted to approx. 0.3 p.p.

## Labour Market

At the time Poland's accession to the EU, the country was exhibiting the lowest employment rate in the EU, however it subsequently recorded the greatest growth of this rate – which by the end of 2016 was by 12.2 p.p. higher than initially. **Nearly 1/5 (approx.**

**2.3 p.p.) of the increase in the employment rate in the years 2004–2016 was driven by the investments co-financed from the EU funds**. What is important, the crisis caused only a slight decrease in the employment rate in Poland, largely thanks to the EU funds. In 2016, the employment rate for persons aged 20–64 years amounted to 69.3% [5], being only slightly (by 1.8 p.p.) lower than the EU-28 average (in 2004), the gap was as high as 10 p.p.). Employment rates vary between regions. In 2016, the lowest employment level was characteristic for the Warmińsko-Mazurskie Voivodeship (63.4%), while the highest one was characteristic for the Mazowieckie Voivodeship (73.9%). Following Poland's accession to the EU, the fast pace of catching-up in employment has been recorded in the Lubuskie and Dolnośląskie voivodeships – by 17.5–18 p.p. [4] The worst situation was recorded in the Lubelskie and Podkarpackie voivodeships, where the employment rate increased in the years 2004–2016 by only 5.2–7.3 p.p., while nationwide the average annual rate of improvement was about twice as high [4].

The use of the EU funds **favourably influenced the employment rate in all voivodeships**. The strongest impact was recorded in the Warmińsko-Mazurskie, Zachodniopomorskie and Podkarpackie voivodeships – it is estimated that in these regions the Cohesion Policy contributed approx. 3 p.p. to the growth in employment rate. The weakest impact of the Cohesion Policy on the labour market was recorded in the Świętokrzyskie and Śląskie voivodeships (approx. 1.7 p.p.).

The positive impact of the EU Cohesion Policy manifests itself in the creation of new jobs, the improved qualifications of employees and their better adaptation to changing labour market conditions. In 2016 the number of working persons aged 20–64 years amounted to 15.8 million. In the period 2004–2016, the growth rate of the number of working persons was one of the highest in the EU, leading to an increase in their number by over 2.5 million [2]. **The number of new jobs created thanks to the investments co-financed from the EU budget is estimated at 500–600 thousand** [4].

In addition to its impact on the general level of employment, the implementation of the Cohesion Policy simultaneously triggers changes in employment's sectoral structure. The EU funds influence on the labour market is stronger through the demand channel, enhancing the significance of the industrial and construction sectors and of the services sector while simultaneously reducing the share of agriculture in the employment structure.

The positive impact of the EU funds on the labour market is also visible in the significant decline in **the unemployment rate**. Upon joining the EU, Poland had the highest unemployment rate<sup>4</sup> in the EU (19.1%).

4 Unemployment rate among persons aged 15+ according to the Labour Force Survey (BAEL).

However, in the post-accession years, the unemployment rate was falling fast – to 6.2% in 2016 and is now lower by 2.3 p.p. than the EU average [6].

Particularly strong positive impact of the funds on the unemployment rate was recorded in the years 2012–2014, when the significant inflow of the EU funds generated an additional demand in the economy, simultaneously mitigating consequences of the economic slowdown related to the second wave of the global financial crisis. Thanks to these funds the unemployment rate increased to 10.3% only, compared to the level of 13.8% estimated under the scenario without the EU funds. In the upcoming years, the impact of the EU funds on the unemployment rate will be weaker, on account of both, their smaller inflow and a generally lower unemployment rate in the economy resulting from the favourable economic situation and from a gradual decrease in the number of the working age persons in Poland. The EU funds contributed significantly to the reduction in the unemployment rate. Thanks to the investments of the Cohesion Policy funds, the unemployment rate among persons aged 15+ years was lower by 3 p.p. on average in the years 2012–2016 than if no investments co-financed from the EU funds had been undertaken [6]. This translates into **an absolute decrease in the number of unemployed persons by over half a million.**

At a regional level, the highest unemployment rate was observed in 2016 in the following voivodeships: Podkarpackie (9.6%), Świętokrzyskie (8.9%) and Warmińsko-Mazurskie (8.8%) [4]. The investment of the EU funds contributed to unemployment rate reduction in all voivodeships. The Warmińsko-Mazurskie voivodeship was the biggest beneficiary of the said impact. It is estimated that in this region the investments co-financed from the Cohesion Policy were responsible for approx. 3 p.p. of the recorded decline in unemployment rate. A high impact (over 2.5 p.p.) was also recorded in the Podkarpackie and Zachodnio-Pomorskie voivodeships. On the other hand, the lowest impact (of approx. 1.6 p.p.) of the Cohesion Policy on the labour market was recorded in the Świętokrzyskie and Śląskie voivodeships [6].

It is worth adding that the labour market processes determine to a large extent the level and dynamics of the social development in a particular area. The increased demand for labour force limits an array of negative consequences related to long-term unemployment or professional inactivity, including poverty, social pathologies, apathy, feelings of powerlessness and helplessness. Therefore improved labour market situation contributes to enhancing public sentiments in a particular country/region and increases its investment attractiveness. By expanding the use of labour force's potential in a particular area, it is possible to increase the volume of goods and services produced there and hence given area's real wealth. Therefore, the contribution of the Cohesion Policy to improving the situation

on the Polish labour market should be regarded as significant.

## Life Quality

Compared to the European Union, Poland belongs to the group of countries with the lowest **gross income per capita** (real adjusted gross disposable income of households per capita in PPS) – which in 2015 amounted to 69.1% of the EU-28 average [2]. Other Central European countries are in a similar situation. Since Poland's accession to the EU there has, however, been both an absolute and relative growth – compared to its level in 2005, income has increased by nearly 40% (19 p.p.), which constitutes one of the greatest increases in the European Union – along with Romania and Slovakia [2].

Thanks to the EU funds the convergence process in the analysed area is slightly faster – while in 2005 the difference between the base scenario and the scenario without the EU funds for this indicator was close to zero, in 2015 it amounted to 2.2 p.p. (which means that the EU funds accounted for nearly 12% of the convergence observed in the years 2004–2015 [6]. A favourable impact of the EU funds is also noticeable when it comes to reduction in the scale of relative poverty – as evidenced by the percentage of persons earning less than 60% of the median equivalent income. In Poland the percentage of persons living below the threshold of relative poverty decreased from 20.5% in 2005 to 17.6% in 2015 – simultaneously, the average level of this indicator in the EU-28 worsened from approx. 16% to 17.3% [6]. This signifies that in Poland the value of this indicator is nearly identical to the EU-28 average. Furthermore, the pace of poverty reduction in Poland (-2.9 p.p.) has been the second fastest in Europe, following Ireland (-3.4 p.p.) [6].

It is estimated that in 2015 the positive impact of the funds on relative poverty amounted to approx. 5 p.p. – in the absence of the Cohesion Policy, the indicator would have been much higher than the EU average and would have amounted to approx. 22.6% [6]. As estimated, the funds influence the analysed area through two indirect effects, i.e. GDP growth (leading to increasing disparities) and poverty reduction (resulting in decreasing disparities), whereby the unemployment rate is the most important determinant of inequalities. Poverty reduction does not only decrease the number of persons without incomes, but also results in increasing remunerations for employees formerly threatened with unemployment.

The Cohesion Policy contributed also to decreasing income disparities measured by the Gini coefficient (which is correlated to the at-risk-of-relative-poverty rate). In the years 2006–2015, Poland recorded a fall in the value of this indicator from 35.6 to 30.6, while at the same time it slightly increased on average in the

EU – from approx. 30.6 to 31.0 [6]. As estimated, the impact of the EU funds on the decline in Gini coefficient was the highest in the years 2012–2016 (within the range of 2.0–2.5 p.p. in each of these years) [6].

## Conclusions

The impact of the Cohesion Policy under the Partnership Agreement 2014–2020 on the development of the country and of its regions will remain favourable, however, its scale is estimated to be lower than in the past. The main factors behind weaker impact of the Cohesion Policy in the upcoming years include the following:

- a) differences in the real weight of the funds for the years 2014–2020. The value of the funds allocated to Poland in the years 2014–2020 is higher in nominal terms than the funds for the period 2007–2013. However, what matters from the perspective of analysing the impact of financial interventions on development processes is the real value of the invested funds related to the scale of the entire national economy. The comparison of allocations under two financial perspectives, demonstrates that the weight of the funds for the years 2014–2020 (1.5% of GDP on an annual average basis) is lower than the relevant value for the years 2007–2013 (2.1% of GDP on an annual average basis). This determines in turn the scale of demand-side and supply-side mechanisms. In a larger economy, given allocation is distributed among a larger number of enterprises making it more difficult to achieve an appropriate critical mass of support and the desired economies of scale. An increase in the size of the economy expands – in case of countries and regions with similar deficits as Poland and its voivodeships – the demand for basic infrastructure and human capital. Should the material and human capital resources not grow proportionally to the increasing demand, the financial intervention will generate lower economic effects than in case of public investments catching up with the needs of the private sector;
- b) it should also be noted that compared with the years 2007–2013 the infrastructure stocks, the stocks of physical capital of enterprises in the form of buildings and structures and machinery and the human capital resources are now larger than during the early phase of the implementation of the National Strategic Reference Framework (NSRF). This implies relatively lower effects generated by an increase in the above-mentioned resources due to the economy's higher degree of saturation with them;
- c) to a certain extent lower results of the simulation in the perspective 2014–2020 are also influenced by the fact that compared with the period 2007–2013 the infrastructure expenditures represent a relatively smaller part of the total payments. In the situation

of still noticeable deficits in the Polish transport system, the impact of the extension and modernization of the stocks of infrastructure on the economy is still high. Even the most innovative business projects or the enhanced human capital will not translate into development processes under the circumstances of a low accessibility of the country/region. As long as an effective transport system (understood as a favourable accessibility in terms of travel time) is not in place, the expenditures on infrastructural projects will generate the greatest effects. In the long term, however, the investments undertaken in the field of research and development and implementation of research results will become of key importance.

The impact on the rate of the GDP growth will be small after 2017 mainly due to the fact that the initial demand effects will – thanks to the infrastructural expenditures, the support for innovation and the accumulation of human capital – gradually be transformed into a long-term supply-side effects. This means that year by year the additional increase in GDP as a result of the demand effect will be smaller. It is worth noting, however, that despite the small impact on the dynamics of GDP, in 2020 the value of GDP (in Polish zloty, in current prices) will be higher by approx. 5.7% thanks to the EU funds, compared with the scenario without the Cohesion Policy. The EU funds will continue to favourably influence the real economic convergence between Poland and the EU. By 2020, the EU funds will enable Poland to achieve the level of GDP per capita as high as 75–78% of the EU average. Since Poland's accession to the EU until 2020, the development gap between Poland and the EU will have decreased by approx. 30 p.p., with the 4 p.p. being the effect of the Cohesion Policy's implementation. Labour productivity will experience a further increase, with the Cohesion Policy contributing significantly to the bridging of the gap between our country and the EU average level of labour productivity. Taking into account forecast years (2017–2020), the annual average impact of the funds will be two times higher than to date. A positive impact of the flow of the funds invested under the Cohesion Policy on labour productivity stems from an increase in the labour efficiency through the extension and modernization of the enterprises' physical capital stock, the improved work organization, the specialization of the production process (related to the increasing production scale) and the development of human capital, as well as from the improved management of production resources in enterprises. The positive impact of the Cohesion Policy on labour productivity also derives from factors which do not directly influence the quality and productivity of working persons (e.g. the extended basic infrastructure), but which stimulate total factor productivity improvements, while at the same time causing an increase in the volume of the produced goods and services. In 2020, labour productivity in Poland (expressed in GDP per capita in PPS)

will exceed 80% of the EU average. The impact of the Cohesion Policy on investments will remain high – in the forecast years (2017–2020), the gross fixed capital formation expenditures will be higher by 25% on an annual average basis, and the investment rate will be higher by approx. 4.5 p.p. on an annual average basis. The favourable effect of the European Cohesion Policy will still be visible on the labour market. As estimated, by 2020 the employment rate for persons aged 20–64 years will be as high as nearly 73%, with the impact of the Cohesion Policy amounting to approx. 2.3 p.p. The number of new jobs created in the course of the investments co-financed from the EU budget will remain on the level of approx. 450–500 thousand persons. There will be a similar impact on reducing the unemployment rate – it will be lower by approx. 1.7 p.p. thanks to the EU funds.

On a regional basis, it may be expected that in the longer term the interventions financed from the EU funds will translate the most into the development of Eastern Poland, which is expected to receive the highest amount of funds – in both per capita terms and in relation to the size of the regional economy. Such an allocation of the available funds will allow this group of voivodeships to achieve by 2020 the GDP per capita at the level of approx. 52–53% of the EU-28 average, with approx. 4.5–5.5 p.p. of the gap bridged resulting from the EU funds support for the regions. However, one should remember that the Cohesion Policy is just one of the elements which should enable the harnessing of the regions' endogenous potentials and hence the intensification of the development processes. The implementation of the Cohesion Policy has contributed not only to narrowing the gap between Poland and the EU average level of the socio-economic development, but also to mitigating the processes of internal differentiation. The gap in the economic development of all Polish regions against the EU average has gradually been closing since the accession.

It is estimated that over 11% of the annual average **GDP growth** stemmed from the implementation of projects co-financed from the EU funds. The gap between Poland and the EU-28 measured in **GDP per capita (in PPS)** narrowed markedly – by 21 p.p., out of

which nearly 1/5 has been driven by the Cohesion Policy. The EU expenditures expanded **the gross fixed capital formation expenditures** by over 30%, while **the investment rate** was higher by at least 5 p.p. than the counterfactual level (one estimated on the assumption of the lack of the EU financial assistance). The EU funds contributed to expanding **the share of R&D expenditures in GDP** – it is estimated that in the recent years the said impact amounted to approx. 0.3 p.p.. Nearly 1/5 (approx. 2.3 p.p.) of the increase in the employment rate in the period 2004–2016 resulted from the implementation of investments co-financed from the EU funds. It is estimated that the number of new jobs created as a result of the investments co-financed from the EU budget amounts to 500–600 thousand. There was a significant impact on reducing decreasing the unemployment rate – with the latter being lower by approx. 3 p.p. on average than in the hypothetical scenario of the lack of the EU funds co-financed investments, which translates into an absolute decrease in the number of the unemployed by over half a million. The beneficial impact of the EU funds is also discernible in terms of the reduced **relative poverty** – by approx. 5 p.p. The Cohesion Policy contributed also to decreasing income inequalities measured by **the Gini co-efficient** – by approx. 2.0–2.5 p.p.

## References

1. Białek J. and Oleksiuk A., 2016. *The socio-economic effects of Poland's membership in the European Union and the challenges of the middle-income trap*, Journal of International Studies Vol. 9, No 1, Szczecin.
2. Eurostat databases.
3. Ministry of Development, *Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030)*, Warsaw 2017.
4. Ministry of Development of Poland databases.
5. The Central Statistical Office of Poland databases.
6. *The evaluation of the impact of the Cohesion Policy on the development of selected macroeconomic indicators on the national and regional level with the use of the EUImpactMod model*, IM-APP and the Institute for Structural Research, June 2017.
7. The National Bank of Poland databases.

# CROSS-POLARIZATION OF RADIO WAVES AT PROPAGATION IN FORESTS

Valentin I. Popov

Riga Technical University, Azenes street 12a, Riga, LV-1048, Latvia, popovs@latnet.lv

**Abstract.** The paper deals with the problem of the appearance of the cross-polarization effect in the through propagation of VHF/UHF radio waves in forests. The parameters of cross-polarization are analyzed and the functional dependences  $XPD\{f, \zeta_p, r_p\}$ ,  $XPR\{f, \zeta_p, r_p\}$  are evaluated on the operating frequency, forest vegetation properties and the distance traveled within the forest from the transmitting antenna to the receiving antenna. Rerouted by forward and backward vegetation elements, radio signals contain many cross-polarization components that can have levels comparable to the main (useful) component. An increase in cross-polarization components can be observed in the “forward” region, which can be formed by successively decreasing the useful component, ultimately causing a significant decrease in the  $XPD$  value. As a result, the relatively high cross-polarization component can consecutively reduce the level of the useful component, while the cross-polarization effect is random, and the  $XPD$  value with fluctuating distance between the transmitting and receiving stations begins to fluctuate relative to  $XPD = 0$ . Thus, the influence of forest vegetation on the propagation conditions in VHF/UHF ranges is not only manifested in a random variation of the attenuation coefficient, but also leads to a cross-polarization effect, which ultimately causes deep fading of the radio signal at the receiving point.

**Keywords:** cross-polarization, radio waves, cross-polarization selection, electromagnetic waves (EMW), cross-polarization discrimination (XPD), cross-polarization ratio (XPR)

## 1. Introduction

The absorption, scattering, and cross-polarization effects that occur when radio waves propagate in inhomogeneous absorbing media are important factors that determine the reliability of radio communication channels. Knowing these factors makes it possible to create more adequate models in the design of wireless communication networks [1, 2]. As is known, when electromagnetic waves are emitted by antennas, which acquire a transverse electric type of wave (TEM-Transverse Electric and Magnetic fields) in the far zone, i.e. become practically plane-polarized. When propagating in a vacuum, their plane of polarization (in which the vector  $E$  lies) does not change, therefore a plane-polarized Line-of-sight (LOS) regime is observed for electromagnetic waves (EMWs) propagating from the transmitting antenna to the receiving antenna. As a rule, three main types of polarization of coherent EMWs are used in communication systems:

1) linear [i.e. polarization is directed perpendicularly to the direction of propagation of the EMW (Pointing vector)] (Fig. 1b);

- 2) circular [with a right or left rotation, depending on the direction of rotation of the electric field vector  $E$ ];
- 3) elliptic [for which the end of the vector  $E$  is described by an ellipse].

It should be noted that the causes of the cross-polarization of EMW are:

- asymmetric EMW generation in antenna systems;
- inhomogeneity and anisotropy of the EMW propagation medium;
- refraction and reflection of the EMW on the boundary between two media.

As an example, Fig. 1 (a, b, and c) shows cases in which the EMW of the corresponding polarization is propagating in space.

Any polarized EMW can be represented as a superposition of two linearly polarized EMWs in two mutually perpendicular directions (Fig. 1a):

$$\vec{E}(t) = \vec{E}_x(t) + \vec{E}_y(t) \tag{1}$$

In this case, if amplitudes of these components are equal, and they are in-phase, then circular polarization is observed; otherwise (if amplitudes are different) elliptic polarization takes place.

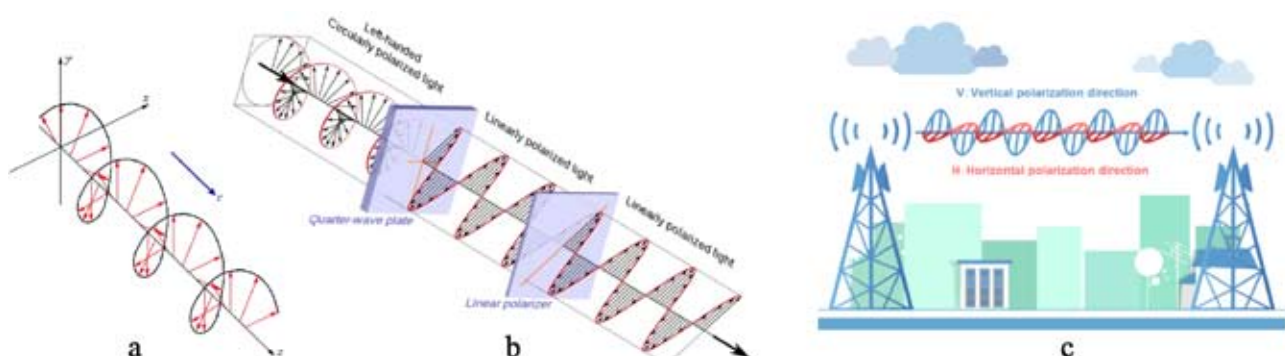


Fig. 1.



## 2. Propagation of Vertically Polarized EMWs Through a Depolarizing Medium

Let's consider the propagation of vertically polarized radio waves through the depolarizing medium (Fig. 2).

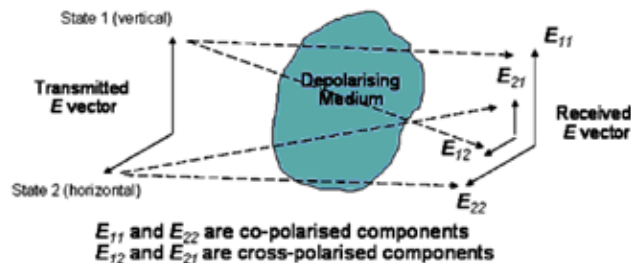


Fig. 2. [3]

Both components  $E_x(t)$  and  $E_y(t)$  are known to be coherent for a polarized wave, and incoherent for the unpolarised one. The phase difference between  $E_x(t)$  and  $E_y(t)$  in the first case is constant, but in the second is a random function of time.

Let's consider the parameters of cross-polarization.

To quantify the degree of EMW depolarization, more precisely—the cross-polarization radiation reduction coefficient [Cross-Polar Isolation/Discrimination (denoted as XPI, XPD or X-Pol)] the following parameters are introduced [1-5]:

**XPD (Cross-Polarization Discrimination)**—is defined as the ratio of the amplitude of the electric field strength at the receiving point (EMW power)  $E_{11} = E_{xx}$  of the main (useful) polarization to the (interfering) amplitude of field strength (EMW power)  $E_{12} = E_{xy}$ , which orthogonal to the basic kind of polarization, with propagation of EMW in the forest area and, as a result, cross-polarization in forest vegetation. This parameter expresses the degree of selection (separation) of the main type of the incident electromagnetic wave and is presented as:

$$XPD_{VH} = 20 \cdot \lg \left| \frac{E_{11}}{E_{12}} \right| = 10 \cdot \lg \frac{P_{11}}{P_{12}} \quad (2)$$

It should be noted that for antenna systems, expressions for XPD are as follows:

1) for transmitting antennas:

- with vertical polarization:

$$XPD_{VRx} = 10 \cdot \lg \frac{P_{VV}}{P_{VH}} \quad (3)$$

- with horizontal polarization:

$$XPD_{HRx} = 10 \cdot \lg \frac{P_{HH}}{P_{HV}} \quad (4)$$

2) for receiving antennas:

- with vertical polarization:

$$XPD_{VRx} = 10 \cdot \lg \frac{P_{VV}}{P_{HV}} \quad (5)$$

- with horizontal polarization:

$$XPD_{HRx} = 10 \cdot \lg \frac{P_{HH}}{P_{VH}} \quad (6)$$

Where  $P_{VV}$  and  $P_{HH}$  are the powers of the main EMWs (vertically or horizontally polarized) and their cross-polarization components are  $P_{VH}$  and  $P_{HV}$ .

**XPI (Cross-Polarization Isolation)**—is defined as a ratio of the amplitude of the electric field strength at the receiving point (EMB power)  $E_{11}$  of the main polarization to the field strength (EMW power)  $E_{21}$ , which is interfering and coinciding with the main type of polarization in the propagation of EMW in forest vegetation, resulting in a cross-polarization. This parameter also expresses the degree of selection of the main type of the incident electromagnetic wave and is written as:

$$XPI_{HV} = 20 \cdot \lg \left| \frac{E_{11}}{E_{21}} \right| = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{11}}{P_{21}} \right| > 0 \quad (7)$$

**XPR (Cross-Polarization Ratio)**—is a coefficient (indicator) of cross-polarization:

$$XPR = 10 \cdot \lg \frac{P_{ort}}{P_{inc}} < 0, \text{ dB} \quad (8)$$

where  $P_{inc}$ —the power of the incident radio wave,  $P_{ort}$ —power of the radio wave, emerging due to cross-polarization, whose component at the receiving point is orthogonal to the component of the incident radio wave.

As shown in [5],  $XPR_{Rx} = P_{VH} - P_{VV} \text{ (dB)}$  under condition of multipath propagation in cellular networks (propagation of vertically polarized EMWs in Paris) can have values in the order of  $XPR \sim (-8.7) \text{ dB}$ .

**BPD (Branch Power Discrimination)**—channel power selection (usually specific for transmitting and receiving antennas) [7] is defined as the ratio of the sum of the powers of a vertically-polarized EMW and its horizontal cross-polarized component, to the sum of the powers of a horizontally polarized EMW and its vertical cross-polarized component (1.9).

$$BPD = \frac{P_{VV} + P_{HV}}{P_{HH} + P_{VH}} \quad (9)$$

For example, for the receiving antenna [4], expression (1.9) will be written as:

$$BPD_{Rx} = \frac{P_{VV} + P_{HV}}{P_{HH} + P_{VH}} \quad (10)$$

but for the transmitting antenna:

$$BPD_{Tx} = \frac{P_{VV} + P_{VH}}{P_{HH} + P_{HV}} \quad (11)$$

Values of XPD and XPR are most often determined in practice, which in general are functions of the operating frequency, forest vegetation properties and the distance traveled within the forest from the transmitting antenna to the receiving antenna:  $XPD\{f, \zeta_p, r_p\}$ ,  $XPR\{f, \zeta_p, r_p\}$

A numerical example:  $E_{VV} = 10 \text{ mkV/m}$ ,  $E_{VH} = 1 \text{ mkV/m}$  in the receiving point, thus  $XPD = 20 \text{ dB}$ ,  $XPR = -20 \text{ dB}$ . The higher the value of  $XPD$ , the higher the degree of selection for cross-polarization. While  $XPD = 0$ , values of the useful and interfering EMW components at the point are equal. Let's consider some results for the definition of  $XPD$  and  $XPR$  based on the mathematical modeling and experimental studies for a certain range of radio frequencies.

### 3. Cross-Polarization Effect of Radio Waves at Propagation in Forests

In an inhomogeneous and anisotropic medium (generally, forest vegetation), when electromagnetic waves fall on trees, parts of trees (trunks, branches, leaves) generate currents that create secondary reradiated electromagnetic waves propagating to the receiving point (Fig. 3).

All vertically directed elements of vegetation practically do not change the vertically polarized (useful) falling of EMW- $E_{11} = E_{xx}$  (co-polarised strength), only causing an attenuation and forward scattering, while horizontally and obliquely located vegetation elements create a horizontally directed (interfering) electric field strength vector- $E_{12} = E_{xy}$  (cross-polarized strength), which is also a subject to attenuation and scattering as radio waves propagate in the forest. In addition, the following effects will occur in the propagation of radio waves:

- 1) lateral wave (LW) will spread over the forest vegetation;
- 2) additional EMW reflected from the forest litter will appear (in which, according to Leontovitch – Rytov [9, 10], the intensity (power  $P_G$ ) of the EMW will be orthogonal to the useful component.

In general, plants in forests are located chaotically in space and the polarization plane of the resulting EMW at the receiving point will differ sharply from the polarization of the EMW falling on the forest area, but the median value of the vector  $E_{11}$ , in most cases up to a certain distance will exceed the other median components:  $E_{11} > E_{12}$ ,  $E_{11} > E_{22}$  and others (Fig. 1).

Thus, the value of  $XPD$  (or  $XPR$ ) is:

$$XPD_{VH} = 10 \cdot \lg \frac{[P_{11}^0 \cdot 10^{-\alpha_{11} \cdot l_F} + P_{LW}(l_{LW})]}{[P_G \cdot 10^{-\alpha_{12} \cdot l_F} + \sum_{r=1}^{r=l_F} P_{12} \cdot 10^{-\alpha_{12} \cdot r}]} \quad (12)$$

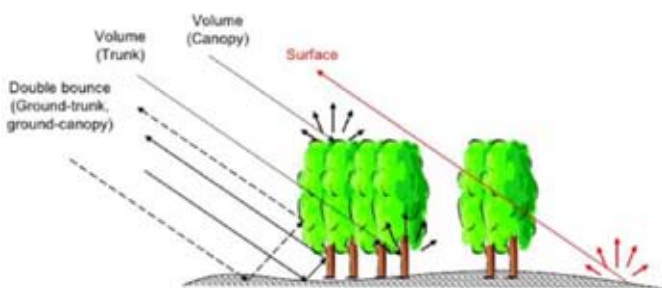


Fig. 3.

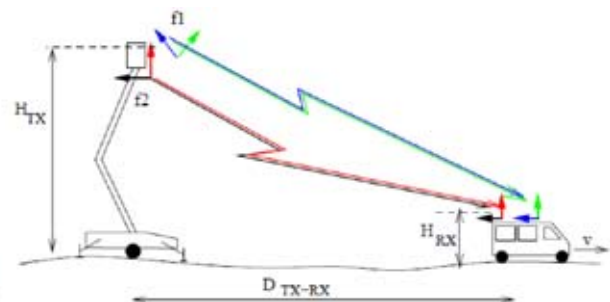
where  $P_{LW}$ —power at the receiving point of the lateral wave,  $l_{LW}$ —distance travelled by the lateral wave,  $l_F$ —distance from the transmitting antenna to the receiving antenna,  $\alpha_{11}$ —attenuation coefficient of the direct EMW in the forest massif at the given carrier frequency, the distances traveled by the direct cross- from different trees that cause EME data,  $\alpha_{12}$ —attenuation coefficient of the cross-polarized EMW in the forest area at a given carrier frequency and power,  $P_G$ —additional EMW reflected from the forest litter,  $P_{12}$ —cross-polarization component of the input power forest vegetation.

### 4. Experimental Studies of XPD and XPR Values When Radio Waves Propagates in Forests

Experimental studies of cross-polarization effects in forest areas were carried out in [11-14]. Thus, in [12] it was shown that a typical radiation pattern of reemission (scattering) of the EMW (Fig. 4) by a plant (ficus) in the corresponding plane has a diagram close to the emission of an electric vibrator, but in Fig. 5 diagrams of the scattering for twigs and leaf blocks are shown, while depolarization for each scatterers has a random character.

Radio signals that are rerouted by the elements of vegetation “forward” and “backward” contain a lot of cross-polarization components, which can have levels comparable to the main (useful) component. An increase in cross-polarization components can be observed in the “forward” region that can be formed by successively decreasing the useful component, ultimately causing a significant decrease of the  $XPD$  value. As a result, the relatively high cross-polarization component can consistently reduce the level of the co-polarized component.

In [14], the cross-polarization problem is addressed, estimating the  $XPR$  value of EMWs in VHF/UHF bands (including the 800 MHz frequency) for the propagation conditions of radio waves in the jungle, and a comparison is made for the propagation conditions of radio waves in deciduous trees in Europe. It is shown that the level of  $XPR$  for the jungle is much higher than  $XPR$  for deciduous trees (with fallen leaves). In the jungle, as the depth of penetration of the EMW into the forest vegetation increases (from 75 to 2500 m), the level falls and this fall increases according



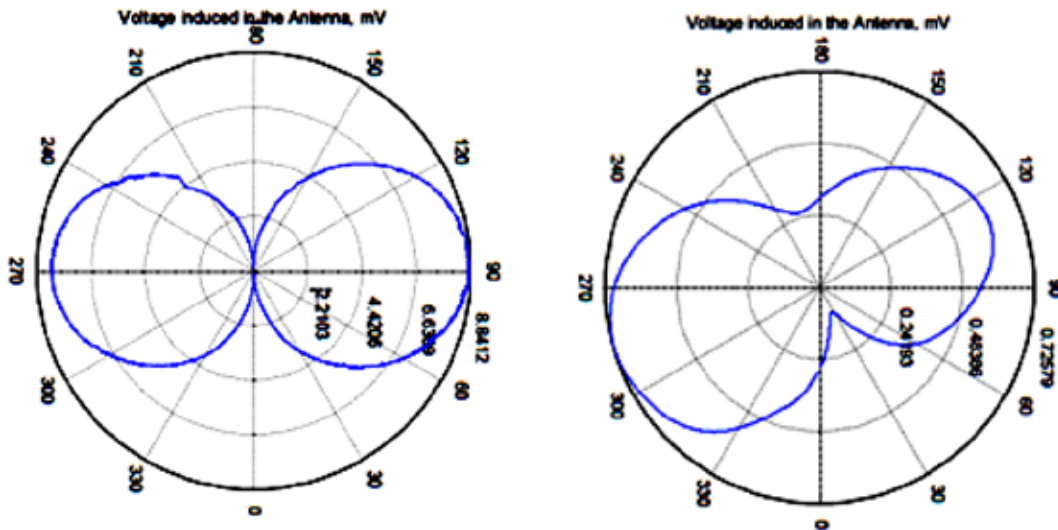


Fig. 4. [12]

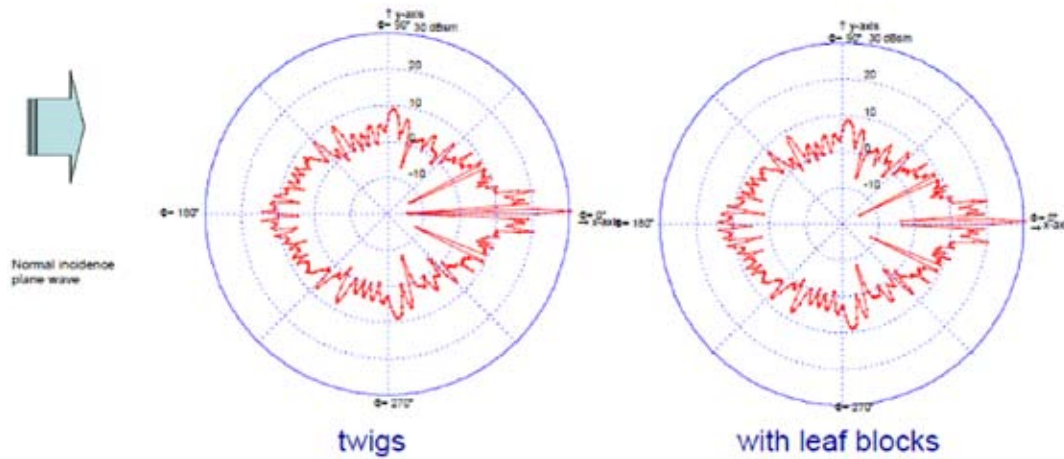


Fig. 5. [12]

to the frequency of the signal. In addition, it was shown that in the jungle the  $VH$  component is usually higher than the  $HV$  component. This is because horizontally polarized EMWs do not induce significant surface currents on vertical parts of the plant, while vertically polarized EMWs induce significant surface currents on inclined parts. At high frequencies and at large distances, the magnitude of  $XPR$  may even become positive, since the power of the cross-polarization component  $P_{VH}$  is converted from the  $H$  plane to the  $V$  plane and becomes larger in magnitude, which decays during propagation.

It should be noted that when the receiving antenna is moved by less than the wavelength, fluctuations in the level of the received signal in dense jungles increase sharply. This can be interpreted in such a way that for variations in the density of jungle vegetation and conventional forests the variations of the received radio signals are similar to fast fading. It was found that for vertically polarized EMWs at these frequencies, the degree of depolarization is 5-15 dB higher than for horizontally polarized EMWs.

The scheme for the investigation of cross-polarization of EMW is shown in Fig. 6. Vertically polarized

EMWs at the frequency of 1.6 GHz are propagating in the high canopy of red pine along two radio paths:

- 1) Path A—from the transmitting antenna  $T_x$  through the forest area to the trihedral reflector  $T$  and then to the receiving antenna  $R_x$ ;
- 2) Path B—from the transmitting antenna  $T_x$  to the forest area, reflected from it, and to the receiving antenna  $R_x$ .

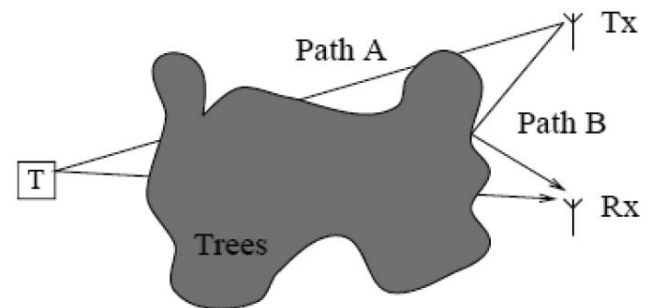


Fig. 6. [12]

The measurement procedure consisted of the following:

- a) transmitting antenna emitted EMW of two types of polarization: vertical  $VV$  and horizontal  $HH$ ;

- b) levels of received signals from the target T and from the forest canopy were measured;
- c) levels of the received signals without the target T were measured;
- d)  $P_{VV}$ ,  $P_{VH}$  and  $XPR_{Rx} = P_{VV} - P_{VH}$  (dB) were calculated.

As shown by experiments, the values are:  $P_{VH} = 9.15$  dB,  $P_{VV} = 9.58$  dB,  $XPR_{Rx} = -0.23$  dB.

## 5. Conclusions

During the propagation of radio waves in forest tracts, radio signals are re-emitted by vegetation elements and contain a multitude of cross-polarization components that can have levels comparable to the main (useful) component. An increase in cross-polarization components can be observed in the “forward” region, which can be formed by successively decreasing the useful component, ultimately causing a significant decrease of the  $XPD$  value. As a result, the relatively high cross-polarization component can consecutively reduce the level of the useful component, while the cross-polarization effect is random, and the  $XPD$  value with fluctuating distance between the transmitting and receiving stations begins to fluctuate relative to  $XPD = 0$ .

It is qualitatively possible to describe the change  $XPD\{f, H_{Tx}, (r_F = D_{Tx-Rx})\}$  for a given operating frequency in the form of an approximate analytical dependence (13):

$$\begin{aligned} XPD\{f, (r_F = D_{Tx-Rx})\} &\sim \\ &\sim XPD(r_0) \cdot J_0(kr) \cdot 10^{-\alpha_F \cdot r} \end{aligned} \quad (13)$$

where  $XPD(r_0)$ — $XPD$  value at a distance  $r_0$  outside the forest,  $J_0(kr)$ —zero-order Bessel function that characterizes the  $XPD$  fluctuations with increasing distance between the transmitting and receiving antennas, and the third term of the formula (4.1) increase in distance.

Thus, the influence of forest vegetation on the propagation conditions of VHF/UHF ranges is not only manifested in a random variation in the attenuation coefficient, but also leads to a cross-polarization effect, which ultimately causes deep fading of the radio signal at the receiving point.

## References

1. Попов В.И. Распространение радиоволн в лесах. Отчет по НИР № 3566/3731. Львов: Львовский политехнический институт, кафедры теоретической радиотехники и автоматической электросвязи, 1981/1983, 120 с.
2. Попов В.И. Распространение радиоволн в лесах. М.: Горячая Линия-ТЕЛЕКОМ, 2015, 392 с.
3. Schwing F.K., Violette E.J., Espeland R.H. Millimeter-Wave Propagation in Vegetation: Experiments and Theory. IEEE Trans., 1988, Vol. GE-26, No. 3, pp. 355–367.
4. Kovacs I.Z. Radio Channel characterization for private mobile radio systems. Mobile-to-mobile radio link investigations. Ph.D. Thesis. Center for PersonKommunikation Aalborg University, Denmark, 2003.
5. Wiart J. Micro-cellular modeling when the base station antenna is below rooftops. IEEE 44th Vehicular Technology Conference, 1994m pp. 200-204.
6. Kovacs I.Z., Patrik C.F. Eggers, Kim Olesen. Radio channel characterization for forest environments in the VHF and UHF frequency bands. Center for PersonKommunikation., Aalborg University. IEEE 50th Vehicular Technology Conference, Amsterdam, September 1999? Pp. 1387-1391.
7. Istvan Z.Kovacs, Patrik C.F. Eggers, Kim Olesen. Radio channel characterization for forest environments in the VHF and UHF frequency bands. Center for PersonKommunikation.
8. Aalborg University. IEEE 50th Vehicular Technology Conference, Amsterdam, September 1999. pp. 1387-1391.
9. Альшиц В.И., Любимов В.Н. Обобщение приближения Леонтовича для электромагнитных полей на границе диэлектрик – металл. УФН, т.179,№8, 2009, с.865-871.
10. Белькович И.В., Жексенов М. А., Козлов Д. А. Сравнение вариантов импедансных граничных условий при падении плоской электромагнитной волны на диэлектрическое полупространство. М.: Журнал – Радиоэлектроники, 2011, №7.
11. Randle A.M. Dynamic radio channel effect from L-band foliage scatter. Thesis D.Phil., University of York, 1999.
12. Rogers, N. C., Seville A., Richter J., Ndzi D., Savage N., Caldeirinha R., Shukla A., Al-Nuaimi M. O., Craig K. H., Vilar E., Austin J. A Generic Model of 1-60 GHz Radio Propagation Through Vegetation. Tech. Report, Radiocommunications Agency, May 2002.
13. Wiart J. Micro-cellular modelling when the base station antenna is below rooftops. IEEE 44th Vehicular Technology Conference, 1994m pp. 200-204.
14. Swarup S., Tewari R.K. Depolarization of radio waves in jungle environment. IEEE Trans. Antennas Propag., 1979, Vol. 27, No. 1, pp.113-116.

# FIELD ORIENTED CONTROL OF SIX-PHASE ELECTRIC DRIVE

Roma Rinkevičienė, Bronė Mitkienė

Vilnius College of Technologies and Design, Antakalnio str. 54, LT-10303 Vilnius,  
r.rinkeviciene@vdtko.lt, b.mitkiene@vdtko.lt

**Abstract.** The paper presents MATLAB Simulink model of symmetrical six phase motor controlled by six phase frequency converter and analyses its performance in volts per Hertz control mode and indirect rotor flux field oriented control mode. The new control blocks not entering the Simulink library, were elaborated for control six-phase motor. Simulink model employs the actual parameters of real six-phase motor with displacement of phase windings sets 60 electrical degrees. Model of the field oriented control for six-phase motor is elaborated with PI controllers and simulation results are presented and analysed. Step response of controlled system has shorter settling time, less torque oscillations, system does not loose its advantages at small reference speed.

**Key words:** six-phase motor, field oriented control, model, simulation.

## Introduction

The multiphase motors divide the controlled power on more converter legs and reduce the current of power electronic switches as well as in the larger number of electric motor phase windings. This advantage of multiphase motors lead to solve the main problem of minimization and miniaturization of actuators. The multiphase induction motors have advantages over three phase motors, investigated in [5, 14]: lower torque pulsations at high frequency, higher power per rms ampere ratio for the same machine volume, reduced the torque ripples in converter fed drives. Beside five phase motors, the six, seven and more phases having motors were designed and investigated. The detailed overview state-of-the art in multiphase electric drives area is presented in the articles [5, 14, 17, 24]. The multiphase motors and drives were distinguished for improved reliability: they were able operate under fault conditions in loss one or more converter legs [25, 20, 1, 15]. Multiphase machines can start and operate even with some phases open-circuited with not considerable decrease of performance indices. Induction motor analysed in [2] where measured and calculated phase currents of three phase, four phase, six phase and twelve phase motors having the same stator frame with 48 slots were compared. Data presented in the paper show the current in each stator coil smaller and stator heat loss smaller also with increasing of phase number. The first six-phase motor was designed on the base of high-power three phase motor by splitting stator windings providing displacement between two winding sets of 30 spatial degrees and keeping neutral points of those winding sets separated. Windings were supplied separately with three-phase voltage sets, shifted by 30 electrical degrees. Similar motors are called split or double star motors, they are asymmetrical motors. Motors having shift between two three-phase winding sets 60 electrical degrees are called symmetrical motors. Due to simple splitting three phase motor windings to six-phase winding six-phase double star motors were more attractive for researches. Modelling of six-phase double star motors and parameters identification was considered in [3], efficiency analysis supplied by PWM inverters in [7] and digital field oriented

control in [6]. Indirect vector control block diagram is proposed in [21] with the new configuration of six-phase motor windings allowing elimination of current components which do not produce torque. Motor operation at phase fault causes a lot of interest [20, 2, 4].

Analysis of six – phase motor performance with different displacement between phase winding sets 0, 30 and 60 electrical degrees was analysed in [27]. Six-phase motor was supplied by six-step and PWM inverter. The evident reduction of torque ripples was observed at six-step supply, nevertheless the smallest difference between measured and calculated current was observed at 60 electrical degrees displacement. At powering six-phase motor by six-phase PWM converter behaviour of symmetrical six-phase motor does not differ from asymmetrical one. The paper [9] states that the six-phase winding is more effective than windings with other phase numbers. Electromagnetic parameters of the three-phase and six-phase single layer chain windings are examined in source [10, 11, 12]. It was found that electromagnetic efficiency of six-phase winding is greater by 23.7% compared to three-phase windings. Analysis of six-phase winding shows that six-phase winding produces only odd space harmonics compared to three-phase windings and its relative amplitude of magnetomotive force is 2.13 times greater than that of the three-phase winding. Investigation into the six-phase double layer windings [16] shows that the theory of three-phase windings is suitable to design six-phase windings. As six-phase windings are supplied by symmetrical six-phase voltage system having the angles between adjacent voltage phasors  $60^\circ$ , six phase windings in balanced machine are shifted in space every 60 electrical degrees. Rotating magnetomotive force produced by six-phase winding is closer to sinusoid shape due to larger number of slots in its spatial distribution [10, 11, 16].

Research in multiphase induction machines in [27] states, that multiphase machine and its control electronics should be considered as a system. Simulation of complex non-linear system even using well known motor  $d-q$  models does not allow using of common simulation packages and needs built in blocks of Matlab/Simulink environment.

## Mathematical model of six-phase motor

Multiphase electric motor is described by nonlinear differential equations with time varying mutual inductances. Mathematical description of motor in a stationary three phase reference frame As-Bs-Cs due to varying mutual inductances with rotation is seldom used for analysis motor dynamics. Clark proposed convert balanced three phase quantities to orthogonal stationary  $d^s - q^s$  (sometimes called  $\alpha - \beta$  reference frame). Park transformation converts vectors in balanced two-phase reference frame into orthogonal rotating reference frame [21]. Most advanced control systems uses both transformations. Due to mentioned advantages of symmetrical six-phase motors [10, 11, 12 16] this paper proposes and considers simulation models and analysis results fuzzy controlled symmetrical six-phase motor system, based on indirect rotor field orientation control.

Simulink toolbox "SimPowerSystems" has typical blocks for three phase motors control. It has no blocks for multi-phase motor control. The paper presents design model of six-phase PWM converter and its control blocks for voltage source converter and indirect vector control Simulink model of six-phase motor. Generalized mathematical model of six-phase machine presented in [26] is valid for any displacement angle of stator windings sets and cage rotor. Dynamic equivalent circuit includes mutual stator leakage inductance due to different sets of stator windings occupying the same slot. A d-q mathematical model derived in [19] is applicable for all multi-phase motors and does not include mutual stator leakage inductance. The same assumptions are used in [26, 19]: the air gap of the motor is uniform and the windings are sinusoidally distributed around the air gap. Magnetic saturation and core losses are neglected.

The motor  $d$ - $q$  equations in synchronously rotating reference frame  $\omega_0$  are expressed as voltage drops  $v_{qs1}$  and  $v_{qd1}$  as well as  $v_{qs2}$  and  $v_{qd2}$  across two sets of stator windings and single common rotor winding voltages  $v'_{qr}$  and  $v'_{dr}$ , referred to stator as this [26]:

$$\begin{cases} v_{qs1} = r_s i_{qs1} + s\psi_{qs1} + \omega\psi_{ds1}; \\ v_{ds1} = r_s i_{ds1} + s\psi_{ds1} - \omega\psi_{qs1}; \\ v_{qs2} = r_s i_{qs2} + s\psi_{qs2} + \omega\psi_{ds2}; \\ v_{ds2} = r_s i_{ds2} + s\psi_{ds2} - \omega\psi_{qs2}; \\ v'_{qr} = r_r i'_{qr} + s\psi'_{qr} + (\omega_0 - \omega_r)\psi'_{dr}; \\ v'_{dr} = r_r i'_{dr} + s\psi'_{dr} - (\omega_0 - \omega_r)\psi'_{qr}, \end{cases} \quad (1)$$

where flux linkages are aligned with the direct and quadrature axes:

$$\begin{cases} \psi_{qs1} = (L_{ls} + L_{lm} + L_m) i_{qs1} + (L_{lm} + L_m) i_{qs2} + L_m i'_{qr}; \\ \psi_{ds1} = (L_{ls} + L_{lm} + L_m) i_{ds1} + (L_{lm} + L_m) i_{ds2} + L_m i'_{dr}; \\ \psi_{qs2} = (L_{ls} + L_{lm} + L_m) i_{qs2} + (L_{lm} + L_m) i_{qs1} + L_m i'_{qr}; \\ \psi_{ds2} = (L_{ls} + L_{lm} + L_m) i_{ds2} + (L_{lm} + L_m) i_{ds1} + L_m i'_{dr}; \\ \psi'_{qr} = (L'_{lr} + L_m) i'_{qr} + L_m (i_{qs1} + i_{qs2}); \\ \psi'_{dr} = (L'_{lr} + L_m) i'_{dr} + L_m (i_{ds1} + i_{ds2}); \end{cases} \quad (2)$$

Notations used in the formula sets (1) and (2) are:  $\psi_{qs1}$ ,  $\psi_{qs2}$  are stator  $q$  axis flux linkages components,  $\psi_{ds1}$ ,  $\psi_{ds2}$  are stator  $d$  axis flux linkages components,  $\psi_{qr}$ ,  $\psi_{dr}$  are rotor  $q$  and  $d$  axis flux linkages components,  $L_{ls}$  is stator leakage inductance,  $L_{lm}$  is mutual stator leakage inductance,  $L_m$  is air gap inductance,  $L'_{lr}$  is rotor leakage inductance,  $i_{qs1}$ ,  $i_{qs2}$  are stator  $q$  axis current components,  $i_{ds1}$ ,  $i_{ds2}$  are stator  $d$  axis components,  $i'_{gr}$  and  $i'_{dr}$  are correspondingly rotor current  $q$  and  $d$  axis components;  $\omega_r$  is rotational speed of two-pole motor.

The electromagnetic torque calculated according to formula:

$$T_e = \frac{3}{2} \left( \frac{P}{2} \right) \left( \frac{L_m}{L'_{lr}} \right) \left[ \psi'_{dr} (i_{qs1} + i_{qs2}) - \psi'_{qr} (i_{ds1} + i_{ds2}) \right], \quad (3)$$

where  $P$  is number of pole pairs.

The equation of drive movement is expressed as:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J_r} (T_e - T_L), \quad (4)$$

where  $\omega$  is motor rotational speed,  $J_r$  is rotor inertia,  $T_e$  is electromagnetic torque and  $T_L$  is load torque.

## Simulink model of six-phase induction motor

Simulink model gives possibility to solve nonlinear differential equations fast and allows comparing parameters at different load or control mode. Matlab/Simulink d-q model of six-phase induction motor in synchronous reference frame is presented in [22, 23]. Inputs of the model is direct current voltages  $v_{qs1}$  and  $v_{qs2}$ , voltages  $v_{ds1}$  and  $v_{ds2}$  as well as  $v'_{gr}$  and  $v'_{dr}$  are assumed equal to zero. Outputs of the model are produced electromagnetic torque and speed. Similar models are ideal models and do not reflect influence of control system power converters and other control system elements usually operating in real electric drive systems.

Simulink library does not contain six-phase converter models and switching blocks necessary to elaborate pulses for converter, producing six-phase output voltages, shifted by 60 electrical degrees. This problem we solved with two three-phase converters, using Clark transform for two sets of three phase voltages with different initial phase angles  $\theta$  having values of zero and -60 electrical degrees. The Clark transform is used separately for two voltage sets  $v_{As}, v_{Bs}, v_{Cs}$  and  $v_{Ds}, v_{Es}, v_{Fs}$ . Then for six-phase converter model we can use two conventional three-phase Simulink blocks named "Three phase converter 1" and "Three phase converter 2" controlled by conventional blocks "PWM generator 1" and "PWM generator 2" operating in synchronized mode. The first converter elaborates voltages by 0, -120, -240 electrical degrees with respect to  $v_{As}$  reference axis. PWM generator 2 is tuned to produce the other set of voltages  $v_{Ds}, v_{Es}, v_{Fs}$  shifted by -120 electrical degrees apart with phase voltage  $v_{Ds}$  lagging the voltage  $v_{As}$  by  $60^\circ$ .

If stationary  $d^s$ - $q^s$  axes of three phase machine are oriented at angle  $\theta$ , the voltages  $v_{ds}^s$  and  $v_{qs}^s$  can be represented in matrix form as:

$$\begin{bmatrix} v_{As} \\ v_{Bs} \\ v_{Cs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 1 \\ \cos(\theta-120^\circ) & \sin(\theta-120^\circ) & 1 \\ \cos(\theta+120^\circ) & \sin(\theta+120^\circ) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{qs}^s \\ v_{ds}^s \\ v_{0s}^s \end{bmatrix}, \quad (5)$$

where  $v_{0s}^s$  is zero component. In balanced machine without neutral wire  $v_{0s}^s = 0$ . Inverse transform of Eq. 5 looks like this:

$$\begin{bmatrix} v_{qs1}^s \\ v_{ds1}^s \\ v_{0s1}^s \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta-120^\circ) & \cos(\theta+120^\circ) \\ \sin \theta & \sin(\theta-120^\circ) & \sin(\theta+120^\circ) \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{As} \\ v_{Bs} \\ v_{Cs} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Taking  $\theta = 0$ , the  $q^s$  axis is aligned with the  $v_{As}$  axis. Without zero component, transformation looks like this:

$$\begin{aligned} v_{As} &= v_{qs1}^s; \\ v_{Bs} &= -\frac{1}{2}v_{qs1}^s - \frac{\sqrt{3}}{2}v_{ds1}^s; \\ v_{Cs} &= -\frac{1}{2}v_{qs1}^s + \frac{\sqrt{3}}{2}v_{ds1}^s \end{aligned} \quad (7)$$

and the inverse transform becomes:

$$\begin{aligned} v_{qs1}^s &= \frac{2}{3}v_{As} - \frac{1}{3}v_{Bs} - \frac{1}{3}v_{Cs} = v_{As}; \\ v_{ds1}^s &= -\frac{1}{\sqrt{3}}v_{Bs} + \frac{1}{\sqrt{3}}v_{Cs}. \end{aligned} \quad (8)$$

The synchronously rotating  $d^e - q^e$  axes rotate with speed  $\omega_e$  with respect to  $d^s - q^s$  axes and form the angle  $\theta_e = \omega_e t$ . Subscript  $e$  often is omitted in synchronously rotating parameters [26]. The voltages on  $d^e - q^e$  axes can be transformed into rotating  $d - q$  axes by this way:

$$\begin{aligned} v_{qs1} &= v_{qs1}^s \cos \theta_e - v_{ds1}^s \sin \theta_e; \\ v_{ds1} &= v_{qs1}^s \sin \theta_e + v_{ds1}^s \cos \theta_e. \end{aligned} \quad (9)$$

Transformation of rotating reference frame into stationary is related by formulas:

$$\begin{aligned} v_{qs1}^s &= v_{qs1} \cos \theta_e + v_{ds1} \sin \theta_e; \\ v_{ds1}^s &= -v_{qs1} \sin \theta_e + v_{ds1} \cos \theta_e. \end{aligned} \quad (10)$$

Thus, sinusoidal variables in synchronously rotating reference frame appear as dc quantities.

In the same way three phase voltages  $v_{Ds}$ ,  $v_{Es}$  and  $v_{Fs}$ , shifted by  $120^\circ$  apart, with phase voltage  $v_{Ds}$  lagging the voltage  $v_{As}$  by  $60$  electrical degrees are transformed to stationary reference frame with transform:

$$\begin{bmatrix} v_{Ds} \\ v_{Es} \\ v_{Fs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta-60^\circ) & \sin(\theta-60^\circ) & 1 \\ \cos(\theta-180^\circ) & \sin(\theta-180^\circ) & 1 \\ \cos(\theta-300^\circ) & \sin(\theta-300^\circ) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{qs2}^s \\ v_{ds2}^s \\ v_{0s2}^s \end{bmatrix} \quad (11)$$

and inversely:

$$\begin{bmatrix} v_{qs2}^s \\ v_{ds2}^s \\ v_{0s2}^s \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta-60^\circ) & \cos(\theta-180^\circ) & \cos(\theta-300^\circ) \\ \sin \theta & \sin(\theta-180^\circ) & \sin(\theta-300^\circ) \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{Ds} \\ v_{Es} \\ v_{Fs} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Substituting sine and cosine angle values yields:

$$\begin{bmatrix} v_{qs2}^s \\ v_{ds2}^s \\ v_{0s2}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & -1 & \frac{1}{2} \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{Ds} \\ v_{Es} \\ v_{Fs} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

and assuming the zero component  $v_{0s}^s = 0$  for balanced motor we get:

$$\begin{aligned} v_{Ds} &= \frac{1}{2}v_{qs2}^s - \frac{\sqrt{3}}{2}v_{ds2}^s; \\ v_{Es} &= -v_{qs2}^s; \\ v_{Fs} &= \frac{1}{2}v_{qs2}^s + \frac{\sqrt{3}}{2}v_{ds2}^s. \end{aligned} \quad (14)$$

The similar transforms are valid for currents and flux linkages.

Voltages  $v_{qs2}^s$  and  $v_{ds2}^s$  can be transformed to synchronously rotating reference frame:

$$\begin{aligned} v_{qs2} &= v_{qs2}^s \cos \theta_e - v_{ds2}^s \sin \theta_e; \\ v_{ds2} &= v_{qs2}^s \sin \theta_e + v_{ds2}^s \cos \theta_e, \end{aligned} \quad (15)$$

where  $\theta_e = \omega_e t$  remains the same.

Inverse transform looks like this:

$$\begin{aligned} v_{qs2}^s &= v_{qs2} \cos \theta_e + v_{ds2} \sin \theta_e; \\ v_{ds2}^s &= -v_{qs2} \sin \theta_e + v_{ds2} \cos \theta_e. \end{aligned} \quad (16)$$

Thus, we can apply equations for transform of two three phase voltage sets having with  $120^\circ$  degrees apart and displaced one from other by  $-60$  electrical degrees.

Motor model is elaborated according to equations has two quadrature axis inputs  $v_{q1}$  and  $v_{q2}$  supplied by constant voltage equal to peak value of sine wave phase voltage. Direct axes voltages  $v_{d1}$  and  $v_{d2}$  are assumed equal to zero. Outputs of Simulink model are delivered torque, speed and currents  $i_{qs1}$ ,  $i_{ds1}$  and  $i_{dr}$ ,  $i_{qr}$  in  $d$ - $q$  reference frame. They can be transformed to stationary reference frame  $d^s$ - $q^s$  according to equation (10) and then to three phase reference frame according to equation (7). Currents  $i_{qs2}$  and  $i_{ds2}$  are transformed to stationary reference frame according to equation (16) and to three phase system according to (14).

The model shown in Fig.1 consists of two conventional three-phase Simulink blocks named "Three phase converter 1" and "Three phase converter 2" controlled by blocks "Vector control 1" and "Vector control 2". Switching pulses at the output of the block "Three phase converter 1" produce voltage set with shift in phase  $0$ ,  $-120^\circ$ ,  $-240$  electrical degrees with respect to reference axis, corresponding  $v_{As}$  direction of conventional three phase system. Block "Vector control 2" generates pulses for block "Three phase converter 2" to produce the

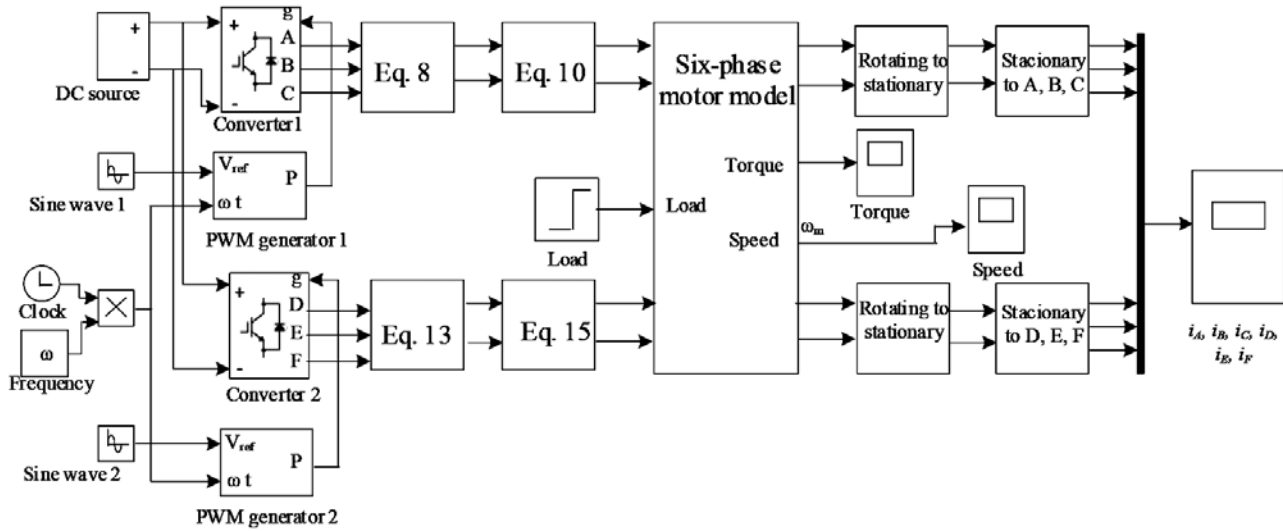


Fig. 1. Frequency controlled model of six-phase induction motor

set of three phase voltages  $v_{Ds}$ ,  $v_{Es}$ , and  $v_{Fs}$  where initial phase voltage  $v_{Ds}$  is shifted by 60 electrical degrees with respect to the voltage  $v_{As}$  generated by the block “Three phase converter 1”, so it produces three phase voltage set, shifted by 60, -180 and -300 electrical degrees. This control method of both two three phase converters allows getting six phase voltage system with each phase voltage shifted by 60 electrical degrees.

### Model of indirect rotor flux vector orientation control

In indirect field oriented control rotor flux vector is aligned with  $d$  axis of revolving  $d - q$  reference frame. Two reference frames stationary  $d^s - q^s$  and revolving at synchronous speed  $d - q$  are shown in Fig. 2.

$\theta_e$  is angle between two reference frames. It changes with rotor rotation. Rotor flux  $\bar{\Psi}_r$  is aligned with  $d$  axis and its projection to  $d$  axis  $\Psi_{rq} = |\bar{\Psi}_r|$  and  $\Psi_{rq} = 0$ . Then torque, delivered by induction motor is calculated as:

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{L_r} L_m (\Psi_{rd} i_{sq}), \tag{17}$$

where  $P$  is number of poles and  $i_{sq}$  is torque producing current.

Current  $i_{sq}$  is calculated in rotating reference frame from given speed reference  $\omega_r^*$  and current  $i_{sd}^*$  from given flux reference  $\Psi_r^*$ , rotating at synchronous speed  $\omega_0$ .

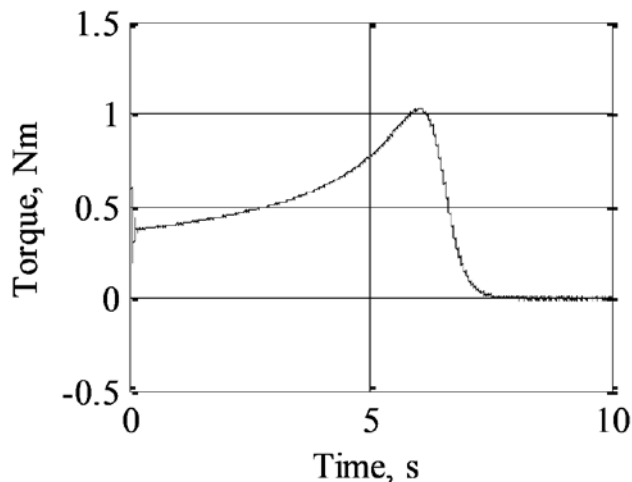


Fig. 2. Transients of motor torque at starting

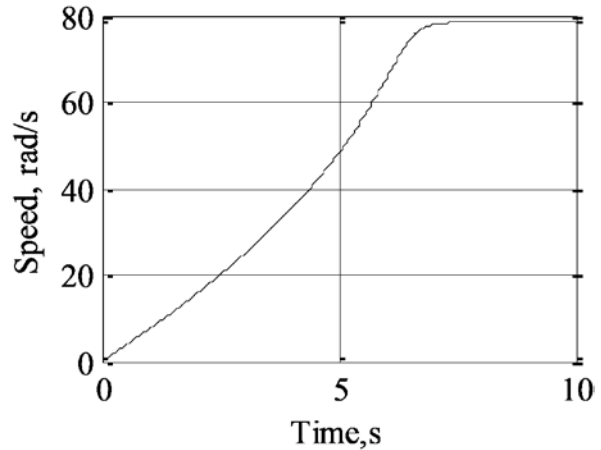


Fig.3. Transients of motor speed at starting

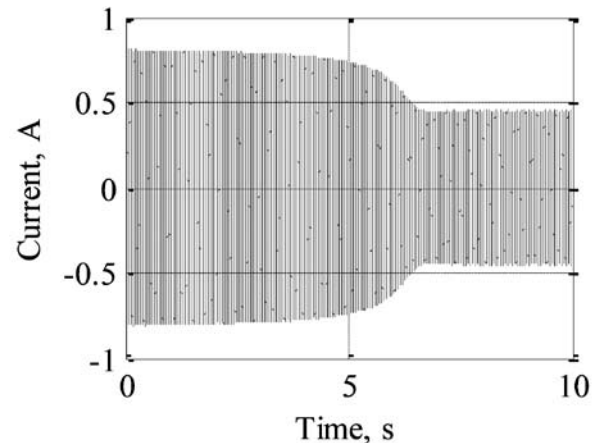


Fig. 4. Transients of motor currents at starting



The angular position of  $\Psi_r$  is reference frame orientation angle and is calculated as:

$$\theta = \int \omega_0 dt. \quad (18)$$

In vector control, flux orientation angle must be obtained at every instant of time and is used in conversion formulas (10, 15) from rotating  $d - q$  to stationary  $d^s - q^s$  reference frame.

Motor synchronous speed  $\omega_0$  is sum of slip speed  $\omega_{sl}$  and electrical rotor speed  $\omega_r$ :

$$\omega_0 = \omega_{sl} + \omega_r \quad (19)$$

and angle

$$\theta_e = \int (\omega_{sl} + \omega_r) dt. \quad (20)$$

Slip speed is calculated from equation [22]:

$$\omega_{sl} = \frac{L_m R_r}{L_r \Psi_{rd}} i_{sq} = \frac{L_m i_{sq}}{\tau_r \Psi_{rd}}, \quad (21)$$

where  $\tau_r = \frac{L_r}{R_r}$  is rotor time constant.

Closed loop implementation under constant flux

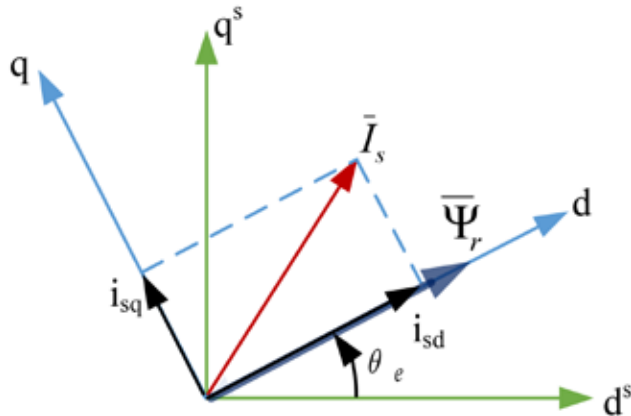


Fig. 5. Reference frames for indirect rotor flux orientation control

condition requires to calculate reference current  $i_{sd}^*$  from reference flux  $\Psi_r^*$ :

$$i_{sd}^* = i_{mrd}^* = \frac{\Psi_{rd}^*}{L_m} \quad (22)$$

Current component  $i_{sq}^*$  in revolving reference frame is proportional to reference torque  $T_m^*$  and is calculated as:

$$i_{sd}^* = i_{mrd}^* = \frac{\Psi_{rd}^*}{L_m}, \quad (23)$$

where  $k_1 = \frac{3 P L_m}{2 L_r}$  and  $i_{sd}$  is field producing current.

The angular position of flux vector is obtained on the base (18) and (21) equations:

$$\theta_e = \int \omega_0 dt = \int (\omega_{sl} + \omega_r) dt = \int \left( \frac{i_{sq}^*}{\tau_r i_{sd}^*} + \frac{P}{2} \omega_m \right) dt, \quad (24)$$

where  $\omega_m$  is measured mechanical speed of the motor.

Vector control Simulink model of six-phase motor is presented in Fig 6. Vector control block 1 is elaborated on the base of equations (17–24) and together with reference frame conversion equations (8) and (10) produces transform of reference frame. Block “Vector control 2” correspondingly is based on equations (16) and (14). The model was simulated with PI controllers.

Figures 7–9 present simulation results with PI controller. Phase voltage of modelled motor is 163 V, proportional gain is  $K_p = 1$ , integral gain  $K_i = 0.02$ .

Figure 7 presents torque transients at starting. Motor develops the greatest torque, equal to 13 Nm. When the motor reaches steady state speed at no load (Fig. 7), at time instant  $t = 0.6$  s, the load of 1 Nm is applied. With this load, motor speed has insignificant short reduction; afterwards it comes back to no-load speed.

Fig. 9 presents all six stator currents at starting and loading by 1 Nm. The greatest current value is 3.2 A, then it reduces up to no-load current and again rises with load to 0.6 A.

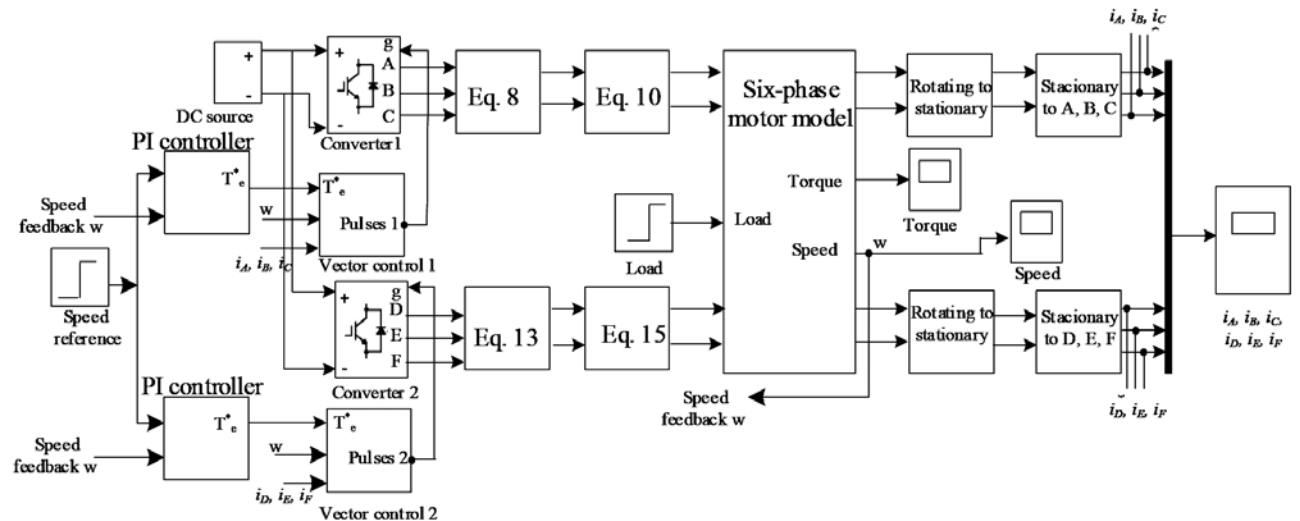


Fig. 6. Vector control Simulink model of six-phase motor

Figures 10–12 show transients of torque, speed and currents at reference speed 10 rad/s at starting without load and applied load at 0.6 s. The maximum torque value is smaller (11 Nm); the speed settling time is shorter (0.08 s).

Fig. 12 presents transients of six phase currents. The maximum current values and steady state values remain the same as with reference speed 78.5 rad/s.

### Conclusions

Two Simulink model were elaborated: one for frequency control of the six-phase motor, other for field oriented control to compare simulated torque, speed and currents results. Two new Simulink blocks for transform of six-phase reference frame were elaborated and included into model.

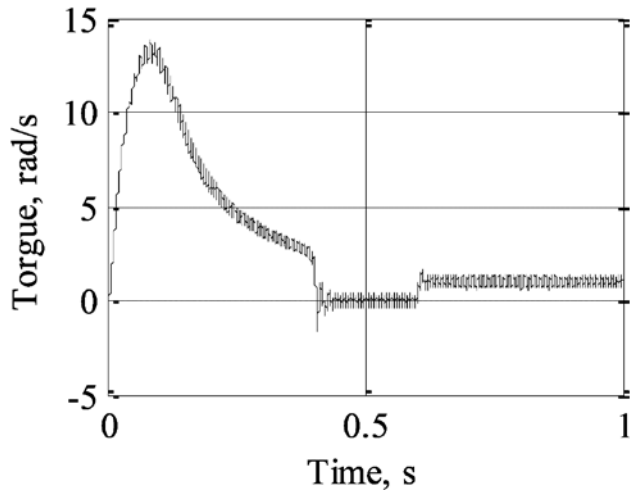


Fig. 7. Torque transients at starting at no load and loading by 1 Nm

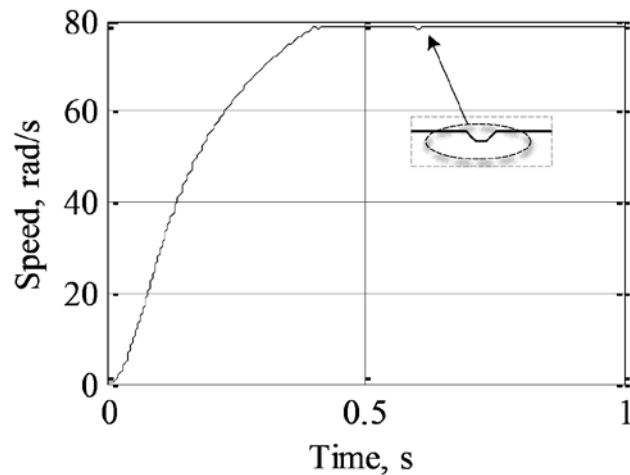


Fig. 8. Motor speed at starting without load and loading at FOC

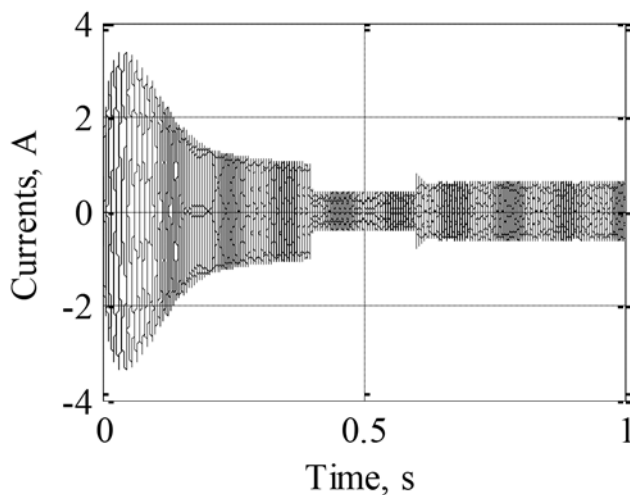


Fig. 9. Change of all six stator currents at starting and loading by 1 Nm.

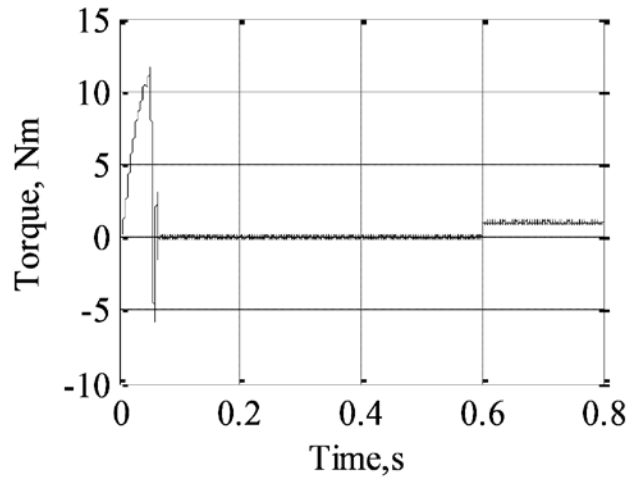


Fig.10. Torque transients at starting and loading in FOC

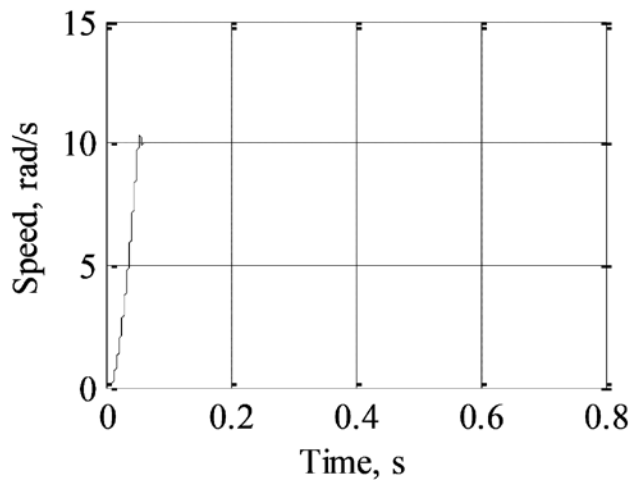


Fig.11. Starting speed at no load and loading at 0.6 s transients

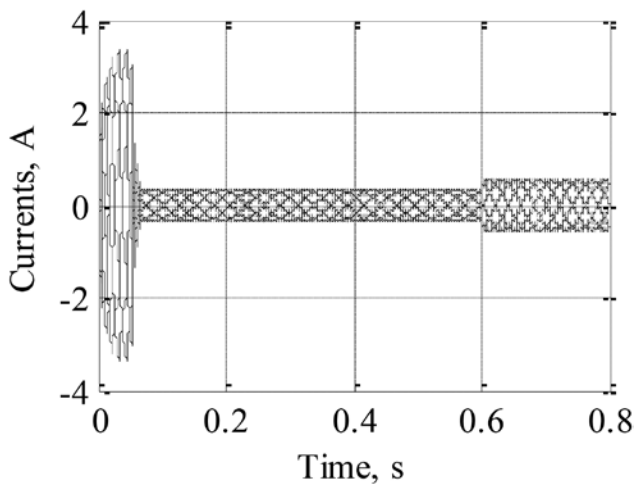


Fig. 12. Stator currents at FOC

Transients of frequency controlled motor are slow; the speed reaches reference value after seven seconds. The torque and current transients correspondingly have the same duration.

Transients in the field oriented control flows fast, the reference speed is reached after 0.4 s; correspondingly torque and currents have the same duration of transients. This can be explained by feedback and field oriented control.

Simulation results indicate good performance of elaborated model at small speed reference signal; transients of torque, speed and currents have significantly shorter time and reaches 0.12 s. The maximum and steady state current and torque values remain almost the same.

## References

- Appiah, E. K., M'boungui G., Jimoh A. A., Munda J. L. and Ogunjuyigbe, A.S.O. Symmetrical Analysis of a Six-Phase Induction Machine Under Fault Conditions. *World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, Vol.7, No 3, 2013
- Apsley, J., Williamson, A. Analysis of Multiphase induction machines with winding faults. *IEEE Transactions on industry applications*, vol. 42, No2, 2006.
- Ashley J. M., Williamson, S., Smith A. C., Barnes M. Induction motor performance as a function of phase number. *IEE Proceedings online "The Institution and Technology"*, No 2006091, 2006.
- Andriamalala, R.N., Razik, H., Didier, G., Sargos, F. M., da Silva, C.R. A model of dual stator winding induction machine in case of stator and rotor faults for diagnosis purpose. *Conf. Rec. IEEE IAS Annu. Meeting*, Tampa, FL, 2006, pp.2340-2345.
- Bojoi, R., Farina, F., Profumo, F., Tenconi, A. Dual-three phase induction machine drives control – A survey. *Proc. IEEE IPEC*, pp. 90–99, CD-ROM, 2005.
- Bojoi, R., Lazzari, M., Profumo, F., Tenconi, A. Digital field oriented control for dual-three phase induction motor drives. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 39, no. 3, pp. 752–760, May/June 2003.
- Boglietti A., Bojoi, R., Cavagnino A., Tenconi, A. Efficiency Analysis of PWM Inverter Fed Three-Phase and Dual Three-Phase High Frequency Induction Machines for Low/Medium Power Applications. *IEEE transactions on industrial electronics*, vol. 55, No. 5, May 2008.
- Bose, B. K. Modern Power electronics and AC drives. Prentice Hall PTR. 2002. 711 p.
- Bugenis S.J, Vanagas J., Gecys S. Optimal Phase Number of Induction Motor with the Integrated Frequency Converter. *Electronics and Electrical Engineering*, 2008, 88(8), p. 67–70.
- Buksnaitis J. Research of Electromagnetic Parameters of Single-layer Three-phase and Six-phase Chain Windings. *Electronics and Electrical Engineering*, 2013, 19(9), p.11–14.
- Buksnaitis J. Electromagnetic Efficiency of the Six-phase Winding. *Electronics and Electrical Engineering*, 2012, 119(3), p. 3–6.
- Buksnaitis J. Investigation and Comparison of Three-Phase and Six-Phase Cage Motor Energy Parameters. *Elektronika ir elektrotechnika*, vol.21, No 3, 2015, p. 16-20.
- Dainez, P. S. Bim, E. Gloze, D., Kennel R. M., Modeling and parameter identification of a double-star induction machines. *Proc. of IEEE IEMDC*, p. 10–13, May 2015.
- Jones, M., Levi E. A literature survey of state-of-the-art in multiphase AC drives. *Proc. Conf. Rec. UPEC*, p. 505–510, 2002.
- Kianinezhad, R., Nahid-Mobarakeh, B., Baghli, L., Betin F., Capolino, G.A. Modeling and Control of Six-Phase Symmetrical Induction Machine Under Fault Condition Due to Open Phases. *IEEE transactions on industrial electronics*, vol. 55, No. 5, May 2008.
- Kundrotas, B., Petrovas, A., Rinkevičienė, R. Smilgevičius, A. Research of six-phase induction motor windings. *Electronics and Electrical Engineering, Kaunas, Technologija*, vol. 20, No. 1, pp. 15–18, 2014.
- Levi, E., Bojoi, R., Profumo, F., Toliyat, H. A., Williamson, S. Multiphase induction drives – a technology status review. *IET Electr. Power Appl.*, 2007, 1 (4), pp. 489–516.
- Levi, E. Recent Developments in High Performance Variable-Speed Multiphase Induction Motor Drives. *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol. EC-11, No. 3, pp. 570–577, 2006.
- Lipo, T.A. A d-q model for six-phase induction machines. *Proc. Int. Conf. Electrical machines (ICEM)*, Athens, Greece, 1980, p. 860-867.
- Miranda, R. S., Jacobina, C. B., Lima, A. M. Modelling and Analysis of Six-Phase Induction Machine under Fault Condition. *Power Electronics Conference*, 27 September-1 October 2009, COBEP '09, Brazilian.
- Radhwane S, Aldelkader M. Indirect rotor field oriented control (IFROC) of a dual stator induction machine (DSIM) using fuzzy controller. *Acta polytechnic Hungarica*, vol. 9, No 4; 2012.
- Renukadevi G., Rajambal, K. Generalized d-q Model of n-Phase Induction Motor Drive. *International science index, Electrical and computer Engineering*, vol. 6, No 9, 2012. P 1066-1075
- Rinkevičienė, R., Kundrotas, B., Liasauskas, S. Model of controlled six phase induction motor. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 7, No 1, Zurich, pp. 217–221, 2013.
- Rinkevičienė, R., Kundrotas, B., Tolvaišienė, S. Model of Six-Phase Induction Motor. *Solid State Phenomena*, vols. 220-221, p. 510-514, 2015.
- Singh, G.K. Multiphase induction drive research – a survey. *Electr. Power Syst. Res.*, No 61, pp.139–147, 2002.
- Singh, G. K., Vinay, P. Analysis of a Multiphase Induction Machine under Fault Condition in a Phase-Redundant A.C. Drive System. *Electric Power Components and Systems*, 28: 6, p. 577–590.
- Singh G. K., Pant V., Sing Y. P. Voltage source inverter driven multi-phase induction machine. *Computers and Electrical Engineering*, 29 (2003), p. 813-834.
- Yadav, K. B., Mohanty A. K., Kumar P. Recent Research Trend on Multi-phase Induction Machines. *Proc. of Int. Conf. on Control, Communication and Power Engineering*, CCPE, Elsevier, 2014.

# ANALYSIS OF INTERMODALITY ISSUE OF TRANSPORTATION SYSTEM OF GEORGIA

**Boris Gitolendia**

*Georgian Technical University*  
boris.gitolendia@gtu.ge

**Annotation:** Article covers intermodality issues of Georgia's transportation system. Particularly, the characteristics and content of intermodal transportation model. Herein is listed problematic issues of Georgia's transportation system seen as a global transportation and logistical network in the context of intermodal transportation. The author of this article believes that those issues can impact dynamics of freight traffic in the transport corridor of Georgia. Specific literature has been processed; description, synthesis and comparative analysis methods has been used for this research. The article is prepared on the bases of Young Scientist Grant of the Shota Rustaveli National Science Foundation (NYS-2016-41).

**Key words:** Georgia, intermodal traffic, multimodal, transportation, transport, transport corridor.

## Introduction

Georgia is connected to the West by the Black Sea. It is bordered by Russia from the North and North-West side, by Turkey and Armenia from the Southside and Azerbaijan by South-East side. Tbilisi is the capital and the largest city of Georgia. Georgia covers 69,700 m<sup>2</sup> area. Its population is about 3.75 million. Georgia is unitary, semi-presidential republic, with the government elected through a representative democracy. On 9 April 1991, after the collapse of the Soviet Union, the country declared independence.

As a result of 90s geopolitical changes, USSR collapse and origin of independent state created new political and economic interest in the region. Caspi region fell into the spotlight of world's leading states. International commonwealth became interested in the transit functions of Georgia, which along with many other factors, was determined by suitable geographic location of Georgia. Thanks to the location, Georgia is the shortest transit way between Europe and Asia. Georgia's transportation system is the main line on the "Silk Road".

After reestablishing the independence Georgia underwent a lot of hard times. Civil wars, society conflicts, energetic and transport warfare, etc. – this is a short list of negative factors which caused unprecedented economic decrease during first years of independence. In spite of heavy legacy inherited from the Soviet Union, aggression demonstrated by Russia and occupation of Georgian territories, Georgia managed to not only retain an independency but also succeeded in approaching western integration, which was its historical goal. These processes forced Georgia's pro-western path.

Georgia attained apparent economic growth during 2003-2014. Structural reforms gave rise to annual growth by 6.3, which caused rapid increase of funds and investments. Reforms ensured improvement of

business environment, strengthened financial situation of public and infrastructure and stimulated development of free trade. This growth was also stipulated by increased inflow of foreign investments.

On November 29 of 2013 on Vilnius Summit of "Western Partnership" initiation of an association and its agreement on deep and universal trade area took place. And on June 27 of 2014 signing of Association Agreement occurred. On March 28 of 2017 official magazine of European Union published an annex for #539/2001 regulatory act of Council of European Union according to which Georgia moved to the list of countries the nationals of which are exempted from the visa requirement. Therefore, starting from March 28 of 2017 Georgia became associated member of European Union and citizens of Georgia are eligible to travel to EU countries without visa.

Development of Georgia's transportation system is the most important factor for the revival of the national economics. Therefore, by creating effective and competitive transport and logistics system the country has an actual chance to become a trade and logistics Hub for Caucasus and Asia. Development of intermodal transportation system and bringing in logistical know-hows is one of the main goals for Georgia, and by accomplishing it Georgia would have an opportunity to become a part of the global transportation and logistical network and attract biggest payers of global economic market.

**Object of investigation** – transportation system of Georgia.

**The main aim of article** – investigate and suggest upgrades of intermodal transportation in the Georgia's transportation system.

### **Tasks of the work:**

1. To review intermodality issues of transportations system.
2. Investigate factors, who effects Georgia transportations fields.

**Practical value** –this article will show, how the country's transport system can to reach its full potential.

## Intermodality of Transportation System

Presented article analyses intermodality issues of Georgia's transportation system. The article is prepared on the bases of Young Scientist Grant of the Shota Rustaveli National Science Foundation [1]

The term "intermodal" and "intermodalism" are relatively new words. For example, at first it was used in Concise Oxford English Dictionary of 1980. Although meaning of Intermodalism was not the same as it is today. In 10<sup>th</sup> edition of the same dictionary (1999) the term "**Intermodal**" is explained as follows: Intermodal is called freights convey during of which the transportation conveying process deems appropriate or permissible to involve two or more than two modes of transport; and in the majority of cases, freight receiver has no direct connection with various terminal stations, customs and other logistical processes (cases, there is no direct connection or access between the loading/unloading point and the rail, inland waterway, sea, or air transport system) [2-5].

There are more definitions for intermodal conveying but there is a little difference in meaning between them.

During the process of the research conducted by us we formulated our own definition of "intermodal conveying": "Intermodal conveying" is freight conveying by several types of transportation vehicles. During this time one of the carrier manages the organization of the whole transportation process starting from departure point to the point of destination passing through one or several points of loading. There is no managing operator and the client sign agreements with each carrier who is responsible for own part of the transportation. Therefore, the responsibility is upon the carrier for each cycle of the logistical chain.

See the scheme (Fig. 1) – intermodal convey scheme [2].

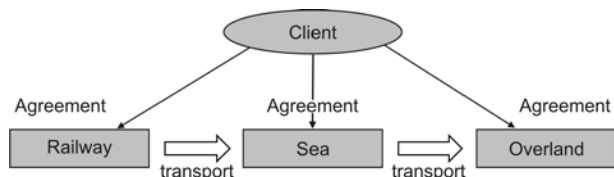


Fig. 1. Intermodal convey scheme

Necessary requirement for the functioning of intermodal system is a presence of an information system by means of which making order is accomplished (transportation agreement), i.e. to plan, manage and control the whole process of freight convey by means of preliminary, accompanying and concluding information of delivery process. Various systems of electro-

nic exchange of information is currently used in worldwide practice. Quality of its utilization determines competitive ability of logistical transportation system on the transport service world market.

As it is known utilization of various types of transport and selection of transportation methods while planning the freight transportation, depends on different factors (geographical, infrastructural, safety, social-political, regulatory and jurisdictional, transportation characteristics of freight, etc.). All this makes final impact on a possibility of freight to end up in a specific transport corridor.

For studying of intermodality issues in the Georgia's transportation field herein is presented list of issues which we consider to be influential on dynamics of freight delivered as a result of intermodal transportation within Georgian transportation field [6]:

- **Infrastructural issues.** Whereas heavy loaded highways and main lines have been renovated in recent years and considerable investments have been allocated (particularly on the roads of international significance) country's transportation infrastructure requires big effort to have situation finally organized;
- **Technical characteristics.** Low quality of technical equipment is visible in the vehicular component of the transportation system, which requires modernization and renewal. Size of the rail track gauge is a big issue as they are not compatible with European rail tracks. Georgia does not have so called "European Size" rail track, because the replacement would be very much cost-consuming for the country. Changing of the rail track would require very big investment and expenses, while there is more than one solution for settling this issue.
- **Low quality of warehousing.** One of the hindering factors is low quality and insufficient quantity of storage facilities in the Georgian transport corridor. There are no A class storage facilities on the logistical market of Georgia. Existing B and C Class warehouses are of a Soviet Union style and infrastructure.
- **European standards of management of logistical infrastructure and processes.** Presently all those requirements are clearly stated by foreign providers and entrepreneurs for leading trade and manufacturing companies of Georgia. Those requirements include taking approach toward European standards of managing logistical infrastructure and logistical processes. Effective steps are being taken toward this direction although programs like SCOR® (Supply Chain Operation Reference) are not implemented in companies operating in Georgia;
- **Judicial and legislative regulations.** There is a lack of completeness in relation to the implementation of taken responsibilities within the sphere of judicial and legislation regulations and international

agreements in transportation and trade field including “EU-Georgia Association Agreement”. **Legislative base must be improved properly** and important changes have to be accomplished to this end. Particularly, Government of Georgia should accomplish harmonization with European laws first. A lot of directives are indicated regarding transportation issues (most of them are technical) in the 6<sup>th</sup> subchapter of the “EU-Georgia Association Agreement”, which considers extending cooperation in the transport field and which should be taken into account in all spheres of transport. Also, #293 article of the Association Agreements emphasizes the fact that Georgia should support development of intermodal transport policy;

- **Long-term State strategy on transportation and logistics.** There is no long-term State strategy on transportation and logistics, which should necessarily be prepared (project has already been launched) and we believe that main goal of it should be to increase competitive ability of Georgia as a country of convenient location and integration of it into the global transportation network;
- **Economic factors.** Unfortunately, there is no opportunity to accomplish fundamental changes in economics so far. This in general effects social and economic background and decreases inflow processes of the additional investments. Transit traffic picture carried out within Georgian transport corridor clearly shows that there has not been considerable increase of freight volume within last few years. Impact of alternative channel on competitive ability factor of Georgian transit corridor along with competitiveness quality of Georgian transport corridor should be foreseen;
- **Management.** Management standards quality has some flaws, which has to be more approached to the standards of international rules and treaties;
- **Political factor.** Unfortunately, while analyzing intermodality issues of Georgian transport system in the context of competitive ability of Georgian transport corridor, it must be noted that political components regarding occupation of Georgian territories by Russia must be noted and we believe that this makes an impact on the dynamics of freight transit in the corridor [7-8].

## Conclusion

Summarizing overview of intermodality of the transportations system, the following conclusions can be drawn.

1. Recently Georgia has made considerable steps toward stimulation of intermodal transportation in the Georgia's transportation system. Although, as it is presented above, much effort has to be put to finally organize the situation. It also must be noted that unlike previous years, Georgia is at the whole different level of communication with European Union, which gives the country more opportunity and perspectives regarding reforms and progress including transport field.
2. Competitiveness is not ongoing process only between companies or between industrial countries, but also between regions and transport corridors. Thanks to its suitable geo-strategic location Georgia is a natural logistical hub, which gives it a huge opportunity to develop and grow. Although all the above-mentioned issues does not allow the country's transport system to reach its full potential.

## List of References

1. The Government of Georgia – Social-Economic Development Strategy of Georgia – “Georgia 2020”;
2. Transportation Logistics – National Center for Educational Quality Enhancement – T. Bolkvadze, V. Bogvelishvili, N. Gulbiani R. Tedoradze N. Topuria N. Butkhuzi f. Gogiashvili Kochadze p. Tsagareishvili – Tbilisi 2015;
3. David Lowe – Intermodal Freight Transport – Copyright © 2005, -ISBN 0 7506 5935 1
4. G. Doborjginidze – Logistics Association of Georgia – “The role of logistics in the development of Georgian economy”;
5. G. Kvashilava – “European Standards in Batumi Transportation System” Economics – 2016;
6. B. Gitolendia – “Improvement of the Georgian transport system with the EU standards and research of the approached problems” – the Karlsruhe University of Applied Sciences Karlsruhe, Germany May-December 2015.
7. <http://mfa.gov.ge> – 09.08.2017
8. <http://www.interpressnews.ge> – 11.08.2017
9. <http://www.eurocommunicator.ge> – 12.08.2017

# HISTORICAL ASPECTS OF PRODUCTION TECHNOLOGY INFLUENCE ON THE SOCIETY DEVELOPMENT

Ernst S. Spiridonov

Russian University of Transport (MIIT), pszhd@mail.ru

**Abstract.** The role of technology in the evolutionary development of human society is enormous. We can say that technology discovered the few great fundamental motion forms, where all productive activities of the human body, however varied it stools, are carried out. However, according to D. North, the issue of technology relation to the economic process remained outside any formal theory, despite the fact that much has been written for this reason.

**Key words:** society development, models of production, manufacturing, technology

## Introduction

The development of the issue on the relation of the productive forces (which he generally understood as technology condition) to relations of production (which he understood as various aspects of the organization and particularly proprietary right) by Marx was a pioneering effort to connect the limits and restrictions limits with limitations of human organization.

## Historical Data Analysis

Analysis of technology as an economic category is largely due to the dominance of the orthodox approach in mainstream science.

Currently, such combinations get sustainable and become a “comprehensive resource”. Thus, according to the laws of systems theory, the combined effect of resource interactions exceeds the sum of individual effects obtained from the use of individual resources.

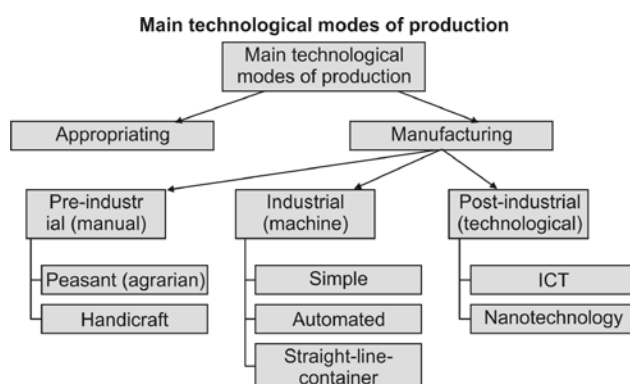


Figure 1. Main technological modes of production

However, by form, performance and place in the technological process, modern equipment is fundamentally different from the primitive tools of the appropriating economy era. The same applies to technology. In other words, technology did not primarily act as the main resource for human activities.

In the period of industrial development, the technological function of capital becomes obvious. Evolution of machine technology is characterized by the gradual displacement of manual labor by mechanical one.

The transition to a system of specialized working machines driven by energy from the central steam engine significantly increases productivity again. In the result of the historical development, the logic is like that: to change craft technology comes manufactory, which is subsequently replaced by a system of machines. In the end, productivity abruptly increases twice.

Although there is almost no place left for classic machines in modern techno sphere, the mediation of technology by the artificial structures currently apparently peaked, so the forms of human activity characteristic of the 19th–20th centuries are recognizes as a complete negation of appropriating economy, not mediated by any complex tools.

In these technologies, the machine remains the main acting force, albeit more sophisticated than in the period of initial accumulation of capital. The scientific and technical progress is traditionally associated with the development of such technologies. Which obviously implies joint participation of science and equipment in the economic development

Finally, modern technology puts the human capacities first – intelligence and information. Equipment, as such, fades into the background. It is in the field of technology where the fundamental difference of industrial society from post-industrial one lies.

A change of technology occurs as a result of technological revolutions. Traditionally scientists speak about three technological revolutions in human history: the Neolithic (agrarian), industrial and scientific and technical (informational, post-industrial).

The technologies, characterizing a certain type of civilizations differ from each other by dominance of related resources, sources of energy, requirements to the level and quality of the human factor development,

way to effectively use, forms of wealth (capital) and socio-economic development of society. Within these stages, undulating technological changes occur, which are expressed in the change of tenors of technology, which are a specific macroeconomic complex of technologically conjugated industries.

The change of tenors of technology defines the technological paradigm, that is, the historical trajectory of social development, whose lifetime is measured by the length of the Kondratievsky cycle. In fact, we are talking about replacing of one base technology by a different one.

A new tenor of technological emerges when economic structure is still dominated by the previous one. In this phase, its development is constrained by adverse technological and socio-economic environment. Only with the achievement of the growth limits of the dominant technological structure and a decline in the profitability of its constituent industries begins mass redistribution of resources into technological chains of new tenor of technology.

Technology cannot be considered as a determining variable of external origin. Every technology develops according to its trajectory, whose direction is determined by technical and economic boundaries of the chosen paradigm and by the strategy and behavior of individuals, social groups and institutions.

## Conclusion

Technology development can be characterized as the qualitative dynamics, which is based on the mechanism of evolution. This mechanism led to the fact that in the conditions of postindustrial development a qualitative change in the resource base of the economy took place. To change the priority of equipment as the chief material condition for the development, came a priority of technology. Technology, in contrast to previous stages of historical development does not allocated any traditional factor of production as capital, but combines them. Moreover, in the postindustrial economy, technology determines not only the production mode but also the way of knowledge, whose main part is the possession of information and know-how.

As of intensification of the process of new economy formation, technology becomes the factor that is increasingly defining economic development, taking the form of technological capital.

## References

1. Viber R. Empirical basis of the network economy // Problems of management theory and practice. 2003. No. 3. p. 86-91
2. Glaziev S. Yu. Development of the Russian economy in conditions of global technological change (Electronic resource). URL: <http://www.rodina.ru>
3. Marx. K. Collected works / K. Marx, F. Engels . 2nd edition. Volume 23.





# WAVE OF INNOVATION WITHIN THE CONSTRUCTION INDUSTRY – A MOVEMENT TOWARDS THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE SOCIETY

Natalia A. Telyatnikova

*Russian University of Transport (MIIT), Summerschool-miit-ipss@mail.ru*

**Abstract.** Realization of the potential laid down in the Strategy of the construction industry, road and rail transport development allows to increase the volume of construction and speed of project implementation, to intensify the movement of passenger and freight traffic, to reduce costs, while improving the quality and comfort of transportation to world standards. The cost of the work to be done along with this should be optimal to ensure victory in competition for a contract with companies operating in the construction services market.

This is possible only if the development and continuous improvement of innovative directions in all areas of construction are constantly developed. So, there is a goal for Russian companies – to achieve effective results with unconditional observance of security issues, constant growth of the quality of provided services, high level of innovations.

**Key words:** Innovation, Global Innovation Index, Russia’s innovation system, Plastic Roads, 3D Printing, Composites

## Introduction

New sources of energy and kinds of materials, design approaches, as well as advances of digital technology and big data environment, are creating an opportunity for the wave of innovation within the construction industry.

Rapid technological advances in building design, construction, fabrication and project management are issuing great challenges and opportunities for innovative and sustainable practice.

Ex an example, how does Russia looks in the world rating of innovations?

In Russia, to a greater extent than in other countries, business is convinced that it determines the role in innovative development. The role of small and medium-sized businesses in the development of innovation, on the contrary, looks less significant than in the eyes of leaders from other countries. About this sign of the results of the study “Global Innovative Barometer”, conducted by General Electric.

Russia has improved its position in the Global Innovation Index. But it is still far from leadership.

In GII-2016, Russia falls into the group of countries with a high level of GDP per capita, taking 39 among them out of 50, and among the countries of Europe – 29.

The data of GII-2016 show that Russia steadily improves its position on the innovation resources subindex (44th place). But the effectiveness of innovation activity of the country is noticeably weaker (69). This, according to the authors of the study, reflects an

inadequate implementation of the available innovative potential.

## Domestic advantages and disadvantages

The rating represents assessments of the strengths and weaknesses of the Russian innovation system. Thus, employment of women with higher education is among the competitive advantages. Russia is on the second place in this indicator. And the country ranks 11th in terms of the number of university graduates in scientific and engineering specialties. The same position is in the Russian Federation in the sphere of export of cultural and creative services.

Among the weaknesses of the domestic innovation system: innovative links (112 out of 128), rule of law (104), regulatory quality (97), gross capital formation (95).

In general, the advantages of the domestic innovation system are concentrated in such dimensions as human capital and science (23rd place), the level of business development (37) and the development of technology and knowledge economy (40).

Cons are related to the integral indicators of the development of institutions (73rd place), the domestic market (63) and business (37). In terms of business development, Russia also demonstrates advantages (for example, the country ranks 14th in terms of payments for the use of intellectual property objects), and shortcomings, including the weak innovative links noted above, cluster development level (101) and foreign investment (76).

Table 1 Dynamics of the positions of the Russian Federation in the Global Investment Index: 2014-2016.

	GII	Innovation Recourses	Results of Innovation	Innovation effectiveness
2016	43	44	47	69
2015	48	52	49	60
2014	49	56	45	49

## The impact of the economic crisis

As in the rest of the world, a long period of economic instability has affected the innovation activity

Table 2. Strengths and weaknesses of Russia’s innovation system. (GII-2016, 128 countries)

Strengths	Weaknesses
Employment of women with higher education (2)	GDP per unit of energy use (114)
The size of the domestic market (6)	Innovative connections (112)
The number of patent applications for utility models filed by national applicants in the country’s patent offices (7)	Investments (107)
Graduates of universities for scientific and engineering specialties (11)	Rule of Law (104)
Export of cultural and creative services (11)	Political stability and the absence of terrorism (103)
Employees in the field of science intensive services (14)	Level of development of clusters (101)
Payments for the use of intellectual property (14)	Quality of regulation (97)
Parent / teacher ratio in secondary education (16)	Gross capital formation (95)
Gross enrollment ratio in higher education (18)	ICT and business model creation (94)
The number of patent applications for inventions filed by national applicants in the country’s patent offices (18)	Research and development funded from foreign sources (76)
	Gross loan portfolio of microfinance institutions (72)
	Transactions using venture capital (67)

of Russian companies, forcing them to face certain difficulties in finding sources of financing and reduce risks. Nevertheless, the survey data show that in Russia the negative impact of the crisis on the development of innovation was much less tangible than the average for the countries that participated in the study, including – due to a favorable policy of the state policy in the field of innovation.

In an effort to reduce the level of risk, entrepreneurs preferred to shift the focus of innovation activities of companies from “product innovations” (creating completely new products and services) to “process innovations” (improving existing products and services by improving business models or organizational structures). Similar changes were noted by 66% of managers in Russia, which coincides with the global trend and BRIC results (68% on average for 22 countries, 69% on average for BRIC).

**Development prospects**

Despite the presence of pronounced competitive advantages for certain indicators, the comparison with the leaders demonstrates the large-scale lag in Russia in many dimensions of the rating.

So, from 2000 to 2014, R&D spending doubled and now amounts to 847.5 billion rubles. This brings Russia to the top 10 leaders in terms of the total costs of R&D. Since 2010, Russian authorities, with a special focus on innovation, have adopted more than fifty policy documents on scientific, technical and innovation policies.

Contain the development of innovations in the country, for example, the extremely low involvement of scientists from Russia in researching the advanced level. For example, in 2015, Russian publications were presented in only 3.28% of the more than 10,000 global research fronts (groups of highly cited articles) presented in the Web of Science database. For comparison: the USA is present in 74.3% of all research fronts, Germany – in 30.7%, and China – in 23.4%

Comparative advantages of Russian science grow, apparently, from traditional fields of knowledge for

the country, including physics, aerospace technologies, earth sciences, mathematics, chemistry and materials science. At the same time, the topics related to the new industrial revolution and the development of life sciences are poorly represented.

Understanding Innovation in Road Infrastructure Current trends that set the track for innovation delivery

- Improve resilience of infrastructure network – Adapt infrastructures to possible Climate Change effects
- Increase durability of pavements – Higher performance materials – Reduce maintenance
- Reduce associated environmental impacts – Reduce the use of energy intensive produced materials – Reutilize/valorize wastes – Optimize water consumption – Improve efficiency in operations.

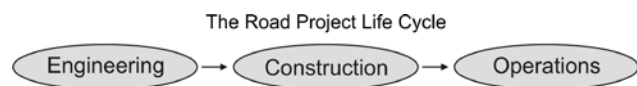


Figure 1. The auto/rail road project life cycle

How innovation in road infrastructure is addressed?

**Engineering**

- Improved design approach
- Introduction of new technologies in design stages and tendering processes
- BIM supported design processes

**Construction**

- Optimizing designs
- Applying new materials
- Reutilizing wastes
- Improving low performing materials
- Introducing high performance and added value products
- Improving operations and Quality Assurance / Quality Control methods
- BIM supported construction processes

**Operations**

- Introducing new materials than enhance the long term performance of the infrastructure objects.
- Understanding medium to long term impact of Climate Change on the performance of the infrastructure asset.
- Relevant Research Activities
- Usage of Composite Materials for bridge design and construction

Table 3. The Benefits of Composites

Design	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allow a more flexible design</li> <li>• Reduced weight</li> </ul>
Commissioning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce time</li> <li>• No necessity of large lifting means</li> </ul>
Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Almost zero</li> <li>• High Durability</li> <li>• Good performance under several environmental conditions</li> </ul>

The negative fact – the cost of the Composites is equal to the asphalt-concrete, or even higher, so there is no economic effect we can see right now by applying them.

**Advanced soil stabilization**

Stabilizing agent Impact and benefits Traditional Cement

- Improved bearing capacity
  - Drying effect
  - Highly environmentally intrusive technologies
- Proposed Solutions
- Improved bearing capacity
  - Allow using low performing materials
  - Can be applied in environmentally sensitive areas
  - Reduced water consumption
  - Water susceptibility and absorption reduced
- Microorganisms Foamed Bitumen Emulsions Fly ashes Combined treatments

Table 4 Advanced soil stabilization

	Stabilizing agent	Impact and benefits
Proposed solutions	Polymer-based products	Improved bearing capacity
	Microorganisms	Allow using low performing materials
	Foamed Bitumen	Can be applied in environmentally sensitive areas
	Emulsions	Reduced water consumption
	Fly Ashes	Water susceptibility and absorption reduced

**Waste Valorization through pavement design and Construction**

SCRAP TYRES :

- Improve mix durability (resistance to moisture, oxidation and fatigue)
- Higher resilient modulus
- Noise reduction
- Reduce top-down thermal cracking
- Reduce bottom-up reflective cracking

SLAGS:

- Substitutes coarse aggregates in pavement construction.
- Makes best use of the mechanical strength and skid resistance of slag particles.

- Enhances binder adhesion
- Promotes high frictional and abrasion properties

RICE HUSK ASH

- Mineral admixture for Portland cement Concrete
- Enhances concrete strength and durability.
- Can replace limestone as mineral filler in asphalt-concrete mixtures.



Figure 2. The plastic road structure



Figure 3. Apis Cor House 3D Printing

### Plastic Road

This idea is now under development in Russia and the Netherlands. The roads will consist of separate hollow sections connected together. The recycled plastic, which can not be corroded and exposed to atmospheric conditions, is able to withstand temperatures from minus 40 to plus 80 degrees Celsius. The lifetime of such a coating can be about three times greater than that of an asphalt one. No need to carry out permanent repairs will reduce the number of traffic jams.

Another advantage of the plastic road is its ease of installation in sandy and depleted soil. In addition, the hollow niches inside the panels can serve for water drainage, and also used for laying pipes and cables.

### 3D Printing in Construction

Printing submodules or complete concrete structures before assembly and internal work could transform the industry with respect to design, cost, and time. However, 3D printing is still in the early stages of its development and cannot yet be deployed at the scale and speed required for large projects.

Printing submodules or complete concrete structures before assembly and internal work could transform the industry with respect to design, cost, and time. However, 3-D printing is still in the early stages

of its development and cannot yet be deployed at the scale and speed required for large projects.

In Russia the first building was printed in 2017 by using 3D printing technology. It took 24 hours to build the whole building.

### Conclusion

Such results of cross-country comparisons by using Global Innovation Index and best world practices and innovations confirm the need for an integrated and balanced policy aimed at the full development of national innovation systems.

The sustainable development of the society is possible only if the development and continuous improvement of innovative directions in all areas of construction are constantly developed.

### References

1. Global Innovation Index – 2016 [URL: <http://www.globalinnovationindex.org>]
2. <http://apis-cor.com/>
3. <http://plastic-road.com/>
4. <http://www.ricehuskash.com/index.htm>
5. <http://dldztak330v9c.cloudfront.net/practice-and-construction-innovation>



## PROBLEMS OF TELEMEDICINE IN LATVIA

Vladimirs Skudnovs<sup>1</sup>, Aleksejs Vasiļjevs<sup>2</sup>, Aleksejs Ševčenko<sup>3</sup>

Riga Technical University, Institute of Transport, Azenes street 12a, Riga, LV-1048, Latvia

<sup>1</sup>vladimir.skudnov@sotus.net; <sup>2</sup>aleksejs.vasiljevs@ldz.lv, <sup>3</sup>alexey@cryptolab.net

**Abstract.** This work was written based on the current Latvian heterogeneous telecommunications network features and experimental results with medical data, which were obtained from the RTU Railway transport and communications laboratory. Achieved results can be used Latvian eHealth (electronic health) the new range of services for the implementation, which have not existed.

### Introduction

The emerging development of mobile health systems in the last decade was made possible due to the recent advances in wireless and network technologies, linked with recent advances in nanotechnologies, compact biosensors, wearable devices and clothing, and pervasive and ubiquitous computing systems. These advances will have a powerful impact on some of the existing healthcare services and will reshape the work flow and practices in the delivery of these services [1].

In result this work will provide an overview of recent heterogeneous telecommunication network in Latvia and use of this network to transmit and receive high resolution format (Blu-ray) medical diagnosis data.

E. Kyriacou, M.S. Pattichis, C.S. Pattichis, A. Panayides, and A. Pitsillides, in their work [2] suggests that “Wireless telemedicine systems and services are expected to enhance traditional emergency care provision not only within the emergency department but also in a variety of prehospital emergency care situations where geographically remote consultation and monitoring can be implemented”. A timely and effective way of handling emergency cases can prove essential for a patient’s recovery or even for a patient’s survival. Especially in cases of serious injuries of the head, the spinal cord, and internal organs, the way of transporting and generally the way of providing care are crucial for the future of the patient.

This is especially actual problem for small countries like Latvia, where due bad economic situation people are migrating from villages and small towns to towns with more population and opportunities or capital in search for a job, in result of this migration local hospitals and medical clinics are receiving less finance. In result less medical services are available at local place, especially, professional specialists’ consultation, forcing patients in need to search for a health services in huge clinical hospital centers or specialized clinics, in Latvia those clinical hospitals generally are centered around the capital of Latvia – Riga.

### Methods

In order to write this article, the more recent research (published 2013 Aug. Cisco projection of global

mobile data growth) in growth of mobile data and heterogeneous telecommunication network and potential use in health services were overviewed.

In preparation of this work about eHealth (electronic health) and mobile health services situation topic in Latvia, East Clinical University Hospital Medical Technology Director Uldis Jaspers (uldis.jaspers@aslirnica.lv) tel. 67303113 was interviewed on topic of medical data exchange and manage between Latvian hospitals, as well, what mobile health services right now are available for patients of the East Clinical University hospital in Latvia.

All the information regarding heterogeneous telecommunication and mobile network technologies, applications were obtained from legal sources – books, publications, conference abstracts from the internet websites. Used sources in preparation of this work are mentioned in the „References” section.

### Wireless transmission technologies

The digital era in mobile cellular networks was introduced by the Global System for Mobile Communications (GSM), signifying the transition from analog first-generation (1G) to digital second-generation (2G) mobile telecommunications. The general packet radio service (GPRS) and enhanced data rates for GSM evolution (EDGE) 2.5G technologies facilitated the data-transfer rates that allowed mobile Health systems to integrate medical image and video transmission, in addition to biomedical signals. Toward this direction, third-generation mobile telecommunications (3G) systems (Universal Mobile Telecommunications System [UMTS]) set the foundations of establishing telemedicine systems in standard clinical practice, exploiting extended coverage for a virtually always-on service provision.[3] Today’s 3.5G and near-4G (fourth generation mobile telecommunications) wireless networks, namely, high-speed downlink packet access (HSDPA), high-speed uplink packet access (HSUPA), high speed packet access (HSPA), HSPA+, mobile WiMAX, and Long-Term Evolution (LTE), allow the deployment of responsive mobile Health and eEmergency systems, minimizing delays and extending upload data-transfer rates that can ac-

commodate high–diagnostic quality medical video that can rival the quality of in-hospital examinations. Ongoing deployment of 4G wireless networks and emerging fifth generation mobile telecommunications (5G) systems theoretical upload data-transfer rates comparable to wired infrastructure will expedite the adoption of such systems and services in standard clinical practice.[3]

The described wireless networks facilitate incremental data-transfer rates while minimizing end-to-end delay. Evolving wireless communications networks' theoretical upload data rates range from 50 kbps to 86 Mbps. In practice, typical upload data rates are significantly lower. More specifically, typical upload data rate ranges are (I) for GPRS, 30–50 kbps; (II) for EDGE, 80–160 kbps; (III) for evolved EDGE, 150–300 kbps; (IV) for UMTS, 200–300 kbps; (V) for HSPA, 500 kbps–2 Mbps; (VI) for HSPA+, 1–4 Mbps; and (VII) for LTE, 6–13 Mbps [3].

Figure 1 shows a Cisco projection of global mobile data growth through 2017, measured in exabytes (billion gigabytes) per month, demonstrating traffic growing at a compound annual rate of 66% — resulting in thirteenfold growth over that period.

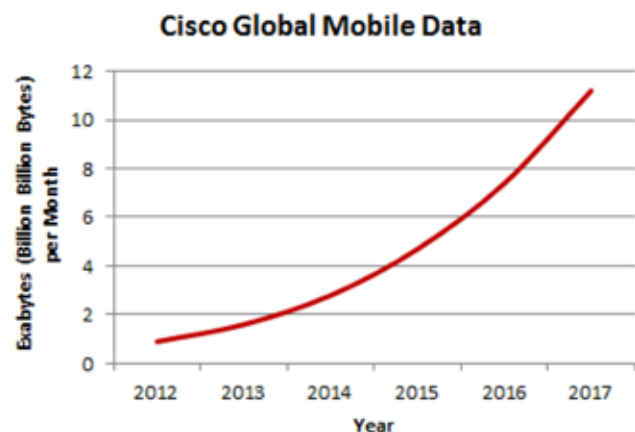


Figure 1. Global Mobile Data Growth[3]

Figure 2 shows another data projection, predicting 50% annual growth in data for the 2012 to 2018 period, resulting in twelvefold growth.

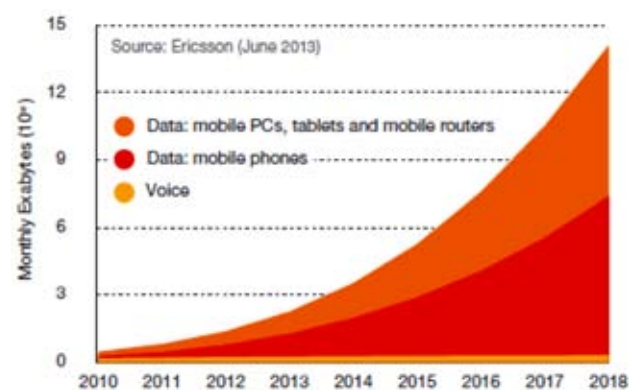


Figure 2. Global Mobile Traffic for Voice and Data 2010 to 2018 [3]

## Mobile computing platforms

In a recent research, where mobile and fixed computer use by doctors and nurses on hospital wards was investigated, it was found that the choice of device was related to clinical role, nature of the clinical task, and degree of mobility required. Nurses work and clinical tasks performed by doctors during ward rounds require highly mobile computer devices, and they showed a strong preference for generic computers mobile on wheels (including laptops) over all other devices. Tablet personal computers (PCs), some devices are shown at Figure 3, were selected by doctors for only a small proportion of clinical tasks. Note that even when using mobile devices, clinicians completed a very low proportion of observed tasks at the bedside [4].



Figure 3. Tablet personal computers [4]

A systematic review of personal digital assistant (PDA) usage surveys by healthcare providers was carried out by Garritty and El Emam in their work “Who’s using PDAs? Estimates of PDA use by health care providers: A systematic review of surveys,” [5]. It was documented that younger physicians and residents and those working in large and hospital-based practices are more likely to use a PDA. Moreover, it appeared that professional PDA use in healthcare settings involved more administrative and organizational tasks than those related to patient care. Garritty and El Emam concluded that physicians are likely accustomed to using a PDA; however, there is still a need to evaluate the effectiveness and efficiency PDA-based applications [5].

## Transmission of digital images

The use of digital images in medicine has benefited from the formation of the DICOM committee [8]. The

committee was formed in 1983 by the American College of Radiology (ACR) and the National Electrical Manufacturers Association (NEMA). For still images, DICOM has adopted various JPEG variants such as lossless JPEG (JPEG-LS) [9] and JPEG 2000 [10].

We first consider lossless image-compression methods that provide for exact reconstruction of the input images. Lossless image-compression eliminates the need for diagnostic validation of compression artifacts. Unfortunately, lossless methods provide limited compression ratios, usually ranging between 2 and 3.7. Lossy image-compression methods can provide much better compression ratios. However, the use of lossy image compression requires a careful evaluation of the effect of compression artifacts on diagnostic performance. While not directly relevant to diagnostic performance, lossy image compression of general images attempts to be perceptually lossless. Here, a compressed image is termed perceptually lossless if an (average) human observer cannot differentiate it from its uncompressed version. In general, optimal performance requires the study of the impact of lossy compression in different clinical scenarios. A general lossy compression approach that can be directly applied to medical images is to use diagnostic regions of interest (ROIs). Here, the parts of an image that are of diagnostic interest will see little or no compression. On the other hand, the parts that are not of diagnostic interest can be compressed significantly. For example, if the region of interest covers about 20% of the entire image, average compression ratios of about 15:1 have been reported using JPEG-LS, while an average compression ratio of only 2.58 was achieved when using the entire image as the region of interest [11]. Similar to percep-

tually lossless compression for general images, another approach is to use lossy compression that does not allow clinicians to differentiate between the compressed image from the uncompressed one. Clearly, if the uncompressed image cannot be identified, then the (clinical) visual inspection of the compressed images should not impact the diagnosis [11]. This technique leads to near-lossless techniques where the uncompressed image differs from the original in only a small number of levels ( $\pm 1$  and  $\pm 2$  out of possible 4096 levels). For comparison, JPEG-LS in lossless mode provides for an average compression ratio of 2.58 that improves to 3.83 in the near-lossless mode ( $\pm 1$  levels) [11]. In addition, for a region of interest that covers 20% of the image region, the average compression ratio improves from 15.1 to 22.0 [11].

### Transmission of digital video

The successful and efficient deployment of medical video communication systems relies on timely integration of video coding standards technologies and adaptation to the underlying wireless channel's capacity. Given the fact that wireless networks impose a limit on the available upload data-transfer rates, exploiting the trade-off between compression efficiency and clinical video quality is of primary importance. In contrast to wireless communication of conventional video and multimedia applications, clinical video quality cannot be compromised, as the latter would translate to misdiagnosis. Consequently, mobile Health medical video communication systems need to be diagnostically driven [11]. The objective of diagnostically driven systems

Table 1. Selected mobile Health medical video communication systems[11]

	AUTHOR	YEAR	RESOLUTION, FRAME RATE, BITRATE	ENCODING STANDARD	WIRELESS NETWORK	MEDICAL VIDEO MODALITY
NONDIAGNOSTICALLY DRIVEN SYSTEMS	CHU ET AL. [17] <sup>2</sup>	04	{320 x 240 AND 160 x 120} <5 FRAMES/S 50-80 Kb/s	M-JPEG	3G-CDMA	TRAUMA VIDEO
	GARAWI ET AL. [18] <sup>2,3</sup>	06	176 x 144 @ 5 FRAMES/S 18.5-60 Kb/s	H.263	3G-UMTS	CARDIAC ULTRASOUND
	ALINEJAD ET AL. [16] <sup>2</sup>	12	{176 x 144, 352 x 288} @ 10/20 FRAMES/S {220, 430} Kb/s, 1.3 Mb/s	WINDOWS MEDIA VIDEO (WMV)	MOBILE WIMAX, HSDPA	CARDIAC ULTRASOUND
	ISTEPANIAN ET AL. [19] <sup>2,3</sup>	09	176 x 144 @ 8-10 FRAMES/S 50-130 Kb/s	H.264/ AVC	3G	ABDOMEN ULTRASOUND
	PANAYIDES ET AL. [20] <sup>2,3</sup>	13	{176 x 144, 352 x 288, 560 x 416} @ 15 FRAMES/S, 64-768 Kb/s	H.264/AVC	HSPA	CAROTID ARTERY ULTRASOUND
	PANAYIDES ET AL. [6] <sup>1,3</sup>	13	560 x 416 @ 40 FRAMES/S, UP TO 2 Mb/s	HEVC	3.5G AND BEYOND	CAROTID ARTERY ULTRASOUND
DIAGNOSTICALLY DRIVEN SYSTEMS	RAO ET AL. [8] <sup>1,3,4</sup>	09	360 x 240 @ 30 FRAMES/S 500 Kb/s	MPEG-2	3G AND BEYOND	PEDIATRIC RESPIRATORY DISTRESS RELATED VIDEOS
	MARTINI ET AL. [9] <sup>1,4</sup>	10	480 x 256 @ 15 FRAMES/S 300 Kb/s	H.264/AVC	MOBILE WIMAX	CARDIAC ULTRASOUND
	PANAYIDES ET AL. [10] <sup>1,3,4</sup>	11	352 x 288 @ 15 FPS 197-421 Kb/s	H.264/AVC	3G AND BEYOND	CAROTID ARTERY ULTRASOUND
	KHIRE ET AL. [12] <sup>2,3,4</sup>	12	720 x 480 @ 30 FRAMES/S, 125-200 Kb/s	H.264/AVC	3G AND BEYOND	MAXILLOFACIAL SURGERY CLIPS
	DEBONO ET AL. [14] <sup>1,4</sup>	12	640 x 480 @ 25 FRAMES/S	H.264/AVC	MOBILE WIMAX	CARDIAC ULTRASOUND
	PANAYIDES ET AL. [11] <sup>2,3,4</sup>	13	704 x 576 @ 15 FRAMES/S 768 Kb/s-1.5 Mb/s	H.264/AVC	MOBILE WIMAX	CAROTID ARTERY ULTRASOUND
	CAVERO ET AL. [13] <sup>1,3</sup>	13	720 x 576 @ 25 FRAMES/S 40 Kb/s (M-MODE), 200 Kb/s (B-MODE)	SPIHT	3G AND BEYOND	CARDIAC ULTRASOUND
	CAVERO ET AL. [15] <sup>1,3</sup>	12	720 x 576 @ 25 FRAMES/S, 200 Kb/s	SPIHT	HSUPA, MOBILE WIMAX	CARDIAC ULTRASOUND

1-mulation, 2-Real Time, 3-Clinical Evaluation, 4-d-ROI.

is to maximize the clinical capacity of the communicated video by adapting the employed algorithms for video encoding, wireless communication, and both objective and clinical video quality assessments on the underlying medical video modality. While sharing common concepts and principles, diagnostically driven approaches are often medical video modality specific.

In terms of video resolutions facilitated by video coding standards, the H.261 standard (first video coding standard—early 1990s) supported the quarter common intermediate format (QCIF) ( $176 \times 144$ ) and the common intermediate format (CIF) ( $352 \times 288$ ) video resolutions. Subsequently, the H.262 standard (released in 1995) extended video resolutions support up to 4CIF ( $720 \times 576$ ) and 16CIF ( $1408 \times 1152$ ). Then, the H.263 standard (introduced in 1996) provided for improved quality at lower bit rates while also allowing lower, sub-QCIF ( $128 \times 96$ ) video resolution encoding. The aforementioned video coding standards were employed in early medical video communications systems of limited clinical capacity. This was partly attributed to the inability to encode medical video at video resolutions and frame rates (to match the available bit rate of wireless channels) that would not compromise diagnostic quality and clinical motion, respectively. The H.264/advanced video coding (AVC) standard [12] dominated mobile Health systems and services of the past decade (released in 2003). The H.264/AVC standard, linked with 3G and 3.5G wireless networks, enabled efficient and timely encoding to match the available data rates and conform to real-time transmission requirements. In addition to coding efficiency and error-resilience coding tools, H.264/AVC introduced the network abstraction layer (NAL), a novel concept enabling network-friendly adaptation of the encoded content to candidate heterogeneous networks and/or storage devices (and cloud infrastructure), a significant feature toward H.264/AVC success. High-resolution and high-frame rate medical video communication is feasible using H.264/AVC over 3.5G wireless channels, leading to a plethora of mobile Health systems and services of high diagnostic value, being a milestone for mobile Health systems and services. However, in contradiction to initial projections and enthusiasm, the adoption of wireless telemedicine systems in standard clinical practice remains limited. The new high efficiency video coding (HEVC) standard specifically designed for beyond high-definition video communications that provides 50% bitrate gains for comparable visual quality compared to the H.264/AVC standard. Together with 4G and beyond (5G) wireless networks deployment, the HEVC standard is expected to play a decisive role toward wider adoption of such systems and services. To achieve this, mobile Health medical video communication systems that can transmit medical video at the clinically acquired resolution and frame rate that can be robustly transmitted in low delay without compromising clinical quality are envisioned.

## Mobile health services in Latvia

From the personal interview of East Clinical University Hospital Medical Technology Director Uldis Jaspers ([uldis.jaspers@aslimnica.lv](mailto:uldis.jaspers@aslimnica.lv)), in Latvia around 90% of hospitals are using so called Arstabiroids [13] <http://www.arstabiroids.lv> provided by Meditec.lv company. By his words, they are monopolists in Latvia eHealth service market.

The only mobile health applications what they are providing according to their official site <http://www.meditec.lv/HP> is HealthPoint [14], description from meditec.lv site: “HealthPoint is a unique application, developed for smartphones, which allows dealing with a variety of health-related issues. The application allows you to make calls to the emergency number 113, while transferring the caller’s location data (GPS coordinates) and basic information about the caller to the emergency medical service dispatchers. The app allows you to call your family doctor or make a call to the consultative phone of NHS general practitioners.”

Here I would like to say, this is not true, that their application is unique. All what this application does is:

Making preset call to 113 emergency service and sending GPS coordinates of the caller, but there is a trick. Your phone should have an active GPS module and application should have access to gather that information from smartphone. If GPS is turned off in your smartphone or application won’t have access rights to it, then application won’t send any coordinates and instead of it after 5 seconds will just make a phone call to 113 emergency service as you could do it just from ordinary phone or mobile phone, not necessary from smartphone or tablet.

Instead of calling 113, second option of mentioned application is to call your family doctor, but before you can do that you need to preset his phone number.

Here comes the question, why I need the application if I can do it from Contacts?

Needless to say, as for latest version of HealthPoint have tested on 17.04.2016, its broken on Android 5.1, if HealthPoint can’t access GPS data from smartphone, instead of calling after 5 seconds, application just hangs with black screen and no call to emergency service 113 is made, so it’s not even safe to use for health emergency call, it’s very dependable application for proper configuration of GPS module, which can be problem for non IT specialist users to use, especially for aged people.

## Results and Discussion

The heterogeneous telecommunication network experiment for the research was placed at the RTU railway transport telecommunication laboratory in Riga, Ierikustreet 8A, Figure 4-5.[17]

The experiment object was medical high resolution video (Blu-ray) stream in DICOM H.264/AVC format over optic network and over mobile network using two



largest mobile operators in Latvia, Tele2 and LMT – 2G/3G/4G connection standard in their network.

Latvian internet exchange point to global internet, Figure 6.



Figure 4. General view of the heterogeneous network, Riga, Leriku street 8A.



Figure 5. SIEMENS SURPASS hiT7020 – 4 multiplexers with subscriber system connections are connected to the ring via optical STM-1 interfaces.

The results of streaming high resolution medical data video format – DICOM H.264/AVC in heterogeneous network:

Through(server-terminal) Optical Connection, Figure 7.

LMT 4G connection, Figure 8.

LMT 3G connection (HSPA) Figure 9.

LMT 2G connection (EDGE)Figure 10.

The results from TELE2 network:

TELE2 3G connection (WCDMA) Figure 11.

TELE2 2G connection Figure 12.

### Conclusions

1. The experiment showed, that even in worst case scenario as 2G connection, it's like somewhere in the middle of unpopulated area in Latvia and some kilometers away from transmit/receive tower, it's possible to transmit and receive high resolution video format (Blu-ray, H.264/AVC DICOM) although it need some time for buffering, but at the end, have received video and audio stream without quality or data lost.

LMT and TELE2 representatives are declaring on their sites – www.lmt.lv and www.tele2.lv that their 4G coverage is 98% of the area of Latvia.[15-16]

2. From the experiment gained data, it's clear that Latvian heterogeneous telecommunication network infrastructure is ready for mobile medicine based platform applications, that could improve the quality of service in the Latvian Health system and more people from unpopulated areas could receive the part of health services same as they would live in capital, technology-allows that. The problem is in management, all stored data over clinical hospitals that are using "Arstabiros"

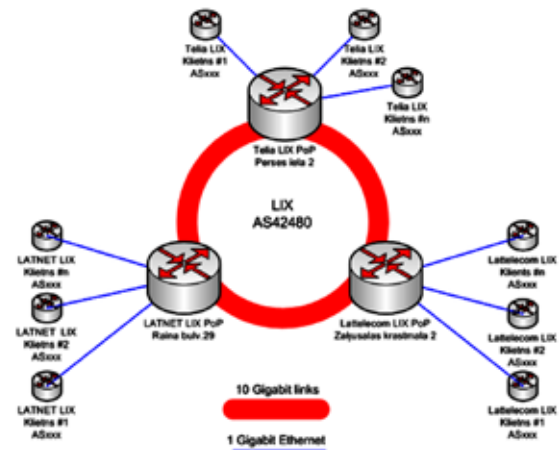


Figure 6 Internet exchange point of Latvia (Latnet, Telia, Lattelcom)

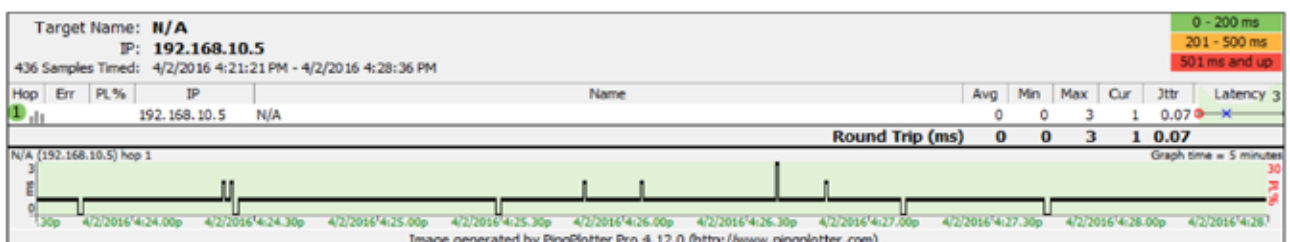


Figure 7. Optical connection



Fig. 8. LMT 4Gconnection

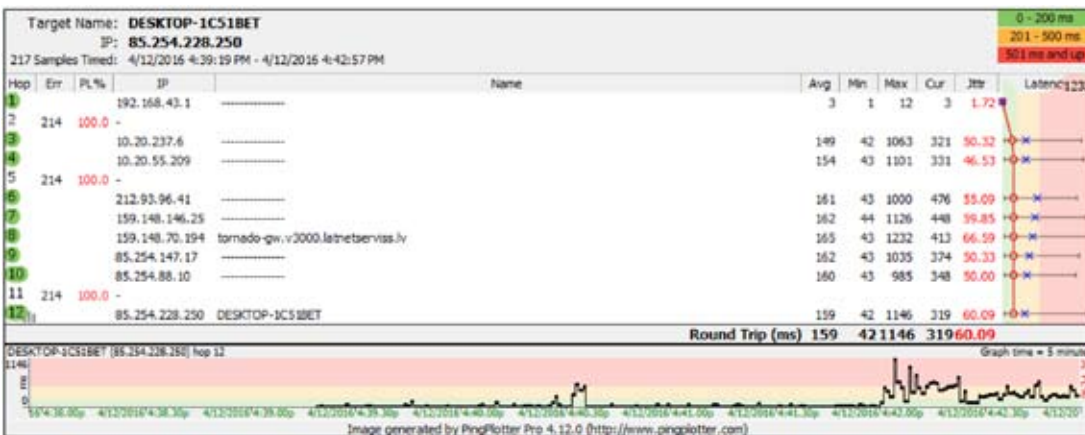


Figure 9. LMT 3G (HSPA)



Figure 10. LMT 2G (EDGE)



Figure 11. TELE 3G (WCDMA)

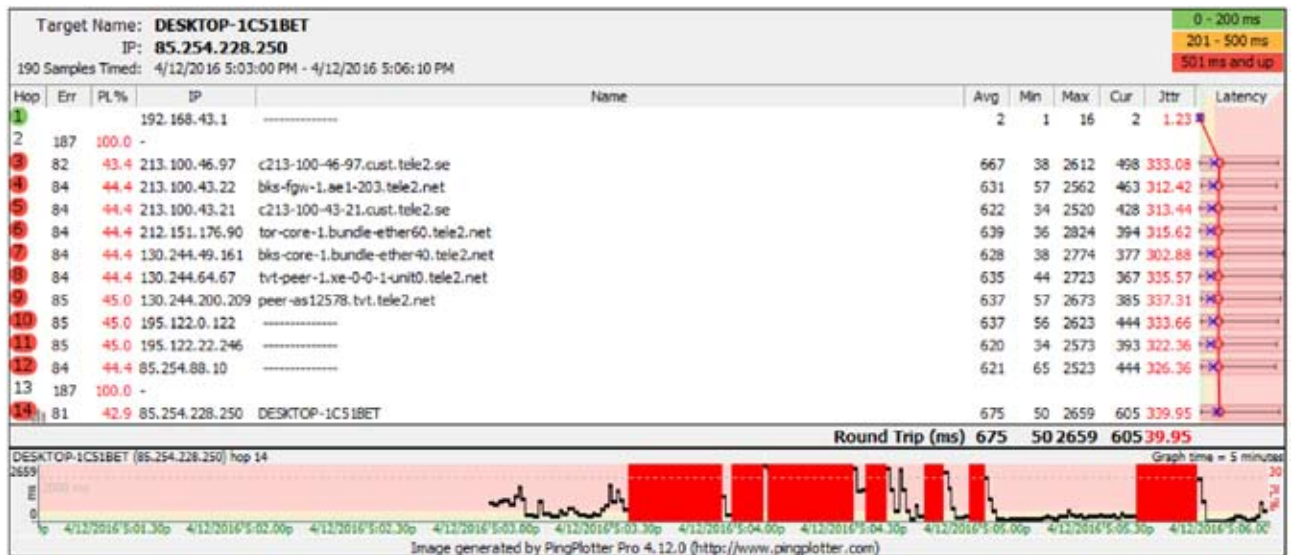


Figure 12. TELE2 2G

in Latvia and that is 80%-90% [13] of total healthcare system institutions is stored and managed by private company Meditec [13]. So independent developers can't access and integrate their mobile application due to lack of access to databases and as private company Meditec is not interested in sharing this access, because this is main source of income for this company [13]. Latvian government should step between and regulate this access by law, in this way mobile health application market in Latvia could gain healthy concurrence which is good for patients and overall for industry. Right now, Latvia has no any integrated mobile health applications between government owned clinical hospitals and patients with authorizing access for patients to medical databases too-view their medical examination/diagnostic data or gather data from wearable biosignal devices and upload it to their medical data profile, as an example later on medical file could be examined by doctor. The only mobile health application for patients that Meditec is providing (HealthPoint) isn't integrated with the database data from clinical hospitals, its standalone application with 2 poor designed functions.

## Gratitude

The authors are grateful to Professor Dr.habil.phys. V.Popov for posing the problem, constant assistance and advice at all stages of this work.

## References

1. R.H. Istepanian, S. Laxminarayan, and C.S. Pattichis, Eds., *M-Health: Emerging Mobile Health Systems*, Springer, New York, 2006.
2. E. Kyriacou, M.S. Pattichis, C.S. Pattichis, A. Panayides, and A. Pitsillides, "m-Health e-Emergency systems: Current status and future directions," *IEEE Antenn. Propag. Mag.*, vol. 49, no. 1, pp. 216–231, 2007.
3. RysavyResearch, LLC, "Mobile Broadband Explosion: The 3GPP Wireless Evolution," Aug. 2013, <http://www.4gamericas.org/>. Access: 15.04.2016
4. P. Andersen, A.M. Lindgaard, M. Prgomet, N. Creswick, and J.L. Westbrook, "Mobile and fixed computer use by doctors and nurses on hospital wards: Multi-method study on the relationships between clinician role, clinical task, and device choice," *J. Med. Internet Res.*, vol. 11, no. 3, p. e32, Aug. 4, 2009.
5. C. Garrity and K. El Emam, "Who's using PDAs? Estimates of PDA use by healthcare providers: A systematic review of surveys," *J. Med. Internet Res.*, vol. 8, no. 2, p. e7, Apr.–Jun. 2006. Published online May 12, 2006. doi:10.2196/jmir.8.2.e7.
6. National Electrical Manufacturers Association (NEMA), *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Publication PS 3*, Rosslyn, Virginia, U.S., 1996.
7. ISO/IEC 14995-1 Final Draft International Standard (FDIS), "Information Technology—Lossless and Near-Lossless Coding of Continuous-Tone Still Images: Baseline," JPEG-LS Standard, Part 1, Mar. 1999.
8. M. Boliek, C. Christopoulos, and E. Majani, Eds., "JPEG2000 Part I Final Draft International Standard" (ISO/IEC FDIS I5444-1), ISO/IEC JTC1 / SC29 / WG1 N1855.
9. A.S. Panayides, M.S. Pattichis, and C.S. Pattichis, "Mobile health systems used diagnostically driven medical video technologies," *IEEE Signal Proc. Mag.*, vol. 30, no. 6, pp. 163–172, Nov. 2013. doi:10.1109/MSP.2013.2276512.
10. ITU-T, "Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services," ITU-T and ISO/IEC 14496-10 Recommendation H.264 (MPEG4 AVC), May 2003.
11. Arsta Birojs by Meditec <http://www.arstabirojs.lv/index.php/about-us>
12. Health Point application. Access: 15.04.2016 <http://www.meditec.lv/HP>
13. LMT, access: <http://www.lmt.lv>
14. Tele2, access: <http://www.tele2.lv>
15. Popovs V., Skudnovs V., Vasiljevs A. Modeling of modern heterogeneous data networks. RTU starptautiskā zinātniskā konference, Transporta sekcija, Oktobri, 2014

# ANALYSIS OF INNOVATIVE TYPES OF TRANSPORTATION

**Pegin Pavel Anatolyevich, Igolkin Georgiy Vladimirovich**

*Pacific National University, 136, Tihookeanskaya St., Khabarovsk, 680035, Russia,  
ppavel.khv@gmail.com, igolkin.georgii@gmail.com*

**Annotation.** Nowadays in the world has developed an acute need for a new type of land transport, which can provide a significant increase in traffic volumes and speed of movement. Traditional “wheel-rail” and “wheel-road” technologies have reached the limit of their functional use and do not cope with the growing demands of the modern market.

Hyperloop technology has a significant potential for implementation in the transport network. Significant advances in the digital sphere allow us to design increasingly sophisticated and high-tech mechanisms; therefore the trend of occupying world market with Hyperloop technology has the potential to be realized.

The report deals with technical issues of construction and operation of transport lines Hyperloop technology. The problems of technology introduction taking into account the natural and climatic conditions of the northwestern part of Russia and the Baltic states are indicated. The directions of their solution are formulated. It is pointed out the need for large-scale joint scientific and technical research at the initial stage of the project.

## Introduction

The vacuum transport project Hyperloop appeared in 2012 as an alternative to the construction of the High-Speed California Railroad, which US engineers estimated at \$ 60 million per 1 km [1]. American businessman Elon Musk, the Developer Hyperloop, said that the construction of its route would cost 10 times cheaper. According to I.Musk, the new technology will have a number of undeniable advantages due to its design features. Hyperloop is a pipeline inside which a vacuum is created.

The vehicle – a special capsule 25-30 m long, will not be affected by air resistance and it'll move above the magnetic rail at a speed of 1220 km/h [2]. The creation of a working cost-effective prototype will mark the beginning of a new era in the transportation industry the need for which is obvious due to the exhaustion of the potential for the development of traditional wheel-rail technology which, due to the design features of the road and electrical equipment, ensures the cost-effectiveness of passenger traffic at a speed of 370 km / h; freight traffic – 160 km / h [3].

Today, active testing of Hyperloop technology is underway. On September 2, 2017 Tesla capsule accelerated to a speed of 355 km/h on the test track of a 1.25 km long in Hawthorne, California[4]. Now SpaceX is holding the third stage of the contest for the development of cabins for Hyperloop, which means that at the beginning of next year it is planned to reach a speed of 500 km/h.

## The relevance of technology

However, along with success the technology has earned a lot of criticism. In general, Hyperloop is another of many attempts to create a vacuum train which were made since the XIX century. So in 1864, Englishman Thomas Webstar Remel built a line for the movement of pneumatic trains in Crystal Palace Park[5]. And in 1870 in New York it was proposed to develop a me-

tro network based on a similar technology – a working pilot site was built near Broadway. However, the subsequent integration of technology in the urban transport system was prevented by the conflict with authorities, who feared for the safety of the foundations of houses under which the route was to pass [6].

In the XX century there were many attempts to implement similar projects. But most of them were rejected because of the high costs needed for construction. Hyperloop differs from all predecessors in the team character of the work and a more progressive production base. The work on the project is organized in such a way that several competing teams are engaged in technology development, which greatly accelerates the natural selection of ideas and solutions.

Today, the governments of the United States, the United Arab Emirates, Australia, India, Russia and other countries are interested in building Hyperloop lines on their territory, which for the first time in more than 200 years of the vacuum train idea, takes it from the category of a utopian concept to the stage of a strategic project that determines the state's competitiveness in the world.

## Features of introduction in northwestern part of Russia and the Baltic states – problems and ways of their solution

The introduction of such technology requires solving not only the main problems of technology, such as:

- ensuring the safety of people in the pipe in case of emergency situations;
- energy saving.

In addition to these, there are other specific tasks concerning northwestern part of Russia and the Baltic states:

- 1) provision of increased deformation of abutments and pipes;
- 2) increase in the diameter of the pipe for the introduction of technology into the multimodal transport complex;

- 3) development of special regulation and design documentation and recommendations for the construction of Hyperloop infrastructure;
- 4) choosing the optimal Hyperloop network location.

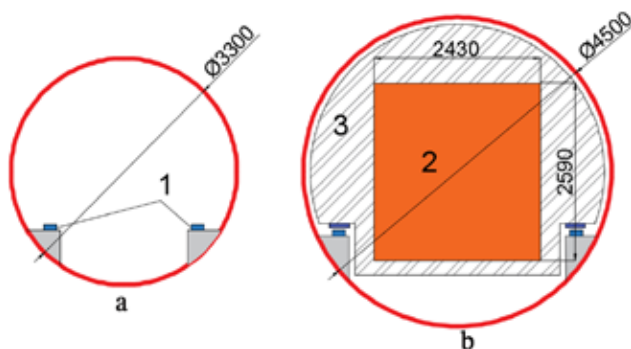
The first problem is that the construction of lines using Hyperloop technology requires solving the problem of determining the permissible deformations of the bases, taking into account large diameter pipes on the supports [7].

Movement with high speeds requires increased rigidity of the system. Thus, during the construction of bridges on the high speed conventional railway, the permissible deflection was increased by 3.5 times in comparison with the structures for average speed traffic, from 1/800 on the routes from 200 km/h [8] to 1/2700 (on span structures 65 m long at a speed of 350 km/h) [9]. Such an increase in requirements occurs with raising speeds by only 150 km/h. If we have speeds close to 1000 km/h, we will need not only to provide increased rigidity of the bases and pipe structures, but also the development of additional guiding devices.

The second task, connected with the increase in the diameter of the pipe, results from the need for the transportation of goods, which is dictated by the vast territory of Russia and the established logistics of freight traffic. In current realities, investing in such an expensive project is possible only for the purpose of gaining permanent profit in the future. Passenger traffic is not suitable for these tasks, while the potential for transit and inland freight traffic in Russia is great.

Freight transportation using containers is the most progressive method today. For example in Europe 98% of tare cargoes are transported in containers. Therefore, one of the factors determining the diameter of the pipe for the Russian transport services market will be the size of the container [10].

Today, the diameter of Hyperloop is 3.3 m [11]. We believe that its diameter should be 4.5 m, which will allow us to transport standard containers of 40 ft. (2.43 × 2.59 m) by the magnetic-levitation system using a transport capsule (Picture). This will require additional strengthening of the walls of the system to maintain



Picture. Optimization of the diameter: a – design diameter of the HyperloopOne pipe; b – recommended pipe diameter for a universal cargo system. 1 – magnetic rails; 2 – the container; 3 – cargo capsule.

the vacuum and increase the capacity of the compressor units.

Technically, the implementation of the project is not difficult. All tasks can be solved with the appropriate scientific support and a consistent elaboration of the questions posed. According to the results of the research, special technical specifications and subsequently a corresponding set of rules will be developed for the Russian technology.

To implement the project, it is necessary to determine the most appropriate route in Russia. This requires a comprehensive study of the market of freight and passenger transportation in Russia and neighboring countries, conducted in cooperation with the government as well as domestic and foreign transport companies. As a result of the research, the need and trends of the market will be revealed, a complex mathematical model will be drawn up and optimum routes will be identified for the construction of a transport network with specified parameters.

## Conclusion

During the analytical analysis it was determined that the vacuum train technology has a significant potential and in recent years there has been a significant increase in scientific results. Russia, which has a huge territory with consolidated economic centers, has great prospects for the introduction of such high-speed transport. To prevent a lag in the field of freight traffic, it is necessary to conduct a series of experiments in the coming years and to create a prototype of the vacuum train technology on the basis of which the technical standards will be developed.

## Bibliographic list

1. Hyperloop One may have just killed California's high-Speed rail- [Electronic resource]. – URL: <http://www.breitbart.com/california/2017/07/14/hyperloop-one-just-killed-californias-high-speed-rail/>
2. In the US, Hyperloop One conducted the first tests of a wagon of an ultra-high-speed train in a vacuum – [Electronic resource]. – URL: <http://tass.ru/ekonomika/4458315>
3. Antonov Y. F., Zaitsev A. A. Magnetolevitation transport technology. – St. Petersburg: FIZMATLIT, 2014.
4. Elon Musk Instagram. – [Electronic resource]. – URL: <https://www.instagram.com/p/BYckipugds5/>
5. Crystal Palace Pneumatic Railway: Lost Tunnels. – [Electronic resource]. – URL: <https://www.urbanghostsmedia.com/2014/10/crystal-palace-pneumatic-railway-lost-tunnels-urban-legends/>
6. The Broadway Pneumatic Underground Railway. – [Electronic resource]. – URL: [http://www.nycsubway.org/wiki/Beach\\_Pneumatic\\_Transit](http://www.nycsubway.org/wiki/Beach_Pneumatic_Transit)

- 
7. Smirnov V. N. Supports of bridge structures. St. Petersburg: Publisher DNA, 2013.
  8. JV 35.13330.2011. Bridges and pipes
  9. EN 1991-2: 2003 (E) Eurocode 1: Actions on Structures – Part 2: Traffic Loads on Bridges
  10. Kondrachuk O. E. Prospects for the development of container business // Modern problems of science and education. Ekaterinburg: URGUPS, 2014.
  11. Hyperloop One website. – [Electronic resource]. – URL: <https://hyperloop-one.com/hyperloop-one-reveals-first-images-nevada-desert-development-site-devloop-middle-east-rail>

# STONEBLOWING TECHNIQUE FOR THE IMPROVING OF THE RAILWAY TRACK MAINTENANCE

Alexander Ah. Abrashitov, Andrey Al. Zaytsev, Gleb Nazarov

Russian University of Transport (MIIT). zempol@rambler.ru

**Annotation** Under cycling rail loading ballast is constantly degrading and thus requires periodical recovery. Commonly used method of rail track recovery – ballast tamping – possesses numerous shortcomings, which lead to high costs of track maintenance. Stoneblowing was suggested as an alternative technique of track level adjustment, free of tamping disadvantages. Unfortunately, application of this perspective technique still remains limited. This paper is focused on comparative study of tamping and stoneblowing techniques. We investigate difference in contamination levels and transverse resistance of railway track panel after different surfacing procedures. Conducted laboratory tests demonstrate that ballast, adjusted by stoneblowing showed better mechanical characteristics in comparison to ballast, adjusted by tamping.

**Keywords:** railway, lateral resistance of railway track shift, crushed stone ballast, defects in ballast, tamping, stoneblowing.

## 1. Introduction

In our experiments influence of tamping and stoneblowing methods on overall ballast contamination was investigated. The experimental setup included a universal testing machine EUS-40, Leipzig (frequency 5 – 25 Hz, maximum load 400 kN), box (300 mm × 600 mm × 400 mm) and metallic stamp 240 mm × 250 mm). The experiments were conducted with a ballast sample 1 (Likhobory station).

Stoneblowing procedure and further ballast settlement was modeled in the following way: sample underwent dynamic loading from  $5 \cdot 10^5$  to  $1 \cdot 10^6$  cycles. After the load removal sample was sifted through standard sieves.

Tamping procedure comprises the adjustment of sleepers' level and subsequent ballast packing beneath the sleepers. Due to numerous shortcomings, including damage (Counter 2015), loosening and subsequent quick revert of ballast to a pre-maintenance state (Esveld 1989), application of this method leads to high costs of track maintenance. Pneumatic ballast injection, or stoneblowing, is an alternative technique, originally proposed in the UK (Anderson et al. 2002). It is reported to be more delicate technique that does not affect the existing well-compacted ballast and thus results in better track quality (Claisse 1992, McMichael 2003). Unfortunately, this method has not found a wide application up to date. In the present paper a comparative analysis of tamping and stoneblowing techniques is performed by means of 1g physical modelling of recovered ballast. In our experiments we focus on contamination and mechanical properties of the recovered ballast.

## 2. Ballast contamination source study

As a first step, we investigated the main source of ballast contamination, since it can vary considerably [Fig.1 a,b]. The process of ballast degradation is mainly

dictated by ballast contamination composition, thus, it is important to determine the nature of contaminants in ballast samples to develop correct physical model for further experiments.

For these purposes we collected two ballast samples from the railways with different operating and climate environments.

These samples were used in all further experiments. Sample 1 was collected at railway turnout № 47 of Likhobory station on 50<sup>th</sup> kilometer of Little Ring of Moscow Railways, which is used predominantly by passenger trains. Sample 2 was collected on Kovdor-Pinozero railroad section, where the main part of traffic is rail-freight. Cone quartering method (GOST P 54748-2011) was used to obtain representative samples with 8–10 kg weight for further petrographic study (GOST 25100–2011).

The results of petrographic study are presented in [Fig.1 c,d]. The main source of contamination for both

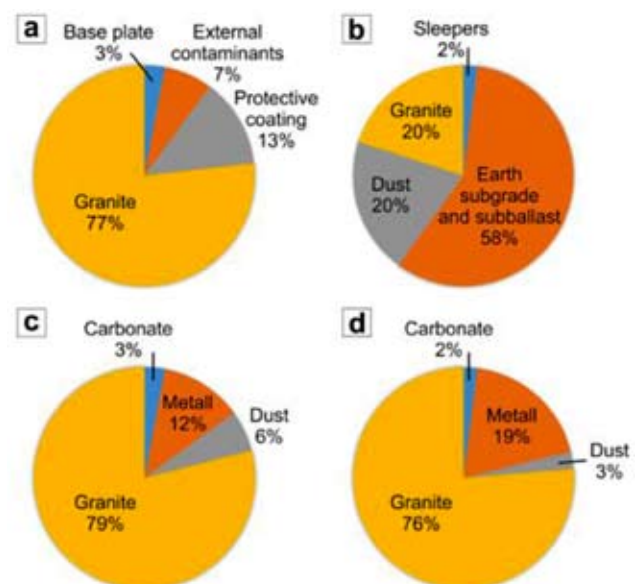


Figure 1. Petrographic studies of ballast from (a) UK railroads (adapted from Selig et al. 1996), (b) Australian railroads (adapted from Indraratna 2006), (c, d) Sample 1 and 2, respectively.

samples is granite, thus, the contamination is mainly caused by ballast degradation under high loads. The presence of metal in both samples may be explained by the fact, that the first sample was collected on the railway turnout, whereas the second sample was collected in the vicinity of iron ore mine. Comparison of the obtained petrographic study results with the reference data for British railways shows a strong resemblance between the two.

### 3. Influence of different surfacing techniques on contamination

In our further experiments influence of tamping and stoneblowing methods on overall ballast contamination was investigated.

The experimental setup included a universal testing machine EUS-40, Leipzig (frequency 5–25 Hz, maximum load 400 kN), box (300 mm × 600 mm × 400 mm) and metallic stamp 240 mm × 250 mm). The experiments were conducted with a ballast sample 1 (Likhobory station).

Tamping procedure and further ballast settlement was modelled in the following way: sample underwent dynamic loading for  $5 \cdot 10^5$  cycles (12 Hz frequency), then ballast was spilled out of the box and pressurized. After that it again underwent the same cyclic dynamic loading.

Stoneblowing procedure and further ballast settlement was modelled in the following way: sample underwent dynamic loading for  $10^6$  cycles.

After the load removal sample was sifted through standard sieves.

The size distributions for sample after loading in two different regimes are presented in Figure 2. The obtained results demonstrate, that in case of loading with repacking the mass fraction of contaminants is shifted to smaller sizes. Small particles of degraded ballast penetrate into space between large ballast stones and complicate further tamping procedures. The presence of smallest particles (< 0.16 mm) leads to water accumulation in ballast prism. We should also high-

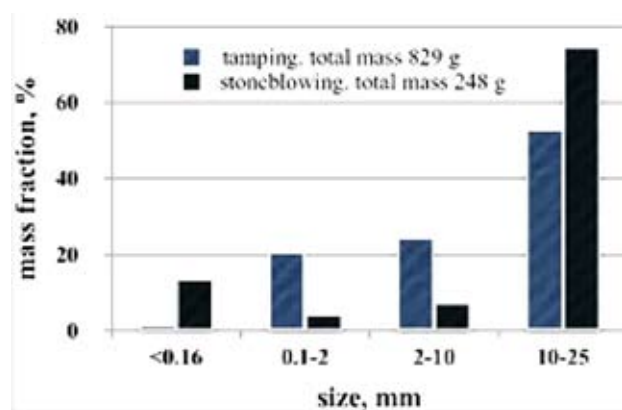


Figure 2. Comparison of size distributions of ballast particles after tamping and stoneblowing procedures.

light, that overall contaminant fraction is 2–10 times higher in case of tamping compared to stoneblowing. We may conclude, that if the rail track is recovered by the methods that involve repacking (e.g. tamping) the rail track is degrading faster due to higher extent of contamination by small granite particles.

### 4. Modelling transverse resistance of railway track panel, reinstated by different surfacing techniques

The experimental setup, used for these series of experiments was realized as a vertically fixed firm metallic frame above a box (40×30×150cm) filled with ballast gravel [Fig. 4]. The following ballast materials were used for the experiment:

- ballast gravel, collected at Likhobory station on 53rd kilometer of Little Ring of Moscow Railways around a railway frog (with 30% contaminant fraction) (“dirty”);
- commercially available small-sized gravel (5–10 mm) as a stoneblowing material.

The sleeper sample of type ShS-ARSH (fastened by P-65 rail, ARS-4 fastening type) with lateral dimensions 28×65 cm was placed on the ballast surface [Fig. 4].

For the vertical load modelling a hydraulic lifting-jack (max load 110 kN) was used, which pushed the frame and the rail apart, applying vertical pressure. For the horizontal shear load modelling a hydrocylinder (max load 50 kN) was used, which pushed a fixed stop and the rail apart, applying horizontal pressure [Fig. 3]. Both devices were equipped with pressure gauges, which measured pressure, applied to the sample. The pressure gauge, used for vertical load measurement was additionally calibrated with the help of the universal testing machine EUS-40.

Vibration of a rolling stock was simulated with an areal vibrator IV-99B, fixated on a sleeper sample. A frequency converter was used to reduce the vibration frequency to 12 Hz, required for the experiment.

Vertical loads of 0, 10, 30 and 50 kN were subsequently applied to each of the samples. The maximum applied load 50 kN was chosen to provide stress  $P_b = 0,320$  MPa under the stamp, which corresponds to the maximum axle load standard in Russian Federa-

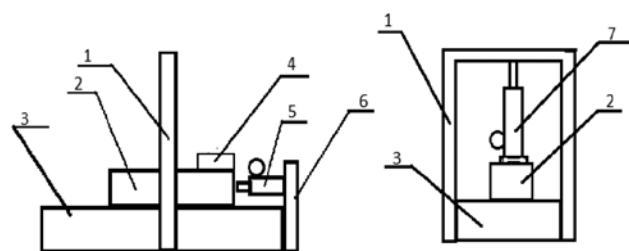


Figure 3. Schematic view of the experimental setup: 1 – frame; 2 – sleeper sample; 3 – box with ballast; 4 – areal vibrator; 5 – horizontal lifting jack with pressure sensor; 6 – fixed stop; 7 – vertical lifting jack with pressure sensor.



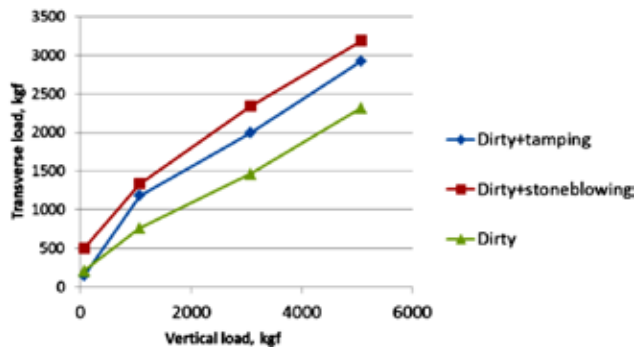


Figure 4. Dependency of transverse load from vertical load for different samples.

tion (SP 119.13330.2012 “SNIP 32-01-95. Railway and gauge tracks 1520 mm”).

Experiments were conducted with the ballast materials, listed above using different degree of packing. Ballast packing was performed by loading the sleeper sample with a vertical load of 49 kN at a constant frequency of 12 Hz with an amplitude of 1 mm. In total, 50 thousands cycles were applied during the packing procedure.

During the shear tests the load was measured at the sample sleeper displacement of 0,4 mm, the same shift value was exploited in the experiments of Bromberg 1966. Every measurement was repeated 5 times and the final results were averaged.

The stoneblowing technique was modelled in the following way: after reaching the required packing degree the sample sleeper was lifted 40 mm above the ballast. Gravel with fine grain size was introduced under the lifted sample sleeper using a pneumatic injector (Abrashitov 2014) and the resulting sample was packed with 50000 additional loading cycles.

The tamping technique was modelled in the following way: after reaching the required packing degree the sample sleeper was lifted 40 mm above the ballast and the tamping was performed by perforator in the chipping regime. The resulting sample was packed with 50000 additional loading cycles.

## Conclusions

The obtained results demonstrate that in case of loading with repacking the mass fraction of contaminants is shifted to smaller sizes. Small particles of degraded ballast penetrate into space between large ballast stones and complicate further tamping procedures. The presence of smallest particles (< 0.16 mm) leads to water accumulation in ballast prism. We should also highlight, that overall contaminant fraction is 2–10 times

higher in case of tamping compared to stoneblowing. We may conclude that if the rail track is recovered by the methods that involve repacking (e.g. tamping) the rail track is degrading faster due to higher extent of contamination by small granite particles. In current report we performed comparative analysis of stoneblowing and tamping techniques by 1-g physical modelling of recovered ballast. We focused on contamination levels and transverse resistance values and performed preliminary tests to develop correct physical models. The results of laboratory experiments clearly demonstrate that the ballast adjusted by stoneblowing possesses better mechanical characteristics in comparison to ballast adjusted by tamping. To fully prove the advances of stoneblowing technique we are currently launching experiments in real-world environment.

## Literature

- Abrashitov, A. 2014. Stoneblowing by crushed rock ballast railway maintenance Put' i putevoe hozjajstvo (Railtrack and facilities) Vol. 5, p. 11–14
- Abrashitov, A.A, Zaytsev A.A., Semak A.A., Shavrin L.A. 2016 The estimation of pollution sources at the ballast layer from the granite crush stone and modeling of the destruction and abrasion of the ballast particles under the dynamic pressure / Proceedings of the International Conference of the Projection, Construction and Maintenance of the Railway Track / Shakhunants Readings'XIII, Moscow, Russia, 31 March-01 April, P.184 – 187
- Anderson, et al. 2002. Experiences with the stoneblower on the UK Proceedings of the international conference railway engineering
- Bromberg, E. 1966. Stability of continuous welded rails – Moscow, Transport publisher
- Claisse, P. et al. 2003. Tests on a two-layered ballast system. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport Vol. 156, No. 2, p. 93–102.
- Counter, B. et al. 2015. Refurbishment of ballasted track systems; the technical challenges of quality and decision support tools //Construction and Building Materials. – 2015. – Vol. 92. – p. 51–57.
- Esveld, C. 1989. Track Geometry and Vehicle Reactions. Rail Engineering International Edition, Vol 4, p.13.
- Indraratna B. et al. 2006. Geotechnical properties of ballast and the role of geosynthetics in rail track stabilization Sydney Geotechnical Consulting Division, Rail Corp (NSW)
- McMichael, P., et al. 2003. The Stoneblower-Delivering the Promise: Development, Testing and Operation of a New Track Maintenance System. TRB Annual Meeting CD-ROM.
- Selig, E. T et al.1994. Track Geotechnology and Substructure Management. Thomas Telford Services Ltd., London.

## STONEBLOWING TECHNIQUE FOR THE IMPROVING OF THE RAILWAY TRACK MAINTENANCE

**Alexander Ah. Abrashitov, Andrey Al. Zaytsev,  
Gleb Nazarov**

*Russian University of Transport (MIIT). zempol@  
rambler.ru*

Short annotation in Russian: При приложении циклической нагрузке балласт постоянно неравномерно осаживается и, следовательно, требует периодических выправок. Общепринятый метод выправки железнодорожного пути в профиле – выправка подбивкой обладает многочисленными

недостатками, что приводит к высоким затратам на текущее содержание железнодорожного пути. Пневматический суфляж был предложен в качестве альтернативного метода выправки пути по уровню, с нанесением меньшего ущерба, по сравнению с выправкой подбивкой. К сожалению, применение этой перспективной технологии все еще ограничено. В данной работе основное внимание уделяется сравнительному изучению методов выправки подбивкой и пневматического суфляжа, Мы изучаем разницу в скорости накопления загрязнений и поперечном сопротивлении железнодорожного пути сдвигу при различных технологиях выправки. Проведенные лабораторные испытания показывают, что балласт, выправленный с помощью пневматического суфляжа, показывает лучшие механические характеристики по сравнению с балластом, выправленным с помощью подбивки.

# VILNIAUS TECHNOLOGIJŲ IR DIZAINO KOLEGIJOS MOKSLO ŽURNALO „TECHNOLOGIJOS IR MENAS. TYRIMAI IR AKTUALIJOS“ STRAIPSNŲ RENGIMO REIKALAVIMAI

## Bendroji informacija

Straipsniai moksliniame žurnale publikuojami lietuvių kalba, užsienio šalių autorių straipsniai – anglų kalba. Redakcinei kolegijai pateikiama spausdinta rankraščio kopija (pasirašyta autoriaus (-ių) ir elektroninė kopija, parengta MS Word redaktoriaus (-ių) ir elektroninė kopija pagal toliau nurodytus reikalavimus. Straipsnio tekstas maketuojamas viengubu (Single) intervalu 210 × 297 mm formato puslapiuose. Straipsnio apimtis – iki 10 puslapių. Atskirame lape ir elektroninėje kopijoje nurodomi trumpi duomenys apie autorių (ius): mokslo laipsnis, užimamos pareigos, mokslinių interesų (taikomųjų tyrimų) kryptys, darbovietė ir jos adresas, telefonas (darbo arba namų), el. paštas.

## Straipsnio struktūra

Straipsnyje turi būti nurodytas straipsnio pavadinimas, autoriaus (-ių) vardas ir pavardė, darbovietės ar organizacijos pavadinimas ir adresas, anotacija lietuvių kalba; pagrindinės sąvokos, įvadas (nurodoma tyrimų objektas ir tikslas, uždaviniai, taikomi metodai, problema, temos aktualumas, pateikiama literatūros apžvalga ir analizė ir kt.), temos dėstymas, rezultatai ir jų apibendrinimas, išvados, literatūros sąrašas. Straipsnio pabaigoje pateikiama anotacija užsienio kalba (ne mažiau kaip 1500 spaudos ženklų neskaičiuojant tarpų).

## Rankraščio maketas

1. **Straipsnis** turi būti parašytas teksto redaktoriaus (-ių) MS Word Windows, Times New Roman šriftu, 12 pt (1,0 eilutės eilėtarpiu). Puslapio formatas – A4 (210 × 297 cm), vertikalus. Paraštės: kairioji – 30 mm, dešinioji – 10 mm, viršutinė – 20 mm, apatinė – 20 mm.

2. **Straipsnio pavadinimas** rašomas 14 pt pastorintu šriftu (**Bold**), didžiosiomis raidėmis. Centruojama. Tarp pavadinimo ir autoriaus pavardės – 1 eilutės intervalas.

3. **Autoriaus (-ių) vardas (-ai) ir pavardė (-s)** rašomi 12 pt pastorintu šriftu (**Bold**) mažosiomis raidėmis. Centruojama.

4. **Autoriaus (-ių) darbovietės ar organizacijos pavadinimas** ir adresas, autoriaus (ių) el. pašto adresas rašomas 10 pt kursyvu mažosiomis raidėmis. Centruojama. Tarp autoriaus pavardės ir darbovietės pavadinimo – 1 eilutės intervalas.

5. Trumpa **straipsnio anotacija** renkama 10 pt šriftu (*Normal*), lygiavimas abipusis.

6. **Pagrindinės sąvokos** pateikiamos 12 pt šriftu;

7. **Straipsnio tekstas** rašomas 12 pt šriftu, lygiavimas abipusis.

8. **Pagrindinis tekstas** skirstomas į skyrius ir poskyrius. Skyrių pavadinimai rašomi 12 pt pastorintu šriftu (**Bold**) mažosiomis raidėmis lygiuojant pagal kairę paraštę, poskyrių pavadinimai tokia pat tvarka, kaip ir skyrių pavadinimai, – 12 pt šrifto dydžiu.

9. **Pastraipos stilius**: pirmos eilutės įtrauka – 1,25 cm, tarpas po pastraipos – 3 pt. Pastraipoms nustatoma abipusė lygiuotė, tekstas sulygiuojamas ir pagal dešiniąją, ir pagal kairiąją paraštes.

10. **Formulės, lentelės, paveikslai**.

Formulės rašomos standartiniu Word formulių redaktoriaus, pagrindinių kintamųjų šrifto dydis – 10 pt (kintamieji ir jų indeksai, išskyrus skaitmenis, pasvirusiu šriftu).

Lentelės maketuojamos kartu su tekstu, lygiavimas abipusis. Lentelių numeriai ir pavadinimai rašomi virš lentelių 12 pt kursyvu tęstine tvarka visame tekste. Lentelės turinys lygiuojamas pagal kairę paraštę ir rašomas 10 pt šriftu, pvz.:

1 lentelė. Pavadinimas

AAAAA	BBBBBBB	AB	CCCC

Iliustracijos, paveikslai, diagramos ir pan. maketuojami ir kompuonuojami pačiame tekste, taip pat pateikiami atskiruose failuose. Paveikslukai, nuotraukos – tif arba jpg formatu. Skiriamoji raiška ne mažiau nei

300 DPI, tonai, nespaltvoti (greyscale). Grafikai, brėžiniai, schemas – eps, wmf, emf formatu (galima Excel ar CorelDraw). Pavadinimai rašomi po iliustracija 12 pt pastorintu šriftu centruotai tęstine tvarka visame tekste (1 pav., 2 pav.). Po iliustracijos numerio 12 pt pastorintu šriftu (**Bold**) centruotai rašomas pavadinimas.

## 11. Literatūra

**Citavimas.** Cituojant literatūros šaltinį nuoroda pateikiama į numeruotą bibliografinių nuorodų sąrašą straipsnio gale. Nuoroda rašoma laužtiniuose skliaustuose, pavyzdžiui, [2].

**Literatūros sąrašas** sudaromas abėcėlės tvarka, numeruojama arabiškais skaitmenimis. Pirmiausia išvardijami leidiniai lotyniškais rašmenimis, po to slavų rašmenimis.

## Literatūros sąrašo pateikimas:

### Knygos:

Vieno autoriaus knyga.

Autoriaus pavardė, Pirmo vardo raidė. *Leidinio pavadinimas*. Laida (jei reikia). Leidimo vieta: leidykla, metai. Standartinis numeris.

Vaitkevičiūtė, V. *Tarptautinių žodžių žodynas*. Vilnius: Žodynas, 2002. ISBN 9986-456-62-1.

Dviejų autorių knyga. Kai autoriai keli, jų pavardės atskiriamos kabliataškiu.

Autoriaus pavardė, Pirmo vardo raidė; Autoriaus pavardė, Pirmo vardo raidė. *Leidinio pavadinimas*. Laida (jei reikia). Leidimo vieta: leidykla, metai. Standartinis numeris.

Zohar, D; Marshall, I. *Dvasinis kapitalas*. Vilnius: Tyto alba, 2006. ISBN 9986-16-527-X.

Trijų autorių knyga.

Autoriaus pavardė, Pirmo vardo raidė; Autoriaus pavardė, Pirmo vardo raidė; Autoriaus pavardė, Pirmo vardo raidė. *Leidinio pavadinimas*. Laida (jei reikia). Leidimo vieta: leidykla, metai. Standartinis numeris.

Kunevičienė, A.; Pečkuvienė, L.; Žilinskienė, V. *Specialybės kalbos kultūra*. Vilnius: Lietuvos teisės universitetas, 2003. ISBN 9955-563-43-5.

Keturių autorių knyga.

Pirmo autoriaus pavardė, Pirmo vardo raidė; santrumpa *et al.* *Leidinio pavadinimas*. Laida (jei reikia). Leidimo vieta: leidykla, metai. Standartinis numeris.

Ginevičius, R.; *et al.* *XXI amžiaus iššūkiai: organizacijų ir visuomenės pokyčiai*. Vilnius: Technika, 2006. ISBN 9955-057-3.

Knyga be autoriaus.

*Leidinio pavadinimas*. Laida (jei reikia). Leidimo vieta: leidykla, metai. Standartinis numeris.

*Kanceliarinės kalbos patarimai*. Parengė P. Kniūkšta. 4-asis leidimas. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 2000. ISBN 5-420-01238-3.

### Straipsniai, publikuoti knygoje ir daugiatomiuose leidiniuose.

Straipsnio autoriaus pavardė, Pirmo vardo raidė. Straipsnio pavadinimas. In: *Leidinio pavadinimas*. Laida. Leidimo vieta: leidykla, metai, vieta leidinyje (puslapijai).

Sabaliauskas, A. Graikų kalba. In: *Lietuvių kalbos enciklopedija*. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas, 1999, p. 222–223.

### Straipsniai, publikuoti serijiniuose leidiniuose.

Straipsnio autoriaus pavardė, Pirmo vardo raidė. Straipsnio pavadinimas. *Leidinio pavadinimas*. metai, vieta leidinyje (puslapijai).

Mauzienė, L. Leksikos mokymo metodikos aktualijos. *Filologija*, 2005, Nr. 13, p. 60–65.

### Elektroniniai dokumentai.

Autoriaus pavardė, Pirmo vardo raidė. *Pavadinimas* [laikmenos rūšis]. Laida. Leidimo vieta: leidykla, išleidimo data [nuorodos sudarymo data]. Priega. Standartinis numeris.

Europass Lietuvoje [interaktyvus]. Vilnius: ES Leonardo da Vinčio programos koordinavimo centras [Žiūrėta 2007m. gruodžio 4d.]. Priega per internetą < <http://www.europass.lt>.

Lietuva iki Mindaugo [CD-ROM]. Vilnius: Elektroninės leidybos namai, 2001. ISBN 9986-9216-5-1.

# REQUIREMENTS FOR PREPARATION OF ARTICLES FOR THE SCIENTIFIC MAGAZINE “TECHNOLOGY AND ART. RESEARCH AND TOPICALITIES“ OF VILNIUS COLLEGE OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

## General information

Articles in this magazine are published in Lithuanian, whereas articles of foreign authors – in English. The editorial staff is provided with a printed copy of the work (undersigned by the author (s) and electronic copy prepared by MS Word in Times New Roman under the further indicated requirements. The text of the article is spaced by single (*Single*) interval in 210 × 297 mm format pages. Volume of the article – up to 10 pages. The following short author details are indicated on a separate sheet and in the electronic copy: degree, current position, course of scientific interests (applied researches), working place and its address, telephone number (work or home), e-mail.

## Structure of the article

The article must include title, name (s) and surname (s) of the author (s), name and address of working place or organization, annotation in Lithuanian; keywords, introduction (indicates object and aim of the researches, tasks, applied methods, problem, topicality of the theme, provides literature review and analysis, and etc.), laying out of the theme, results and their summary, conclusion, list of literature. The end of the article provides annotation in foreign language (not less than 1500 characters without spaces).

## Formatting of the text

1. **The article** has to be written using text editor MS Word Windows, in Times New Roman 12 pt (line spacing – 1.0). Page format – A4 (210x297 cm), vertical. Margins: left – 30 mm, right – 10 mm, top – 20 mm, bottom – 20 mm.

2. **Title of the article** is written in bold (*Bold*) 14 pt, caps lock. Central alignment. Space between title and name of the author – 1 line.

3. **Name (s) and surname (s) of the author (s)** is/are written in small bold (*Bold*) letters. Central alignment.

4. **Name and address of working place or organization of the author (s)**, e-mail address of the author (s) is written in italics, 10 pt small letters. Central alignment. Space between name of the author and name of working place – 1 line.

5. Short **annotation of the article** is typed in 10 pt (*Normal*). Justified alignment.

6. **Keywords** are provided in 12 pt.

7. **Text of the article** is written in 12 pt, justified alignment.

8. **Body of the article** is divided into sections and subsections. Titles of the sections are written in bold (*Bold*) 12 pt small letters, left alignment; titles of subsections are written in the same order as titles of sections – in 12 pt.

9. **Style of a paragraph**: first line indented at 1.25 cm, spacing after paragraph – 3pt. Justified alignment is selected to paragraphs, text is aligned under both right and left margins.

10. **Formulas, tables and pictures.**

Formulas are written using standard editor of formulas in Word, font size of the main variables – 10 pt (variables and their indexes, except numbers, are in italic).

Tables are formatted together with the text, justified alignment. Numbers and titles of tables are written above tables in italic 12 pt in serial order through all the text. Content of the table is aligned under left margin and written in 10 pt, for example:

Table 1. Title

AAAAA	BBBBBBB	AB	CCCC

Illustrations, pictures, diagrams, and etc. are edited and composed in the text, also they are placed in the separate files. Pictures and photos are placed in tif or jpg format. The distinctive expression is no less than 300 DPI, greyscale tones. Graphs, drawings, scheme – eps, wmf, emf format (possible Excel or CorelDraw). The titles are in bold illustration 12 pt, bold

centered, in continuous order in all the text (1 ex., 2 ex.). The title is written after the illustration number in 12 pt bold centered.

## 11. Literature

**Quoting.** While quoting the source of literature is indicated in a numbered list of bibliographic references at the end of the article. Reference is written in angle brackets, for example, [2].

**List of literature** is made in alphabetical order numbered in Arabic numerals. At first, the publications are listed in Latin characters, and then – Slavic.

### Presenting of literature list:

#### Books:

Book of one author.

Surname of the author, First letter of the name. *Title of the publication.* Edition (if required). Place of edition: publishing house, year. Standard number.

Vaitkevičiūtė, V. *Tarptautinių žodžių žodynas.* Vilnius: dictionary, 2002. ISBN 9986-456-62-1.

Book of two authors. If there are a few authors, their surnames are separated by a semicolon.

Surname of the author, First letter of the name; Surname of the author, First letter of the name. *Title of the publication.* Edition (if required). Place of edition: publishing house, year. Standard number.

Zohar, D.; Marshall, I. *Dvasinis kapitalas.* Vilnius: Tyto alba, 2006. ISBN 9986-16-527-X.

Book of three authors.

Surname of the author, First letter of the name; Surname of the author, First letter of the name; Surname of the author, First letter of the name. *Title of the publication.* Edition (if required). Place of edition: publishing house, year. Standard number.

Kunevičienė, A.; Pečkuvienė, L.; Žilinskienė, V. *Specialybės kalbos kultūra.* Vilnius: Lithuanian Law University, 2003. ISBN 9955-563-43-5.

Book of four authors.

Surname of the first author, First letter of the name; the abbreviation et al. *Title of the publication.* Edition (if required). Place of edition: publishing house, year. Standard number.

Ginevičius, R.; et al. *XXI amžiaus iššūkiai: organizacijų ir visuomenės pokyčiai.* Vilnius: Technique, 2006. ISBN 9955-057-3.

A book without an author.

Title of the publication. Edition (if required). Place of edition: publishing house, year. Standard number.

*Kanceliarinės kalbos patarimai.* Prepared by P. Kniūkšta. 4<sup>th</sup> edition. Vilnius: Institute of Science and Publishing of Encyclopedias, 2000. ISBN 5-420-01238-3.

#### Articles published in books and voluminous editions.

Surname of the article author, First letter of the name. Title of the article. *Title of the publication.* Edition. Place of edition: publishing house, year, place in the publication (pages).

Sabalaiškas, A. Graikų kalba. *Lietuvių kalbos enciklopedija.* Vilnius: Institute of Science and Publishing of Encyclopedias, 1999, p. 222-223.

#### Articles published in serial publications.

Surname of the article author, First letter of the name. Title of the article. *Title of the publication.* Year, place in the publication (pages).

Mauzienė, L. Leksikos mokymo metodikos aktualijos. *Filologija*, 2005, No. 13, p. 60-65.

#### Electronics documents.

Surname of the author, First letter of the name. Title [type of media]. Edition. Place of edition: publishing house, date of publishing [date of making the link]. Access. Standard number.

Europass in Lithuania [interactive]. Vilnius: ES Leonardo da Vinčio programos koordinavimo centras [viewed on December 4, 2007]. Access via Internet < <http://www.europass.lt>.

Lietuva iki Mindaugo [CD-ROM]. Vilnius: Electronic Publishing House, 2001. ISBN 9986-9216-5-1.



---

**TECHNOLOGIJOS IR MENAS**  
**TECHNOLOGY AND ART**

2017/8

Sudarytojas/ Compiler **Andrius GULBINAS**  
Kalbos redaktorės/ Language Editor **Jolita GRAŠIENĖ,**  
**Rima MARCINKEVIČIENĖ**  
Konsultantė /Consultant **Inga KRAKELIENĖ**

ISSN 2029-400X

2017-11-08. 60×90/8. 14,75 sąlyg. sp. l. Tiražas 100 egz.  
Spausdino UAB „Baltijos kopija“ Kareivių g. 13B, Vilnius

**Redakcijos adresas**

**Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija**

Antakalnio g. 54; LT-10303 Vilnius, Lietuva  
Tel. (8 5) 234 1524; Faksas (8 5) 234 3769; El.p. [info@vtdko.lt](mailto:info@vtdko.lt)

**Address of the publisher**

**Vilnius College of Technologies and Design**

Antakalnio g. 54; LT-10303 Vilnius, Lithuania  
Phone: +370 5 234 1524; Fax: +370 5 234 3769;  
E-mail [info@vtdko.lt](mailto:info@vtdko.lt)