

ISSN 2029-9303



KAUNO TECHNIKOS KOLEGIJA
KAUNAS UNIVERSITY OF APPLIED ENGINEERING SCIENCES

INŽINERINĖS IR EDUKACINĖS TECHNOLOGIJOS

Mokslinių straipsnių žurnalas

ENGINEERING AND EDUCATIONAL TECHNOLOGIES

Scientific journal

Kaunas, 2019

Vyriausioji redaktorė

Doc. Dr. Marija Jotautienė

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

Socialiniai mokslai/
Social Sciences

Vykdančioji redaktorė

Doc. Dr. Giedrė Adomavičienė

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

Socialiniai mokslai/
Social Sciences

Mokslinė sekretorė

Doc. Dr. Esmeralda Štyps

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

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Redaktorių kolegija/Editorial Board:

Prof. Habil. Dr. Algirdas Vaclovas Valiulis

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

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Prof. Dr. Elmar Heinemann

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

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Prof. Habil. Dr. Gál József

Szegedo universitetas/ University of Szeged, Hungary (HUN)

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Mgr. Dominika Trębacz

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

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Doc. Dr. Ernestas Ivanauskas

Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University Of Technology (LT)

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Doc. Dr. Gediminas Pupinis

Aleksandro Stulginskio universitetas/ Aleksandras Stulginskis University (LT)

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Doc. Dr. Marius Saunoris

Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University Of Technology (LT)

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Doc. Dr. Šarūnas Kilius

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

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Doc. Dr. Vytenis Naginevičius

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

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Dr. Kastytis Laurinaitis

Stulginskio universitetas/ Aleksandras Stulginskis University (LT)

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Dr. Rolandas Samajauskas

ĮĮ „Pastatų sertifikavimo biuras“/ IE „Building Sertification Office“ (LT)

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

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

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

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

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

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

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

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

© Kauno technikos kolegija, 2019
ISSN 2029-9303

REDAKTORIAUS ŽODIS

Gerbiamiems skaitytojams pristatome mokslinio žurnalo „Inžinerinės ir edukacinės technologijos“ 2019 metų antrąjį numerį. Žurnale publikuojami 22 moksliniai straipsniai.

Straipsnius parengė įvairių Lietuvos kolegijų bei universitetų mokslininkai, tyrėjai ar jų grupės. Džiugu, kad tyrėjų grupėse dalyvauja ir socialiniai partneriai, nes tik kuriant bendradarbiavimo tinklus galima kur kas efektyviau spręsti inžinerines bei edukacines problemas, išvelgti naujas problemų sprendimo būdų galimybes. Siekiant mokslinės veiklos populiarinimo bei platesnio tarptautinių tyrėjų įtraukimo į mokslo taikomąją veiklą, žurnale publikuojami trys straipsniai anglų kalba. Tai bendrai atliktų inžinerinės krypties tarptautinių tyrimų sklaidos rezultatai.

Žurnale publikuojami statybos, elektros, aeronautikos, mechanikos, transporto inžinerijos krypties ir socialinių mokslų tyrimų rezultatai.

Taigi šis mokslinis žurnalas yra puiki galimybė dėstytojams, studentams, tyrėjams viešinti savo atliktų mokslinių taikomųjų tyrimų rezultatus, rasti bendradarbiavimo taškų su kitomis tyrėjų grupėmis.

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

Su pagarba,

vyriausioji redaktorė



soc. m. dr. Marija Jotautienė

TURINYS

POTYRIŲ VIETŲVIŲ KRAŠTOVAIZDIS: APŽVALGOS BOKŠTAI.....	8
Jurga Kučinskienė Klaipėdos valstybinė kolegija	
SOME ASPECTS IN REMOTE SENSING AND GIS EDUCATION AT THE DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL AND CONSTRUCTION ENGINEERING OF THE KVK.....	16
Lina Kuklienė, Dainora Jankauskienė, Indrius Kuklys, Birutė Ruzgienė Klaipėda State University of Applied Sciences	
APLINKAI DRAUGIŠKŲ STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ IŠ ATSINAUJINANČIŲ ŽALIAVŲ PANAUDOJIMO GALIMYBĖS	23
Dainius Ramukevičius, Vincas Gurskis, Raimondas Šadzevičius Kauno technikos kolegija	
RASEINIŲ RAJONO APLEISTŲ HIDROMAZGŲ GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ PAGRINDINIAI DEFEKTAI IR PAŽAIIDOS	29
Raimondas Šadzevičius ¹ , Dainius Ramukevičius ¹ , Ona Blankienė ² Vytauto Didžiojo universitetas ¹ , Kauno technikos kolegija ²	
DATA TRANSMISSION SYSTEM IN POWER DISTRIBUTION GRID	35
Paulius Tervydis ^{1,2} , Rūta Jankūnienė ¹ ¹ Kaunas University of Applied Engineering Sciences, ² Kaunas University of Technology	
THE PERFORMANCE CONTROL IN POWER DISTRIBUTION GRID	45
Paulius Tervydis ^{1,2} , Rūta Jankūnienė ¹ , Almantas Bandza ² ¹ Kaunas University of Applied Engineering Sciences, ² Kaunas University of Technology	
COMBUSTION CHAMBERS WITH CATALYTIC CONVERTERS TO REDUCE POLLUTANT EMISSIONS FROM AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINES.....	56
Vladimirs Gudakovskis, Vytenis Naginevičius, Viktors Gutakovskis, Esmeralda Štys Kaunas University of Applied Engineering Sciences	
JUDESIO PERDAVIMO ELEMENTŲ TAIKYMAS TIKSLAUS POZICIONAVIMO MECHANIZMUOSE	63
Audrius Čereška Vilniaus Gedimino technikos universitetas	
LIEJAMŲ TERMOPLASTINIŲ DETALIŲ SUSITRAUKIMO TYRIMAS	71
Algis Bilis, Vadim Mokšin Vilniaus Gedimino technikos universitetas	
VARŽTINIO JUNGINIO SU SPECIALIOS KONSTRUKCIJOS VERŽLE ANALIZĖ	75
Audrius Čereška ^{1,2} , Jelena Selivonec ^{1,2} ¹ Vilniaus Gedimino technikos universitetas, ² Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija	
SIJOS ĮLINKIŲ NUSTATYMAS INTEGRAVIMO IR MORO METODAIS	81
Jurijus Tretjakovas ^{1,2} , Audrius Čereška ^{1,2} ¹ Vilniaus Gedimino technikos universitetas, ² Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija	
AUTOMOBILIO ORO PAGALVIŲ NESUVEIKIMO ATVEJŲ APŽVALGA.....	87
Tomas Pasaulis, Robertas Pečeliūnas Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto inžinerijos fakultetas, Automobilių inžinerijos katedra	

AUTOMATINĖ VIRPESIŲ SLOPINIMO SISTEMA.....	92
Vytenis Naginevičius, Skirmantas Adomavičius, Paulius Plečkaitis	
Kauno technikos kolegija	
VARIKLIO VIRPESIŲ SLOPINTUVAS.....	97
Vytenis Naginevičius, Skirmantas Adomavičius, Paulius Plečkaitis	
Kauno technikos kolegija	
IŠKROVŲ ĮTAKA AUTOMOBILINIŲ STARTERINIŲ BATERIJŲ SAVYBĖMS.....	102
Darius Juodvalkis, Andrius Dargužis	
Kauno technikos kolegija	
CHOLESTERINIŲ SKYSTUJŲ KRISTALŲ, NAUDOJAMŲ KAIP INDUSTRINĖS ALYVOS PRIEDAI, TRIBOLOGINIO EFEKTYVUMO TYRIMAS	107
Yurij Buldakov, Vadim Mokšin	
Vilniaus Gedimino technikos universitetas	
VANDENILIO TAIKYMAS VIDAUS DEGIMO VARIKLYJE	111
Dalius Kalisinskas	
Kauno technikos kolegija	
PRIEDŲ ĮTAKA VARIKLINĖS ALYVOS TRIBOLOGINĖMS SAVYBĖMS	118
Tomas Mickevičius, Artūras Kupčinskas	
Kauno technikos kolegija	
INTELIGENCIJŲ TIPAI INŽINERINĖSE STUDIJOSE	124
Dovilė Martišienė ¹ , Rasa Muleravičienė ²	
Kauno technikos kolegija ^{1,2} , Kauno kolegija ²	
MATEMATINIO SAMPROTAVIMO SVARBA MOKANT(IS) MATEMATIKĄ BENDROJO LAVINIMO MOKYKLOJE IR KOLEGIJOJE	129
Antanas Augaitis	
Kauno technikos kolegija	
DARBO UŽMOKESČIO NELYGYBĖS PRIVAČIAME SEKTORIJE LYTIES ATŽVILGIU ASPEKTAI	135
Ineta Zykienė, Akvilė Celiešiūtė	
Kauno technologijos universitetas	
SOCIALINIŲ TINKLŲ POPULIARUMO ASPEKTAI	141
Vita Krivickienė ¹ , Radvilė Alijauskaitė ²	
Kauno technikos kolegija ¹ , Kauno technologijos universitetas ²	

POTYRIŲ VIETŲVIŲ KRAŠTOVAIZDIS: APŽVALGOS BOKŠTAI

Jurga Kučinskienė
Klaipėdos valstybinė kolegija

Anotacija

Apžvalgos bokštai tampa nūdienos traukos objektai, pritraukiantys ne tik galimybe pamatyti kraštovaizdį iš viršaus, aprėpti visą panoramą, bet ir tapę meninių bei technologinių idėjų įgyvendinimo pavyzdžiais. Apžvalgos bokštų įvairiapusis pritaikymas labiausiai matomas saugomose teritorijose – tiek Lietuvoje, tiek ir užsienyje. Jie naudojami daugialypiems potyriams patirti, įtraukiant mūsų sensorinius pojūčius, suteikiant edukacinę prasmę, patenkinant patyriminius, pažintinius poreikius.

Reikšminiai žodžiai: apžvalgos bokštai, idėja, kraštovaizdis.

Įvadas

Potyrių vietovės yra labai įvairios ir jų siūlomi produktai skirti malonumui, dažniausiai susiję su laisvalaikio paslaugomis. Potyrių vietovių Lietuvoje daugėja – viešosiose erdvėse, edukacinėse erdvėse ar kitose vietovėse. Formuojant potyrių vietovę svarbu ne tik užpildyti teritoriją įrenginiais, bet ir suformuoti tokią aplinką, kuri tenkintų visus žmogaus sensorinius pojūčius ir per juos gautų siekiamus potyrius (Kučinskienė, Baravykaitė, 2012). Neretai kraštovaizdžio ypatumus – slėnius, atodangas, ar upių vingius – galima suvokti tik pažvelgus į juos iš viršaus. Miesto kraštovaizdį stebime iš televizijos bokštų, bažnyčios bokšto ar aukščiausio pastato mieste. Apžvalgos vietos gali būti įrengtos ant atodangos briaunos ar piliakalnio, o jeigu tokių nėra arba reikia pasilypėti dar aukščiau, statomi apžvalgos bokštai. Keliaudamas žmogus visuose lankomuose objektuose ieško vietų, iš kur galėtų apžvelgti panoraminį vaizdą, pažvelgti iš viršaus. Rekreacinių vietų kraštovaizdis formuojamas, kad būtų įrengtos regyklos – specialiai vertingų panoramų ar išskirtinių kraštovaizdžių, gamtos ir kultūros paveldo objektų stebėjimui įrengtos vietos (*apžvalgos aikštelė, apžvalgos bokštas, turistinės trasos ar pažintinio tako vieta*) (1 pav.) (Kavaliauskas, 2011). Lankomasi piliakalniuose, lipama į bažnyčių bokštus, siekiant apsižvalgyti, pamatyti iš viršaus, suvokti pasaulį ir save jame. Bėgant laikui keičiasi poreikiai ir siekiami potyriai. Žmogui nebeužtenka tik regimųjų potyrių, nors regėjimu mes suvokiame 80 proc. aplinkos. Kitiems pojūčiams teikiame pirmenybę tuomet, kai negalime gerai matyti. Svarbu ir kvapas, kuris gali sukelti emocijas, padėti prisiminti, padėti atsipalaiduoti, ar paprasčiausiai sukelti pasibjaurėjimą bei prisilietimas. Mes naudojame visus savo sensorinius pojūčius. Kaip šis pojūčių aparatas bus panaudotas, priklauso nuo smegenų veiklos. Žmogus pastebi toli gražu ne visą aplinkos informaciją. Smegenys turi nuostabią savybę neapsunkinti savęs tuo, kas nebūtina. Nereikalinga žmogui informacija „atsisijojama“ ir jis pastebi tik tai, kas atkreipia jo dėmesį. O dėmesį patraukia tai, kas siejasi su jo poreikiais, arba tai, kas yra netikėta ir išsiskiria iš aplinkos (Urbanskienė, 2000).

Apžvalgos bokštai – vienos labiausiai išpopuliarėjusių lankytinų potyrių vietovių Lietuvoje. Lietuvos saugomose teritorijose kyla vienas už kitą išpūdingesni apžvalgos bokštai, jau spėję virsti turistų traukos centrais. Žmonės mielai juos lanko ir fotografuoja ne tik nuo bokštų atsiveriančius vaizdus, bet ir pačius bokštus. Žmonės vyksta pažvelgti iš aukščiau į Lietuvos, ar kitos šalies, kraštovaizdį, kuris atrodo kitoks, neįprastas, nei nuo žemės. Žmogus patiria daug emocijų per trumpą laiką – atveria galimybes pasigėrėti akimis, lipimas į bokštą sukelia kitus pojūčius (didesnis ar mažesnis kiekis adrenalino), lankymui nereikia daug laiko ir galima užsukti tiesiog važiuojant pakeliui, tai yra pramoga visai šeimai. Apžvalgos bokštai traukia dar ir dėl to, kad dalis jų yra išskirtinės konstrukcijos ir architektūros, tarsi skulptūros tapusios kraštovaizdžio dalimi.

Tyrimo objektas – apžvalgos bokštai.

Tyrimo tikslas – įvertinti apžvalgos bokštų paskirtį, panaudojimą ir galimybes.

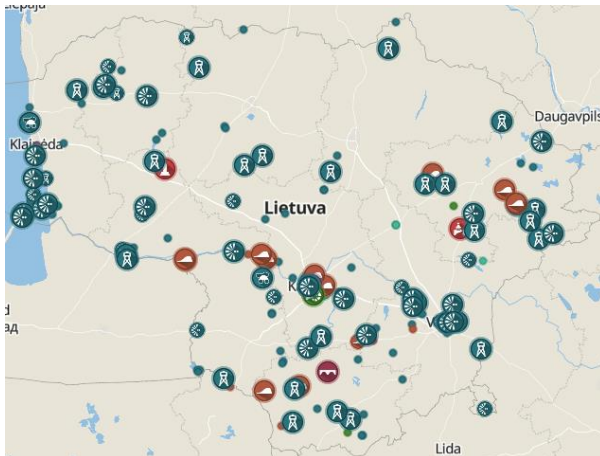
Tyrimų metodika. Atliekant tyrimą taikyta keletas metodų: literatūros apžvalga, siekiant išskirti svarbiausias apžvalgos bokštų funkcijas, bei palyginamoji analizė su užsienio šalių pavyzdžiais, siekiant įvertinti galimų idėjų įvairovę ir jų pritaikymo galimybes Lietuvoje. Atlikus analizę, surinkti duomenys buvo susisteminti ir apibendrinti šiame straipsnyje.

Tyrimų rezultatai

Lietuvos kraštovaizdžio apžvalgos bokštai, tai tam tikro aukščio geležies ir medžio konstrukcijos su jų viršuje esančiomis apžvalgos platformomis, skirtos pasižvalgyti į apaugusį miškais ir tyvuliuojančiais ežerais Lietuvos atskirų regionų kraštovaizdį.

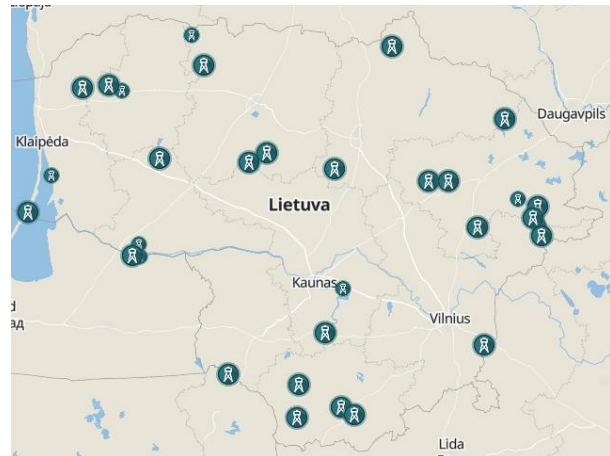
Jau nuo senų senovės žmogus savyje turi poreikį matyti „savo“ teritoriją. Stebėdamas, grožėdamasis kraštovaizdžiu žmogus mėgsta apžvelgti panoramą – daugiaplanį urbanizuotą ir (ar) gamtinės aplinkos vaizdą matomą iš tam tikro apžvalgos taško (Kavaliauskas, 2011). Visose vietovėse ir Lietuvoje, ir pasaulyje norima

pažiūrėti iš viršaus – nuo aukščiausios vietos, iš bokšto, nuo kalno ir kt (1 pav.). Nuo 2010 iki 2019 metų Valstybinės saugomų teritorijų tarnybos pastangomis, panaudojant ES struktūrinių fondų lėšas, gražiausiuose Lietuvos vietovėse pastatyta 30 kraštovaizdžio apžvalgos bokštų (2 pav.) bei medžių lajų takas. Įprastai apžvalgos bokštais vadinami 15 m ir aukštesni statiniai, nuo kurių galima apžvelgti teritoriją. Žemesnės konstrukcijos laikomos platformomis ir vadinamos bokšteliais. Visi jie yra neatsiejama nacionalinių ir regioninių parkų, rezervatų vertybių pažinimo ir suvokimo dalis. Tai galimybė atgręžti žmogų į gamtą, leisti suvokti jos išsaugojimo būtinybę. Apžvalgos bokštų paskirtis – sudaryti sąlygas žmogui pamatyti supančią aplinką, supažindinti su šia aplinka ir leisti suvokti, ką ir kodėl mes turime tausoti bei saugoti.



1 pav. Apžvalgos vietų išsidėstymas Lietuvoje (apžvalgos bokštai, apžvalgos aikštelės, piliakalniai ir kt.)

Šaltinis: *Apžvalgos vietos (2019). Prieiga per internetą:* <<https://pamatyklietuvoje.lt/zemelapis?q=Ap%C5%BEvalgos%20vietos&xmax=29.2637&xmin=20.0343&ymax=57.0342&ymin=53.0200>>



2 pav. Apžvalgos bokštų išsidėstymas Lietuvoje
Šaltinis: *Apžvalgos bokštai (2019). Prieiga per internetą:* <

<https://pamatyklietuvoje.lt/zemelapis?q=Ap%C5%BEvalgos%20bok%C5%A1tai&xmax=29.2733&xmin=20.0438&ymax=56.8411&ymin=52.8066>>

Ne tik Lietuvoje, bet ir visame pasaulyje šie objektai kuriami saugomose teritorijose – nacionaliniuose parkuose, regioniniuose parkuose. Tačiau keičiasi apžvalgos bokštų paskirtis – senovėje apžvalgos bokštas buvo reikalingas norint pamatyti priešą iš anksto, dabar funkcijų daugėja – jie tampa ne tik vieta, kurioje gali apžvelgti visą teritoriją ir susipažinti, ką matai skaitydamas aprašymus, bet ir vieta, kurią turime įveikti užlipdami, kelyje aptikdami žaismingas kliūtis, poilsio aikšteles, nusileidimo čiuožyklas. Atsiranda daugiau pramogų – ir pasyvių, ir aktyvių. Stengiamasi, kad apžvalgos bokštai būtų pasiekiami ir negalią turintiems žmonėms.

Idėjų įvairovė

Lietuvoje naujoviški apžvalgos bokštai pradėti įrenginėti saugomose teritorijose. Iš pradžių buvo statomi paprasčiausi, tik savo pagrindinę funkciją atliekantys iki 15 m aukščio apžvalgos bokštai, skirti sudaryti lankytojams palankias sąlygas susipažinti su saugomų teritorijų apylinkėmis. Per kelerius metus valstybės saugomose teritorijose iškilo ne vienas apžvalgos bokštas, kurio išvaizda labiau primena skulptūrą, o ne tiesiog apžvalgai skirtą konstrukciją. Nuspręsta, kad perteikti norimai idėjai nebeužtenka 15 m aukščio bokštų ir tikslinga, kad jie būtų skirtingi, nevienodi, atspindintys vietovę, ar visą Lietuvą. Tad jei skiriasi vietovės, tai gali skirtis ir bokštai, kurie turi padėti atskleisti vietovės specifiką, pabrėžti teritorijos savitumą, išskirtinumą (3 pav.).

Taip pradėjo kisti bokštų aukštis – iš pradžių 15 m, tuomet 30 m, o dabar jau ir 45 m. Vienas po kito pastaruoju metu kylantys apžvalgos bokštai vienas su kitu varžosi ne tik aukščiu, bet ir išvaizda. Kurdami bokštus, architektai atsižvelgia į vietovės specifiką ir stengiasi, kad jie kuo darniau įsilietų į kraštovaizdį. Pavyzdžiui, Biržų regioniniame parke prie Kirkilų karstinių ežerėlių esančio bokšto forma primena smegduobės briauną, medinę valtį (3 pav. e)). Metelių apžvalgos bokšto iš medžio ir metalo pastatyta konstrukcija primena susuktą nendrių pėdą (3 pav., b)). Ventos regioniniame parke pastatytas Jurakalnio apžvalgos bokštas savo forma primena besiskleidžiantį gėlės žiedą (4 pav.).



a)



b)



c)



d)



e)



f)

3 pav. Apžvalgos bokštų išvaizdos pokytis

Šaltinis: a), d), f) – autoriaus

b) Šaltinis: Medžių lajų takas (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.kultūros-miestas.lt/lt/anyksciai-apsilankykite/medziu-laju-takas-anyksciai>>

c) Šaltinis: Kirkilų apžvalgos bokštas (2019). Prieiga per internetą: <<https://welovelithuania.com/kirkilu-karstiniai-ezereliai-taps-dar-patrauklesni/>>

e) Šaltinis: Metelių apžvalgos bokštas (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.makaliauslietuva.lt/ka-veikti-lietuvoje/apzvalgos-bokstai-lietuvoje/>>

Dzūkijos nacionaliniame parke, kur gausu pušų, ant penkių atramų stovintis Merkinės bokštas (5 pav.), turintis įvairių lygių erdves ir plokštumas, kurtas taip, kad atrodytų tarsi tarp medžių vingiuojantis miško takelis. O aukščiausio ir tik 2019 m. atidaryto Birštono bokšto (3 pav. f), 6 pav.) metalinė konstrukcija, „apvilta“ maumedžio plokštėmis su trikampio formos langeliais, suteikia koplytstulpio įvaizdį, o kartu simbolizuoja žvaigždynus dangaus skliaute. Bokštas – keturkampis lygiasienis su ažūriniu stogeliu tęsia lietuvių gynybinės architektūros tradiciją, primena senųjų medinių pilių bokštų formą ir siejasi su vėlyvesne bažnyčių varpinių architektūra (Birštono apžvalgos bokštas, 2019). Tiek stovint prie jų, tiek žvelgiant iš jų ir vaizdai, ir pojūčiai atsiveria skirtingi.

Apžvalgos bokštai pradėjo keistis įrengiant pasivaikščiojimus medžių lajomis (3 pav. c)). Bokštai tampa ne tik panoraminio vaizdo teikėjais, bet kuriamas visas paslaugų paketas. Pasaulyje apžvalgos bokštų, takų medžių lajomis idėjos plinta greitai ir klausimas tik, kurioje šalyje vienokio, ar kitokio tipo bokštas bus įrengtas. Apžvalgos bokštai apjungiami su medžių lajų takais ir dažnai jau suvokiamas, kaip vienas darinys. Medžių viršūnių takas Čekijoje (7 pav.) – Lipno regione (pastatytas 2012 m.) – lankytojams suteikia unikalią gamtos pažinimo patirtį, kurią sustiprina didaktiniai, patirtiniai ir kiti pažintiniai elementai. Kelias yra kruopščiai integruotas į kraštovaizdį aplink Lipno rezervatą ir yra unikalus Lipno aktyvaus poilsio papildomas elementas. 675 metrų ilgio įrengtas takas baigiasi prie išspūdingo apžvalgos bokšto platformos, esančios 40 metrų aukštyje. Šis takas tapo idealia vieta aktyvų poilsį mėgstantiems lankytojams, šeimoms ir senjorams. Bavarijos miške įmonė „Erlebnis Akademie AG“ įrengė medžių lajų taką (2009 m.), kurio ilgis siekia 1300 metrų (8 pav.). Tai yra vienas ilgesnių medžių viršūnių takų Bavarijos miško nacionaliniame parke. 8–25 metrų aukštyje virš miško lankytojai gali vaikščioti nepaliesta gamta ir ne tik pamatyti, bet ir pajauti unikalius potyrius. Sudarytos galimybės lankytis ir neįgaliesiems.



4 pav. Jurakalnio apžvalgos bokštas
Šaltinis: Jurakalnio apžvalgos bokštas (2019). Prieiga per internetą: <<https://pamatyklietuvoje.lt/lankytnos-vietos/jurakalnio-apzvalgos-bokstas/6>>



5 pav. Merkinės apžvalgos bokštas
Šaltinis: autoriaus



6 pav. Birštono apžvalgos bokštas
Šaltinis: autoriaus



Bendras ilgis: 675 metrai
Bokšto aukštis: 40 metrų
52 metrų ilgio čiuożykla

7 pav. Lipno apžvalgos bokštas
Šaltinis: Lipno apžvalgos bokštas (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.stezkakorunamistromu.cz/de>>



Bendras ilgis: 1300 metrų
Bokšto aukštis: 44 metrai
Įėjimo bokštas su liftu

8 pav. Bavarijos miškų apžvalgos bokštas
Šaltinis: Bavarijos miškų apžvalgos bokštas (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.baumwipfelpfade.de/en/bayerischer-wald/treetop-walk/the-treetop-walk.php>>

2017 m. Čekijoje „Erlebnis Akademie AG“ įrengė medžių lajų taką Krkonoše kalnuose, Janské Lázně (9 pav.). 1500 metrų ilgio takas vingiuoja per didingą mišrų mišką ir baigiasi išpūdingu apžvalgos bokštu esančiu 45 metrų aukštyje. 80 metrų ilgio tunelinis nusileidimas (čiuożykla) užtikrina poreikius tų, kuriems reikia adrenalino, įtampos. Šis kelias veda ne tik aukštai, bet ir giliai. Po žeme, dirbtiniame urve, lankytojams siūlomas nacionalinio parko pasaulio pažinimas iš apačios, tarsi medžio šaknyse. 2013 m. Riugeno saloje sumodeliuotas 40 metrų apžvalgos bokštas, kuris kurtas pagal erelio lizdo idėją (10 pav.). Iš 82 metrų aukščio virš jūros lygio jis leidžia aiškiai pamatyti unikalų Riugeno salos kraštovaizdį.



*Bendras ilgis: 1500 metrų
Bokšto aukštis: 45 metrai
80 metrų ilgio tunelinė čiuożykla*

9 pav. Janské Lázně apžvalgos bokštas

Šaltinis: Janské Lázně apžvalgos bokštas (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.stezkakrkonoše.cz/en/>>



*Bendras ilgis: 1250 metrų
Bokšto aukštis: 40 metrų*

10 pav. Riugeno salos apžvalgos bokštas

Šaltinis: Riugeno salos apžvalgos bokštas (2019).

Prieiga per internetą:

<<https://www.baumwipfelpfade.de/nezr/>>

2017 metais atidarytas medžių lajų takas su bokštu Bachledka Aukštųjų Tatrų Slovakijos dalyje, netoli Bachledova Dolina kaimo (11 pav.). Iš 32 metrų aukščio apžvalgos bokšto atsiveria 360 laipsnių vaizdas į mažiausius pasaulio kalnus, Slovakijos žemumas į pietus nuo Tatrų ir Mažosios Lenkijos vaivadiją. Iš bokšto platformos galima matyti visą taką, nes jis taip pat įrengtas aukštai – vingiuoja medžių viršūnėmis. Naujovė – 75 kvadratinį metrų „pasivaikščiojimo tinklas“, kuris suteikia dar daugiau potyrių.

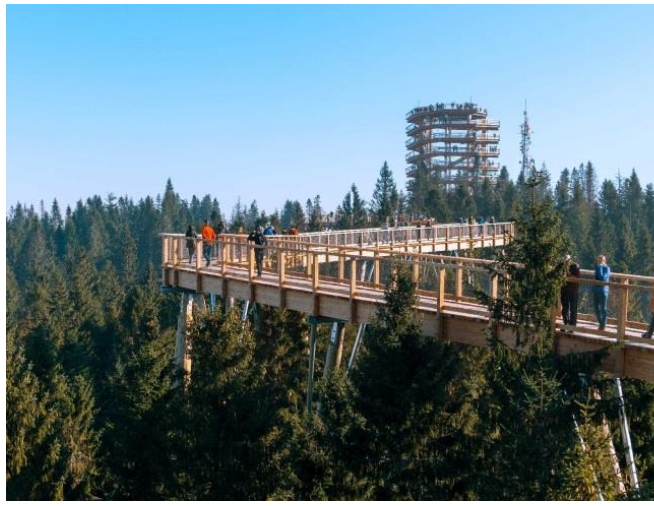


*Bendras ilgis: 1 234 metrai.
Bokšto aukštis: 32 metrai
67 metrų ilgio tunelinė čiuożykla
75 m² tinklinis tinklas ant bokšto platformos*

11 pav. Bachledka apžvalgos bokštas

Šaltinis: Bachledka apžvalgos bokštas (2019). Prieiga per internetą:

<<https://chodnikkorunamistromov.sk/en/>>



2018 m. Austrijoje atidarė apžvalgos bokštą „Baumwipfelpfad Salzkammergut (12 pav.), kur jau nuo 21 m aukščio tako atsiveria įspūdingi vaizdai į Traunšteiną, Traunsee ir Gmunden miestą. Iš 39 metrų aukščio apžvalgos bokšto lankytojams atsiveria Alpių ir Salzkammerguto papėdės.

2017 m. Danijoje atidarytas Nuotykių stovyklos miško bokštas (Forest tower) (13 pav.). Atsižvelgiant į architektūrinį suvokimą ir plėtojant įvairius potyrius, gamta pateikiama taip, kad suteiktų naujas kraštovaizdžio

perspektyvas, supratimą ir gamtos pažinimą. Medžius galima tyrinėti nuo miško paklotės iki medžių vainikų, stebint iš labai arti ir akių lygyje. Miško bokšto viršus siekia 135 metrus virš jūros lygio. Iš viršaus galima pamatyti daugiau nei 25 km gražios gamtos.



*Bendras ilgis: 1400 metrų
Bokšto aukštis: 39 metrai
75 m ilgio tunelinė čiuožykla*



*Bendras ilgis: 650 metrų
Bokšto aukštis: 45 metrai*

**12 pav. Baumwipfelpfad Salzkammergut
apžvalgos bokštas**

*Šaltinis: Baumwipfelpfad Salzkammergut apžvalgos
bokštas (2019). Prieiga per internetą:
<<https://www.baumwipfelpfade.at/salzkammergut/>>*

13 pav. Miško bokštas

*Šaltinis: Miško bokštas (2019). Prieiga per internetą:
<<https://www.campadventure.dk/en/>>*

Techniniai sprendimai

Šiuolaikiniai apžvalgos bokštai turi ne tik atitikti esminius tokiems statiniams reikalavimus – išlaikyti mechaninį atsparumą ir stabilumą, bet ir vizualiai gražiai atrodyti. Tad juos statant tenka nemažai paplušėti ir projektuotojams, ir konstruktoriams, ir statytojams. Tai – inžinerinis statinys, turintis erdvinės, sudėtingas konstrukcijas. Kiekvieną bokštą sudaro daugybė sudedamųjų dalių, surenkamų ir sujungiamų viena su kita tik varžtais. Skelbiant techninius reikalavimus nurodoma, kad jie ne tik turi atitikti statybos objektams keliamus reikalavimus, bet atskirai įvardinama ir tokios detales, kaip pavyzdžiui, apžvalgos aikštelė turi būti maskuojančios spalvos, kuo mažiau pastebima kraštovaizdyje ir pan. Apžvalgos bokštai – tai ir pažintinė funkcija, tai ir idėjinis kūrinys tai ir technologinis sprendimas. Tai yra didžiuliai statiniai, kuriuose turi būti išspręsta daug įvairių technologinių niuansų. Todėl nekeista, kad Lietuvoje matome tas pačias įmones (UAB „Raseinių statyba“, UAB „Empower -Fidelitas“ ir kt.) ir tuos pačius autorius (architektai – Alvydas Mituzas, Arvydas Gudelis, Andrius Dirsė ir kt.) tarp apžvalgos bokštų statytojų (UAB Rekreacinė statyba, 2019).

Net tris modernios konstrukcijos apžvalgos bokštus Veisiejų, Ventos ir Metelių regioniniuose parkuose pastatė UAB „Raseinių statyba“. Ši įmonė turi aukštų statinių statybos patirties: yra stačiusi silosus ir grūdų elevatorius. Bet apžvalgos bokštų statyba vis tiek buvo išskirtinė dėl specifikos ir sudėtingumo. Kiekvienas bokštas buvo renkamas tarytum milžiniška dėlionė iš daugybės atskirų smulkių dalių: Veisiejų apžvalgos bokštas buvo surinktas iš metalo, Ventos ir Metelių bokštai iš metalo ir klijuoto medžio konstrukcinių elementų, kurie vienas su kitu buvo sujungti vien varžtais. Bokštų plieno konstrukcijos buvo karštai cinkuotos, Veisiejų – dar ir papildomai dažytos, kad ilgiau laikytų. Bokštai turėjo būti pastatyti tik iš gamykloje pagamintų dalių. Statybų metu jokie pataisymai – papildomi pjaustymai ar suvirinimas – buvo negalimi (Balčiūtė, 2015).

Sudėtingas bokštų statymas ir dėl jų pamatų įrengimo. Pavyzdžiui, Metelių apžvalgos bokštas buvo statomas ant sankasos, todėl jo pamatai buvo net 10 m gylio. Į pamatus buvo supilti net 58 m³ betono. Sudėtinga buvo ir paties bokšto konstrukcija bei geometrija. Metelių bokšto laikančiosios konstrukcijos vidus yra iš metalo (plieninis apvalus didelio skersmens vamzdis), o išorinės konstrukcijos – ratu išdėstytos stačiakampio skerspjūvio klijuoto medžio sijos (Balčiūtė, 2015). Jos turėjo būti sudėtos taip, kad atrodytų kaip nendrių pėdas.

Pasaulyje viena iš tokių įmonių, kuri orientuojasi į apžvalgos bokštų – medžių lajų takų įrengimą – „Erlebnis Akademie AG“. Šiuo metu Vokietijoje ji įrengė keturis medžių lajų takus (Bavarijos miško, Riugeno salos, Juodosios girios ir Saro kilpos). Ji taip pat kartu su kitomis kompanijomis įrenginėjo apžvalgos bokštus Čekijoje, Slovakijoje, Slovėnijoje. „Erlebnis Akademie AG“, pasižymi nepaprastais ir įspūdingais medžių lajų takais, yra pirmaujanti gamtinių laisvalaikio ir nuotykių srityje ir nustato gamtos potyrių vietovių standartus augančiojo rinkoje (Erlebnis Akademie AG, 2019). Daugiausia tai iš medžio pagaminti takai, nutiesti laikantis

aukščiausių architektūros standartų, atsižvelgiant į gamtą tausojantį dizainą. Jie optimaliai integruojasi į supančią gamtą ir pagerina jų aplinką, įrengdami tą vietą, kaip potyrių vietovę. Bet kokio amžiaus lankytojams sukuriamą nepakartojamą gamtos pažinimo, suvokimo, pajautimo patirtis, kurią papildo edukaciniai ir judėjimą skatinantys elementai.

Natūralu, kad kiekvienas objektas turi savo gyvavimo laikotarpį. Apžvalgos bokštai, pasak rangovų statytojų, gali būti naudojami apie 30 ir daugiau metų (Balčiūtė, 2015). Atsiradus neišvengiamai būtinybei, bokštus galima atitinkamai išmontuoti, metalą perdirbti, medžiagas panaudoti kitiems tikslams. Užsienyje apžvalgos bokštuose sudarytos galimybės lankytis ir žmonėms su negalia, įrengti liftai, privažiavimai, ar takai, kuriais galima užvažiuoti su vežimėliu. Informacija pateikiama neregiamis ir pan.

Vadovaujantis Lietuvos įstatymais, kurie apibrėžia, kokių reikalavimų žmonių su negalia reikmėms kildinant naujus statinius reikia laikytis, projektuojamų statinių, tokių kaip apžvalgos bokštų, neprivaloma pritaikyti žmonėms su negalia, nes jie nenurodyti žmonėms su negalia svarbių statinių sąraše. Tačiau įgyvendinamuose projektuose, kiekvienu atveju ieškoma unikalaus sprendimo, užtikrinant vertybių apsaugą, atsižvelgiant į žmonių su negalia poreikius. Atsižvelgiant į žmonių su negalia poreikius, automobilių stovėjimo aikštelėse įrengiamos vietos žmonių su negalia automobiliui pastatyti, taip pat pėsčiųjų zona atitinkamai pritaikoma žmonių su negalia judėjimui. Apačioje, prie apžvalgos bokšto, pastatomi informaciniai stendai, kuriuose pateikiama informacija apie bokštą, supantį kraštovaizdį, saugomas vertybes. Ieškoma kitų sprendimų apžvalgos bokštus pritaikyti žmonėms su judėjimo negalia, pavyzdžiui, stende sumaketuoti atitinkamą kodą, kurį nuskaičius telefone atsirastų vaizdai, kurie matosi nuo apžvalgos bokšto viršaus.

Išvados

1. Apžvalgos bokštų paskirtis kinta – nuo pirminės paskirties susipažinti su saugomų teritorijų apylinkėmis iki potyrių vietovės sukūrimo su daugiaplane veikla.

2. Apžvalgos bokštai ir Lietuvoje, ir pasaulyje naudojami įvairiapusiškai: vykdoma pažintinė veikla, edukacinė veikla, aktyvi poilsio veikla, kraštovaizdžio apsauga, bokštai, kaip meno kūriniai ir sudėtinė kraštovaizdžio dalis.

3. Apžvalgos bokštų galimybės dar neišsemtos. Lietuvoje apžvalgos bokšto-medžių lajų tako yra tik vienas pavyzdys ir jis palyginti su kitų šalių pavyzdžiais neapima visų veiklų, galimų vykdyti potyrių vietovėje. Pasaulyje dar daugelyje vietų atsirastų panašių į jau esamus statinius apžvalgos bokštų, tačiau yra erdvės ir pokyčiams, neišsemtos visos potyrių pritaikymo galimybės.

Literatūra

1. *Apžvalgos bokštai* (2019). Prieiga per internetą: <<https://pamatyklietuvoje.lt/zemelapis?q=Ap%C5%BEvalgos%20bok%C5%A1tai&xmax=29.2733&xmin=20.0438&ymin=52.8066>>;
2. *Apžvalgos vietos* (2019). Prieiga per internetą: <<https://pamatyklietuvoje.lt/zemelapis?q=Ap%C5%BEvalgos%20vietos&xmax=29.2637&xmin=20.0343&ymin=53.0200>>;
3. *Bachledka apžvalgos bokštas* (2019). Prieiga per internetą: <<https://chodnikkorunamistromov.sk/en/>>;
4. Balčiūtė G. (2015). Apžvalgos bokštai –saugomų teritorijų puošmena. *Structum*, 2015 birželis: 16-25;
5. *Baumwipfelpfad Salzkammergut apžvalgos bokštas* (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.baumwipfelpfade.at/salzkammergut/>>;
6. *Bavarijos miškų apžvalgos bokštas* (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.baumwipfelpfade.de/en/bayerischer-wald/treetop-walk/the-treetop-walk.php>>;
7. *Birštono apžvalgos bokštas* (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.visitbirstonas.lt/lankytinos-vietos/birstono-apzvalgos-bokstas/>>;
8. *Erlebnis Akademie AG* (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.eak-ag.de/eakag/>>;
9. *Janské Lázně apžvalgos bokštas* (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.stezkakrkonoze.cz/en/>>;
10. *Jurakalnio apžvalgos bokštas* (2019). Prieiga per internetą: <<https://pamatyklietuvoje.lt/lankytinos-vietos/jurakalnio-apzvalgos-bokstas/6>>;
11. Kavaliauskas P. (2011). *Kraštovaizdžio samprata ir planavimas*: mokomoji knyga. Vilnius;
12. *Kirkilų apžvalgos bokštas* (2019). Prieiga per internetą: <<https://welovelithuania.com/kirkilu-karstiniai-ezereliai-taps-dar-patrauklesni/>>;
13. Kučinskienė J., Baravykaitė D. (2012). Potyrių vietovės – šių dienų planavimo iššūkis. *Miestų želdynų formavimas. Mokslo darbai*. 2012, 1(9): 95-101;
14. *Lipno apžvalgos bokštas* (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.stezkakorunamistromu.cz/de/>>;
15. *Medžių lajų takas* (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.kulturos-miestas.lt/lt/anyksčiai-apsilankykite/medziu-laju-takas-anyksčiai>>;
16. *Metelių apžvalgos bokštas* (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.makaliauslietuva.lt/ka-veikti-lietuvoje/apzvalgos-bokstai-lietuvoje/>>;
17. *Miško bokštas* (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.campadventure.dk/en/>>;

18. *UAB Rekreatinė statyba* (2019). Prieiga per internetą: <<http://www.rekstata.lt/category/apzvalgos-bokstai/>>;
19. *Riugeno salos apžvalgos bokštas* (2019). Prieiga per internetą: <<https://www.baumwipfelfade.de/nezt/>>;
20. Urbanskienė R., Clotey B., Jakštys J. (2000). *Vartotojų elgsena*. KTU.

EXPERIENCE AREAS LANDSCAPE: SIGHTSEEING TOWERS

Summary

The sightseeing towers are now the object of attraction, attracting not only the opportunity to see the landscape from above, to cover the entire panorama, but also to become examples of the realization of art and technological ideas. The application of observation towers is most widely used in protected areas, both in Lithuania and abroad. They are used to have a variety of experiences, utilizing our sensory senses, providing educational meaning, and satisfying our experiential, cognitive needs.

The purpose of the sightseeing towers is changing from the primary purpose of getting to know the surroundings of protected areas to creating a multiplicity of experience area.

The sightseeing towers used in various ways in Lithuania and in the world: cognitive, educational, active recreation, landscape protection, towers as works of art and integral part of the landscape.

The potential of sightseeing towers is limitless. In Lithuania, the sightseeing tower-tree top walk is only one example and, compared to other countries, it does not include all activities that have possibility to conduct in the experience area. Many more places around the world will have like already existing static sightseeing towers, but there is space for changes as well, and the adaptation for experience possibilities are limitless.

Key words: view towers, idea, landscape.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Jurga Kučinskienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vietą ir poziciją: VšĮ Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto Aplinkos ir statybų inžinerijos katedros docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: kraštovaizdžio architektūra, inžinerinių tyrimų metodologija.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 650 18320, j.kucinskiene@kvk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Jurga Kučinskienė.

Science degree and name: doctor, associated professor.

Workplace and position: Klaipėda State University of Applied Sciences, Technology faculty, Environmental and Construction Engineering department, associated professor.

Author's research interests: landscape architecture, methodology of engineering sciences.

Telephone and e-mail address: 8 650 18320, j.kucinskiene@kvk.lt

SOME ASPECTS IN REMOTE SENSING AND GIS EDUCATION AT THE DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL AND CONSTRUCTION ENGINEERING OF THE KVK

Lina Kuklienė, Dainora Jankauskienė, Indrius Kuklys, Birutė Ruzgienė
Klaipeda State University of Applied Sciences

Summary

The up-to-date education in Remote Sensing/ Photogrammetry and GIS become important because of widely application in many areas of surveying, such as aerial terrain mapping, spatial data modelling, solving engineering tasks at the construction site, measuring of architectural heritage, data base creation, objects classification under the needs, etc. The number of potential users of the aerial mapping products tends to increase, because of high degree automation and efficiency of the data processing. The paper outlines the education trends, searching the possibilities for effective training and understanding of the modern technologies used in aerial mapping, getting comprehensive knowledge in application, finding the best solution for feedback. The investigations are based on developing the fundamentals for the education in Remote Sensing/ Photogrammetry and GIS subjects, including the preparation of study module (the guide) with outlined suitable content of learning subjects. The technical tools, software with different application and data sources for practical training in images processing techniques creating mapping products, 3D surface modelling, etc., are described. The evaluation method of knowledge (achievements) is presented. The recommendations include the usefulness of a usage of different softcopies in appropriate training process for better understanding of modern mapping technologies.

Keywords: Remote Sensing, GIS, UAV-Photogrammetry, educational module, software, images processing, aerial mapping, e-learning.

Introduction

Geomatics/ Digital Geodesy is a modern field of science when studying the technologies that include gaining, processing, storing, and delivering Geographic information or spatial referenced data related to the Earth's surface. A Geodesy specialists uses knowledge coming from different disciplines such as: Land Surveying, Photogrammetry and Remote Sensing, Physical and Space Geodesy, Cartography, Higher Geodesy, Geodetic instruments and automation of measurements, Technology of Geoinformation Systems (GIS), Cadastral measurements, etc. Geographical Information Systems with the use of Remote Sensing data can be defined as the collection of information about an object without being in physical contact with the object, as well as the art of dividing up the world into small multi-coloured squares and then handling the numbers (digits) by special software, releasing potentials being far from object. Unmanned aerial vehicles, aircrafts and satellites are the common platforms from which Remote Sensing observations may be made. The Remote Sensing is referred to methods that employ electromagnetic energy as the means of detecting and measuring objects size, positions and other characteristics (Eisenbeiss, 2009; Černiauskas at all, 2014; Haa|a at all, 2011; Ruzgienė at all, 2014).

The education in GIS, Photogrammetry and Remote Sensing methods becomes increasingly important because of widely applicability in GIS and Photogrammetric Communities. The traditional Earth's surveys methods are replacing by modern digital Remote Sensing technologies, therefore the education in such field becomes the major subject. Images of the Earth's surface are a valuable source of data that captures reality in a real time and can be used for extraction a huge amount of information during processing procedures. The training in Photogrammetry and Remote Sensing, as well in GIS is based on usage of different software for processing of photographs and classification, interpretation of images content for customer needs. Digital image processing systems/ software depends to set of high-level systems. These systems can be supplied by the monoscopic or stereoscopic technology used for measurements. The high-level photogrammetric systems operate with high degree of automation in appropriate stages of processing and are very flexible. The obtained measurements results are accurate, of high quality and reliable. These systems have potentiality to generate orthophoto maps, including digitizing functions and creation of Digital Elevation Model (DEM) from images (Neitzel, 2011; Manual, 2004; Rock at all, 2011).

The traditional way of teaching is based on presentation (in oral or written forms) the educational subject on theoretical and practical units. The more relevant method and most commonly used is interactive teaching, when the transmission of information by computer supported presentation, as well as receiving knowledges through www environment in the form of e-learning. The objective of analysis and research is to find out the best solution in education of disciplines with highly feedback efficient and state-of- the-art. The main goal is the preparation of study modules, that involves explanation of up-to-date technologies, creating of an

appropriate guide with operative reference, theoretical and practical elements of images restitution and handling for GIS needs.

Fundamentals for the education in Photogrammetry/ Remote Sensing and GIS

The main objective of education in Remote Sensing/ Photogrammetry and GIS is gaining ability to analyse and process the images, to reconstruct the spatial object position and to apply knowledge for territory mapping, to get information about methods for obtaining geodata, used sensors and platforms.

Foreseen outcomes of the study are these categories: cognition, special and general skills. The basic knowledge is appointed on acquisition of the space data, physical aspects, geometric and radiometric correction of images, interpretation and application of remote sensing data. Cognition – understanding of geodetic networks importance in Remote Sensing procedures, creation spatial data base in appropriate geodetic coordinate system and application in GIS. Special and general skills are as follows: gaining ability to create cartographic data base from photogrammetric data and to optimize collection of cartographic data modelling digital images from sensors built-in different platforms, to analyse spatial carrying out the research, to evaluate imagery processing results and understandable to present for consumer (Ruzgienė, 2008; Nurminen at all, 2013; Kraus, 2007).

On the base of education experience in Photogrammetry/ Remote Sensing and GIS at the Department of Environmental and Construction Engineering of the Klaipeda State University of Applied Sciences (KVK) the study modules of subjects in advance have been constructed regarding to the following aspects: separation of subject-matter into theoretical and functional (practical) units, layout the different methods (technologies) proving modernity and applicability, presentation the real examples by the use of proper technical means and digital systems for acquisition of mapping products, evaluation the profound of knowledge, understanding the overall aspects.

The suggested annotation of subject is as following:

- Concept of Photogrammetry, Remote Sensing (RS), GIS.
- Planning of aerial photography.
- Spatial data acquisition and application.
- Usage of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in photogrammetric environment.
- Platforms and sensors for gaining images of Earth surface.
- Physical principals and characteristics of images data.
- Visualization and interpretation of photographs.
- Photogrammetric processing of image data: orthophoto map generation and spatial modelling.
- Processing of UAV images and quality evaluation.
- Other modern technologies for spatial data collection in conjunction with photogrammetric workflow: LIDAR, RS, mobile mapping.

The developed annotation (module) of study the subject Photogrammetry/ Remote Sensing is devoted for studies acquiring Professional Bachelor degree in the field of Measurement Engineering and gives 4 ECTS credits. Methods of studies are: lectures, laboratory (practical) works, independent (individual) works, consultations, usage of multimedia, e-learning.

The laboratory (practical) works embraces: planning of aerial photography, preparation of technical specification when use the UAV-Photogrammetry technology, interpretation and visualization of satellite imagery, solving tasks of digital photogrammetry, Digital Surface Model (DSM) creation and orthophoto map generation, photogrammetric mapping of the terrain with the use of stereoscopic measurements, processing images gained from UAV and quality analysis of aerial mapping products (Ruzgienė at all, 2015). The individual works involves: description of maps constructed by photogrammetric methods and GIS technologies, overview of technical means for low-altitude mapping, graphic representation of aerial photographs geometric elements, visual interpretation of imageries, site verification and results presentation by GIS tools.

The usage of modern technologies for image processing is the main subject because of rapid extension fields of application and possibilities of integration in GIS. The main considerations for getting the final aerial mapping product are 3-D modelling of Earth surface and orthophoto maps generation. The measurements of ground control points (GCP) for images rectification requires the knowledge about proper definition of their position and is important for quality control in training process. The received residuals on measured control points show correctness of control point's identification.

The stereoscopic measurements in images for data (feature extraction in forms of lines, closed polygons, etc. or 3-D measurements) capture are possible. It is preferable monoscopic and stereoscopic measurement combination for getting best results. The training for 3-D modelling creating Digital Surface Models (DSM)

or Digital Elevation Models (DEM) is based on correctness analysis. The appropriate selection of parameters that correspond to the maximum heights difference between two adjacent points is very important for the creation of a proper elevation model. Analysing created models, the process of editing is necessary. During the images processing appears a fail of correlation and terrain data in some parts are false. The training for proper correction is significant matter in creating the correct DSM.

Evaluation methods of knowledge (achievements) are: colloquium, defence of laboratory (practical) and individual (self-contained) works, exam. Evaluation criteria outcomes and should satisfy the requirements of gained study objectives and abilities referring to criteria proportional system. Methods for the assessment of achievements are accepted according to the description on the assessment of the knowledge of KVK by presenting the formula and the definition of the cumulative score. Applying ten marks cumulative criteria proportional evaluation system of knowledge's and abilities. Evaluation of exam involves: cumulative assessment of laboratory, practical and self-contained works foreseen in module; evaluation of intermediate theoretical study results (colloquium) and evaluation of exam passed during exam session.

The grade of final exam is calculated according to formulae:

$$KV = \sum_{i=1}^n k_i \cdot X_i, \quad (1)$$

where: KV – cumulative (final) rating; n – number of intermediate evaluations; k_i – weighted coefficient of i -th assessments; X_i – assessment of i -th intermediate evaluation. For example: $KV = 0,5 \cdot X_1 + 0,5 \cdot X_2$, where: X_1 – average of intermediate assessments, X_2 – exam evaluation.

Training for images data acquisition, analysis and processing

The significance of images usage in daily lives becomes very important because of widely applications in such fields as territories mapping, urban and rural planning, environmental monitoring, telecommunications, disaster detection and management, transportation, mapping of architectural monuments or buildings, etc.

Several data sources are used for training: aerial photographs, imageries from Earth observation satellites, high-resolution images and point clouds (from laser scanning) gained from effective platform-UAV flying at low altitude, etc.

The Unmanned Aerial Vehicle (UAV, Drone) with automatic equipment for management UAV when flying over territories (objects), special tools for acquiring digital photogrammetric data, modern professional photogrammetric and GIS software are available at Faculty of Technologies, KVK, participating in the joint Latvia-Lithuania project “Interreg - Creation of Joint GI Education (GISEDU)” (Fig.1).



Fig. 1. UAV - Photogrammetry system available at KVK: Drone *DJI MATRICE 600 PRO*, gimbal camera *DJI Zenmuse X5*, gimbal thermal camera *DJI Zenmuse XT*, laser scanner (LiDAR) *Mapper Lite 2*, GPNS
Source: created by authors

UAV-Photogrammetry – the technology related with digital photogrammetric data (acquired from UAV mission) processing and generation of the aerial mapping products is the main objective for education because of rapidly growing application in photogrammetric and geodetic/ surveying environment (Ruzgienė at all, 2017).

The didactic and professional digital image processing software are used for practical training in explanation of basic workflow such as orthophoto map generation and 3-D terrain models' creation. The usage of the different digital systems that complement each other is appropriate solution in getting complete knowledge for imagery processing.

Main tool for application modern technologies in education is employment of image processing software *Pix4Dmapper*, using the *rayCloud* module. The software package operates with Unmanned Aerial Vehicle images. *Pix4D* is professional images processing software, developed at Computer Vision Lab in Switzerland. *Pix4Dmapper* with included the *rayCloud* is a new concept extending the stereo view triangulation and increasing the accuracy of 3D modelling results. Software has a lot of possibilities for orthophoto generation, surface modelling, etc. This package has fully automated workflow, is flexible, data input is scalable, output data are easy editable and on-site quality assessment is instant (Pix4D, 2018).

The software package *TerraScan* and *TerraMatch* (Terrasolid products, Finland), used in education process, is dedicated for managing and processing of LiDAR point clouds collected by Unmanned Airborne Vehicles. *TerraScan* – software for LiDAR data handling and 3D vector data creation. *TerraMatch* is a tool for improving the accuracy and quality of the raw laser point cloud. UAV systems produce point clouds from a low altitude and the system is more unstable in the air, therefore, the improvement of the data accuracy by eliminating misalignment and positional inaccuracies caused by a bad trajectory plays an important role in the processing workflow (TerraScan, TerraMatch, 2019).

One of the main tasks in imagery processing is feature extraction, digitizing in spatial mode and getting vector data from stereo images. These tasks are realized using Geo-Software *LISA* (Digital Photogrammetric WorkStation (DPWS)) developed at University of Hanover (Germany). The advantage of usage the *LISA* is that it allows the control in orthorectification selecting several standard methods of interpolations as well as digital data filtering can be applied. This software's flexibility allows making decision on appropriate selection, to compare image processing time duration and accuracy of interpolation, to test chosen methods. Only majority has grown in ability for stereo measurements, because that requires of hard and longer training time. In education process of that subject is used the software *LISA* with possibility for getting stereo data from aerial images (Linder, 2009).

DDPS software - Photogrammetric Package for Digital Aerial Photographs processing, developed at Photogrammetric institutions in Belgium and Poland, successfully is used for practical study of such image processing steps: inner and exterior orientation of aerial images, epipolar resampling, image matching, generation of DEM, orthorectification (Ruzgienė, 2007).

The experience of teaching the subject of Photogrammetry/ Remote Sensing shows that quite a many concept in digital image processing are very difficult to clarify using static mediums such as *PowerPoint* presentations, etc. Huge help for theoretical explanation in practice renders software *Digital Image Processing Simulator* (*DIPS*) as additional tool. A *DIPS*, developed at Indian Institute of Forestry Management is essentially a digital image processing learning tool and can be easy shared. Software can be very successfully used for explanation the difficult understandable fundamentals of image processing concepts during a lecture. *DIPS* have a standard collection of exercises for most options, interface is intuitive and easy to understand. Main menu of *DIPS* is showed in Fig. 2.

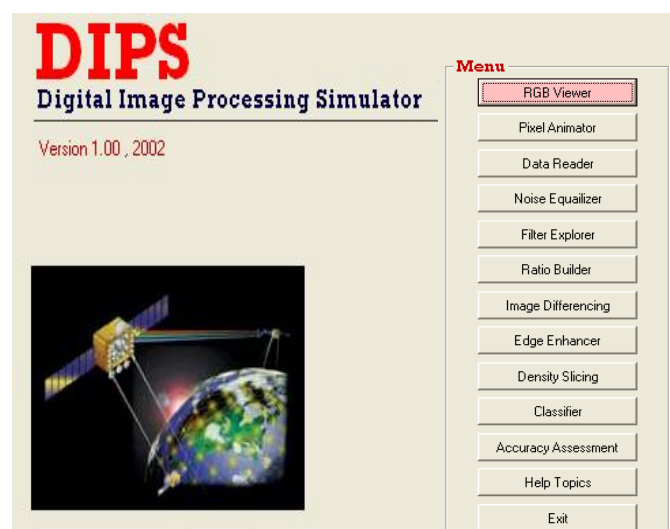


Fig. 2. Menu of DIPS used for studies of images processing concepts

Source: created by authors

Distance/ virtual study via the Internet (e-learning) requires high degree of computer interactivity and is much recommended. The learning program *LDIPInter* is very desirable for training. This program introduces images correlation techniques and is supported with the techniques for the automatic measuring (Learning, 2018).

The educational material for use at the Internet environment, at personal *Web* pages is appointed as well. The learning via Internet is daily demand, so the virtual educational media *Modular Object-Oriented Distance Learning Environment (Moodle)* is used for presenting the material on the subject for learning at widely spread learning mode – distance study. Subject's explanation there is presented as *PowerPoint* presentations, interactive tests for learning control, video matter, etc. Internet seminars on subject using *Webinar's* (Webinar Viewer) is highly recommended because of easy to use, simply transmission of experience, provides new technology for working on video conferencing on line including subject matter experts from across the globe.

Conclusions

1. The suggested annotation for education in Remote Sensing/ Photogrammetry subject demonstrates the whole and modern technological process for generation of aerial mapping products and 3D modelling of objects. The most of the focus is on teaching UAV-Photogrammetry technology, because of fast growing application in geodetic or cadastral environment.

2. It is recommended for learning the usage of a different softcopies, because of getting the same final results applying similar or different workflows. The employment of software, such as *Pix4Dmapper* and *LISA*, is highly recommended. Advantage of such systems is that software not requires big and tiring-time consumption for processing and results are obtained fast, correct and clearly visible.

3. The traditional teaching workflow – presenting the theoretical concepts and demonstrating examples on the image processing systems have a learning gaps, because of the image processing system does not allow to take a view of what is happening at inter (particular) image processing steps. Images processing software gives final results, but impossible to analyze under the watchful scrutiny, as, for example, is image classification theme. The usage of software *DIPS* helps to fill mentioned teaching gaps.

4. Educational systems are not production systems and have not power to produce fast the final production, as is software *DDPS*. However, such systems have priority in demonstrating and analysis of the complete images processing evaluating the most applicable geometrical conditions, introducing different data sources and parameters.

5. The learning for imagery restitution using developed material at Internet environment (e.g., *Moodle*) is recommended, presenting teaching material at various configurations, on video mode, etc. The training in fundamental definitions of digital image processing for practical purposes it is recommended to use interactive/ Web system *LDIPInter*.

References

1. Černiauskas, E; Bručas, D. 2014. Daugiasraigčių sraigtaspanių naudojimo stebėjimo užduotims atlikti tyrimas. *Aviacijos technologijos* [Aviation technologies], 2(1): 53-58.
2. Eisenbeiss, H. 2009. *UAV photogrammetry*: Dissertation, Federal Institute of Technology (ETH), Institute of Geodesy and Photogrammetry, Zurich, Switzerland, Mitteilungen. 235 p.
3. Haala, N.; Cramer, M.; Weimer, F.; Trittler, M. 2011. Performance Test on UAV-Based Photogrammetric Data Collection, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 38-1/C22: 7–12. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-7-2011>.
4. Kraus, K. 2007. *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans*. Berlin: Walter de Gruyter. 459 p.
5. Linder, W. 2009. *Digital Photogrammetry. A practical Course*. Springer–Verlag, Berlin, Heidelberg. 33- 73, 121-131 p.
6. Learning Digital Photogrammetry. <http://ldipinter2.plan.aau.dk/> (21 December 2018).
7. *Manual of Photogrammetry* (Edited by J. Chris McGlone). 2004. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland, USA. 959-963 p.
8. Neitzel, F.; Klonowski, J. 2011. Mobile Mapping with Low-Cost UAV System, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 38-1/C22: 1–6.
9. Nurminen, K.; Karjalainen, M.; Yu, X.; Hyyppä, J.; Honkavaara, E. 2013. Performance of dense digital surface models based on image matching in the estimation of plot-level forest variables. *ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 83, pp.104-115.
10. Pi4D. <http://pix4d.com/> (6 December 2018).
11. Rock, G.; Ries, J. B.; Udelhoven, T. 2011. Sensitivity Analysis of UAV-Photogrammetry for Creating Digital Elevation Models (DEM), *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 38-1/C22: 1–5.

12. Ruzgienė, B. 2008. *Fotogrametrija*. Vilnius: Technika. 93-132 p.
13. Ruzgienė, B. 2007. Comparison between digital photogrammetric systems. *Geodezija ir kartografija*. XXXIII t., Nr.3. ISSN 1392-1541. Vilnius: Technika, p. 75-79.
14. Ruzgienė, B.; Berteška, T.; Gečytė, S.; Jakubauskienė, E.; Aksamitauskas, V, Č. 2015. The surface modelling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation. *Measurement*. Oxford: Elsevier Ltd. Vol. 73, p. 619-627.
15. Ruzgienė, B.; Gečytė, S.; Jakubauskienė, E. 2014. Užstatytų teritorijų kartografavimas, naudojant fotogrametrinius duomenis, gautus fotografuojant iš bepiločio skraidymo aparato. *Inžinerinės ir edukacinės technologijos* [Engineering and educational technologies]. Kauno technikos kolegija. Nr.1, p. 69-77.
16. Ruzgienė, B.; Kuklienė, L.; Jankauskienė, D.; Kuklys, I.; Vrubliauskienė R. 2017. Fotogrametriniai reikalavimai, keliami aerokartografavimui: UAV-Fotogrametrija. *Inžinerinės ir edukacinės technologijos* [Engineering and educational technologies]. Kauno technikos kolegija. ISSN 2029-9303. Nr.2, p. 21-28.
17. TerraScan – Software for LiDAR Data Processing and 3D Vector Data Creation. <http://www.terrasolid.com/products/terrascanpage.php/> (18 January 2019).
18. TerraMatch – Calibration and Strip Adjustment. <http://www.terrasolid.com/products/terramatchpage.php/> (18 January 2019).

KAI KURIE NUOTOLINIŲ TYRIMŲ IR GIS STUDIJŲ KVK APLINKOS IR STATYBOS INŽINERIJOS KATEDROJE ASPEKTAI

SANTRAUKA

Šiuolaikinis Nuotolinių tyrimų/ Fotogrametrijos ir GIS metodų studijavimas tampa vis svarbesnis dėl plataus šių metodų taikymo įvairiose geodezinių darbų srityse, pvz., atliekant vietovės aerokartografavimą, modeliuojant erdvinis duomenis, sprendžiant inžinerinius uždavinius statybų aikštelėse, matuojant architektūrinio paveldo objektus, parengiant duomenų bazines, klasifikuojant objektus pagal poreikį ir kt. Potencialių aerokartografinių produktų naudotojų skaičius didėja, nes visi procesai yra automatizuoti, o duomenys apdorojami efektyviai. Straipsnyje apžvelgiamos mokymo tendencijos, siekiant užtikrinti efektyvaus mokymosi galimybes ir modernių technologijų, naudojamų aerokartografiniams produktams kurti, įsisavinimą, ieškant geriausio sprendimo grįžtamajam ryšiui užtikrinti. Išnagrinėtoje mokymo medžiagoje pateikiama Nuotolinių tyrimų/ Fotogrametrijos ir GIS studijų dalykų modulių aprašas. Nurodoma techninė ir įvairios paskirties programinės įranga bei duomenys, skirti praktiniam fotografinių vaizdų apdorojimo technologijai įsisavinti, kuriant kartografinius produktus, modeliuojan 3D paviršius ir kt. Pateikiamas žinių (pasiekimų) vertinimo metodas. Išvardinamos programinės sistemos, kurios pilnai atitinka mokymo proceso etapus ir leidžia efektyviau įsisavinti šiuolaikines kartografavimo technologijas.

Reikšminiai žodžiai: Nuotoliniai tyrimai, GIS, UAV-Fotogrametrija, mokomasis modulis, programinė įranga, fotografinių vaizdų apdorojimas, aerokartografavimas, e-mokymasis.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Lina Kuklienė

Mokslo laipsnis ir vardas: magistrė, lektorė

Darbo vieta ir pozicija: Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Aplinkos ir statybos inžinerijos katedros lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: teritorijų planavimas, geoinformacinės sistemos, erdvinis duomenų rinkiniai, matavimų tikslumo įvertinimas.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 46 380339, l.kukliene@kvk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Birutė Ruzgienė

Mokslo laipsnis ir vardas: daktarė, docentė

Darbo vieta ir pozicija: Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Aplinkos ir statybos inžinerijos katedros docentė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: skaitmeninis fotogrametrinis kartografavimas, fotografinių vaizdų interpretavimas, nuotolinių tyrimų duomenų analizė.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 699 35344, b.ruzgiene99@gmail.com

Autoriaus vardas, pavardė: Dainora Jankauskienė

Mokslo laipsnis ir vardas: magistrė, docentė

Darbo vieta ir pozicija: Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Aplinkos ir statybos inžinerijos katedros vedėja.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: teritorijų planavimas, geoinformacinės sistemos erdvinis duomenų rinkiniai, matavimų tikslumo įvertinimas.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 682 43282, d.jankauskiene@kvk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Indrius Kuklys
Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorius
Darbo vieta ir pozicija: Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto, Aplinkos ir statybos inžinerijos katedros lektorius.
Autoriaus mokslinių interesų sritys: teritorijų planavimas, geoinformacinės sistemos erdvinių duomenų rinkiniai, matavimų tikslumo įvertinimas.
Telefonas ir el. pašto adresas: +370 46 380339, i.kuklys@gmail.com

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Lina Kuklienė.
Science degree and name: master, lecturer.
Workplace and position: Klaipėda State University of Applied Sciences, Faculty of Technologies, Department of Environmental and Construction Engineering, lecturer.
Author's research interests: spatial planning, geoinformation systems, spatial data sets, accuracy of measurements.
Telephone and e-mail address: +370 46 380339, l.kukliene@kvk.lt

Author name, surname: Birutė Ruzgienė
Science degree and name: doctor, associated professor.
Workplace and position: Klaipėda State University of Applied Sciences, Faculty of Technologies, Department of Environmental and Construction Engineering, associated professor.
Author's research interests: digital photogrammetric mapping, image interpretation, feature extraction from remote sensing data.
Telephone and e-mail address: +370 699 35344, b.ruzgiene99@gmail.com

Author name, surname: Dainora Jankauskienė.
Science degree and name: master, associated professor.
Workplace and position: Klaipėda State University of Applied Sciences, Faculty of Technologies, Department of Environmental and Construction Engineering, associated professor, Head of Department.
Author's research interests: spatial planning, geoinformation systems, spatial data sets, accuracy of measurements.
Telephone and e-mail address: +370 682 43282, d.jankauskiene@kvk.lt

Author name, surname: Indrius Kuklys.
Science degree and name: master, lecturer.
Workplace and position: Klaipėda State University of Applied Sciences, Faculty of Technologies, Department of Environmental and Construction Engineering, lecturer.
Author's research interests: spatial planning, geoinformation systems, spatial data sets, accuracy of measurements.
Telephone and e-mail address: +370 46 380339, i.kuklys@gmail.com



Publication was funded from project „Creation of Joint GI Education to Increase Job Opportunities in the region“ (GISEDU, Nr. LLI-206) is funded by Interreg V-A Latvia – Lithuania Cross Border Cooperation Programme 2014-2020. Total projects size is 763 522.85 EUR. Out of them co-funding of European Regional Development Fund is 648 994.41 EUR.

APLINKAI DRAUGIŠKŲ STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ IŠ ATSINAUJINANČIŲ ŽALIAVŲ PANAUDOJIMO GALIMYBĖS

Dainius Ramukevičius, Vincas Gurskis, Raimondas Šadzevičius
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Pasaulyje populiarėja draugiška aplinkai statyba – tai maksimaliai suderintų su gamta ir socialine aplinka pastatų ir inžinerinių statinių statybos metodų visuma. Kylant ekologinėms problemoms, susijusioms su atmosferos pokyčiais, kuriamos alternatyvios statybinės medžiagos, kurioms pagaminti reikalingos mažos energijos sąnaudos. Žemės ūkio produkcijos gamyboje gaunami šalutiniai produktai, nemaistinės žaliavos, kurios *galėtų būti panaudotos* statybinių medžiagų gamybai. Prie tokių medžiagų priskiriami šiaudai, pluoštinių kanapių perdirbimo ir kitos atliekos. *Šiaudai* gerai izoluoja šilumą ir garsą. Neseniai Lietuvoje legalizuotos pluoštinės kanapės, jų perdirbimo metu gauti spaliai *galėtų būti panaudoti* kaip užpildas termoizoliaciniam betonui gaminti.

Straipsnyje apžvelgiama atsinaujinančių medžiagų šiaudų, pluoštinių kanapių perdirbimo atliekų panaudojimo galimybės statybinių medžiagų gamyboje, jų atitiktis esminiams statinio reikalavimams. Bandymais nustatyta kanapių betono gniuždymo stipris, atlikti šiluminių savybių tyrimai.

Reikšminiai žodžiai: kanapių betonas, šiaudai, medžiagų savybės.

Įvadas

Pastaraisiais metais Europos Sąjunga ėmėsi svarbių žingsnių, kad energijos suvartojimas taptų tvaresnis dėl įvairių priežasčių – ekonominių, saugumo ir aplinkosaugos. Vienas iš tų žingsnių buvo priėmimas Europos Parlamento ir Tarybos Direktyvos 2010/31/ES 2010 m. gegužės 19 d. dėl pastatų energinio naudingumo. Direktyvos vienas iš tikslų yra iki 2020 metų padidinti energijos naudojimo efektyvumą 20 %, sumažinti bendrą išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį 20 %, skatinti naudoti atsinaujinančius šaltinius statybų sektoriuje ir statybinių medžiagų pramonėje. Norint įvykdyti šį reikalavimą, reikia, kad statybų pramonė pereitų prie naujoviškų, novatoriškų, tvarių ir ekologiškų žaliavų statybinėms medžiagoms ir konstrukcijoms gaminti.

Statybinių medžiagų gamyboje siekiant sumažinti anglies dvideginio emisijas atmosferoje, galėtų būti naudojami žemės ūkio produkcijos gamyboje ir perdirbime gaunami šalutiniai produktai. Statybinėms medžiagoms gaminti gali būti naudojami šiaudai, pluoštinių kanapių spaliai su pluošto likučiais, smulkinti kanapių stiebai, išvalytas kanapių pluoštas ir kitos augalinės kilmės nemaistinės žaliavos.

Šiaudų visuomet lieka iškūlus kviečius, avižas, miežius ar rugius. Šiaudai naudojami kaip pašaras, kraikas, biokuras. Anksčiau didelė dalis šiaudų buvo sunaudojama gyvulininkystėje. Sumažėjus gyvulių skaičiui, pasikeitus gyvulių laikymo technologijoms, jų poreikis sumažėjo. Skaičiavimais nustatyta, kad Lietuvoje auginant javus kasmet gaunama apie 3,5–4,0 mln. t šiaudų, tačiau jie ne visi sunaudojami žemės ūkio reikmėms. Kitų šalių patirtis rodo, kad apie 10–12 % bendro šiaudų kiekio būtų galima panaudoti kitiems tikslams, t. y. Lietuvoje sudarytų apie 400–600 tūkst. tonų arba 4–6 mln. m³ presuotų šiaudų.

Šiaudai kaip statybinė medžiaga naudojami pakankamai seniai. Praeito amžiaus dešimtajame dešimtmetyje Australijoje, Kanadoje, Prancūzijoje, Meksikoje, Norvegijoje, Jungtinėse valstijose, taip pat atokiose Mongolijos bei Rusijos vietovėse šiaudinių pastatų iš šiaudų ryšulių buvo pastatyta daugiau kaip 400. Kai kurie pastatai iš šiaudų buvo panašūs į mažas pirkėles, kiti – į didelius kelių aukštų namus.

Pastaruoju metu statybose šiaudai naudojami kaip šilumą ir garsą izoluojanti konstrukcinė medžiaga. Šiaudų naudojimą pastatų statybai Lietuvoje ir kitose šalyse lėmė informacijos sklaida šiuolaikinėmis technologijomis, mokslinių tyrimų rezultatų viešinimas, įprastinių šilumą izoliuojančių medžiagų nuolatinis brangimas. Be to šiaudai ypatinga statybinė medžiaga, skleidžianti teigiamą energiją ir nepavojinga aplinkai.

Pluoštinės kanapės – kanapinių (*Cannabaceae*) šeimos sėjamosios kanapės (*Cannabis sativa L.*) rūšies veislių augalai, kurių išdžiovintoje medžiagoje tetrahidrokanabinolio yra ne daugiau kaip 0,2 % ir kurie auginami vien tik pramoniniams tikslams (pluoštui ir sėkloms) arba sodininkystei. 1993–1996 m. pluoštinių kanapių auginimas buvo legalizuotas daugumoje ES šalių, kitos prisijungė vėliau. 2013 m. buvo priimtas Lietuvos Respublikos pluoštinių kanapių įstatymas, kuris įsigaliojo 2014 m. Lietuvos Statistikos departamento duomenimis *pirmaisiais metais* šių augalų buvo auginama tik 1062,89 ha, o štai 2019 m. pluoštinių kanapių plotai jau sudarė 9182,03 ha. Iš kanapių stiebų gaunamas spaliai ir pluoštas. Spaliai gaunami perdirbant atsiklojęsčius stiebelius, o pluoštas – atskiriant nuo stiebo pluoštą. Kanapių spaliai ir pluoštas gali būti naudojami statybose (Balčiūnas, 2015). Kanapių pluoštas tinka šilumą izoliuojančios vatos gamybai. Kai kuriose

pasaulio šalyse, kuriose nebuvo draudžiama auginti pluoštines kanapes, tokia vata gaminama seniai. Ji pasižymi mažu tankiu ir yra mažai laidūs šilumai ($\lambda \approx 0,04 \text{ W/(mK)}$) (Pacheco-Torgal, 2013).

Kanapių spalvai gali būti naudojami kaip užpildas, gaminant šilumą izoliuojančius, o mažaaukštei statybai ir konstrukcinius-šilumą izoliuojančius betonus. Mokslinėje literatūroje teigiama, kad pastato siena iš pluoštinių kanapių betono pakankamai šilta, tačiau pasiekti, kad betonas būtų ir termoizoliacinis ir kartu konstrukcinis – gana sunku. Didesnes apkrovas geba išlaikyti tik didesnio tankio, stiprio, tačiau labiau laidus šilumai kanapių betonas. *Šilumos laidumui* per sienas *sumažinti* dažniausiai naudojama karkasinė sistema, kai pastato karkasas užpildomas pluoštinių kanapių mažo tankio betonu (Kazragis ir kt., 2006). Tokiu atveju karkasas *perima* konstrukcijų perduodamas *apkrovas ir užtikrina pastato mechaninį atsparumą bei pastovumą*. Tokių antrinių žaliavų panaudojimas betone pagerina termoizoliacines savybes ir kartu į aplinką išsiskiria mažiau CO₂.

Šio darbo tikslas – įvertinti atsinaujinančių žaliavų šiaudų, pluoštinių kanapių panaudojimo galimybes statybinių medžiagų gamyboje, jų atitiktį esminiams statinio reikalavimams.

Tyrimo metodai

Europos Sąjungoje tiekiami į rinką produktai turi būti praėję atitikties įvertinimo procedūrą ir turėti eksploatacinių savybių pastovumo sertifikatą arba jo pagrindu parengtą eksploatacinių savybių deklaraciją. Tai galioja ir statybos gaminiams. Statybos gaminiai turi būti patvarūs, saugūs, turi atitikti techninę specifikaciją.

Lietuvos Respublikos statybos įstatymo 4 str. teigia, kad statinys (jo dalis) turi būti suprojektuotas ir pastatytas iš tokių statybos produktų, kurių savybės per ekonomiškai pagrįstą statinio naudojimo trukmę užtikrintų esminius statinio reikalavimus. Esminiai statinio reikalavimai – tai nuostatos, kuriomis užtikrinama projektuojamų, statomų ir naudojamų statinių kokybė. LR Statybos įstatymas ir Europos Tarybos ir parlamento reglamentas Nr. 305/2011 nustato 7 esminius reikalavimus keliamus statiniams, tame tarpe statybos darbams ir statybinėms medžiagoms. Dokumentuose teigiama, kad statiniai, atskiros jų dalys, turi atitikti statinių naudojimo paskirtį ir atitinkamai tenkinti mechaninio atsparumo ir pastovumo, gaisrinės saugos, higienos, sveikatos ir apsaugos, saugos ir galimybės patekti į statinius naudojimo metu (įskaitant ir žmonių su negalia poreikius), apsaugos nuo triukšmo, energijos taupymo ir šilumos išsaugojimo, tvaraus išteklių naudojimo reikalavimus.

Mechaninis atsparumas ir pastovumas yra vienas svarbiausių reikalavimų keliamų statiniams. Reikalavimas nustato, kad statinys turi būti projektuojamas ir statomas taip, kad veikiančios apkrovos, statybos ir naudojimo metu, nesukeltų viso statinio ar jo dalies griūties. Apkrovos negali sukelti viršijančių leistinas ribas deformacijų. Be to leistinos deformacijos, negali daryti žalos kitoms statinio dalims, įrenginiams ar sumontuotiui įrangai.

Gaisrinė saugos požiūriu statinys turi būti projektuojamas taip, kad kilus gaisrui laikančiosios konstrukcijos *tam tikrą laiką* galėtų *išlaikyti* jas veikusias ir dėl gaisro atsiradusias *apkrovas*. Statiniuose turi būti ribojamas ugnies bei dūmų susidarymas ir plitimas, o gaisras negali išplisti į gretimus statinius.

Higienos, sveikatos ir aplinkos esminis statinio reikalavimas nustato, kad per visą statinio gyvavimo laikotarpį, nekiltų pavojus žmonių higienai, sveikatai ir saugai. Projektuojant, statant, eksploatuojant bei griunant statinius turi būti atsižvelgta į pavojingų cheminių medžiagų taršą, toksiškų dujų išsiskyrimą į orą tiek statinių viduje, tiek lauke. Draudžiama išleisti pavojingas medžiagas į vandens telkinius bei dirvožemį. Deginimo krosnių, įrenginių *išmetamos dujos* ir kietosios dalelės turi būti saugiai pašalinamos, turi būti tinkamai reguliuojamas, kietųjų arba skystųjų atliekų pašalinimas. Drėgmės atsiradimas konstrukcijose, jų paviršiuose taip pat yra nepageidaujamas poveikis, galintis *turėti* trumpalaikes ir ilgalaikes *pasekmes*.

Saugaus naudojimo požiūriu statiniai turi būti projektuojami ir statomi siekiant išvengti nelaimingų atsitikimų, pvz., susidūrimo, paslydimo, kritimo, nudegimo, žūties dėl elektros srovės, sužalojimo dėl sprogo ir įsilaužimų. Taip pat reikalavimas susijęs su neįgaliaisiais asmenimis, nes statiniai turi būti projektuojami ir statomi atsižvelgiant į šių žmonių galimybes patekti į statinį ir juo naudotis.

Apsaugos nuo triukšmo esminis statinio reikalavimas apibrėžia, kad statiniai turi būti projektuojami ir statomi taip, kad juose arba šalia jų būnančių žmonių girdimas triukšmas neviršytų sveikatai pavojingo lygio, leistų jiems dirbti, ilsėtis bei miegoti patenkinamomis sąlygomis.

Šiais laikais ypač aktualu siekti efektyvesnio šilumos vartojimo ir *energijos taupymo*. *Energijos taupymas* ir vartojimo efektyvinimas yra *labai* svarbus aspektas orientuotas į išlaidų bei emisijų mažinimą. Atsižvelgiant į vietovės klimato sąlygas ir statinių naudotojų poreikius, vėsinimo, šildymo bei vėdinimo įrenginiai statiniuose turi būti projektuojami taip, kad juos naudojant energijos sąnaudos nebūtų didesnės už reikiamas.

Vėliausiai į esminių statinių reikalavimų sąrašą buvo įtrauktas punktas apie tvarų gamtinių išteklių naudojimą. Statiniai turi būti projektuojami, statomi ir griunami taip, kad būtų tvariai naudojami gamtiniai ištekliai. Tvaraus gamtinių išteklių naudojimo strategijoje taip pat svarbu užtikrinti statinių, jų medžiagų pakartotinį naudojimą, aplinkai nežalingų žaliavų ir antrinių žaliavų panaudojimą. Statybinės medžiagos tvarumą apibūdina daug kriterijų, pvz., ar po panaudojimo ją galima utilizuoti arba perdirbti, ar jų gamybos procese naudojamos atsinaujinančios žaliavos, šalutiniai produktai ar atliekos. Mokslininkai atlieka daugybę tyrimų, kad būtų įrodyta, jog tokias medžiagas galima saugiai naudoti statybose, kad jos nepavojingos žmogui ir aplinkai.

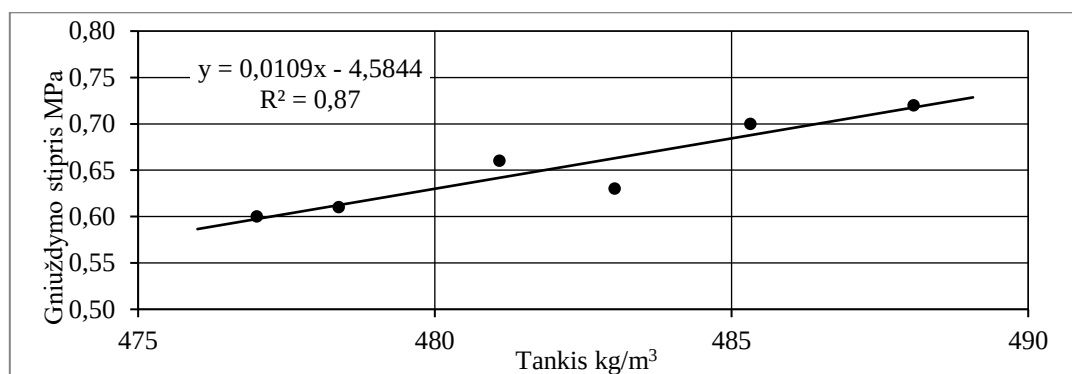
Atsinaujinančios žaliavos šiaudai, pluoštinės kanapės, jų panaudojimo galimybės statybose apžvelgti pagal statiniams nustatytus esminius reikalavimus.

Tyrimo rezultatai

Pasaulyje šiaudai, pluoštinės kanapės kaip statybos produktai ar jų sudedamoji dalis, dažniausiai naudojami karkasinių ar skydinių pastatų statybose. Šiaudai naudojami kaip garsą, šilumą izoliuojanti medžiaga. 2013 m. buvo atliktas techninis vertinimas UAB „Ecococon“ gaminamiems medinio karkaso su plokščių apkalomis skydams užpildytiems termoizoliaciniu šiaudų sluoksniu. Šiam statybos produktui buvo parengtas dokumentas atstojantis standartą (NTĮ-01-061:2013). Lietuvoje pluoštinės kanapės, jų perdirbimo atliekos kaip statybos produktai ar jų sudedamoji dalis iki šiol nėra įteisinta.

Vertinant šiaudų, pluoštinių kanapių panaudojimą pastatų konstrukcijoms esminio reikalavimo „Mechaninis atsparumas ir pastovumas“ požiūriu svarbios yra mechaninės savybės, ypač stiprumas. Šiaudai dažniausiai naudojami karkasinių ir skydinių pastatų statyboje kaip termoizoliacinė medžiaga. Apkrovas šiuo atveju atlaiko pastato karkasas. Lietuvoje atliktų medinių skydų su šiaudų užpildu tyrimų rezultatai rodo, kad šiaudus galima naudoti skydinių pastatų statyboje, kaip termoizoliacinę medžiagą. Naudojant skydinę konstrukciją galima statyti iki 9 metrų aukščio pastatus.

Pluoštinių kanapių perdirbimo produktai gali būti naudojami kaip užpildas gaminant konstrukcinius, šilumą izoliuojančius betonus. Atliktais moksliniais tyrimais nustatyta, kad tokių betonų gniuždymo stipris nėra didelis 0,02-1,22 MPa. Autorių atlikti tyrimai rodo, kad kanapių betono, kai rišamoji medžiaga negesintos kalkės gniuždymo stipris yra 0,60-0,72 MPa, o pakeitus rišamąją medžiagą 10% cementu, stipris nežymiai padidėja. Pateiktame grafike (1 pav.) matyti, kad priklausomybė tarp betono tankio ir gniuždymo stiprio yra tiesinė: didėjant betono tankiui stiprumas didėja.



1 pav. Priklausomybė tarp kanapių betono tankio ir gniuždymo stiprio

Šaltinis: sudaryta autorių

Labai svarbu pastatų konstrukcijas, kuriose naudojamas organinės kilmės medžiagos įvertinti gaisrinės saugos požiūriu. Pagal atliktus tyrimus presuoti šiaudai yra normaliai užsiliepsnojanti, degi medžiaga, priskirta E degumo klasei. Lietuvoje 2013 m. atliktais gaisriniais bandymais nustatyta, kad padengti tinku šiaudų skydai atitinka gaminių degumo klasę B (nežymiai palaiko degimą). Pagal *dūmų* susidarymą gaminyje priskirtas s1 klasei. Šiai klasei priskiriami gaminiai mažai arba visiškai neišskiriantys dūmų. Vertinant medžiagų pavojingumą susidarantių liepsnojančių lašelių požiūriu, gaminyje priskirtas d0 klasei, t.y. liensnojančių lašelių nebūna. Tokias konstrukcijas galima naudoti įvairių pastatų statybose.

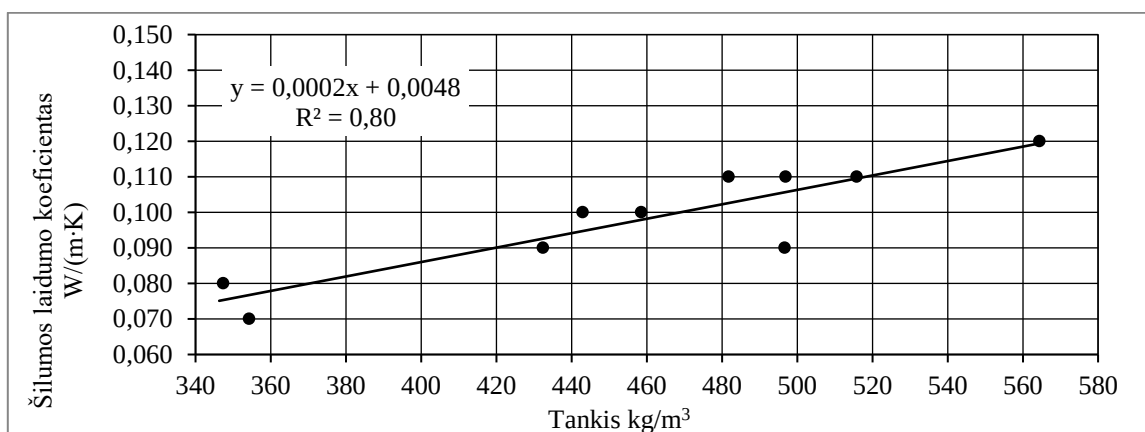
Latvijoje atliktais gaisriniais bandymais nustatyta, kad netinkuoto kanapių betono gaminyje atitinka C-s1, d0 degumo klasę. C klasės gaminiai degimą palaiko labiau, juos paveikusios liepsnos plitimas gali prasidėti ne vėliau kaip po 10 min. Kai kurie tyrėjų atlikti bandymai rodo, kad priklausomai nuo kanapių betono medžiagų sudėties, jis priskiriamas sunkiai degių medžiagų klasei B.

Vertinant šiaudus esminio reikalavimo „Higiena, sveikata ir aplinka“ požiūriu didžiausias dėmesys skiriamas puvinį sukeliantiems mikroorganizmams, graužikų apsigyvenimo galimybei. Atliktais moksliniais tyrimais nustatyta, kad šiaudai pradeda irti ir pūti, kai aplinkos drėgnumas didesnis kaip 18-20%. Lietuvoje gaminamiems šiaudų skydams parengtame NTĮ nurodyta, kad naudojami ne didesnio kaip 20% drėgnio šiaudai. Šiaudus būtina apsaugoti transportuojant, sandėliuojant ir naudojant statybos metu. Siekiant užtikrinti apsaugą nuo žiurkių, pelių ir kitų graužikų, šiaudus dengiančių medžiagų storis turi būti nemažesnis kaip 2 cm. Pastato karkasinės medinės ar surenkamos iš skydų sienos apatinę dalį galima padengti plieniniu tinkleliu. Vertinant esminio reikalavimo požiūriu kanapių betoną, galima teigti, jog sudėtyje nėra kenksmingų medžiagų, keliančių pavojų sveikatai arba aplinkai. Kanapių betonas taip pat turi geras drėgmės buferines galimybes, kurios pagerina patalpų oro kokybę užkertant kelią mikroorganizmų augimui (Walker ir kt., 2015). Parenkant tinką ar kitą sienų apdailą ir apsaugą atkreiptinas dėmesys į jo laidumą garams: vidinis tinkas ar kita apdaila turi būti mažiau laidūs garams nei išorinis. Tokios konstrukcijos sienoje nesikaupia drėgmė.

Naudojimo saugos esminio reikalavimo požiūriu pastatai iš presuotų šiaudų ir kanapių betono nekelia nurodytų rizikos veiksnių.

Vertinant statinių atitiktį esminio reikalavimo „Apsauga nuo triukšmo“ požiūriu, pastatams turi būti atliekamas akustinis vertinimas. Laboratoriniais bandymais nustatyta, kad karkasinės, tinkuotos šiaudų sienos vidutinis garso sugerties koeficientas yra 55 dB. Panašūs rezultatai gauti bandant Lietuvoje gaminamus šiaudų skydus, kur išmatuotos konstrukcijos *garso izoliacijos rodiklio* vertė yra 54 dB. Tai atitinka ypač *gero akustinio komforto sąlygų klasę, kuri priskiriama garso klasei A*. Tokia išorinė siena labai gerai izoluoja garsą ir atitinka pastatų išorinėms sienoms keliamus reikalavimus. Dėl savo aktytos ir pluoštinės struktūros, didesnio tankio nei įprastinės izoliacinės medžiagos, kanapų betonai izoluoja garsą tiek sugerties, tiek atspindžio principais. Jungtinėje Karalystėje nustatyta, kad karkasinė siena su kanapių betonu sulaiko 57-58 dB triukšmą. Bandymais nustatyta, kad sienos iš kanapių betono blokelių, kurių storis 30 cm garso sugerties koeficientas yra 50 dB. Tai rodo, kad ši medžiaga labai gerai izoluoja garsą ir pastatai iš jų atitinka ypač gero akustinio komforto – A klasės pastatams keliamus reikalavimus.

Pastatams, kuriuose patalpos turi būti šiltos, svarbus yra esminis reikalavimas „Energijos taupymas ir šilumos išsaugojimas“. Šilumą izoliuojančių gaminių energinis efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo šilumos laidumo koeficiento λ ir medžiagos sluoksnio storio atitvaroje. Tyrimais nustatyta, kad 70-150 kg/m³ tankio sausų presuotų šiaudų šilumos laidumo koeficiento vertė yra 0,04-0,06 W/(m·K) ir 0,05-0,07 W/(m·K), kai jie eksploatacinio orausio drėgnio. Šilumos laidumo koeficiento reikšmės rodo, kad šiaudai yra efektyvi šilumą izoliuojanti medžiaga, kurios šilumos laidumas nežymiai skiriasi nuo plačiai naudojamų šilumą izoliuojančių medžiagų. Tiriant kanapių betono savybes nustatyta šilumos laidumo koeficientas. Tyrimais nustatyta, kad kanapių betono šilumos laidumo koeficientas, priklausomai nuo tankio yra 0,07-0,12 W/(m·K) (2 pav.). Grafike pavaizduotas ryšys rodo, kad didėjant kanapių betono tankiui šilumos laidumo koeficientas didėja tiesiškai. Norint pasiekti atitinkančius aukšto energinio naudingumo pastatams keliamus reikalavimus, būtinas storesnis kanapių betono sluoksnis.

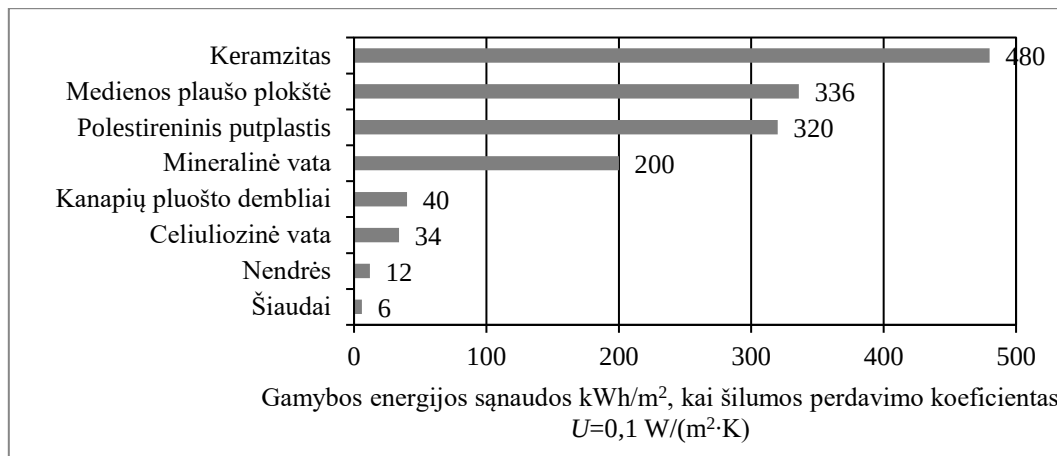


2 pav. Ryšys tarp kanapių betono tankio ir šilumos laidumo koeficiento

Šaltinis: sudaryta autorių

Šiaudai, pluoštinės kanapės, panaudoti kaip statybinės medžiagos ar kompozitai gaminiams gaminti labiausiai atitinka „Tvarus gamtos išteklių naudojimo“ esminį reikalavimą. Tinkamai panaudotos statybinės medžiagos iš atsinaujinančių žaliavų gali tarnauti ilgai. Pasaulyje yra išlikusių šiaudinių pastatų, kurie pastatyti prieš daugiau nei 100 metų. Lietuvoje parengtame Nacionaliniame techniniame įvertinime nurodytas šiaudų

skydų ilgaamžiškumas ne mažesnis kaip 50 m. Šiaudų panaudojimą lemia tai, kad šiaudų perdėrbimas į statybines arba šilumos izoliacines medžiagas yra paprastas, nebrangus, tam nereikia sudėtingos gamybos įrangos bei technologijos, o energijos sąnaudos gamybai pakankamai nedidelės, lyginant su tradicinėmis statybinėmis medžiagomis (3 pav.). Vertinant kanapių betono atitiktį esminiam reikalavimui, reikia pabrėžti, jog betono didžiąją masės dalį sudaro spalčiai – natūrali medžiaga, kurių tonoje sukaupia apie 325 kg CO₂. Tvarius atsinaujinančių medžiagų panaudojimas, nesudeginant ir nesupūdant jų, bet pritaikant statybinių medžiagų gamyboje, prisidėtų prie lokalinio šiltnamio efekto sumažinimo.



3 pav. Šilumą izoliuojančių medžiagų gamybai reikalingos energijos sąnaudos, kai atitvaros šilumos perdavimo koeficientas yra $U = 0,1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados

1. Remiantis atliktos apžvalgos ir tyrimų rezultatais galima teigti, kad augalinės kilmės žaliavos šiaudai, kanapių betonas, kaip natūrali šilumą izoliuojanti medžiaga, gali būti naudojami pastatų statybose, nes neprieštaruja statinio esminiems reikalavimams, nurodytiems Statybos įstatyme ir kituose norminiuose dokumentuose.

2. Kanapių betono gniuždymo stiprio rezultatai rodo, kad naudojant kaip rišamąją medžiagą negesintas kalkes stipris nėra didelis. Pakeitus rišamąją medžiagą 10% portlandcemenčiu, gniuždymo stipris nežymiai padidėjo.

3. Šilumos laidumo tyrimai rodo, kad didžiausiu laidumu pasižymi kanapių betonas, kurio mišiniui naudojamos mineralinės kilmės rišamosios medžiagos. Presuoti šiaudai pasižymi mažesniu šilumos laidumu, kuris nežymiai skiriasi nuo tradicinių šilumą izoliuojančių medžiagų.

4. Nedidelio stiprumo kanapių betonas tinka naudoti karkasinių ir skydinių pastatų statybai, kuriuose apkrovas išlaiko medinis karkasas, skydų mediniai elementai.

Literatūra

1. Lietuvos Respublikos statybos įstatymas.
2. Lietuvos Respublikos pluoštinių kanapių įstatymas.
3. Balčiūnas, G. Statybinių kompozitų su pluoštinių kanapių spaliais tyrimai. Daktaro disertacija. Technologijos mokslai, medžiagų inžinerija (08T). Vilnius, Technika, 2015. 134 p.
4. Kazragis, A., Gailius A. Kompozitinės medžiagos ir dirbiniai su gamtiniais organiniais užpildais. Monografija. Vilnius, Technika, 2006. 256 p.
5. Lekavicius V., Shipkovs P., Ivanovs S., Rucins A. Thermo-Insulation Properties of Hemp-Based Products. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. Volume 52: Issue 1, 2015. DOI: [https:// dx.doi.org /10.1515/lpts-2015-0004](https://dx.doi.org/10.1515/lpts-2015-0004).
6. Regulation (EU) No 2010/31 of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings.
7. Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products.
8. Walker R., Pavia S. Moisture transfer and thermal properties of hemp-lime concretes. Construction and Building Materials. Volume 64, 2014. DOI: <https:// dx.doi.org /10.1016/j.conbuildmat. 2014.04. 081>.
9. Pacheco-Torgal F. Eco-efficient construction and building materials research under the EU Framework Programme Horizon 2020. Construction and Building Materials. Vol. 51, 2013. <http://dx.doi.org/ 10.1016/j.conbuildmat.2013.10.058>.

Possibilities to Use Environmentally Friendly Building Materials from Renewable Raw Materials

Summary

Environmentally friendly construction is gaining popularity in the world - it is a set of methods of building and engineering structures that are as compatible as possible with nature and the social environment. In the face of the environmental problems associated with atmospheric change, alternative building materials are being developed which require low energy consumption. Agricultural production includes by-products, non-food raw materials that could be used to make building materials. Such materials include straw, waste from the processing of hemp grown for fiber. Straw provides good insulation against heat and sound. In Lithuania recently legalized fiber hemp and waste from its processing could be used as a filler for the production of thermal insulation concrete.

The article reviews the possibilities of using straw and fibrous hemp processing waste (from renewable materials) in the production of building materials and their compliance with the essential requirements of the building. The tests determined the compressive strength of cannabis concrete and investigated its thermal properties.

Key words: hemp concrete, straw, materials properties.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Dainius Ramukevičius.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras

Darbo vietą ir poziciją: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, statybos inžinerijos krypties studijų programų komiteto lektorius

Autoriaus mokslinių interesų sritys: statybinės medžiagos

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 699 95740, dainius.ramukevicius@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Vincas Gurskis

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: statybinės medžiagos

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 682 10129, vincas.gurskis@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Raimondas Šadzevičius

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: hidrotechnikos statinių defektai ir pažaidos, geotechnika

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 600 97176, raimondas.sadzevicius@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Dainius Ramukevičius

Science degree and name: Master Degree

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

Author's research interests: building materials

Telephone and e-mail address: +370 699 95740, dainius.ramukevicius@edu.ktk.lt

Author name, surname: Vincas Gurskis

Science degree and name: Doctor, Associated Professor

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

Author's research interests: building materials

Telephone and e-mail address: +370 682 10129, vincas.gurskis@edu.ktk.lt

Author name, surname: Raimondas Šadzevičius

Science degree and name: Doctor, Associated Professor

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

Author's research interests: Defects and Deteriorations of Hydraulic Structures, Geotechnics

Telephone and e-mail address: +370 600 97176, raimondas.sadzevicius@edu.ktk.lt

RASEINIŲ RAJONO APLEISTŲ HIDROMAZGŲ GELŽBETONINIŲ KONSTRUKCIJŲ PAGRINDINIAI DEFEKTAI IR PAŽAI DOS

Raimondas Šadzevičius¹, Dainius Ramukevičius¹, Ona Blankienė²
Vytauto Didžiojo universitetas¹, Kauno technikos kolegija²

Anotacija

Daugelis apleistų (iki 2010 m. naudotas terminas „bešeimininkų“) hidromazgų buvo naudojami daugiau nei 30 metų, todėl dėl medžiagų senėjimo ir kitų priežasčių didėja gedimų ir avarių tikimybė. Dėl nepakankamos priežiūros keliose užtvankose įvyko griūtys, kai kurie tvenkiniai pažeistose užtvankose buvo ištuštinti. Anksčiau Lietuvoje nebuvo atlikti išsamūs apleistų hidrotechnikos statinių techninės būklės įvertinimo tyrimai. Tampa aišku, kad norint įvertinti aplinkos veiksnių įtaką konstrukcijų techninei būklei, saugai, patikimumui ir ilgaamžiškumui, reikia praktiškų, moksliškai pagrįstų apleistų hidrotechnikos statinių techninės būklės įvertinimo algoritmų. Straipsnyje analizuojami 4 apleistų hidromazgų Raseinių r. techninės būklės įvertinimo tyrimų rezultatai. Dėl pastebėtų reikšmingų defektų ir pažaidų visi 4 hidromazgai yra kritinės būklės, dėl galimos griūties pavojaus tvenkinys Gylių IV ištuštintas, šiame objekte rekomenduojama demontuoti gelžbetonines konstrukcijas.

Reikšminiai žodžiai: apleisti hidromazgai, gelžbetoninės konstrukcijos, defektai, pažaidos.

Įvadas

Nuo 1950 m. iki 1990 m. buvo pastatyta daug vidutinio dydžio ir mažų (pagal slėgio aukštį) užtvankų, skirtų drėkinimui, energetikai, rekreacijai, žvejybai ir pan. Šiuo metu Lietuvoje yra apie 1100 užtvankų, kurių tvenkinių plotas yra didesnis nei 0,5 ha (Tvenkinių katalogas, 1998).

Beveik visi teisiniai dokumentai, reikalingi projektuojant, statant ir prižiūrint hidrotechnikos statinius buvo sukurti ir priimti (statybos techniniai reglamentai STR 2.02.06: 2004, STR 2.05.05: 2005, STR 1.03.07: 2017). Atsižvelgiant į jų svarbą viso hidromazgo patikimumui ir stiprumui, hidrotechnikos statiniai pagal statybos techninį reglamentą STR 2.02.06: 2004 skirstomi į dvi kategorijas: pagrindines konstrukcijas ir pagalbines. Pagrindiniai hidrotechnikos statinių patikimumą sąlygojantys elementai yra: gruntinių medžiagų užtvankos (GMU) ketera; GMU aukštutinis šlaitas, bermos ir jų tvirtinimas; GMU žemutinis šlaitas, bermos ir jų tvirtinimas, statinio papėdė, latakai; GMU drenažas ir jo elementai; perteklinio vandens pralaidos (PVP) įtekėjimo dalis; uždoriai; pakėlimo mechanizmai; PVP pratekėjimo dalis; slenkstis; PVP ištekėjimo dalis (užslenkstis). Taurai esantys slenkstinėse betoninėse užtvankose turi būti priskirti hidromazgo pagrindinių konstrukcijų kategorijai (Damulevičius ir kt., 2001). Kiti hidrotechnikos statinių patikimumą sąlygojantys elementai, priskirti pagalbinių konstrukcijų (mažiau svarbių užtvankos elementų) kategorijai: paviršinio vandens surinkimo latakai; grotos; tarnybinis tiltelis; taurai ir taureliai; risberma; galinis tvirtinimas; nutekėjimo kanalas.

Lietuvos užtvankų techninę būklę periodiškai tyrė Lietuvos žemės ūkio akademijos (dabar – Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos) mokslininkai. 313 žemių užtvankų (ŽU) užtvankų (priklausančių melioracijos tarnybai) techninė būklė buvo įvertinta taip (Lindišas ir kt., 1997): geros būklės buvo 143 užtvankos (38,9% iš tirtų užtvankų); patenkinamos – 120 užtvankų (32,6%); nepatenkinamos – 58 užtvankos (15,8 proc.). Tyrimai buvo tęsiami 2002–2009 metais, kuomet įvertinta 260 Lietuvos žemių užtvankų techninė būklė ir nustatyta, kad 15 ŽU (6% iš tirtų užtvankų) yra geros būklės, 109 ŽU (42%) – vidutinės būklės, 87 ŽU (34%) – patenkinamos būklės, 22 ŽU (8%) – nepatenkinamos būklės, o 27 ŽU (10%) yra kritinės būklės. Palyginus 1997 m. ŽU techninės būklės įvertinimo rezultatus su 2009 m. tyrimų rezultatais, nustatyta, kad ŽU techninė būklė Lietuvoje pablogėjo. Tyrimų rezultatų analizė (Šadzevičius ir kt., 2013) parodė, kad nepatenkinamos ir kritinės būklės objektų skaičius 2009 m. padidėjo iki 19 %, kai 1997 m. 16% nuo viso tirtų objektų skaičiaus buvo nepatenkinamos būklės. Marijampolės ir Kėdainių savivaldybėse esančių betoninių slenkstinių užtvankų techninės būklės pokyčių tyrimų analizė pateikta literatūroje (Šadzevičius, Sankauskienė, 2013). Lietuvos hidromazguose esančių gelžbetoninių konstrukcijų defektų analizė aptarta mokslinėje literatūroje pagal atskiras konstrukcijas: žemių užtvankų šlaitų tvirtinimo plokščių (Šadzevičius ir kt., 2011), tarnybinių tiltelių (Šadzevičius, Mikuckis, 2010), atraminių sienų (Šadzevičius et al. 2009; Šadzevičius ir kt., 2013).

Apleistų hidromazgų konstrukcijų techninę būklę Lietuvoje nebuvo įvertinta, nes ankstesnių tyrimų metu nebuvo aišku kam šios užtvankos priklauso, kas jų savininkas. Nuo 2010 m. apleisti hidromazgai buvo įtraukti į savivaldybių turto balansus. Žinant, kad šių hidromazgų hidrotechnikos statiniai neprižiūrima, jų techninė būklė kasmet blogėja, yra didelė griūčių tikimybė. Valstybiniu lygiu nėra sprendimo, ką daryti su

šiais statiniais: juos remontuoti, rekonstruoti ar nugriauti ir taip atkurti buvusias natūralias upių vagas. Vertinant ekonominiu požiūriu – svarbiau išsaugoti jau įrengtas hidrotechnikos statinių gelžbetonines konstrukcijas laiku atliekant jų remontą ar rekonstravimą.

Tikslas – nustatyti apleistų hidromazgų konstrukcijų pagrindinius defektus ir pažeidimus.

Uždaviniai:

- Iširti ir įvertinti apleistų hidromazgų konstrukcijų techninę būklę, nustatant pagrindinius defektus ir pažeidimus, prognozuojant pažeidimų vystymąsi ir poveikį konstrukcijų saugai.
- Įvertinti naujų medžiagų, naujų remonto ar rekonstravimo principų taikymo galimybes rekonstruojant apleistus hidromazgus.
- Įvertinti kritinės būklės hidromazgų griovimo ar renatūralizavimo galimybes.

Tyrimo objektas

Tyrinėti apleisti Lietuvos hidromazgai, daugiausia dėmesio skirta statiniams esantiems Klaipėdos, Kauno, Tauragės, Šiaulių, Utenos, Panevėžio apskrityse. Detalesniems tyrimams buvo pasirinkta Kauno apskrities Raseinių rajonas, kuriame 2008 metais buvo 17 apleistų hidromazgų: Juteikiai, Tauručiai, Verėduvaitė, Paturkšlys, Betygala, Pramedžiava, Girkalnis I, Girkalnis II, Kaulakiai II, Dumšiškiai, Piktaičiai, Gyliai I, Gyliai II, Vėjukai, Viduklė, Paviduklė, Vailabai. Šiame darbe pateikiami 4 tipinių apleistų hidromazgų iš Raseinių r. techninės būklės tyrimo rezultatai.

Tyrimų metodika

Apžiūrint apleistų hidromazgų betonines ir gelžbetonines konstrukcijas ir įvertinant jų techninę būklę buvo taikomi šie metodai:

- Vizualinė apžiūra: statinių konstrukcijos apžiūrėtos tyrimų vietoje ir vertintas defektų ir pažeidimų dydis.
- Struktūros neardantis metodas betono stipriui nustatyti.

Hidromazgo elementų techninė būklė buvo įvertinta naudojant defektyvumo balus (Bu,) dešimties balų skalėje pagal statybos techninį reglamentą STR 1.03.07: 2017: 0 balų – ideali būklė, 10 balų – kritinė būklė.

Jei kuris nors iš hidromazgo pagrindinių elementų įvertinamas nuo 8,1 iki 10 defektyvumo balų, viso hidromazgo būklė įvertinama tuo pačiu balu. Kitais atvejais, norint nustatyti bendrus hidromazgo defektyvumo balus, apskaičiuojami atskirų konstrukcijų defektyvumo balų vidurkiai. Atskirų konstrukcijų pažeidimai ir jų dydžiai vertinti pagal kriterijus nurodytus STR 1.03.07: 2017.

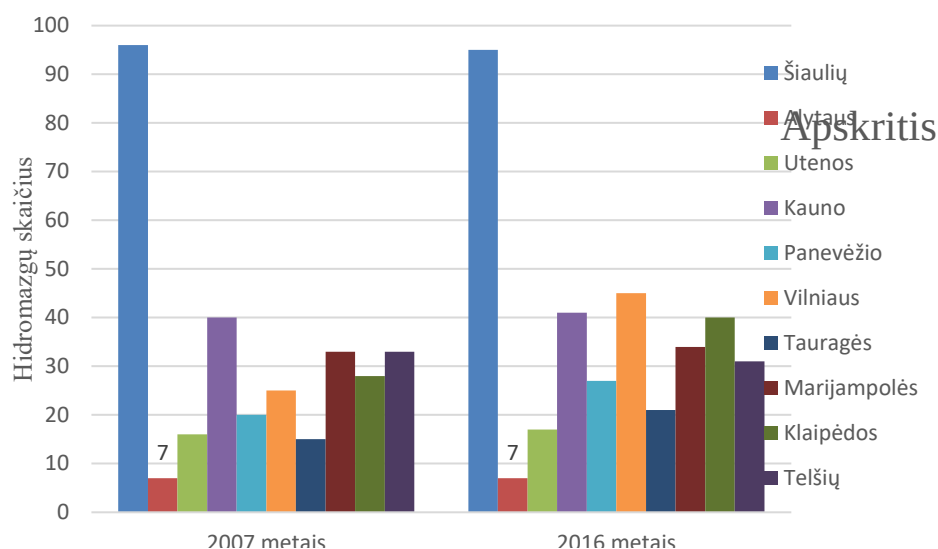
Vizualinės apžiūros metodas leidžia įvertinti tokių konstrukcijų paviršiaus defektus: nuskelti kampai, briaunos, nudėvėtas paviršinis betono apsauginis sluoksnis, sluoksniuotas betonas, plyšiai, blogas betono sutankinimas ir armatūros korozija. Natūrinių tyrimų metu įvertintos betoninių paviršių išgraužos, plyšiai, deformacijos, defektų bei pažeidimų pobūdis ir priežastys, plyšių pločiai ir gyliai.

Vizualinei hidromazgo apžiūrai buvo naudojami paprasti instrumentai (liniuotė, juosta, gulsčiukas) drenazui, gelžbetoninėms konstrukcijoms ir jų siūlėms apžiūrėti – rankinės ir mechaninės atkasimo priemonės. Hidrotechnikos statinių konstrukcijų defektai ir pažeidimai nufotografuoti.

Betono struktūros neardantis gniuždomojo stiprio nustatymas atliktas pagal Europos standartą EN 12504–2: 2012 „Betono bandymas konstrukcijose. Neardomasis bandymas. Atšokimo skaičiaus nustatymas“ naudojant kalibruotą prietaisą – betono plaktuką (Schmidto plaktuką), kuris naudojant standartinį priekalą buvo kalibruotas prieš ir po kiekvieno tyrimo.

Tyrimų rezultatai

1 paveiksle pateikti apibendrinti duomenys apie hidrotechnikos statinių su tvenkiniais skaičių Lietuvos hidromazguose 2007 ir 2016 m. Informacija apie šiuos statinius surinkta analizuojant literatūros šaltinius (Melioruotos žemės ir melioracijos statinių ..., 2007; Melioruota žemė ir melioracijos statiniai, 2017).



1 pav. Hidrotechnikos statinių su tvenkiniais skaičius Lietuvos hidromazguose 2007 ir 2016 m

Šaltinis: sudaryta autorių

Remiantis 1 paveiksle pateiktais rezultatais, hidrotechnikos statinių su tvenkiniais skaičius Lietuvos hidromazguose sumažėjo tik Telšių ir Šiaulių apskrityse (2007 – 2016 m. laikotarpiu). Daugiausia naujų hidrotechnikos statinių įrengta Vilniaus (20 naujų hidrotechnikos statinių) ir Klaipėdos (12 naujų hidrotechnikos statinių) apskrityse.

Atlikus literatūros (Melioruotos žemės ir melioracijos statinių, 2007) analizę nustatyta, kad išsamiausi duomenys apie apleistų hidromazgų būklę 2007 m. pateikti 6-iose Lietuvos apskrityse, trūksta informacijos apie hidromazgų būklę 4 apskrityse (Vilniuje, Telšiuose, Alytuje, Marijampolėje).

Remiantis 2 paveiksle pateiktais rezultatais (iš 6 Lietuvos apskričių), 2007 metais didžiausias apleistų hidromazgų skaičius buvo Kauno apskrityje. Detalesniems tyrimams Kauno apskrityje Raseinių rajone atrinkta 17 apleistų hidromazgų: Juteikių, Tauručių, Verėduvaitės, Paturkšlio, Betygalos, Pramedžiavos, Girkalnio I, Girkalnio II, Kaulakių II, Dumšiškių, Piktaičių, Gylių I, Gylių II, Vėjukų, Viduklės, Paviduklės, Vailabų.



2 pav. Apleistų hidromazgų su tvenkiniais skaičius šešiose Lietuvos apskrityse 2007 metais

Šaltinis: sudaryta autorių

Šiame darbe pateikiami 4 apleistų hidromazgų Raseinių rajone techninės būklės įvertinimo rezultatai (1 lentelė). Hidromazgų perteklinio vandens pralaidų gelžbetoninių konstrukcijų defektų ir pažeidimų iliustracija pateikta 3 ir 4 paveiksluose.

1 lentelė

Apleistų hidromazgų Raseinių rajone (Kauno apskritis) techninės būklės įvertinimo rezultatai

Tvenkinio pavadinimas	Statybos metai	Labiausiai pažeistos konstrukcijos, pažeidos tipas, konstrukcijos būklės įvertinimas balais	Matavimo vieta PVP šachtoje	Vidutinis gniuždymo stipris $f_{ck,cub}$ MPa	Hidromazgo būklės įvertinimas balais
Gylių I (žemiausiai pagal upės tėkmę)	1976	PVP šachta „vienuolio“ tipo, neprižiūrima, išimti šandorai (9,0). Kiti pagrindiniai užtvankos elementai – 8,1–8,5 balo. Užtvanka turėtų būti nedelsiant suremontuota. Tarnybos tiltelis nukritęs nuo atramos, neatlieka savo funkcijų (10,0)	–	–	9,0
Gylių II	1976	PVP šachta „vienuolio“ tipo neprižiūrima (8,5). Kiti pagrindiniai užtvankos elementai –	Virš NPL	28,5	10,0
			Žemiau NPL	19,5	

Tvenkinio pavadinimas	Statybos metai	Labiausiai pažeistos konstrukcijos, pažaidos tipas, konstrukcijos būklės įvertinimas balais	Matavimo vieta PVP šachtoje	Vidutinis gniuždymo stipris $f_{ck,cub}$ MPa	Hidromazgo būklės įvertinimas balais
		8,1–8,5 balo, uždoriai (10,0). Tvenkinys nuleistas.			
Gylių III	1976	PVP šachta „vienuolio“ tipo neprižiūrima (8,2). Keli pagrindiniai užtvankos elementai 8,1–8,2 balo, užtvanka neatlieka savo funkcijų.	Virš NPL	27,5	8,2
			Žemiau NPL	15,0	
Gylių IV (aukščiausiai pagal upės tėkmę)	1976	PVP šachta „vienuolio“ tipo neprižiūrima (9,0). Keli pagrindiniai užtvankos elementai 8,1–9,0 balo, užtvanka neatlieka savo funkcijų.	Virš NPL	20,5	9,0
			Žemiau NPL	7,5	

Pastaba. NPL – normalus patvankos lygis

Šaltinis: sudaryta autorių

Remiantis betono gniuždomojo stiprio bandymų rezultatais (atliktais struktūros neardančiu bandymo metodu) nustatyta, kad perteklinio vandens pralaidų gelžbetoninių šachtų betono vidutinis gniuždomasis stipris $f_{ck,cub}$ virš normalaus patvankos lygio yra 146 273% didesnis, palyginus su šachtos dalimi, kuri žemiau NPL (1 lentelė). Šios silpnėsio betono zonos žemiau NPL (charakteringa šviesesnė betono spalva rodo vykstančius betono korozijos procesus) yra matomos 3 ir 4 paveiksluose.



3 pav. Šachtinio tipo perteklinio vandens pralaidos Gylių I ir Gylių II apleistuose hidromazguose

Šaltinis: sudaryta autorių



4 pav. Šachtinio tipo perteklinio vandens pralaidos Gylių III ir Gylių IV apleistuose hidromazguose

Šaltinis: sudaryta autorių

Remiantis Raseinių r. apleistų hidromazgų techninės būklės tyrimo rezultatais, pagrindiniai gelžbetoninių konstrukcijų defektai ir pažaidos yra šios: nuskelti kampai, briaunos, pažeistas apsauginis betono sluoksnis, sluoksniuotas betonas, įtrūkimai, bloga betono kokybė ir armatūros korozija, tarnybos tiltelių ir PVP šachtinių pralaidų deformacijos yra pavaizduotos 3 ir 4 paveiksluose.

Panašius hidromazgų gelžbetoninių konstrukcijų tyrimo rezultatus gavo lietuvių (Šadzevičius ir kt., 2009; Šadzevičius, Mikuckis, 2010; Šadzevičius ir kt., 2011; Šadzevičius, Sankauskienė, 2013; Šadzevičius ir kt., 2013) ir Norvegijos (Jensen 2001) tyrėjai, kurie taip pat nustatė, kad pagrindiniai procesai (priežastys), sukeliančios konstrukcijų techninės būklės pablogėjimą ir deformacijas, yra šie:

- agresyvūs aplinkos poveikiai (užšalimas – atšildymas; ledas, bangos; smūginiai poveikiai; periodiškasis drėkinimas ir kt.);
- armatūros korozija, reaktyvių užpildų naudojimas, paplovimas, erozija;

- blogai atlikti betonavimo darbai: žema statybinių medžiagų kokybė, priežiūros stoka kietėjant betonui ir vėliau;
- kai kuriais atvejais – blogi projektiniai sprendimai.

Raseinių r. apleistų hidromazgų techninės būklės tyrimo metu užfiksuotos PVP šachtų, kurios priskiriamos hidromazgo pagrindinių konstrukcijų kategorijai, žymūs defektai ir pažaidos, dėl kurių sumažėja hidromazgo elementų stiprumas ir patikimumas, visų 4 hidromazgų techninė būklė pagal STR 1.03.07: 2017 įvertinta 8,2-10,0 balo, o tai rodo, kad hidromazgai yra kritinės būklės. Ši kritinė būklė turi būti pašalinta minėtus hidromazgus rekonstruojant arba nugriauinant. Rekomenduojama Gylių I, Gylių II, Gylių III apleistuose hidromazguose rekonstruoti PVP šachtas naudojant didesnio skersmens gofruotus metalinius vamzdžius, kartu sutvarkant ir kitas pažeistas gelžbetonines konstrukcijas: tarnybinius tiltelius, atramines sienas ir kt. Gylių IV hidromazgo tvenkinys ištuštintas, todėl ekonomiškiau šio hidromazgo gelžbetonines konstrukcijas demontuoti.

Išvados

1. Remiantis Raseinių rajono apleistų hidromazgų techninės būklės tyrimo rezultatais, pagrindinių gelžbetoninių konstrukcijų defektai ir pažaidos yra žymios ir pavojingos visam hidromazgui. Dėl tyrimo metu užfiksuotų žymių defektų ir pažaidų, kurie labai sumažina hidromazgo elementų stiprumą ir patikimumą, visi 4 hidromazgai įvertinti 8,2–10,0 balų ir yra kritinės būklės.
2. Gylių I, Gylių II, Gylių III apleistuose hidromazguose perteklinio vandens pralaidos gali būti rekonstruotos naudojant didesnio skersmens gofruotus metalinius vamzdžius. Šie rekonstrukcijos principai galėtų būti taikomi rekonstruojant ir kitus apleistus hidromazgus Lietuvoje.
3. Gylių IV hidromazgo tvenkinys ištuštintas, perteklinio vandens pralaida ir visas hidromazgas yra kritinės būklės, dėl keliamo pavojaus griūties atveju, šiame objekte gelžbetoninės konstrukcijos turėtų būti demontuotos.

Literatūra

1. Chen, J., Masoud, S., Xuehui, A. Experimental and numerical study of cracking behavior of openings in concrete dams. 2005. Computers and Structures, 83, No 8–9: 525–535.
2. Europos standartas EN 206: 2013 + A1: 2017. Betonas. Specifikacija, eksploatacinės savybės, gamyba ir atitiktis.
3. LST EN 12504–2:2012 Betono bandymas konstrukcijose. 2 dalis. Neardomieji bandymai. Atšokimo rodiklio nustatymas.
4. Damulevičius, V.; Rimkus, Z.; Vyčius, J. Investigation of the technical state of hydraulic structures in Lithuania. 2001. Vandens ūkio inžinerija, 15 (37): 81–89.
5. Lindišas, L., Ramonas, Č., Vaišvila, K. A., Žekevičius, R. Gelžbetoninių hidrotechnikos konstrukcijų techninės būklės vertinimo metodų kūrimas. 1997. Kaunas, Akademija. 83p.
6. Šadzevičius, R., Damulevičius, V., Skominas, R. The technical state of earth dams in Lithuania. Journal of environmental engineering and landscape management. Vilnius, Technika. 2013, Vol. 21, No. 3: 180–188.
7. Šadzevičius, R., Sankauskienė, T. Analysis of Technical State Changes of Spillway Concrete Gravity Dams in Municipalities of Marijampolė and Kėdainiai District. Rural development 2013: the sixth international scientific conference, 28–29 November, 2013, Akademija: Aleksandras Stulginskis University. Vol. 6, b. 3: 470–476.
8. Šadzevičius, R., Sankauskienė, T. 2013. Analysis of Technical State Changes of Spillway Concrete Gravity Dams in Municipalities of Marijampolė and Kėdainiai District. Rural development 2013: the sixth international scientific conference, 28–29 November, 2013, Akademija: Aleksandras Stulginskis University. Vol. 6, b. 3: 470–476.
9. Šadzevičius, R., Mikuckis, F., Ramukevičius, D. Defect analysis of reinforced concrete slabs for earth dam slope protection. Civil Engineering'11: 3rd international scientific conference, 12–13 May, 2011: proceedings. Latvia University of Agriculture. Jelgava, Vol. 3: 44–49.
10. Šadzevičius, Raimondas, Mikuckis, Feliksas. Hidromazgų gelžbetoninių priežiūros tiltelių defektai ir pažaidos. 2010. Vandens ūkio inžinerija. Nr. 36(56): 92-99.
11. Šadzevičius, Raimondas, Patašius, Algimantas, Mikuckis, Feliksas. 2009. Hidromazgų vandens ramino baseino gelžbetoninių ramtų plyšių klasifikacija pagal pavojingumą konstrukcijai. Vandens ūkio inžinerija. Nr. 35(55):110-116.
12. Skominas, R., Gurskis, V., Šadzevičius, R., Damulevičius, V., Radzevičius, A. Evaluation of cement mortar suitability for repairing concrete in hydraulic structures. 2017, KSCE Journal of Civil Engineering, 00 (0): 1–7.
13. [EM 1110-2-2002](#). Evaluation and Repair of Concrete Structures. 1995. Dept. Of the Army U.S. Army Corps of Engineers. Washington..
14. Jensen, V. Survey about damage, repair and safety of Norwegian concrete dams. ICOLD European Symposium. Geiranger, Norway, 25–27 June, 2001.
15. Tvenkinių katalogas. 1998. Aplinkos apsaugos ministerija, Hidrografinio tinklo tarnyba. Kaunas.
16. Melioruotos žemės ir melioracijos statinių techninės būklės įvertinimas. 2007. Vilnius, Valstybinis žemėtvarkos institutas. 119 p.

17. Statybos techninis reglamentas STR 1.03.01:2016. Statybiniai tyrimai. Statinio avarija.
18. Statybos techninis reglamentas STR 1.03.07:2017. Statinių techninės ir naudojimo priežiūros tvarka. Naujų nekilnojamojo turto kadastro objektų formavimo tvarka.
19. Statybos techninis reglamentas. STR 2.02.06: 2004. Hidrotechnikos statiniai. Pagrindinės nuostatos.
20. Statybos techninis reglamentas STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas.
21. Melioruota žemė ir melioracijos statiniai (2017–01–01). 2017. Vilnius, Valstybinio žemės fondo leidiniai. 60 p.

MAIN DEFECTS AND DETERIORATIONS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN THE NEGLECTED HYDROSHEMES OF RASEINIAI DISTRICT

Summary

Many neglected (term "hostless" by 2010) hydroschemes were exploited for over 30 years, so due to the aging, the probability of accidents increases. Due to the insufficient exploitation in several dams the breaches occurred, some ponds in damaged dams have been emptied. It is known that no comprehensive research on technical state evaluation of neglected hydroschemes has been carried out in Lithuania. It becomes clear that practical, scientifically based algorithms for the technical state evaluation of neglected hydraulic structures are needed in order to assess the impact of environmental factors on the technical state, safety, reliability and durability of structures. This paper focuses on the presentation of investigation results of technical state evaluation of 4 neglected hydroschemes in Raseiniai distr. Due to the noticed significant defects and deteriorations all 4 hydroschemes are in critical state, the pond in Gyliai IV is emptied, the demolition of reinforced concrete structures should be applied in this object.

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

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Raimondas Šadzevičius

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: Vytauto Didžiojo universitetas, Vandens ūkio ir žemėtvarkos fakulteto, Hidrotechninės statybos inžinerijos instituto docentas.

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

Telefonas ir el. pašto adresas: 863111669, raimondas.sadzevicius@vdu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Dainius Ramukevičius.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras.

Darbo vietą ir poziciją: Vytauto Didžiojo universitetas, Vandens ūkio ir žemėtvarkos fakulteto, Hidrotechninės statybos inžinerijos instituto lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: statybinės medžiagos.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 37 752322, dainius.ramukevicius@vdu.lt.

Autoriaus vardas, pavardė: Ona Blankienė

Mokslo laipsnis ir vardas: –asistentė

Darbo vietą ir poziciją: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, statybos inžinerijos krypties studijų programų komiteto asistentė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: kelio statinių defektai ir pažaidos, statinių priežiūra, inžinerinė geodezija

Telefonas ir el. pašto adresas: 862121772, ona.blankiene@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Raimondas Šadzevičius

Science degree and name: Doctor, Associated Professor

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

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

Telephone and e-mail address: +370 63111669, raimondas.sadzevicius@vdu.lt

Author name, surname: Dainius Ramukevičius

Science degree and name: master degree.

Workplace and position: Vytautas Magnus University, Faculty of Water and Land Management, lecturer at the Institute of Hydraulic Engineering.

Author's research interests: building materials.

Telephone and e-mail address: +370 37 752322, dainius.ramukevicius@vdu.lt

Author name, surname: Ona Blankienė

Science degree and name: –

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

Author's research interests: defects and deteriorations of road engineering structures, maintenance of buildings, engineering geodesy.

Telephone and e-mail address: +37062121772, ona.blankiene@edu.ktk.lt

DATA TRANSMISSION SYSTEM IN POWER DISTRIBUTION GRID

Paulius Tervydis^{1,2}, Rūta Jankūnienė¹

¹Kaunas University of Applied Engineering Sciences, ²Kaunas University of Technology

Abstract

The performance of power distribution grid requires a consistent monitoring and controlling. A reliable delivering of critical data is very important because data loss could cause incorrect actions of grid control system, data transmission system must be compatible with former installed communications infrastructure. All above, presuppose strict requirements for effective communication solution. The recommendations for choice of data transmission system are discussed basing on various criteria, such as grid physical topology, data flows, system reliability, compatibility, security and costs. A method presented allows calculating data packet propagation delay and loss assessing data priority, intensities of data sending and others.

Key words: distribution grid, control, communications, data flow characteristics.

Introduction

A distribution segment of power grid is located near user domain. It connects the transmission and customer domains and characterized usually with high variety of power transmission lines containing distribution feeders and transformers to supply electricity to users and wide territorial coverage. This part of power grid is quite dynamic and unreliable. Often it encounters with series problems that could lead to performance degradation of power grid and cause undesirable power interruptions.

Power distribution grid modernization is an interdisciplinary field of researches that combines basically communications, control and dynamic optimization techniques (Kumar, Zare, Gnosh, 2017: 12230-12256; Colak, Fulli, Sagioglu, Yesilbudak, Covrig, 2015: 58–70). Data transmission is especially of high importance for better, faster, safer and more reliable grid control. Sensors communicate with power grid infrastructure, with each other and with grid control center through wireless or wire media; so, communications play a big role in assuring of grid performance. For example, wireless sensor networks (WSN) can be deployed in substations with transformers that divide a voltage for electricity distribution through local feeders. They can be used also on overhead lines for metering of their sagging and for flora control around lines, or they can be used in control of renewable energy generation as well as for monitoring energy use (Ogbodo, Dorrell, Adnan M. Abu-Mahfouz, 2017: 19084-19098; Tsadoa, Lundb, Gamage, 2015: 1–16; Yang, Xie, Xu, Jiang, 2011: 192-199). An effective communications system helps to enhance a grid performance much more compared to the case when just tools of automatic are used (Abujubbeh, Al-Turjma, Fahrioglu, 2019: 18; Emmanuel, Rayudu, 2016: 133–148; Sharma, Saini, 2015: 720–735).

Nevertheless, the monitoring is possible often only in high voltage grid domain (i.e. in generation and transmission segments) due to the lack of communications in distribution grid part with exception of substations containing transformers and distribution cabinets near user side. This could be explained by the fact that the using of distribution management system (DMS) for gathering performance data from remote grid nodes, that represent medium and low voltage grid parts, and such data transferring to control centre is inefficient because of it's high costs due to complexity of components, the need for additional devices such as batteries, chargers, sophisticated communications equipment. So, DMS often is not implemented in distribution part of grid.

Another big problem is related with heterogeneity of communications. Having in mind, that vendors, users and utilities may use different communications, an interaction of such technologies is very important (Zaker, B. Kantarci, M.-E. Kantarci, Mouftah, 2014: 53–68; Quang, See, Jui, 2013: 67-75; Ancillotti, R. Bruno, M. Conti, 2013: 1665–1697; Zaballos, Vallejo, Selga, 2011: 30-37; Chen, 2010: 2–3). Such networks faces with severe quality of service (QoS) restrictions because an equipment of different functionality intercommunicates according different QoS requirements and often using different physical media. Wire and wireless networks interconnection is very relevant, because it could ensure full mobility and quality of service.

Security and privacy are the other issues to address as it is related with unauthorized access to the advanced meter data, devices switching-off, smart metering data non-recognition, invisible energy hijacking, assault on grid infrastructure to cause power interruptions, and etc. (Suleiman, Alqassem, Diabat, Arnautovic, Svetinovic, 2014: 147–160; Iyer, 2011, 9-16; Anthony, Metke, Ekl. Randy, 2010: 99-107).

Therefore, a standardized and open information models, and communication services are necessary. The subject matter includes converged communications networking, routing, transport protocols, and QoS support for grid functionalities. This largely raises efficiency of power distribution grid (Tsadoa, Lundb, Gamage, 2015: 1–16). Many researches concern designing of basic strategies and applications of inherited communications systems in order to integrate them in to smart grid. Issues concerning eligibility of

communications standards, transmission platforms and architectures were analyzed in series of researches (Ancillotti, R. Bruno, M. Conti, 2013: 1665–1697; Tsadoa, Lundb, Gamage, 2015: 1–16; Gao, Xiao, Liu, Liang, Philip Chenc, 2012: 391-404).

An efficient communications system selection should refer not only on possible links in power distribution grid but on the requirements for data transmission quality for various grid applications as well. A real time monitoring for performance evaluation requires periodic data; when bulk (or random) data transmission is used reading log files and electricity quality information (Personal, Guerrero, Garcia, Pena, Leon, 2014: 976-988; Quang, See, Jui, 2013: 67-75; Kuzlu, Pipattanasomporn, Rahman, 2014: 74–88). The reliable delivering of critical data is very important because data loss could cause incorrect actions of grid control system. Sometimes delayed data can affect grid performance in much more comparing with the cases, when they are lost. The requirements for data delay are very strict (500 ms) and therefore the priority of gathered data is necessary considering for transmission to grid control system. For reasons listed above, data require classifying according to its importance.

Assumptions said above presupposes a research directions for this article, which organized in such a way: a recommendations for solution of proper communication systems, compatible with existing communications technologies in distribution grid, are presented in the section of "Selection of communication systems". "Method of data flow parameters calculation" reveals the effectiveness of communications system regarding data flows characteristics, which describes an approach for data flow parameters calculation. Finally, an evaluation of distribution network load with data flow parameters calculations is described in section of „Data flow parameters calculations“. Conclusions present the results and assumptions for the future research.

Selection of communication systems

Power distribution grid can be modernized by implementing additional means of telecommunications to the existing (traditional) power distribution grid, because communications allow registering power load generated by users (for accounting purposes) as well as control remote substations, i.e. to monitor and manage, and various switching devices.

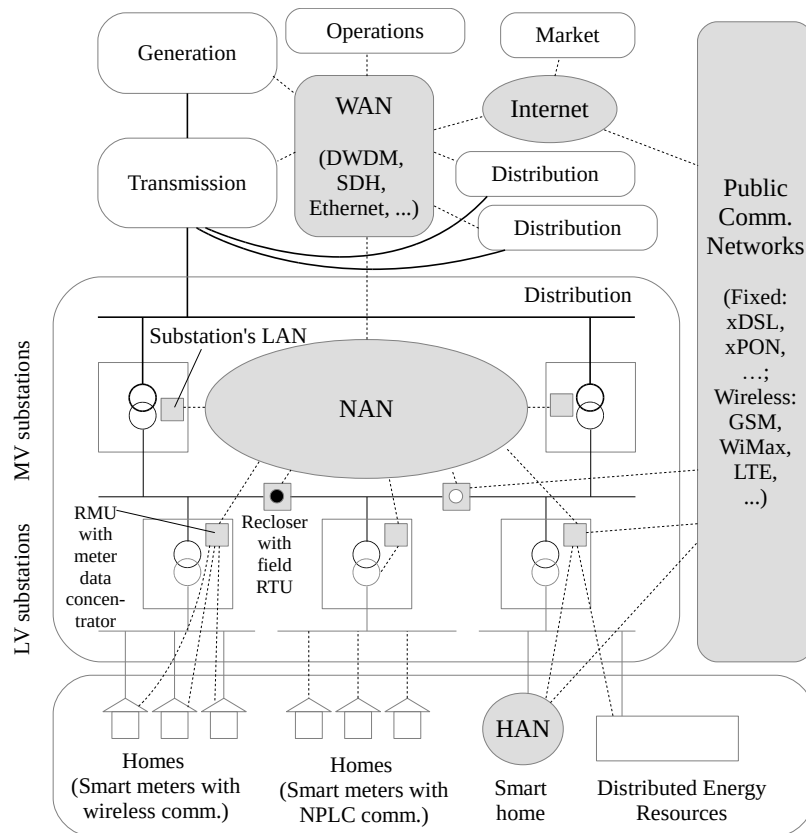


Fig. 1. Generalized scheme of SmartGrid (RMU – Ring Main Unit, RTU – Remote Terminal Unit, NPLC – Narrowband Power Line Communication, HAN – Home Area Network, NAN – Neighborhood Area Network, WAN – Wide Area Network)

Source: compiled by authors

A communication network can be represented by hierarchical multi-level architecture, classified according to the data transfer rate and coverage. The one consists of customer premises area networks - HAN/BAN/IAN (Home, Building and Industrial Area Networks), NAN/FAN (Neighborhood and Field Area Networks) and WAN (Wide Area Network) (Ancillotti, Bruno, Conti, 2013: 1665–1697; Wang, Xu, Khanna, 2011: 3604–3629). IEEE proposed such conceptions only in 2010.

Fig. 1 presents the scheme of smart grid with various communications technologies. A power distribution grid expanded in more detail. Communications represent gray color and the dashed lines represent the connections between the grids and remote equipment.

An implementation of additional communications depends on the level of power grid development and type of communications system already installed. The connection between the substations and remote nodes in the power distribution grid can be set up using a variety of radio (wireless), wired communication and PLC technologies (Tsadoa, Lundb, Gamage, 2015: 1–16; Usman, Shami, 2013: 191–199; Mahmood, Javaid, Razzaq, 2015: 248–260; Gao, Xiao, Liu, Liang, Philip Chenc, 2012: 391–404; Ancillotti, Bruno, Conti, 2013: 1665–1697; Kuzlu, Pipattanasomporn, Rahman, 2014: 74–88).

Fig. 2 presents an algorithm for communications system selection.

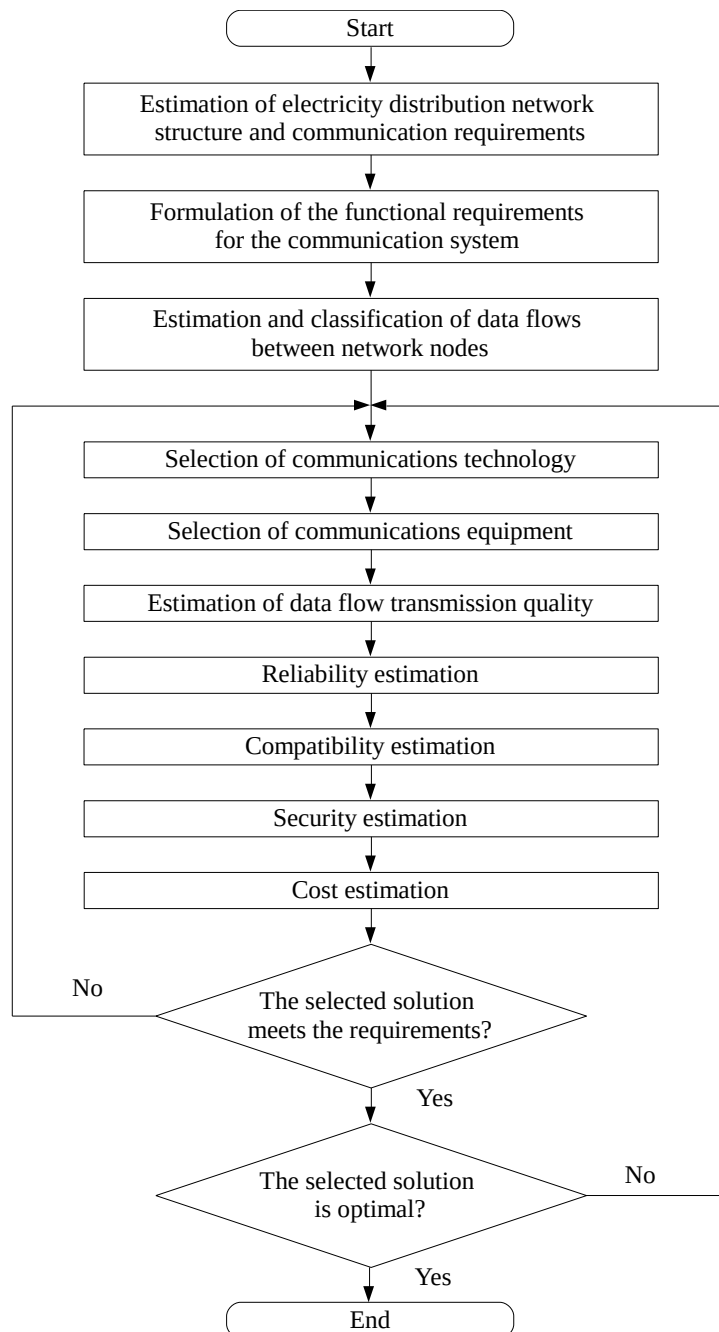


Fig. 2. The algorithm for communications system selection

Source: compiled by authors

The exact number and types of objects which need to communicate as well as the distances between them could be estimated by the structure of current or newly designed power distribution grid. Such objects are remote transformers, relays, sensors or smart electricity meters.

After that, it is necessary to formulate the functional requirements for the communications system installed in the power distribution grid as well as to estimate what kind of data need to transmit between designed system nodes. Data classification evaluates their importance, and they must assess transmission quality requirements (Kuzlu, Pipattanasomporn, Rahman, 2014: 74–88).

The selection of communications technology, equipment and network installation solutions after actions above-mentioned is based on the following basic criteria:

- data transmission quality parameters: data packet delay; data packet loss; data transmission bit rate;
- reliability: reliability of communication equipment; possibility to create and to maintain connection;
- compatibility: types of communications interfaces; compatibility of communications protocols;
- security: secure communications establishment and assurance; data encryption protocols;
- cost: installation; maintenance.

The algorithm presented in the Fig. 2 shows, that the proper communications technology need to select during design and realization phases so, that they satisfy the formulated functional requirements for communications system. It is necessary also to evaluate if the selected communications solution is optimal.

Method of data flow parameters calculation

This chapter provides our method proposed for evaluation of the parameters of data flows in a smart power distribution network. The method presented allows evaluating the data flows in the entire distribution grid and to determine what should be the intensities of the data sending, to assess the data packet propagation delay and loss.

Communications network for data flow parameter evaluation is presented in the Fig. 3. In the given case, the power distribution grid is connected to the transmission grid through high-voltage substations, which already have a connection over a WAN with DMS (Operations). Therefore, such substations allow collecting a data and transmission of control signals from RMS to remote units (RMU) (sensors, switches, LV substations and smart meters) in the distribution part of power grid. In such case, the existing communications infrastructure would be used more effectively.

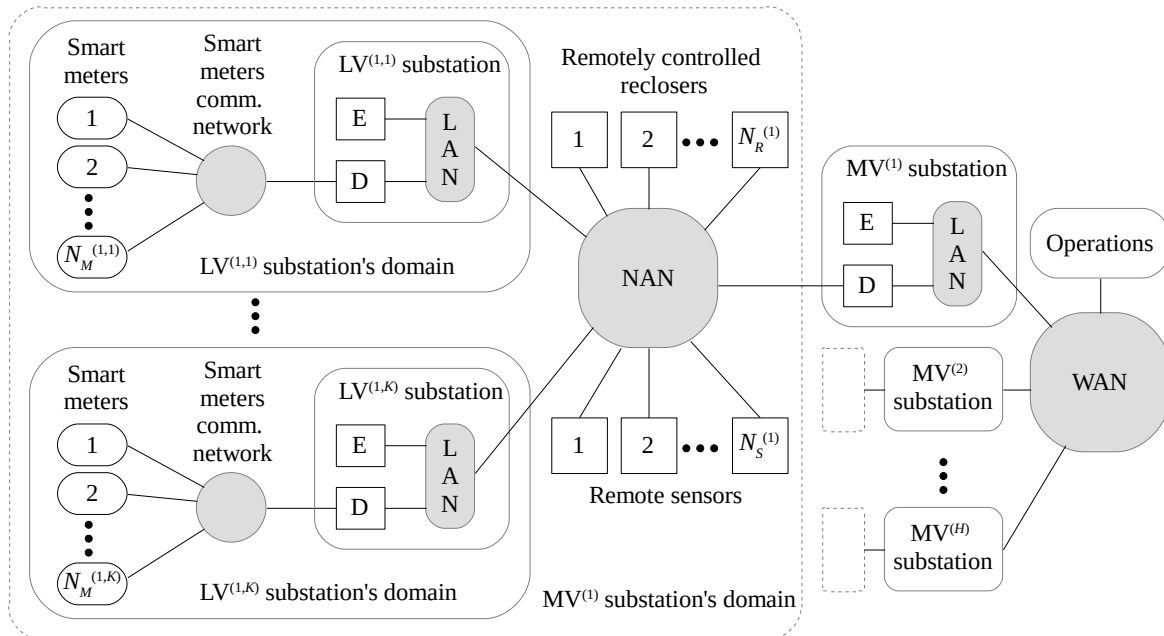


Fig. 3. The structure of communications network

Source: compiled by authors

The distribution grid's MV substations are interconnected over WAN network. Each MV substation is identified by number in brackets $MV^{(i)}$, here $i=1,2,..,H$, and H – number of MV substations in the power distribution grid. Each MV substation has their own LAN with two nodes (or a system of nodes, which performs the same function) E and D. E node collects and analyses the data assembled from sensors and

equipment, located in the substation. D node (or a number of units performing that function) is used for sending or receiving a data in the MV⁽ⁱ⁾ domain. It is the set of nodes, which are connected to the MV substation's distribution grid. D unit can perform data concentration function, and it processes and summarizes the data collected. In this way, it is possible to reduce the redundancy of information. Furthermore, the data from D node can be transmitted with lower priority. This serves as a measure to ensure the quality or priority of E node's data transmission. Therefore, the data flow model must have a priority usage option.

D node collects data from sensors that are assigned to the MV⁽ⁱ⁾ sub-stations. The number of sensors – $N_S^{(i)}$. D node also communicates with reclosers, which are located in the MV⁽ⁱ⁾ domain (the number of reclosers – $N_R^{(i)}$) and with the LV substations. LV substations are identified by numbers in brackets LV^(i,j), where i – number of MV substation in which domain the LV substation is located, and the j – is the LV substation's number, where $j = 1, 2, \dots, K$, and K is the number of LV substations in the MV⁽ⁱ⁾ domain.

Each LV substation (analogy with MV) has its own LAN consisting from nodes E and D. D node collects the data from smart meters only, connected to the LV substation. The number of smart meters – $N_M^{(i,j)}$.

It is possible to identify the locations of data collection and transmission from one grid's domain to another. It could be: 1) data collection from smart meters and their transmission to LV substation's D node, 2) data transmission from sensors and reclosers to MV substation's D node, 3) data transmission from LV to MV substations. The analytical or simulation models help to evaluate these data flows.

Fig. 4 illustrates the case with M/M/1 queueing model for data transmission characteristics evaluation. Data transmission rate R_C [bit/s] depends on the link of selected communication technology.

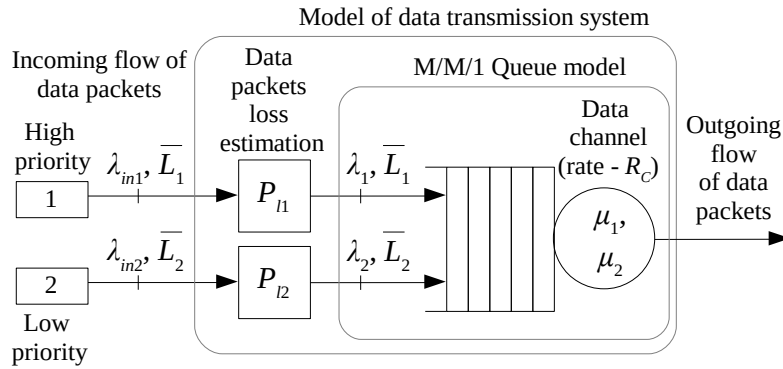


Fig. 4. Data flow parameters evaluation model
Source: compiled by authors

If the incoming data flow can be defined by data packet intensity λ_{in} [packets/sec.] and the average packet size $\bar{L}$ [bits], then the data bit rates of 1-st and 2-nd priority are:

$$\begin{aligned} R_{in1} &= \lambda_{in1} \cdot \bar{L}_1; \\ R_{in2} &= \lambda_{in2} \cdot \bar{L}_2. \end{aligned} \quad (1)$$

This condition $R_{in1} + R_{in2} < R_C$ must be ensured for the selected model, and we offer a solution that allows the assessment of the 1-st and 2-nd priority data packet loss:

$$\begin{aligned} P_{l1} &= \begin{cases} 0, & \text{if } R_{in1} < R_C \cdot \eta; \\ (R_{in1} - R_C \cdot \eta) / R_{in1}, & \text{if } R_{in1} \geq R_C \cdot \eta; \end{cases} \\ P_{l2} &= \begin{cases} 0, & \text{if } R_{in1} + R_{in2} < R_C \cdot \eta; \\ (R_{in1} + R_{in2} - R_C \cdot \eta) / R_{in2}, & \text{if } (R_{in1} + R_{in2} \geq R_C \cdot \eta) \cap (R_{in1} < R_C \cdot \eta); \\ 1, & \text{if } (R_{in1} + R_{in2} \geq R_C \cdot \eta) \cap (R_{in1} \geq R_C \cdot \eta); \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

here $\eta < 1$. In further calculations – $\eta = 0.99$.

The intensities of the 1-st and 2-nd data flow packets, which are transmitted over the the data transmission channel, are:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \lambda_{in1} \cdot (1 - P_{l1}); \\ \lambda_2 &= \lambda_{in2} \cdot (1 - P_{l2}), \end{aligned} \quad (3)$$

and their bit rates

$$\begin{aligned} R_1 &= \lambda_1 \cdot \bar{L}_1; \\ R_2 &= \lambda_2 \cdot \bar{L}_2. \end{aligned} \quad (6)$$

For example, 4-6 formulae can be used to calculate the maximum intensity of smart meter or sensor reading, when data channel's throughput and the average size of data packet are known.

The average size of transmitted data packet

$$\bar{L} = \frac{\lambda_1 \cdot \bar{L}_1 + \lambda_2 \cdot \bar{L}_2}{\lambda_1 + \lambda_2}, \quad (4)$$

and average intensity of packet transmission

$$\mu = \frac{R_C}{\bar{L}}. \quad (5)$$

Then the intensities of the 1-st and 2-nd priority data packets transmission are

$$\mu_1 = \frac{R_C}{\bar{L}_1}; \quad (6)$$

$$\mu_2 = \frac{R_C}{\bar{L}_2};$$

and data channel utilizations:

$$\rho_1 = \frac{R_1}{R_C}; \quad (7)$$

$$\rho_2 = \frac{R_2}{R_C}.$$

The ρ_1 and ρ_2 also can be interpreted as the fraction of time the data transmission channel is used to transmit data packets of 1-st and 2-nd priorities.

The average data channel utilization is

$$\rho = \frac{R_1 + R_2}{R_C}. \quad (8)$$

Type 1 data packets have an absolute priority over type 2 data packets according preliminary priority rules. Absolute priority means that, when type 2 packets is in service and at this moment type 1 packet arrives, the type 2 packet service is interrupted and the data channel transmits the type 1 data packet. Then the average time the 1-st priority data packet spends in the system

$$\bar{T}_{S1} = \frac{1}{\mu(1 - \rho_1)}, \quad (9)$$

and the 2-nd priority data packet spends in the system

$$\bar{T}_{S2} = \frac{1}{\mu \cdot (1 - \rho_1) \cdot (1 - \rho_1 - \rho_2)}. \quad (10)$$

If type 1 packets are not allowed to interrupt the service of type 2 packets, then this priority rule is called nonpreemptive. In this case the average time of 1-st priority data packet spends in the system is

$$\bar{T}_{S1} = \frac{1 + \rho_2}{\mu \cdot (1 - \rho_1)}, \quad (11)$$

and the 2-nd priority data packet spends in the system

$$\bar{T}_{S2} = \frac{1 - \rho_1 \cdot (1 - \rho_1 - \rho_2)) / \mu}{(1 - \rho_1) \cdot (1 - \rho_1 - \rho_2)}. \quad (12)$$

If priority is not applied at all, then the average time of data packet spent in the system is

$$\bar{T}_S = \frac{1}{\mu(1 - \rho)}, \quad (13)$$

In case of using the M/M/1 queuing model, the time spent in a system T_S is exponentially distributed. Therefore, the probability is

$$P(T_S \leq t) = 1 - e^{-1/\bar{T}_S \cdot t}. \quad (14)$$

$P(T_{S1} \leq t)$ and $P(T_{S2} \leq t)$ also can be calculated using (17) by replacing $\bar{T}_S$ with $\bar{T}_{S1}$ or $\bar{T}_{S2}$.

This data flow evaluation model also can be used if data flows are transmitted without a priority rule. For example, if a smart meter data reading is performed without a priority rule, then the data flow is considered as 1-st priority, with intensity λ_{in1} , the average packet size – $\bar{L}_1$, and the 2-nd priority flow characteristics are not calculated.

Data flow parameters calculations

This section provides data flow calculation examples obtained by the method presented above.

For example, if smart sensors reading is performed using narrowband power line communication technology (NPLC) over a channel with $R_C = 200$ kbit/s rate, then the Fig. 5 illustrates the $\overline{T}_s$ as a function of smart meter reading intensity λ and the number of smart meters N_M .

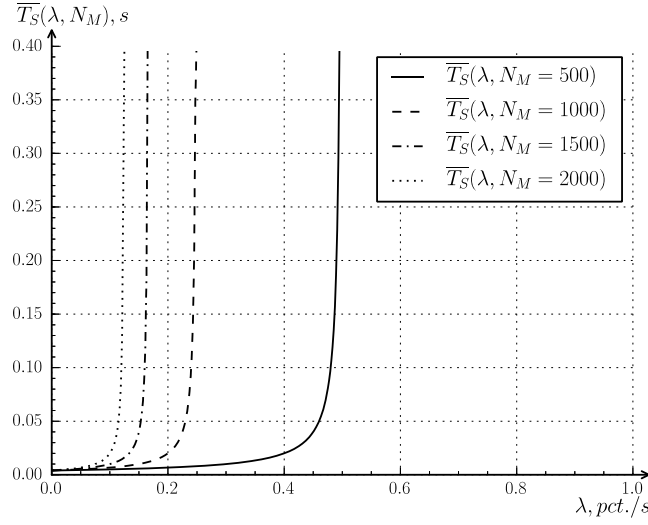


Fig. 5. $\overline{T}_s$ as a function of λ and N_M , when $R_C = 200$ kbit/s and $L = 800$ bit

Source: compiled by authors

The given results show that $\overline{T}_s$ values start to rise very fast when the data reading bit rate approaches to the R_C . If the data reading rate is bigger than R_C , then the data packet could be lost. The Fig. 6 shows how the packet loss probability P_l depends on data reading intensity λ and the number of smart meters N_M .

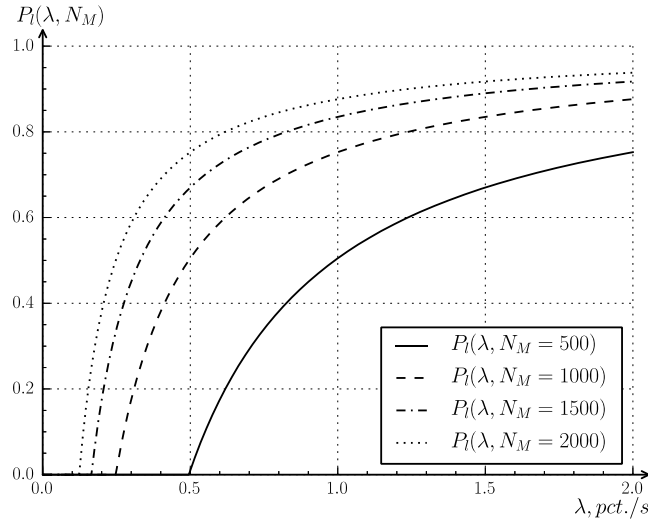


Fig. 6. P_l as a function of λ and N_M , when $R_C = 200$ kbit/s and $L = 800$ bit.

Source: compiled by authors

Such calculations can be used to decide what intensity of smart meter reading should be used, depending on the selected communications technology, data channel's bit rate R_C , number of smart meters N_M , and to meet the requirements for $\overline{T}_s$. For example, if $R_C = 200$ kbit/s, $L = 800$ bit, $N_M = 1000$ and $\overline{T}_s$ must be < 0.1 , then the maximum $\lambda = 0.24$ pct./s.

The proposed model for data flow parameters evaluation also can be used to evaluate the delay of sensors reading. For example, if the data reading from the sensors in power distribution grid creates data flow of type 1 ($L_1 = 800$ bit, $\lambda_1 = 100$ pck./s) and the reading of LV substations performance parameters creates the data flow of type 2 ($L_2 = 8000$ bit, $\lambda_2 = 0.1..200$ pck./s), then the data flows are transmitted to the MV substation

over $R_C=2$ Mbit/s data bit rate channel. Then the Fig. 7 shows how sensor reading $\overline{T}_{S1}$ depends on intensity of LV substations performance parameters reading λ_2 , when the flows are served using different priority rules.

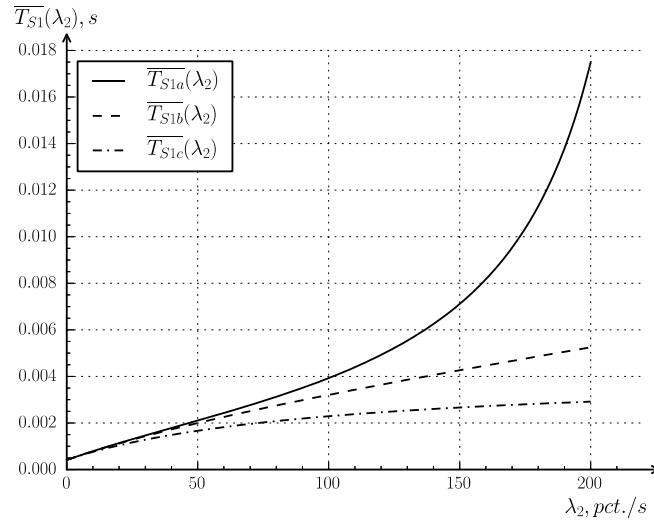


Fig. 7. $\overline{T}_{S1v}$ as a function of λ_2 and priority rule v: a) priority is not applied for sensor data reading, b) sensor data flow is served using non-preemptive priority rule, c) sensor data flow is served using preemptive priority rule, when $R_C = 2$ Mbit/s, $L_1 = 800$ bit, $\lambda_1 = 100$ pck./s, $L_2 = 8000$ bit
Source: compiled by authors

The results obtained revealed dependability of delay of sensors' data flow reading on the priority rule applied. If the T_S values are distributed according exponential distribution, then it is possible to calculate $P(T_{S1} \leq t)$ values using (14). The results of such calculations are presented in the Fig. 8.

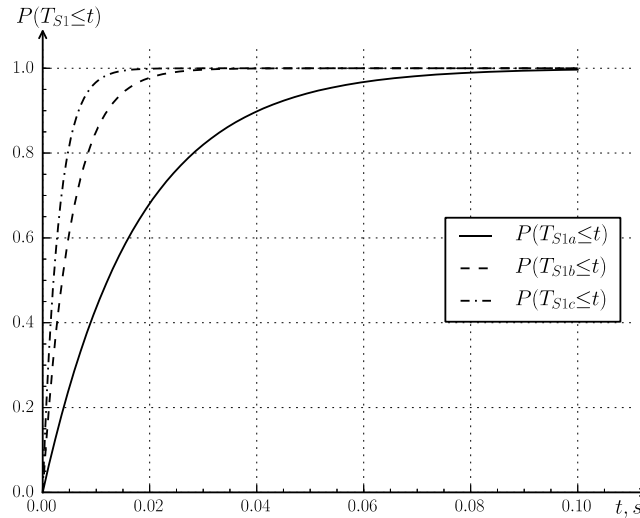


Fig. 8. $P(T_{S1v} \leq t)$ as a function of priority rule v: a) priority is not applied for sensor data reading, b) sensor data flow is served using non-preemptive priority rule, c) sensor data flow is served using preemptive priority rule, when $R_C = 2$ Mbit/s, $L_1 = 800$ bit, $\lambda_1 = 100$ pck./s, $L_2 = 8000$ bit.
Source: compiled by authors

The results given in Fig. 7 and Fig. 8, show, that if the data flow of sensor reading is served without priority, then $\lambda_2 = 200$ pck./s is the maximum intensity of LV performance data reading, which gives $P(T_{S1a} \leq 0.1)$.

Conclusions

1. An algorithm created shows that proper communications technology need to be selected during design and realization phases. Decision should be made basing on formulated functional requirements for such transmission system: reliability, compatibility, security, costs as well as data flow transmission quality.
2. Communication between substations and remote devices can be set up over public communication networks (third-party) or communication networks, which are the part of a power distribution networks. In the

first case, it is possible create a functioning communications infrastructure for remote sites very fast. If communications are established using a mobile network modems, then the solution depends on the third-party network. The data traffic of the users of public operator can influence the transmission of performance data of power distribution grid, which may be sensitive to delay and data packet loss. The usage of public networks also may create some additional security threats.

3. A mathematical method allows evaluating a data flows characteristics by using M/M/1 queueing model in any smart power distribution grid. Such flows characteristics (an intensity of the data sending to / from the control system as well as data packet propagation delay and loss) because of different data sources in grid are of different importance. Therefore a calculations were made regarding data priorities.

4. A characteristics mentioned above were simulated considering the data bit rate of communication channels, data reading intensity and data packet sizes. The given results show how data packet delay values ($\bar{T}_s$ and $P(T_{s1} \leq t)$) and data packet loss (P_l) depends on the smart meter data reading bit rate. The communication delay is crucial for power grid control. Therefore, the proposed model can be used to decide what intensity of smart meter or sensors reading should be used, depending on the selected communications technology.

5. The reliability and quality of communications are crucial for the smart grid applications. Systems for distributed data acquisition and processing may be used to decrease the data flow traffic that is sent to the central control system of the electric power network. Therefore, data flow optimization for quality assurance also may be as object of further research.

Literature

1. Kumar D., Zare K. and Gnosh A. DC Microgrid Technology: System Architectures, AC Grid Interfaces, Grounding Schemes, Power Quality, Communication Networks, Applications, and Standardizations Aspects. *IEEE Access*, (5) 2017, pp. 12230-12256.
2. Ogbodo E.U., Dorrell D. and ADNAN M. Abu-Mahfouz A.M. Cognitive Radio Based Sensor Network in Smart Grid: Architectures, Applications and Communication Technologies. *IEEE Access*, (5) 2017, pp. 19084-19098.
3. Emmanuel M., Rayudu R. Communication technologies for smart grid applications: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, (74) 2016, pp. 133–148.
4. Abujubbeh M., Al-Turjman F. And Fahrioglu M. Software-defined wireless sensor networks in smart grids: An overview. *Sustainable Cities and Society*, (51) 2019, p.-18.
5. A. Zaballos, A. Vallejo, and J. M. Selga, "Heterogeneous Communication Architecture for the Smart Grid", *IEEE Network*, pp. 30-37, September / October 2011.
6. W Wang, Y. Xu, M. Khanna, "A survey on the communication architectures in smart grid", *Computer Networks*, vol. 55, pp/ 3604–3629, July 2011.
7. K. Sharma, L.M. Saini, "Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 720–735, September 2015.
8. Y. Yang, G. Xie, X. Xu, Y. Jiang, "A Monitoring System Design in Transmission Lines based on Wireless Sensor Networks", *ICSGCE 2011, Chengdu, China, Energy Procedia*, 12, pp. 192-199, September 2011.
9. Y.Tsadoa, D. Lundb, K.A.A.Gamage, "Resilient communication for smart grid ubiquitous sensor network: State of the art and prospects for next generation", *Computer Communications*, pp.1–16, May 2015.
10. A. Usman, S.H. Shami, "Evolution of Communication Technologies for Smart Grid applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 19, pp. 191–199, March 2013.
11. A. Mahmood, N. Javaid, S. Razzaq, "A review of wireless communications for smart grid", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 248–260, January 2015.
12. J. Gao, Y. Xiao, J. Liu, W. Liang, C.L. Philip Chenc, "A survey of communication/networking in Smart Grids", *Future Generation Computer Systems*, vol. 28, pp. 391-404, May 2012.
13. National Institute of Standards and Technology (NIST), "NIST framework and roadmap for Smart Grid interoperability standards", Release 1.0, January 2010.
14. R. Anthony, L.Metke and Ekl. Randy, "Security Technology for Smart Grid Networks", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol.. 1, No. 1, pp. 99-107, June 2010.
15. S. Iyer, "Cyber Security for Smart Grid, Cryptography, and Privacy", *Communications and Networking for Smart Grid: Technology and Practice, International Journal of Digital Multimedia Broadcasting*, vol. pp. 9-16, 2011.
16. H. Suleiman, I. Alqassem, A. Diabat, E. Arnautovic, D. Svetinovic, "Integrated smart grid systems security threat model", *Information Systems*, vol. 53, pp. 147–160, December 2014.
17. I. Colak, G. Fulli, S. Sagioglu, M. Yesilbudak, C. Covrig, "Smart grid projects in Europe: Current status, maturity and future scenarios", *Applied Energy* 152, pp. 58–70, 2015.
18. E. Ancillotti, R. Bruno, M. Conti, "The role of communication systems in smart grids: architectures, technical solutions and research challenges, *Comput. Communications*, vol. 36 (17–18), pp.1665–1697, September 2013.
19. N. Zaker, B. Kantarci, M.-E. Kantarci, H. T. Mouftah, "Smart grid monitoring with service differentiation via EPON and wireless sensor network convergence", *Optical Switching and Networking*, pp. 53–68, January 2014.

20. E. Personal, J.I. Guerrero, A. Garcia, M. Pena, C. Leon, "Key performance indicators: A useful tool to assess Smart Grid goals", *Energy* 76, pp. 976-988, September 2014.
21. Do Nguyet Quang, Ong Hang See, Ong Xing Jui, "Smart Grid Ping – A Customized Ping Tool for a Heterogeneous and Hybrid Smart Grid Communication Network", *International Journal of Advanced Computer Science and Information Technology (IJACSIT)*, vol. 2, No. 4, pp. 67-75, 2013.
22. M. Kuzlu, M. Pipattanasomporn, S. Rahman, "Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN", *Computer Networks*, vol. 67, pp. 74–88, July 2014.

SKIRSTOMOJO ENERGETIKOS TINKLO DUOMENŲ PERDAVIMO SISTEMA

Santrauka

Keliamai ypač griežti kokybiniai reikalavimai duomenų perdavimo sistemai skirstomajame energetikos tinkle jo darbingumo užtikrinimui. Straipsnyje pateikiamas algoritmas rodo, kad tiek projektavimo, tiek įgyvendinimo etapuose telekomunikacinės sistemos parinkimo sprendimas, pirmiausia, turėtų būti grindžiamas funkciniais reikalavimais jai: tinklo fizine topologija, duomenų srautų tipais, sistemos patikimumu, saugumu, suderinamumu, diegimo, eksploatacijos išlaidomis ir pan. patikimumu, suderinamumu, saugumu, sąnaudomis ir duomenų srauto perdavimo kokybe. Autoriai siūlo telekomunikacinei infrastruktūrai panaudoti ir viešųjų operatorių tinklus. Straipsnyje apsvaustomos tokio sprendimo taikymo galimybės. Pasiūlytas matematinis modelis leidžia įvertinti duomenų srautų charakteristikas naudojant M/M/1 eilės modelį bet kuriame išmaniame energijos paskirstymo tinkle. Duomenų siuntimo į kontrolės sistemą, jų sklaidimo vėlinimo ir praradimų charakteristikos, įvertinus skirtingus duomenų šaltinius tinkle, yra nevienodai reikšmingos. Todėl tikslinga taikyti duomenų prioritetiškumą. Aukščiau nurodytų charakteristikų priklausomybės modeliuojamos atsižvelgiant į srauto prioritetiškumą, ryšio kanalų duomenų spartą, duomenų skaitymo intensyvumą ir duomenų paketų dydžius. Modeliavimo rezultatai gali būti naudingi nustatant išmaniųjų skaitiklių ir sensorių rodmenų nuskaitymo intensyvumą, įdiegus konkrečią telekomunikacinę infrastruktūrą. Paties duomenų srauto optimizavimas jo perdavimo kokybės užtikrinimui galėtų būti tolesnių mokslinių tyrimų objektas.

Reikšminiai žodžiai: skirstomasis energetikos tinklas, valdymas, telekomunikacinės sistemos, duomenų srauto charakteristikos.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Paulius Tervydis.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras.

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technologijos universiteto, Elektros ir elektronikos fakulteto, Elektronikos katedros docentas. VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, elektronikos technikos studijų programos docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: telekomunikacijų tinklai, tinklų modeliavimas ir jų charakteristikų analizė.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 600 99320, paulius.tervydis@ktu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Rūta Jankūnienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras.

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, elektronikos technikos studijų programos kuratorė, docentė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: telekomunikacijų tinklų ir paslaugų kokybė, tinklo darbingumo modeliavimas, heterogeniniai tinklai.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 652 19844, ruta.jankuniene@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Paulius Tervydis.

Science degree and name: doctor.

Work place and position: Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Assoc. Professor of Department of Electronics. Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Assoc. Professor of Electronic Technic Study Program.

Author's research interests: telecommunications networks, network modeling and analysis.

Telephone and email address: +370 600 99320, paulius.tervydis@ktu.lt

Author name, surname: Rūta Jankūnienė.

Science degree and name: doctor.

Work place and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Head and Assoc. Professor of Electronic Technic Study Program.

Author's research interests: telecommunications networks and services quality, network performance modeling, heterogenic networks.

Telephone and email address: +370 652 19844, ruta.jankuniene@edu.ktk.lt

THE PERFORMANCE CONTROL IN POWER DISTRIBUTION GRID

Paulius Tervydis^{1,2}, Rūta Jankūnienė¹, Almantas Bandza²

¹Kaunas University of Applied Engineering Sciences, ²Kaunas University of Technology

Abstract

The solutions presented allowing better control of electric power distribution network using communications and remotely controlled equipment. The failure location in a power line is determined using remote sensors. This line section can be disconnected by remotely controlled reclosers that can also connect to alternative power supply. A detailed algorithm was proposed for automated failure location and power supply restoring. A calculations showed that the electric power restoration times may be shortened from a few hours to seconds. It helps better controlling of electric power distribution network and can be used to create a smart self-healing power grid.

Key words: power grid, performance control, reclosers, sensors.

Introduction

Power grid is defined as system of generators, transformers and lines for electricity transmission and distribution to users (Dileep, 2019: 2589-2625). A segment of electricity distribution in grid is located near user domain. It connects the transmission and customer domains and characterized usually with high variety of power transmission lines containing distribution feeders and transformers to supply electricity to users and relatively wide territorial coverage. Often it encounters with series problems related to voltage breaks due to the slow reaction of equipment; sometimes its infrastructure is too old and obsolete, and its stability is relatively low due to the large number of users and increased home functionality. Such problems could lead to undesirable power interruptions. In addition to the above, an active using of alternative energy resources such as solar, wind and bioelectrical, presuppose a necessity of using automatic performance control in distribution part of grid to avoid load imbalance for preventing of power supply interruptions. Therefore, the stability of distribution grid must be monitored and controlled (Kumar, Zare, Gnosh, 2017: 12230-12256).

Some technologies are used for this purpose. Sensors enable to evaluate users load (for accounting), control and manage remote substations and switching devices. They provide performance data to supervisory control and data acquisition system (SCADA) using distribution management system (DMS). Sensors data helps to maintain a functioning of power grid using intelligent electronic devices (IED) or intelligent actuators along all transmission line and in regional transformers substations for taking SCADA information and acting upon commands from control centers. Control system uses smart meters also for evaluation of user behavior impact to energy consuming and for distributed generators that require cooperation and coordination in order to play their expected role (Dileep, 2019: 2589-2625; Garcia, Pereira, Canha, Popov, 2018: 267-276; Depuru, Wang, Devabhaktuni, 2011: 2736– 2742). This approach creates logic for distribution grid performance control, i.e. so-called "smart cage" that could carry out all smart grid performance requirements sharing information about grid equipment under control. It could create a "self-healing" grid when all maintenance could be done without intervening of control system (DMS). In this case faults and faulty locations could be identified and grid nodes feeding could be restored and necessary decisions for prevention of accidents in power distribution grid are possible.

The attention on the smart grids problematics has grown significantly over the last few years. Power distribution grid performance control is necessary not only for electricity supply to users, distributed electricity generation and its storage, but to assure services quality (QoS) (Sharma, Saini, 2015: 720–735) and security (Suleiman, Alqassem, Diabat, Arnautovic, Svetinovic, 2014: 147–160; Zaballo, Vallejo, Selga, 2011: 30-37; Iyer, 2011: 9-16; Anthony, Metke, Randy, 2010: 99-107) also. Various international organizations, including standards, as well as governments and utilities companies recently are working in the field of grid modernization for its performance assurance (Sharma, Saini, 2015: 720–735; Tsadoa, Lundb, Gamage, 2015: 1–16; Gao, Xiao, Liu, Liang, Philip Chenc, 2012: 391-404; Ancillotti, Bruno, Conti, 2013: 1665–1697).

Nevertheless, the most of these aspects are possible only in high voltage grid domain (generation and transmission segments). Performance data transferring from remote grid nodes to control centre is inefficient due to high costs of complex components and the need for additional devices such as batteries, chargers, sophisticated communications equipment. Therefore, still there is a lack of formal comprehensive solutions for movement of control intellectuality towards the user, i.e. distribution part „self-healing“. This requires a developing of some control rules or algorithms, taking into account distribution part specifics (remote transformers, available ICT, sensors or smart meters).

Some solutions for relaying automation on smart grids are presented (Celeita, Hernandez, Ramos, Penafiel, Rangel and Bernal, 2016: 156-166; Ribeiro, Enembreck, Guisi, Casanova, Teixeira, Souza, Borges, 2017: 675-684). But simple and at this time cost-effective solution of automatic performance control would be

very relevant. It could help for significant improvement of control of remote distribution grid, to increase power distribution grid reliability and reduce energy losses, using real time monitoring, as well as accelerate troubleshooting, and restore automatically electricity supply to users thereby saving time and material resources. And finally, such solution would allow an implementation of effective mechanism for prevention of network failures and accidents.

Assumptions said above presupposes a research directions for this article: at first it is necessary to create such power distribution grid „self-healing“ solution (an algorithm and simulation tool), and later to evaluate the effectiveness of feeding restoration regarding it's duration time. Finally, it is necessary to discuss the results and recommendations for the future research.

An example of power grid operating

A example of power distribution grid is given in the Fig. 1. It will be used to explain what happens in case of failure in a typical power distribution grid. The explanation may be usefull for better understanding of our proposed self-healing algorithm, which is presented in the next chapter.

The given grid has a double ring topology with two middle voltage (MV) substations A and B. Such substation has one bus which is divided into sections. Each bus is feeding one power line with users groups. Each substation has two feeding transformers: T-A1 with T-A2 and T-B1 with T-B2. Both rings in the grid are interconnected by the transit transformer DP-AB. The closed loops in the distribution grid are forbidden. Therefore the two rings are divided into four lines: L-A1, L-A2, L-B and L-B2. The rings are separated in DP-A, DP-AB and DP-B transit transformers by power reclosers. Relay protection and automation equipment is installed in transformer substations to protect against the short circuits in the grid. The automation equipment also manages the circuit breakers in substations.

Users are classified into 3 reliability categories regarding the requirements for electricity restoration and assurance. The users of the third reliability category are feedered from a single energy source over one power line. In case of power outage within the operator-user ownership border, it should be restored within 24 hours. For example, an user group of the third reliability category (U3 in the Fig. 1) is reconnected over a 10 / 0.4 kV transformer to the power line L-A1.

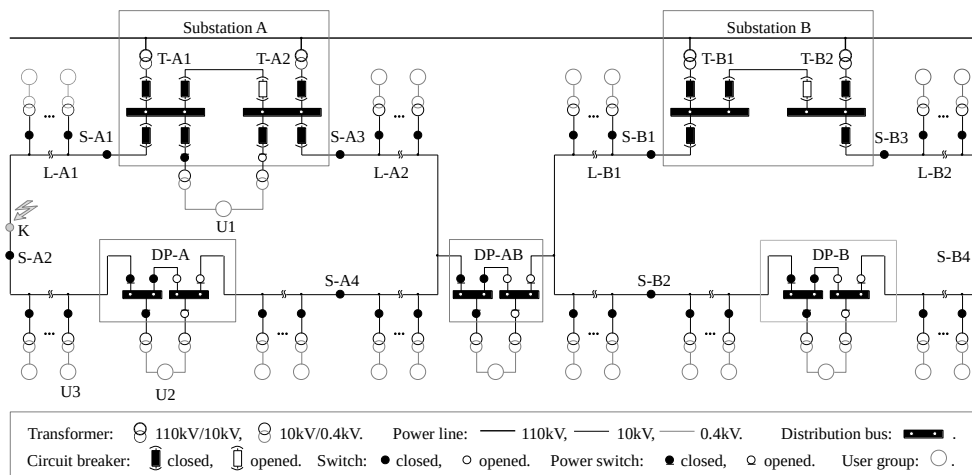


Fig. 1. Power distribution grid scheme

Source: compiled by author

The users of the second reliability category are feedered over two power sources by separate power lines. In case of power outage, it should be restored within 2.5 hours in operator-user ownership border and supplied from at least of one power source. User of the second reability category (U2) is connected to the transformer DP-A. A power for users of the first reliability category is ensured using two or more independent power sources over separate power lines. Such power supply can be interrupted for a durration of automatic switching from one independent power source to another or for repeated power source switching. In the given example, the users of the first reability category (U1) are connected to the transformer substation A.

For instance, if a short-circuit event happens at the K point of L-A1 line, then the line's relay protection is activated, which opens the line's circuit breaker. After a short time, called as pause for automatic reclosing (ARP), the circuit breaker is closed again in automatic mode. If, during the time period when the line was switched off, the circuit failure was not eliminated, the the short-circuit event will be detected again and the line will be immediately switched off again. Such a case is called as the unsuccessful ARP. After the

unsuccessful ARP the users feedered from line L-A1 will be left without electricity. A power to the users of the second reliability category (U2) will be restored by connecting only a sectional power switch in the transformer DP-A. Dispatcher will receive an information from DMS about the failure and unsuccessful operation of ARP. Information about the events will be transmitted to the DMS via a communications network from the transformer substation's relay protection and automation device (RPA). When dispatcher receives information about the failure in the line L-A1, he sends a repair crews to determine the cause and to ensure the reliability of the power supply for the second category of the costumers (U2). Operative brigade disconnects the line's power switch S-A2 and connects a normally disconnected power switch in transformer DP-A after locating the failure location. In such a way the electricity is restored for the users of the third reliability category (U3) between the transformer DP-A and the power switch S-A2 of line L-A1. It may take up to several hours for a repair crew to find the failure location and to do the necessary switching.

Power distribution grid „Self-healing“ algorithm

We offer an algorithm (Fig. 2) to reduce power supply restoration time in a power distribution grid.

The proposed solution would find a damaged line's sector and disconnect it by remote controlled separators automatically without human intervention. Then the electricity is restored for the damaged parts of the line. In this way, a multiple ARP is carried out with a remote feedering reset.

For example, if the short-circuit event is detected at point K (presented in Fig. 1), then the RPA of transformer substation switches off the L-A1 line's circuit breaker and again turn it on after the first ARP pause. A damaged line section is determined after unsuccessful ARP according to the data received from accident registrar of RPA terminal and line short-circuit current sensors. This is the line section between the remotely controlled power switches (reclosers) S-A1 and S-A2.

If an accident location is determined, an automatic device sends the disconnection commands to remotely controlled power switches of damaged section. In this way the S-A1 and S-A2 power switchers are disconnected remotely. After disconnecting the damaged part of the line, it's circuit breaker is switched on again. The unfeedered line (or the line segment from the transformer substation to the power switch (recloser) S-A1) is restored in case of successful turning on a L-A1 line's circuit breaker.

RPA terminal of the damage line forms the message about the position changes of power switch to DMS and to the RPA terminal of line's recloser located in the second section of A substation's bus. If the ARP is not successful, then the unfeedered line section will be connected to the alternative power line. It is important to change the settings of the line's relay protection and automation terminal before the connection. In order to ensure a correct operating of automation, the common remote-controlled recloser of damaged and undamaged lines must be controlled over the undamaged line's relay protection and automation terminal. Thus, the RPA terminal of undamaged line formes a connection command to the common for the both lines recloser, located in the transit transformer DP-A. RAA terminal of undamaged line forwards the message to DMS about the automatic operation and network changes after the common recloser is turned off.

To perform the automatic restoration procedure the undamaged part of the L-A1 line beyond the S-A2 recloser must be feedered by the A substation's second transformer over the L-A2 line. The usage of relay protection and automation terminal in the particular line is required to protect against possible short circuits in the newly connected section. After this automatic restoration procedure is finished, the area protected by the relay protection of the L-A1 line will decrease (it includes the line sections from the A substation to remotely disconnected recloser S-A1). The relay protection zone of the L-A2 line will include the former section of the L-A1 line (from S-A2 to DP-A).

The main advantage of the proposed automation algorithm is that, the power may be automatically restored over an alternative line during the second ARP pause within 120 seconds, if the user is connected to the undamaged sector. Operation of such automatics may reduce the power restoration time from a few hours to a few minutes or even in few tens of seconds.

It is necessary to take into account these fundamental conditions of normal distribution grid working, when restoring user feedering automatically:

- transformer and line voltage values must not exceed the permissible nominal ones;
- the voltage drop must remain within the permitted limits when connecting a new segments;
- the radial line scheme should be preserved after the switching;
- switching of the devices should be minimal;
- assurance a feedering for a users, whose line is used to connect the addinional section, must have higher priority;
- the additional currents must not impede the performance of compensation coil;
- it is required to maintain the relay protection selectivity;

- a relay protection sensitivity shall not be reduced by the connection of an additional line sections;
- electrical power quality parameters (level of harmonics, power factor) must meet the defined requirements;
- if the second ARP of the damaged line is unsuccessful, the automatic function is blocked.

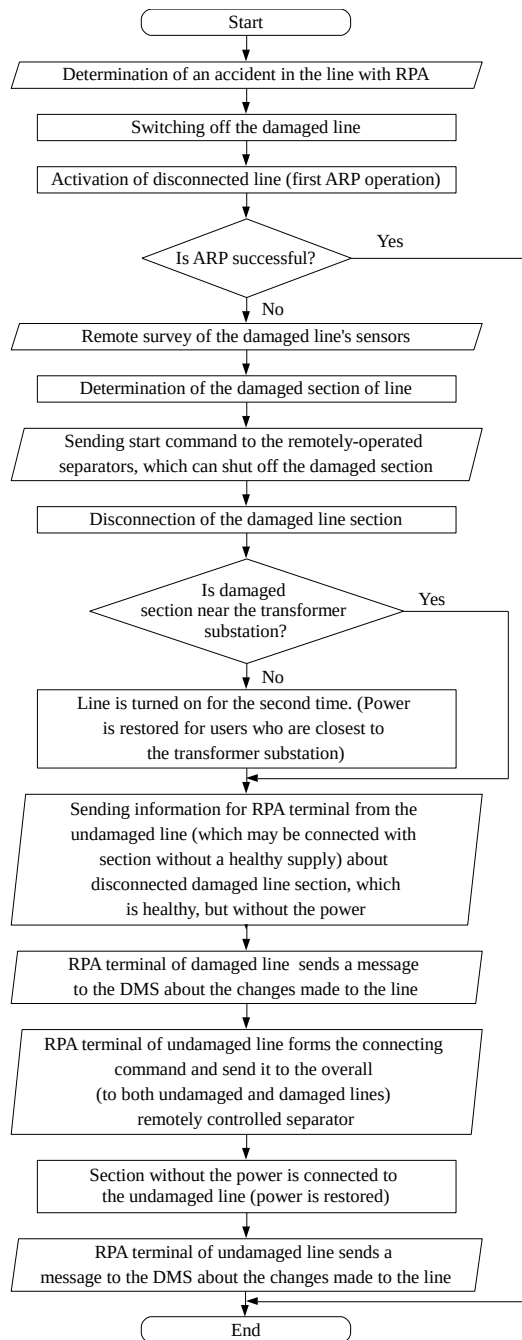


Fig. 2. The algorithm of automated electric power restoration

Source: compiled by authors

The changes are necessary to adapt this algorithm in power distribution grid for automatics. The short-circuit sensors must be mounted for determining the damaged sector in a power line. Sensors must be in touch with digital RPA terminals of the line and DMS. It would be the best to install the sensors near remotely controlled reclosers and in transit transformers. The sectional power switches in these transformers must be replaced by the remote-controlled power reclosers. The additional communication and control equipment must be installed within transformer substations to obtain the information from short-circuit current sensors and to control the reclosers. Such additional smart data collection and control equipment should be connected to a

substation's control system to maintain the connection not only with RPA terminals of the specific line, but also with other lines data collection and control equipment.

The proposed control system will also be able to ensure:

- 1) an effective (fast and reliable) performance data assembling from remote electrical devices of electrical-energy system (EES) and their transferring to the dispatch control system;
- 2) timely response to performance changes of remote nodes of power distribution grid (complex transformer substations or modular transformer substations);
- 3) a transferring of distributed generation sources load and accumulated performance data to the dispatch control system for monitoring a generated power in order to ensure a stable load of sources and power balance throughout the EES;
- 4) gathering the data about grid devices state (for prevention of accidents and statistical information collection about the power grid performance).

It is possible to assess the load generated in each section of the line when smart meters are installed in users domains and the data about the energy consumption are periodically collected. This information could also be used in decision-making when switching under fault conditions or for a more balanced load distribution in power lines.

Simulation of power grid control

The special software was developed to evaluate our proposed algorithm for the “self-healing” power distribution grid. The graphical interface (Fig. 3) is used to create the distribution grid structure of any topology, consisting of MV and LV transformers, power cables, power switches, reclosers and consumer groups. The number of users can be set for each consumer group. A load created by users is dynamic and changes in time. Failures of transformers and cables are modeled according the mean time to failure (MTTF) values; meanwhile repair times of the components are simulated according the mean time to repair (MTTR) values. MTTF and MTTR values can be changed for each component.

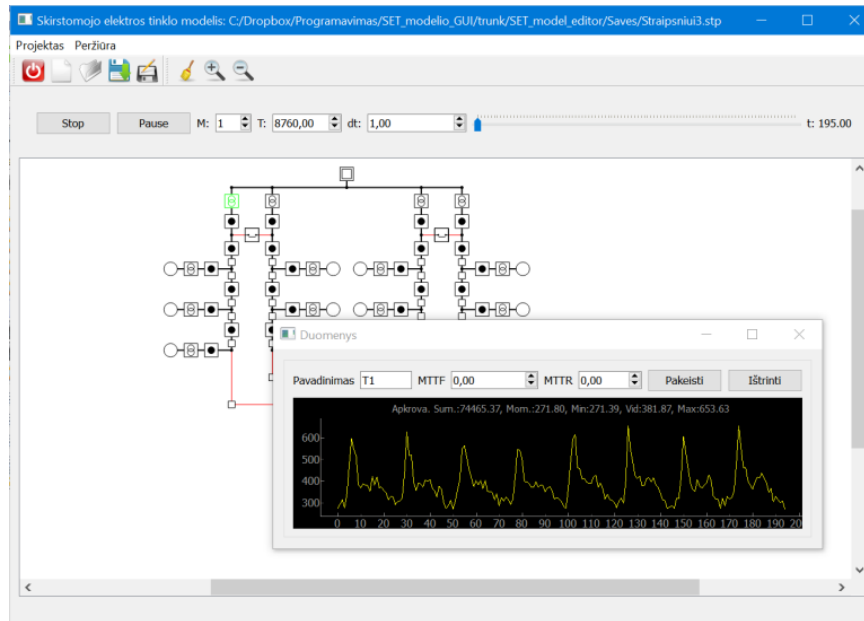


Fig. 3. Graphical interface for simulation

Source: compiled by authors

It is possible to construct a set of power distribution grid components or objects (nodes) $\{M\} = [M_1, M_2, \dots, M_z]$ and matrix of connections between the nodes according the grid structure:

$$C = \begin{bmatrix} 0 & c_{1,2} & \dots & c_{1,z} \\ c_{2,1} & 0 & \dots & c_{2,z} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{z,1} & c_{z,2} & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

and each matrix element

$$c_{i,j} = f(\{E(t)\}, \{F\}), \quad (2)$$

here $\{E(t)\}$ – the set of electric performance parameters (voltage, current, power and other) which change in time, and $\{F\}$ – the set of fixed physical parameters (length, cable type, maximum current strength and other).

Information about the performance parameters of nodes and connections of smart power distribution grid can be stored and updated. This information can be used to estimate the state of entire power grid. It also is useful when optimizing connections between nodes: to optimize the load distribution between transformers or select the alternative power line to connect a line segment without feeding in case of failure. These tasks in our program are resolved using Dijkstra's algorithm. The latter one is used to find the optimal route from the access node of power distribution grid to each user group. An optimal route for each connection could be calculated according the weighting factor, which evaluates the performance parameters by (2) formula.

For example, the initial state of power distribution grid is illustrated in the Fig. 4. It reveals that each transformer (T-A1, T-A2, T-B1 and T-B2) in MV substations has three groups of consumers. Lines in black color represent power supply lines under voltage, and the red one - without the electrical current (unfed).

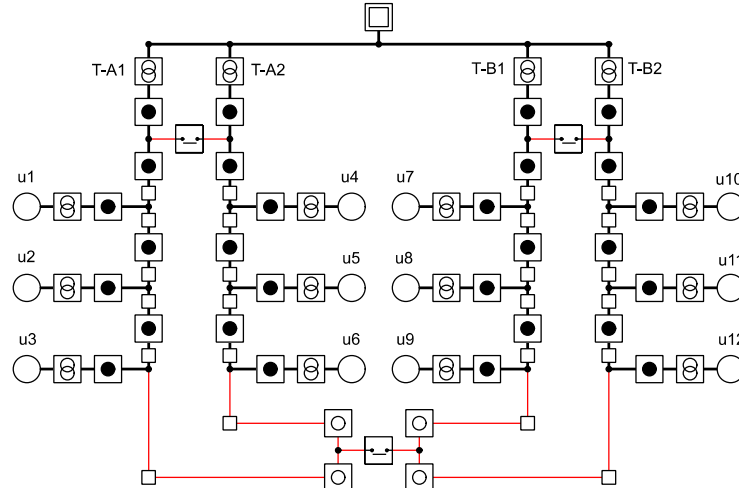


Fig. 4. The state of electric power distribution grid, when $t < t_1$ and $t \geq t_4$
Source: compiled by authors

At the time moment t_1 the middle section (the u2 group of customers) of T-A1 line was disconnected. It was detected by the change of coefficients in the matrix C, and the third section of T-A1 line (the third group of customers – u3) was connected to T-A2 automatically (Fig. 5).

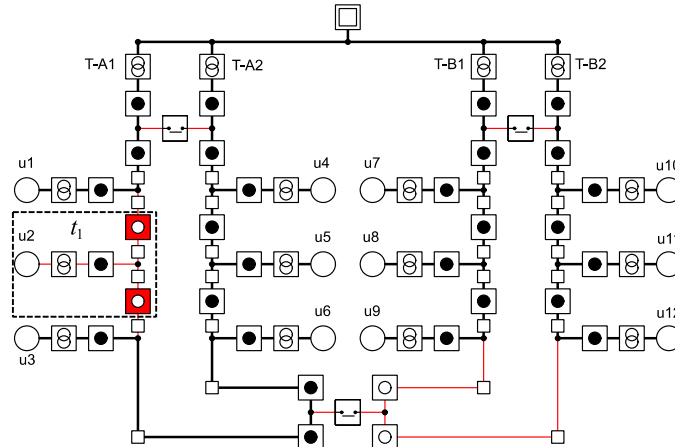


Fig. 5. The state of electric power distribution grid, when $t \geq t_1$ and $t < t_2$
Source: compiled by authors

At the time moment t_2 the middle section (the u5 group of customers) of T-A2 line was disconnected. This way the failure in the segment was simulated. After that the unfeded customers' groups' u3 and u6 were automatically connected to the T-B1 (Fig. 6).

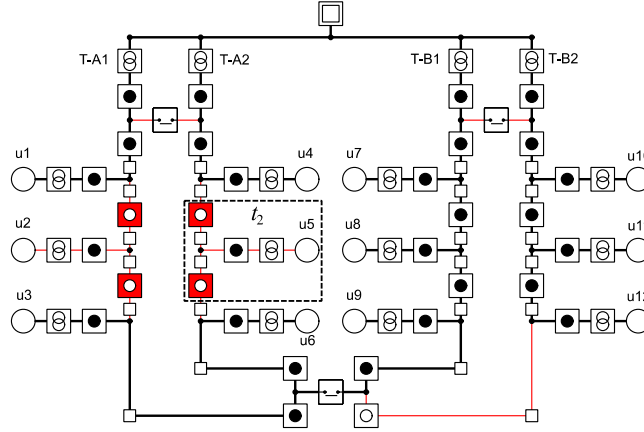


Fig. 6. The state of electric power distribution grid, when $t \geq t_2$ and $t < t_3$
Source: compiled by authors

At the time moment t_3 the failure in T-B1 line was simulated by disconnecting section of u8 customers' group. u3, u6 and u9 unfeedered sections were automatically connected to the T-B2 (Fig. 7). At the time moment t_4 all unfeedered sections were reconnected, and the network automatically returned to the initial state (Fig. 4).

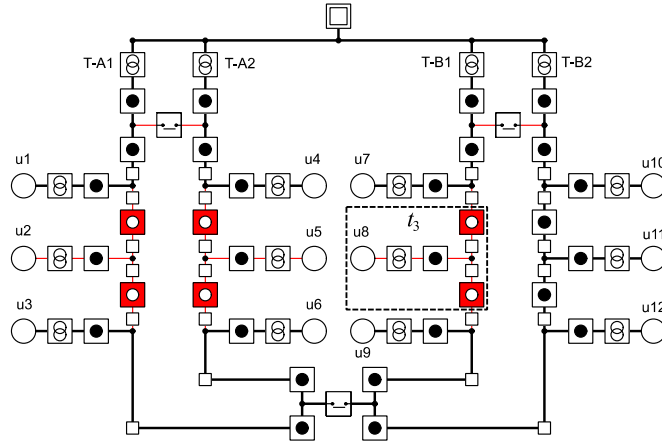


Fig. 7. The state of electric power distribution grid, when $t \geq t_3$ and $t < t_4$
Source: compiled by authors

How the power load on T-A1, T-A2, T-B1 and T-B2 changed in time is shown in the Fig. 8.

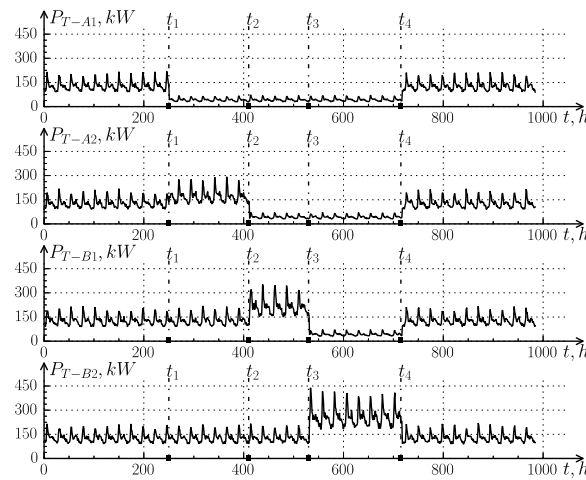


Fig. 8. T-A1, T-A2, T-B1 and T-B2 power load dynamics
Source: compiled by authors

The chart also shows changes of simulated user load during a day. It is obvious, that the load depends on the number of connected users.

Simulations show that proposed “self-healing” algorithm is working. The using it in real power distribution grid is possible only having necessary communication system, which is used to gather performance data from grid nodes and to control power reclosers.

Estimation of electric power restoration time

The average time of electric power restoration depends on the particular structure of the power distribution grid. This structure defines the number of reclosers, the number and length of power line segments, and the possibilities to use a switching to alternative power lines in case of failure. In addition, all that may be different for groups of consumers who are connected to different parts of the distribution grid.

The algorithm, which can be used to evaluate the duration of the feeding restoration is shown in the Fig. 9. In case of failure a certain average time $\overline{T_{FE}}$ will pass until the information is received by failure management system. When such information is received it is necessary to identify the fault location. If there is a possibility (with a probability P_{RSR}) to read the sensors remotely, then the failure location procedure is significantly faster ($\overline{T_{RFL}}$) than in the case $\overline{P_{RSR}} = 1 - P_{RSR}$, when it is not possible to determine the fault location remotely ($\overline{T_{MFL}}$) (for instance, when failure location is identified by the staff in the field).

Once the fault location is determined, it is necessary to evaluate whether it is possible to restore electricity supply through an alternative connection. If the restoration way is not available ($\overline{P_{APL}} = 1 - P_{APL}$), then the fault must be repaired in the field. Such repairs on average may take from several hours to few days ($\overline{T_r}$).

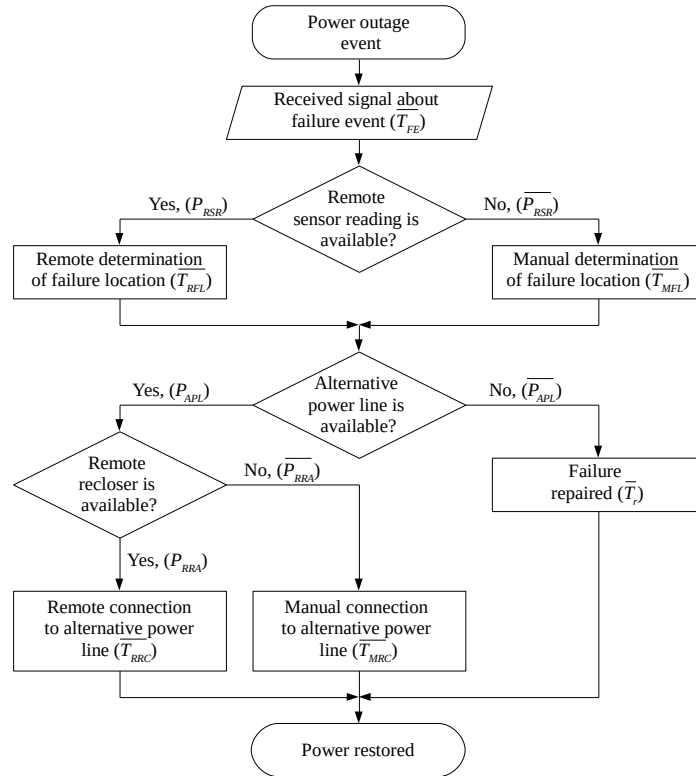


Fig. 9. Algorithm of electric power outage time estimation

Source: compiled by authors

If it is possible (P_{APL}) to restore the feeding over an alternative connection, then it is necessary to determine could it be performed remotely using power reclosers. If such option (P_{RRA}) exists, then the power is restored much faster ($\overline{T_{RRC}}$) than in the case $\overline{P_{RRA}} = 1 - P_{RRA}$, when the switching must be carried out manually ($\overline{T_{MRC}}$).

Then the average time of power restoration is (3)

$$\begin{aligned} \overline{T_R} = & \overline{T_{FE}} + P_{RSR} \cdot \overline{T_{RFL}} + \overline{P_{RSR}} \cdot \overline{T_{MFL}} + \\ & + P_{APL} \cdot (P_{RRA} \cdot \overline{T_{RRC}} + \overline{P_{RRA}} \cdot \overline{T_{MRC}}) + \overline{P_{APL}} \cdot \overline{T_r}. \end{aligned} \quad (3)$$

For example, if $\overline{T_{FE}} = 1$ s, $\overline{T_{RFL}} = 10$ s, $\overline{T_{MFL}} = 1$ h, $\overline{T_{RRC}} = 20$ s, $\overline{T_{MRC}} = 1$ h, $\overline{T_r} = 4$ h, then the $\overline{T_R}$ dependency on different P_{RSR} , P_{RRA} and P_{APL} values is given in the Table 1.

Table 1

Dependency of the average time of power restoration on P_{RSR} , P_{RRA} , P_{APL}

P_{RSR}	P_{RRA}	P_{APL}	$\overline{T}_R$, h
0	0	0	5.00027
0.5	0	0	4.50166
0	0	0.5	3.50027
0	0.5	0.5	3.25166
1	0	0	4.00305
0.5	0	0.5	3.00166
0.5	0.5	0.5	2.75305
0	0	1	2.00027
0	1	1	1.00583
1	0	1	1.00305
1	1	0.9	0.40805
1	1	1	0.00861

The results of $\overline{T}_R$ calculation show that the installation of remotely controlled reclosers and sensors can shorten significantly duration of power restoration. For example, $P_{RSR} = 0$, $P_{RRA} = 0$, $P_{APL} = 0$ correspond to a situation when it is not possible to identify remotely the fault location and to connect a section without feedering to alternative line, so the feedering will be restored only when the repair personnel determines the failure location and repair it ($\overline{T}_R = 5.00027$ h). $P_{RSR} = 1$, $P_{RRA} = 1$, $P_{APL} = 1$ correspond to a situation when failure location can be determined using remote sensors and the section without feedering can be connected remotely by reclosers to the alternative power line ($\overline{T}_R = 0.00861$ h).

It is necessary to mention, that the $P_{RSR} = 1$, $P_{RRA} = 1$, $P_{APL} = 1$ case for the third reliability category users is not possible even when sensors and remotely controlled reclosers are installed in all power lines. There is always a chance that the failures will occur in the section with user connected. For example, if the power line is divided by remotely controlled reclosers into 10 equal by length sections, then it can be said that $P_{APL} = 0.9$ (consumer is in 1 section out of 10 ones). This case corresponds to one in the Table 1, when $P_{RSR} = 1$, $P_{RRA} = 1$, $P_{APL} = 0.9$ ($\overline{T}_R = 0.40805$ h).

Conclusions

1. An algorithm was created for failure detection and automatic electric power restoration in distribution part of grid. It assures the user feeding in automatic way after a failure. Some changes in physical level of control system are necessary to adapt a proposed algorithm: a) the sensors, b) the remote-controlled power reclosers and c) the additional communication and control equipment. This additional equipment should be connected to a substation's control system, and it could help in maintaining not only the own line, but the connection with other lines and control equipment also.
2. The performance parameters of nodes and connections can be stored and used to estimate the state of entire power grid. A Dijkstra's algorithm was proposed for optimizing the load distribution between transformers or selecting the alternative power line in case of line segment failure.
3. Calculations show a possible reducing of power recovery time from several hours to seconds. It depends on the number of reclosers, which can be used to divide a power line into segments. The average time of electric power restoration depends on the number of reclosers, the number of power line segments and their length, and the possibilities to use an alternative power lines in case of failure. When remotely fault location is not possible and there is no possibility to connect an alternative line, the feedering will be restored only when the repair personnel determines the failure location and repair ($\overline{T}_R = 5.00027$ h). An installation of remotely controlled reclosers and sensors can shorten the duration of power restoration about five hundreds times ($\overline{T}_R = 0.00861$ h).
4. The number of users in such segments and load created by them are also important. The bigger number of segments, the less number of users is left without power in case of failure. On the other hand, additional appliance increases the costs of installation and maintenance. Therefore, the research of optimal electric power line segmentation may be carried out.
5. The simulation of proposed automatic electric power restoration algorithm revealed that this solution could also be used for power load optimization or balancing. Therefore, the load optimization issue may be

analysed for further development of the algorithm.

Literature

1. Dileep G. A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*, (146) 2019, pp. 2589-2625.
2. Kumar D., Zare K. and Gnosh A. DC Microgrid Technology: System Architectures, AC Grid Interfaces, Grounding Schemes, Power Quality, Communication Networks, Applications, and Standardizations Aspects. *IEEE Access*, (5) 2017, pp. 12230-12256.
3. Garcia E.D., Pereira P.R., Canha L.N. and Popov V.A. Grid functional blocks methodology to dynamic operation and decision making in Smart Grids. *Electrical Power and Energy Systems*, (103) 2018, pp. 267-276.
4. A. Zaballós, A. Vallejo, and J. M. Selga, "Heterogeneous Communication Architecture for the Smart Grid", *IEEE Network*, pp. 30-37, September / October 2011.
5. S.S.S.R. Depuru, L. Wang, V. Devabhaktuni, "Smart meters for power grid: Challenges, issues, advantages and status", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, issue 6, pp. 2736–2742, August 2011.
6. K. Sharma, L.M. Saini, "Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 720–735, September 2015.
7. Y. Tsadao, D. Lundb, K.A.A. Gamage, "Resilient communication for smart grid ubiquitous sensor network: State of the art and prospects for next generation", *Computer Communications*, pp. 1–16, May 2015.
8. J. Gao, Y. Xiao, J. Liu, W. Liang, C.L. Philip Chenc, "A survey of communication/networking in Smart Grids", *Future Generation Computer Systems*, vol. 28, pp. 391-404, May 2012.
9. R. Anthony, L. Metke and Ekl. Randy, "Security Technology for Smart Grid Networks", *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, No. 1, pp. 99-107, June 2010.
10. S. Iyer, "Cyber Security for Smart Grid, Cryptography, and Privacy", *Communications and Networking for Smart Grid: Technology and Practice*, *International Journal of Digital Multimedia Broadcasting*, vol. pp. 9-16, 2011.
11. H. Suleiman, I. Alqassem, A. Diabat, E. Arnautovic, D. Svetinovic, "Integrated smart grid systems security threat model", *Information Systems*, vol. 53, pp. 147–160, December 2014.
12. I. Colak, G. Fulli, S. Sagiroglu, M. Yesilbudak, C. Covrig, "Smart grid projects in Europe: Current status, maturity and future scenarios", *Applied Energy* 152, pp. 58–70, 2015.
13. E. Ancillotti, R. Bruno, M. Conti, "The role of communication systems in smart grids: architectures, technical solutions and research challenges", *Comput. Communications*, vol. 36 (17–18), pp. 1665–1697, September 2013.
14. Celeita D., Hernandez M., Ramos G., Penafiel N., Rangel M. and Bernal J.D. Implementation of an educational real-time platform for relaying automation on smart grids. *Electric Power Systems Research*, (130) 2016, pp. 156-166.
15. Ribeiro R., Enembreck F., Guisi D.M., Casanova D., Teixeira M., Souza F.A. and Borges A.P. An Advanced Software Tool to Simulate Service Restoration Problems: a case study on Power Distribution Systems. *Procedia Computer Science*, (108C) 2017, pp. 675-684.

SKIRSTOMOJO ENERGETIKOS TINKLO DARBINGUMO KONTROLĖ

Anotacija

Straipsnyje identifikuojamos darbingumo užtikrinimo problemos skirstomojoje energetikos tinklo dalyje. Siekiant realizuoti išmanumą, sukuriant intelektualų „save gydančią“ skirstomąjį tinklą, autoriai pasiūlė papildomai įdiegti nuotoliniu būdu valdomą įrangą: nuotolinius jutiklius bei automatinius perjungiklius; pastarųjų dėka galima automatiškai būdu prisijungti prie alternatyvaus maitinimo šaltinio. Buvo sukurtas detalus algoritmas, leidžiantis automatiškai identifikuoti gedimo vietą ir atstatyti energijos tiekimą. Modeliavimo rezultatai atskleidė, jog šis sprendimas leistų sumažinti elektros energijos tiekimo laiką keliais šimtais kartų, taip pat ir atvirkštinę vartotojų be elektros energijos sugedus linijai priklausomybę nuo „intelektualių“ segmentų skaičiaus skirstomajame tinkle. Tačiau skirstomosios energetikos tinklo dalies segmentavimas į „intelektualias“ grandis padidina jo įrengimo ir priežiūros sąnaudas. Todėl šį uždavinį tikslinga optimizuoti. Jis taip pat gali būti naudingas energijos apkrovos optimizavimui ar jos subalansavimui skirstomojo tinklo segmentuose. Tam taip pat tikslingas tyrimas plėtojant pasiūlytą algoritmą.

Reikšminiai žodžiai: skirstomasis energetikos tinklas, išmanusis tinklas, darbingumo kontrolė ir valdymas, automatiniai perjungikliai, jutikliai.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Paulius Tervydis.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras.

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technologijos universiteto, Elektros ir elektronikos fakulteto, Elektronikos katedros docentas. VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, elektronikos technikos studijų programos docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: telekomunikacijų tinklai, tinklų modeliavimas ir jų charakteristikų analizė.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 600 99320, paulius.tervydis@ktu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Rūta Jankūnienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras.

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, elektronikos technikos studijų programos kuratorė, docentė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: telekomunikacijų tinklų ir paslaugų kokybė, tinklo darbingumo modeliavimas, heterogeniniai tinklai.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 652 19844, ruta.jankuniene@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Almantas Bandza.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras.

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technologijos universiteto, Elektros ir elektronikos fakulteto, Elektros energetikos sistemų katedros docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: perdavimo ir skirstomojo energetikos tinklo apsauga ir kontrolė.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 682 60870, almantas.bandza@ktu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Paulius Tervydis.

Science degree and name: doctor.

Work place and position: Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Assoc. Professor of Department of Electronics. Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Assoc. Professor of Electronic Technic Study Program.

Author's research interests: telecommunications networks, network modeling and analysis.

Telephone and email address: +370 600 99320, paulius.tervydis@ktu.lt

Author name, surname: Rūta Jankūnienė.

Science degree and name: doctor.

Work place and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Head and Assoc. Professor of Electronic Technic Study Program.

Author's research interests: telecommunications networks and services quality, network performance modeling, heterogenic networks.

Telephone and email address: +370 652 19844, ruta.jankuniene@edu.ktk.lt

Author name, surname: Almantas Bandza.

Science degree and name: doctor.

Work place and position: Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Assoc. Professor of Department of Electrical Power Systems.

Author's research interests: protection and control in transmission and distribution (TND).

Telephone and email address: +370 682 60870, almantas.bandza@ktu.lt

COMBUSTION CHAMBERS WITH CATALYTIC CONVERTERS TO REDUCE POLLUTANT EMISSIONS FROM AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINES

Vladimirs Gudakovskis, Vytenis Naginevičius, Viktors Gutakovskis, Esmeralda Štyps
Kaunas University of Applied Engineering Sciences

Summary

The paper gives an overview of the pollutants emitted by aircraft gas turbine engines and discusses one of the directions for reducing emissions using catalysts when burning fuel in a GTE combustion chamber. An analysis is given of the use of catalysts in the combustion of aviation fuel, and a developed device is proposed that reduces the emission of pollutants.

Key words: aircraft gas turbine engines, catalysts, combustion of aviation fuel.

Introduction

September 23, 2019 in New York The UN summit on climate issues was held. Its main goal was to organize the efforts of states to reduce climate change loads of the planet.

One of these loads is environmental pollution by emissions of pollutants, which form a greenhouse effect, by aviation gas turbine engines (GTE).

Greenhouse gas emissions from international aviation are growing rapidly and by 2020 global aviation emissions are expected to be about 70% higher than in 2005.

In this regard, the International Civil Aviation Organization (ICAO) has increased restrictions on the emission of pollutants by aviation GTE. Therefore, areas that contribute to the reduction of pollutant emissions by aviation GTE become relevant.

1. The formation of pollution by gas turbine engines

Environmental pollution by the exhaust gases of an aircraft GTE is considered as causing damage to the human environment.

All those substances emitted by aviation GTE that alter or upset the natural balance of the environment should be considered harmful.

The main task in creating modern aviation GTE is to prevent damage to human life, flora and fauna, and not to cause artificial disturbance of the natural ecological system.

The harm caused to the ecological system by pollutants may be due to a change in the concentration of gas components in the atmosphere and the accumulation of particles and chemically active substances in it.

This harm can be direct, i.e. expressed in the change in life processes caused by toxic gases, in the violation of particles ejected from the GTE, the respiration of plants, as well as in the corrosion of metal structures and contamination of drinking water with chemical reagents.

Indirect harmful effects include: the formation of smog due to the photochemical reaction and increased formation of fog; rainfall due to the presence of particles of combustion products in the atmosphere; thermal release of GTE can cause local changes in temperature gradients, because a small change in atmospheric temperature can be harmful to temperature-sensitive life systems, i.e. the appearance of the greenhouse effect.

Contaminants consist of combustion products and unburned contaminants contained in aviation fuel. Unburned hydrocarbons are released due to incomplete combustion of fuel due to the combustion of a rich mixture or insufficient mixing of fuel and air in a compressor station; The same reasons determine the formation of carbon during combustion. During combustion, nitrogen oxides are formed, and nitrogen is involved in the oxidation reaction, which is contained both in the fuel and in the air entering the combustion chamber combustion zone.

The main polluting chemical compounds that are emitted by aviation GTE are nitrogen oxides, carbon monoxide, organic compounds, unburned and partially burned hydrocarbons and sulfur oxides.

Contaminants are formed in chemical reactions, are part of the combustion process. Subsequent chemical reactions can lead to the decomposition or disappearance of these substances.

At the high temperatures reached in the combustion chambers, the presence of fuel and an oxidizing agent inevitably leads to the formation of some pollutants.

High levels of the concentration of these substances can be reduced in further chemical reactions with decreasing temperature, however, quenching of the reaction leads to freezing of the concentrations of some substances, which leads to a high level of emission.

The concentration levels of most of the pollutants in the exhaust GTE are directly related to the temperature in the combustion zone, the concentration of fuel and its residence time in the combustion chamber.

These parameters vary depending on the operation mode of the GTE, and for the combustion chamber of a specific engine have their own values.

The concentration of carbon monoxide and unburned hydrocarbons is maximum at low-power GTE and decreases with increasing traction.

Emissions of nitrogen oxides and smoke are negligible at low thrust and reach their maximum at maximum power.

The characteristics of the pollutant emissions of an aircraft GTE according to its operating modes are presented in Fig. 1 [1,2]:

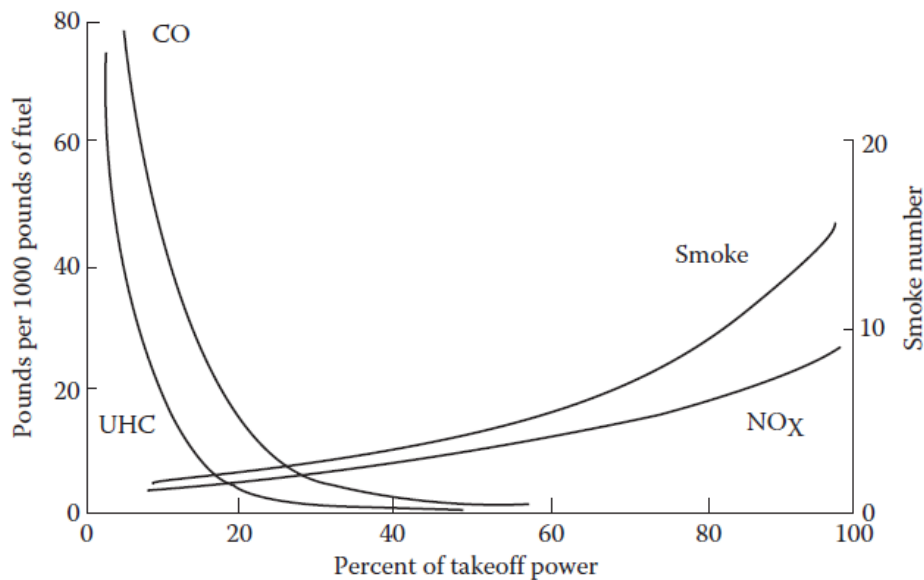


Fig. 1. Aviation GTE pollutant emission characteristics by operation modes [1, 2]

The main pollutants that are characteristic of aviation GTE are:

- nitrogen oxides NO_x;
- unburned UHC hydrocarbons;
- carbon monoxide CO;
- sulfur oxides SO_x (not shown in the figure);
- smoke emissions.

2. Nitrogen oxides NO_x

Nitrogen oxides are formed during combustion as a result of chemical reactions of atmospheric oxygen and nitrogen. Nitrogen oxides are referred to as NO_x. The combustion chambers emit mainly nitric oxide NO and nitrogen dioxide NO₂.

There are three possible ways to form nitric oxide:

- at high temperatures, N₂ reacts with oxygen, forming thermal NO;
- nitrogen-containing compounds contained in the fuel, nitrogen is released at relatively low temperatures with the formation of NO;
- NO is formed in the flame fronts not from atmospheric N₂ and O₂, i.e. Fast nitric oxide is formed.

Thermal Nitric Oxide. The main reactions determining the formation of thermal NO from molecular nitrogen during the combustion of a poor air-fuel mixture to a mixture close to stoichiometric were given by Zeldovich [3], and they represent a chain mechanism:



Reaction (3) becomes significant only with compositions close to stoichiometric, and when a rich mixture is burned that gives a high temperature for a long enough time to form a significant amount of nitric oxide. Substances in an atomic state arise during decomposition and in the process of chain reactions in which

concentrations can reach levels several times greater than the equilibrium; this phenomenon is called atom ejection [4].

The rate of formation of thermal nitric oxide NO is much lower than the rate of combustion. In systems with a significant level of emission, the main part of NO is formed after the completion of combustion.

The rate of formation of NO increases with the enrichment of the mixture.

Having separated after the flame zone, located downstream after the primary zone of the combustion chamber, it is possible to separate the process of NO formation from the combustion process.

Super equilibrium nitric oxide NO. Under certain conditions, especially in the low-temperature flames of a rich fuel-air mixture, NO is detected in the very early stages of the combustion process.

The mechanism of this phenomenon is still far from understanding and description [1,2]. However, it was found that it occurs as a result of the interaction of a large number of intermediate substances that arise during the main reactions of hydrocarbon oxidation to CO and then to CO₂.

Nitric oxide NO from fuel. If the fuel contains chemically bound nitrogen, then part of this nitrogen will inevitably turn into nitric oxide NO. The proportion of such nitrogen depends on the characteristics of the combustion process, and on the type of fuel itself, and can make up a significant share in the total emission of nitric oxide.

Nitrogen dioxide emissions. The conversion of NO to NO₂ begins in the combustion chamber in zones with a significant excess of air [1,2]. In the operation modes of GTE of high power, the fraction of NO₂ formed in the combustion chamber is very small, but in the regimes of low power (low gas), the content of NO₂ can reach 50%.

3. Unburned UHC hydrocarbons

Unburned hydrocarbons are the result of incomplete combustion of hydrocarbons contained in the fuel. Incomplete combustion of fuel affects the completeness of its combustion.

The main reason for incomplete combustion of fuel is in bad stirring of fuel, air and combustion products in the combustion chamber.

As a rule, GTE combustion chamber relays on the maximum power and all physicochemical processes in this mode proceed intensively, with high completeness of fuel combustion. Low power modes are not calculated (compromise), and in these modes the intensity of physical and chemical processes decreases, which leads to a decrease in the completeness of combustion and the release of unburned UHC hydrocarbons from the engine.

4. Carbon monoxide CO

Aviation GTE hydrocarbon oxide emissions depend on the composition of the fuel-air mixture in the primary zone of the combustion chamber. With a rich air-fuel mixture, CO is produced in large quantities due to a lack of oxygen to complete the oxidation reaction to CO₂. When the fuel-air mixture in the primary combustion chamber zone is stoichiometric or poor, significant amounts of CO will be formed due to dissociation CO₂ [1,2].

Low levels of CO formation in the GTE can be achieved in a very narrow range of the coefficient of excess air in the primary zone of the combustion chamber.

Equilibrium concentrations of CO can be reduced to an acceptable level by gradually mixing air to the gases behind the primary zone of the combustion chamber.

At high temperatures, CO is consumed mainly in the reaction:



This reaction proceeds rapidly over a wide temperature range. At low temperatures, in the disappearance of CO, the reaction plays:



Large amounts of CO are formed as a result of incomplete combustion of fuel. This can be caused by one or several reasons [1,2]:

- low burning rate in the primary combustion zone of the compressor station due to lack of fuel and (or) lack of residence time;
- insufficient mixing of fuel and air, as a result of which zones are formed in which the mixture is too lean to support combustion, as well as zones with an excessively rich fuel-air mixture, combustion in which leads to high local concentrations of CO;
- freezing of the combustion products involved in the layers of air, the cooling walls of the flame tube.

5. Sulfur oxides

Sulfur dioxide SO_2 and sulfur trioxide SO_3 are formed after the reaction of sulfur compounds contained in fuel with oxygen.

The concentration of SO_2 in the flame can significantly exceed the thermodynamic equilibrium concentrations corresponding to the molecular reaction between SO_2 and O_2 . Rapid cooling of the combustion products can lead to SO_3 freezing.

The issue of sulfur oxide emissions can be solved by using low sulfur fuels. As a rule, they increase requirements for the physicochemical properties of fuel, and, in particular, for its sulfur content.

6. Smoke

Exhaust smoke is associated with the formation of dispersed soot particles in fuel-rich areas of the flame. They can form in any part of the combustion zone where the mixing speed is insufficient.

Most of the soot formed in the primary combustion zone is then burned in the high-temperature areas downstream. Therefore, from the point of view of smoke, the camera can be considered as a two-zone device, the primary zone of which determines the rate of soot formation, and the intermediate zone determines the rate of soot consumption during its combustion.

As a rule, the rate of soot formation is determined mainly by physical factors, such as atomization of the fuel and its mixing with air.

The main factors determining the formation of soot in the combustion chamber of aircraft GTE include:

- fuel properties;
- parameters of the working process in the CS: temperature and pressure;
- coefficient of excess air;
- quality of fuel atomization in the combustion chamber;
- a method of supplying fuel to the combustion chamber.

7. Secondary zone of the CS in GTE

In the analysis of the formation of pollutants in the combustion chamber of an aircraft GTE, it was found that the secondary zone of the combustion chamber plays an important role. In this CS zone, the products of combustion of fuel coming from the primary zone of the combustion chamber (combustion zone) are afterburned at the calculated operation modes of the GTE.

In these modes, the emission of pollutants is minimal. Or cooling and freezing of unburned fuel combustion products coming from the combustion zone (primary zone of the COP). As a rule, this occurs at low power GTE modes. These modes are characterized by maximum pollutant emissions (Fig. 1).

The formation, decomposition and change in the level of concentration of pollutants depends on the organization of the process of burning fuel in the combustion chamber of an aircraft GTE.

Tendencies to increase the completeness of fuel combustion and reduce the emission of pollutants are in contradiction. Since the completeness of fuel combustion is maximum at a stoichiometric or close to stoichiometric composition of the mixture, which corresponds to the highest achievable temperatures. These high temperatures lead to the formation of large amounts of pollutants.

Therefore, the optimal organization of the fuel combustion process can be achieved by very carefully controlling the quality of the mixture and the temperature in the combustion chamber of the GTE, as well as the use of catalysts for afterburning the gas mixture.

It is in the secondary zone that it is advisable to install a device for the afterburning of unburned fuel combustion products. Such devices are catalytic convectors.

8. Catalytic combustion

Catalysis allows the oxidation of fuel at temperatures well below the poor ignition limit [1,2]. In connection with these, the use of catalysts in the combustion chamber, occupying part of the volume of the combustion zone, makes it possible to burn fuel at a temperature that is approximately 1000K lower than the maximum temperature in the combustion zone of a conventional GTE. Since the emission NO_x depends exponentially on temperature, Fig. 1 it can be expected that combustion at very low temperatures will reduce the formation of NO_x by the thermal mechanism by several orders of magnitude [1,2].

In the works [1,2] describes in detail the basic design of a combustion chamber with a catalytic lattice.

Catalytic combustion can produce ultra-low emission levels of NO_x , CO and unburned carbon [5,6].

Catalytic combustion can reduce the combustion temperature of the fuel at the same gas velocity in the combustion chamber in a wide range of air excess ratio or can increase the combustion rate at the same temperature in the CS. The first option allows reducing the formation of NO_x , and the second allows reducing

the formation of CO, i.e. providing a high degree of completeness of combustion. When using catalysts, it is possible to ensure a uniform temperature field at the outlet of the combustion chamber.

One of the most important elements of combustion chamber are catalysts [5, 6].

The combustion catalyst consists of the following elements:

- a support structure that provides mechanical stability to the catalyst. Perform a construction of ceramic or metal;
- washable coating, providing an area for the location of the active component (catalyst), made, as a rule, from metal oxides (aluminum, zirconium, silicon).
- catalyst, state of the groups: precious metals (platinum, rhodium), rare-earth metals (chromium, cobalt) and oxides of lanthanum and cesium.

Basic requirements for catalytic devices of combustion chamber:

- withstand a long period of operation at high temperatures and adverse environments;
- the catalyst material must have the property of abrasion resistance;
- ensure minimal pressure loss;
- the catalyst must be active for a sufficiently long period of time.

The disadvantages of purely catalytic combustion chamber include:

- high price;
- limited service life of catalytic materials;
- design complexity;
- high pressure loss;
- the possibility of overheating of the catalyst structure.

To eliminate the above disadvantages of catalytic combustion chamber use it with catalytic and air-catalytic converters.

In the early 2000s, catalytic combustion chambers again aroused interest in themselves. It is expected that this direction to reduce emissions of harmful substances will again be developed, but at a higher level.

9. Combustion chamber with catalytic converter

A feature of the combustion chamber version of an aircraft GTE with a catalytic converter is a ceramic grating with a catalytic lining (converter) installed behind the primary zone of the combustion chamber.

Fuel is burned to the catalytic converter using approximately half of all air passing through the combustion chamber.

As a result, the excess air coefficient in front of the converter in the small gas mode is 3.33.

The converter acts as a catalytic converter, burning off CO and UHC in combustion products. Figure 2 shows the combustion chamber of GTE with a catalytic converter [1].

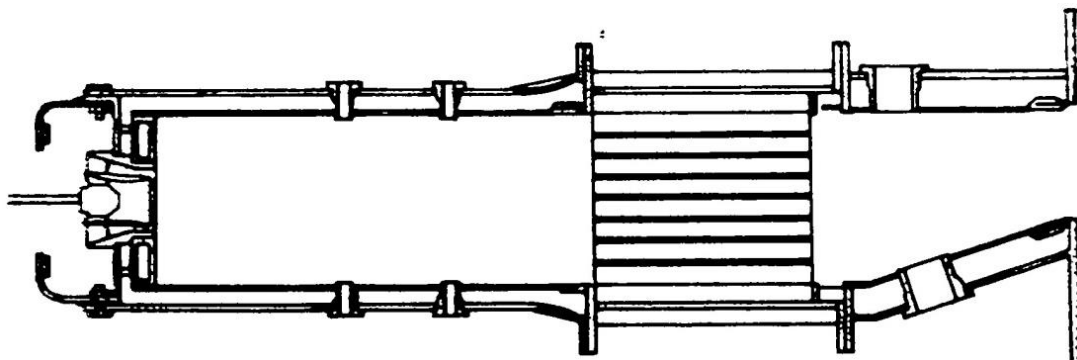


Fig. 2. Combustion chamber of GTE with catalytic converter [1]

10. Combustion chamber with air-catalytic converter

The combustion chamber with an air-catalytic converter was developed by the author together with colleagues [7].

The combustion chamber (Fig. 3) contains a housing 1, a heat pipe 2 installed in it, with holes 3 for supplying secondary air, located at its inlet and outlet, respectively, a swirler 4 with a fuel nozzle 5 and an air-catalytic convector with longitudinal channels 6 and deposited on their walls by a catalyst, the air-catalytic convector is made in the form of a cylindrical shell 7 with holes 8 connected in a flame tube 2 by means of streamlined hollow racks 9, cabinet front 10, and rear 11, walls connected to the both-seagull 7 of the main

and converging nozzle 12, with perforations 13, limiting the longitudinal channels 6 are connected with the front 10 and rear 11 walls, and forming with them and the shell 7 the channels 14 for passage of secondary air.

The catalyst is deposited on the inner surface of the inlet sections of the nozzles 12. In the rear wall 11 holes 15 are made.

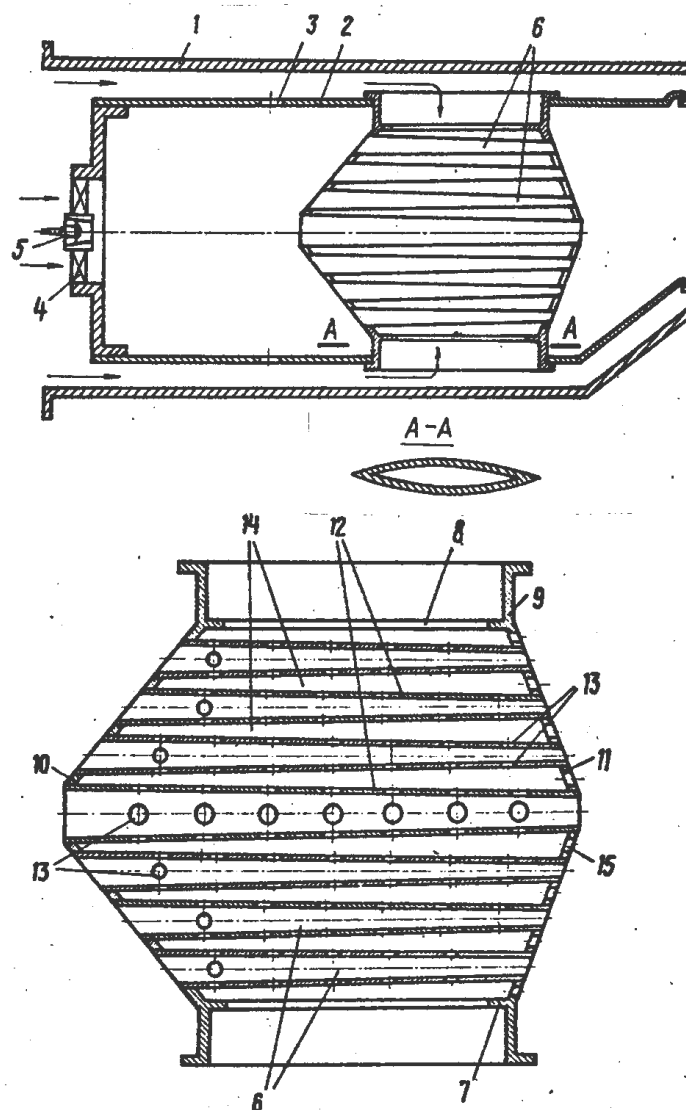


Fig. 3. The combustion chamber [developed by the author]

During operation of the combustion chamber, the air entering its inlet is divided into two parts. One part (primary air) enters the flame tube 2 through the swirl 4 and forms behind it a reverse current zone in which the fuel is burned, supplied to the primary zone of the compressor through the nozzle 5, and the other part (secondary air) enters through the hole 3 the pipe 2, cooling its walls and mixing with the products of fuel combustion, and through the hollow posts 9 and openings 8, shells 7 into the channels 14. The products of combustion from the primary zone of the combustion chamber in the form of a gas mixture enter the confusion nozzles 12 and burn out at their inlet sections in presence of catalyst.

The gas mixture during its flow in the nozzles 12 accelerates and additionally ejects through the perforation 13, the secondary air from the channels 14, enriching the combustion products with oxygen and thereby increasing the completeness of fuel combustion, respectively, reducing the emission of combustion chamber. Moreover, due to the increase in the length of the nozzles 12 in the direction from the periphery to the axis of the flame tube 2, the enrichment of combustion products with oxygen increases in the same direction, leading to equalization of the temperature field at the outlet of the combustion chamber.

A combustion chamber with an air-catalytic converter eliminates a number of disadvantages inherent in a combustion chamber with a catalytic converter:

- relatively lower cost, because less catalyst is used in the converter;

- the inability to overheat the converter, because the structure is cooled by secondary air in its entire volume.

Thus, combustion chamber with an air-catalytic converter have greater advantages than combustion chamber with a purely catalytic converter.

11. The main conclusions

As can be seen from the above material, the use of catalytic and air-catalytic converters in the combustion chamber of aviation GTE is an effective way to reduce the emission of pollutants by aviation GTE. With stricter requirements to limit emissions, this area will increase its importance.

References

1. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД. – М.: Изд. Мир, 1986. – 566 с.
2. Lefebvre A.H., Dilip R. Ballal. Gasturbine combustion: Alternative Fuels and Emissions. – Third Edition. – London: Taylor & Francis, 2010. – 537 p.
3. Зельдович Я.Б., Садовников П.Я., Франк-Каменецкий Д.А. Окисление азота при горении. – М.: Изд. Наука, 1947. – 146 с.
4. Образование и разложение загрязняющих веществ в пламени: Пер.с сангл./ Ред. Н.А. Чигир. – М.: Машиностроение, 1981. - 407 с.
5. Ersson A. Materials for Hight-Temperature Catalytic Combustion. Departament of Chemical Engineering and Technology, Stocholm 2003. – 96p.
6. Thevenin P. Catalytic Combustion of methane. Department of Chemical Engineering and Technology, Stocholm, 2002. – 86p.
7. А.С. 1347634 Камера сгорания газотурбинного двигателя. Авторы: Гудаковский В.П., Ковалев В.Д., Коряковцев В.С. Зарегистрировано : 22.06.1987 г.

DEGIMO KAMERŲ SU KATALIZINI AIS KONVERTERIAIS TAIKYMAS IŠ ORLAIVIŲ DUJŲ TURBINŲ VARIKLIŲ IŠMETAMŲ TERŠALŲ KIEKIO SUMAŽINIMUI

Santrauka

Straipsnyje apžvelgiami orlaivių dujų turbinų variklių išmetami teršalai ir aptariama viena iš katalizatorių išmetamų teršalų mažinimo krypčių deginant kurą GTE degimo kameroje. Pateikta katalizatorių naudojimo deginant aviacinius degalus analizė ir pasiūlytas sukurtas įtaisas, kuris sumažina teršalų išmetimą.

Raktiniai žodžiai: orlaivių dujų turbinų varikliai, katalizatoriai, aviacinio kuro deginimas.

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Vladimirs Gudakovskis

Science degree and name: Dr. Sc.,Ing.

Workplace and position: Kaunas University Of Applied Sciences, Engineering faculty Study program department, associated professor of Aircraft mechanism technical maintenance study program

Author's research interests: manufacturing technologies, material technologies, methodology of engineering sciences.

Telephone and e-mail address: +37127892259, Vladimirs.gudakovskis@gmail.com

Author name, surname: Vytenis Naginevičius

Science degree and name: doctor of technological sciences

Workplace and position: Kaunas University Of Applied Sciences, Engineering faculty Study program department, associated professor of Aircraft mechanism technical maintenance study program

Author's research interests: mechanical engineering

Telephone and e-mail address: +370 600 20386, vytenis.naginevicius@edu.ktk.lt

Author name, surname: Viktors Gutakovskis

Science degree and name: Msc..Ing.

Workplace and position: Kaunas University Of Applied Sciences, Engineering faculty Study program department, associated professor of Material processing engineering study program

Author's research interests: manufacturing technologies, material technologies, methodology of engineering sciences.

Telephone and e-mail address: +371 26423912, Viktors.gutakovskis@kcrtk.lv

Author name, surname: Esmeralda Štyps

Science degree and name: doctor of technological sciences

Workplace and position: Kaunas University Of Applied Sciences, Engineering faculty Study program department, associated professor of Aircraft mechanism technical maintenance study program

Author's research interests: mechanical engineering

Telephone and e-mail address: +370 610 48810, esmeralda.styps@edu.ktk.lt

JUDESIO PERDAVIMO ELEMENTŲ TAIKYMAS TIKSLAUS POZICIONAVIMO MECHANIZMUOSE

Audrius Čereška

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija. Tikslaus pozicionavimo mechanizmai naudojami įvairiose šiuolaikinėse technologijose: metrologijoje, mikro apdirbimo technologijose, mikrorobotuose, palydovų sekimo sekimo sistemose, mano-mikro pozicionavimo ir kitose sistemose. Pastaraisiais metais didėja poreikis mechanizmų, galinčių tiksliai pozicionuoti mikrometrų ar nanometrų tikslumu. Dauguma tikslų pozicionavimo mechanizmų sukurti tradicinių technologijų principu: veikiamos žingsninių, servo variklių, hidro, pneumo vykdyklių. Tokių sistemų slenkamojo judesio pagrindinis elementas – guolis. Straipsnyje analizuojami judesio perdavimo elementai, veikimo principas ir jų taikymas tikslaus pozicionavimo mechanizmuose. Atliktas analizės apibendrinimas ir suformuluotos išvados.

Reikšminiai žodžiai: judesio perdavimo elementas, deformuojamas elementas, tikslus pozicionavimas, tiesiaiegis judesys, sukamasis judesys, pozicionavimo mechanizmas.

Įvadas

Pastaraisiais metais didėja poreikis mechanizmų, galinčių tiksliai pozicionuoti mikrometrų ar nanometrų tikslumu. Tai lemia sparti mokslo plėtra specifinėse pramonės šakose, pavyzdžiui labai mažų puslaidininkių gamyba ir tyrimai, ypač tikslų pozicionavimo ar matavimo mašinų gamyba ir kt. Didelio tikslumo sistemos labai plačiai taikomos daugelyje šiuolaikinių technologijų, ypač mikro ir nano technologijose.

Dauguma tikslų pozicionavimo sistemų sukurtos tradicinių technologijų principu: veikiamos žingsninių, servo variklių, hidro, pneumo vykdyklių. Tokių sistemų slenkamojo judesio pagrindinis elementas – guolis.

Tradiciniai slenkamojo ar sukamojo judesio perdavimo mechanizmai turi nemažai trūkumų: trintis, dėvėjimasis, laisvoji eiga, tepimas, surinkimo paklaidos. Tikslaus pozicionavimo problemoms skiriama daug dėmesio, tai matoma pagal, šia tema, įvairiuose moksliniuose žurnaluose, paskelbtus straipsnius.

Jau 1965 metais paskelbtame straipsnyje [1] autoriai pateikė skaitinį lanksčių viena ašimi ir lanksčių dvejomis ašimis apskritiminių deformuojamų lankstų matematinį modelį. Autoriai šiame straipsnyje naudoja aprašyti elementui, kuris yra lankstus viena ašimi, bet standus kitomis ašimis.

Tiltelio tipo deformuojamo mechanizmo sprendimo algoritmą pasiūlė [2] plokštuminių vienos ašies deformuojamų mechanizmų poslinkiui ir standumui skaičiuoti, taikant Castigliano's poslinkio teoremą.

Tyrėjai darbe [3] pristatė trijų pasisukimų deformuojamo mechanizmo kinetinę ir dinaminę analizę, gamybą bei jo savybes. Sukurtos nanopozicionavimo sistemos veikimo diapazonas 27 μm koordinatės X , bei 18 μm koordinatės Y kryptimis, bei pasisuka 1,72° veikiant visiems trimis vykdykliais. Pozicionavimo sistemos savieji dažniai yra 463 Hz.

Straipsnyje [4] pateiktas matematinis trijų pasisukimų deformuojamo mechanizmo aprašymas, taikant antrąją Castigliano's teoremą. Mechanizme taikomi vienos ašies simetriniai apskritiminiai ir daugelio ašių simetriniai apskritiminiai deformuojami lankstai. Buvo naudojami šeši pjezo vykdykliai kurių eiga 13 μm . Vientisas deformuojamas mechanizmas pagamintas iš aliuminio lydinio. Mechanizmas padalintas į tris deformuojamų mechanizmų grupes, kurios buvo veikiamos dviejų pjezovykdyklių ir išdėstytos kas 120°. Deformuojamų lankstų standumo matrica buvo sudaryta taikant antrąją Castigliano's teoremą. Buvo gauta įvesties ir išvesties poslinkių priklausomybė.

Darbuose [5, 6] pateikta trijų pasisukimų pozicionavimo sistemos schema su trimis laisvės laipsniais erdvėje: gali pasislinkti X , Y , bei Z ašių kryptimis. Deformuojamas mechanizmas buvo veikiamas trijų pjezoelektrinių CERDAT vykdyklių, kurių eiga 55 μm , ašinė apkrovos riba 27 N, maksimali įtampa 150 V. Deformuojamo lanksto maksimalus pasisukimo kampas 0,0312 rad. Mechanizmas gali pasislinkti 100 μm , 93 μm ir 87 μm X , Y ir Z ašių kryptimis ir pozicionavimo rezoliucija 3 nm.

Trijų pasisukimų deformuojamo mechanizmo matematinį aprašymas pateiktas darbe [7]. Deformuojamas mechanizmas sudarytas iš gembų ir deformuojamų lankstų. Matematiname modelyje priimama, kad deformuojamas lanktas yra pakeičiamas sijos elementu. Pateiktas skaitinis deformuojamo mechanizmo modelis patikrintas baigtinių elementų metodu, taikant ANSYS programinį paketą. Tiesinės sijos modelis tiksliai pateikia pozicionavimo platformos poslinkį, maksimalius įtempius, bei mechanizmo modales charakteristikas.

Deformuojamo elemento darbas priklauso nuo temperatūros poveikio. Atlikti deformuojamo elemento darbo parametrų pokyčių tyrimai [8] priklausomai nuo temperatūros poveikio. Apskritiminis deformuojamas lankstas buvo suskaidytas baigtiniais trijų mazgų elementais, turinčiais tris laisvės laipsnius.

Darbe [9] pateiktas trijų pasisukimų pozicionavimo sistema, kuri sudaryta iš trijų deformuojamų mechanizmų grandinių, sujungtų su pozicionavimo platforma ir pagrindu, o darbe [10] pateikta trijų pasisukimų deformuojamo mechanizmo tikslią pozicionavimo sistemą, bei sudarytas atvirkštinį kinematinis modelis. $XY\theta$ tikslaus pozicionavimo sistemą sudaro vientisas deformuojamas mechanizmas, kuris yra veikiamas trijų pjezo vykdiklių išdėstytų kas 120° .

Straipsnyje [11] analizuojamas dviejų laipsnių svertinis simetrinis deformuojamas mechanizmas perdavimo skaičiui padidinti.

Darbo tikslas – aptarti deformuojamus judesio perdavimo elementus ir jų taikymo galimybes tikslaus perdavimo mechanizmuose.

Judesio perdavimo elementai

Kregždės uodegos formos kreipiančiosios (1 pav.) taikomos pozicionavimo mechanizmuose, kuriems reikia didelės eigos ir kuriuos veikia didelės apkrovos. Trintis mažina mechanizmo rezoliuciją, dėl ko atsiranda laisvoji eiga bei tampriosios deformacijos. Trintis sukelia dideles jėgas, kurioms įveikti reikalingi galingi vykdikliai. Mechanizmo veikimas labai priklauso nuo efektyvaus besiliečiančio paviršiaus tepimo. Kiekvienas paviršiaus mikronelygumas sukelia nepageidaujamus nuokrypius, dėl kurių šie mechanizmai retai taikomi tikslaus pozicionavimo sistemose.

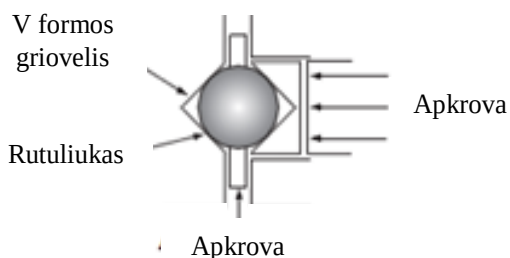
Kregždės uodega



1 pav. Kregždės uodegos formos judesio perdavimo elementas

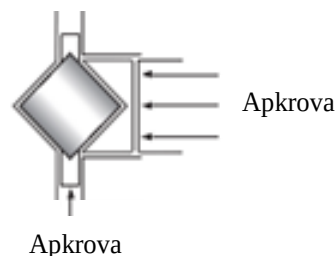
Rutuliniuose guoliuose (2 pav.) slydimo trintis pakeičiama sferinių rutuliukų slydimu bei sukimusi. Tokiuose mechanizmuose sferiniai rutuliukai montuojami apkaboje, kad nesiliestų tarpusavyje ir ši apkaba montuojama tarp dviejų V-formos griovelių. Kadangi tarp rutuliukų ir V-formos griovelių paviršių kontaktas yra labai nedidelis tai mechanizmo klibėjimas bei besiliečiančiuose paviršiuose esantys mikro nelygumai labai neigiamai veikia pozicionavimo tikslumą. Sumažinti klibėjimui V-formos grioveliai ir rutuliukai turi būti veikiami apkrovos, tačiau veikiant apkrovai atsiranda temperatūrinės deformacijos bei pagreitėja mechanizmo dėvėjimasis. Šie veiksniai neigiamai veikia pozicionavimo tikslumą. Išvengti strigimo, bei sumažinti kontaktiniams trinties nuostoliams reikalingas efektyvus tepimas, tačiau į tepalą patekę mikrodalelės taip pat veikia neigiamai.

Rutulinis guolis



2 pav. Judesio perdavimo elementas - rutulinis guolis

Hibridinis ritininis guolis

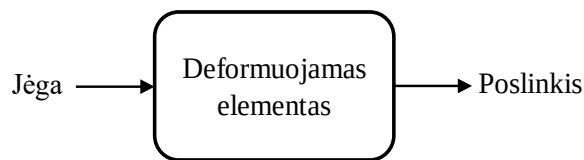


3 pav. Judesio perdavimo elementas - hibridinis ritininis guolis

Ritininiuose guoliuose (3 pav.) sferinius rutuliukus pakeičia cilindriniai ritinėliai. Tokie ritininiai guoliai atlaiko didesnes apkrovas, tačiau dėl didesnio lietimosi ploto (ne taško, o linijos) padidėja trintis ir strigimas. Reikia vengti nešvarios aplinkos ir periodiškai tikrinti tepimą.

Deformuojami judesio perdavimo elementai

Deformuojamas elementas tiekiamą energijos formą (mechaninę, elektrinę, terminę, magnetinę ar kt.) keičia į išvesties poslinkį (4 pav.).



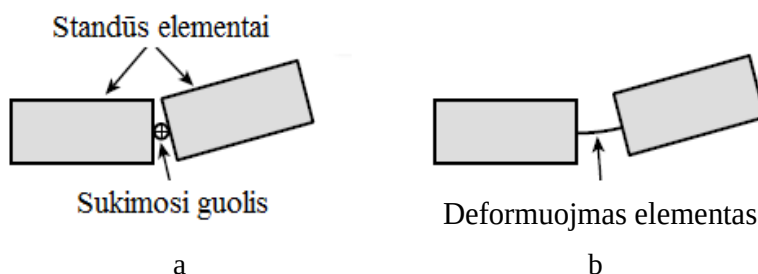
4 pav. Deformuojamo elemento veikimo principinė schema

Dažniausiai deformuojami mechanizmai yra sukurti iš standžių grandžių, kurios tarpusavyje yra sujungtos deformuojamais lankstais, skirtais atlikti nedidelį pasisukimą tarp standžių grandžių.

Deformuojamo elemento tikslas yra pasiekti maža standumą poslinkio kryptimi, tuo pačiu siekiant, kad visomis kitomis kryptimis standumas būtų kuo didesnis.

Pagal išpjovų formą deformuojami lankstai gali būti apskritiminiai, gembiniai su užapvalintais kampais, paraboliniai, hiperboliniai, elipsiniai, simetriniai ir nesimetriniai.

Deformuojamas elementas - plonas elementas tarp dviejų standžių elementų, kuris dėl lenkimo deformacijos užtikrina šiems dviem standiems elementams pasisukimą vienas kito atžvilgiu (5a, b pav.). Deformuojamas lankstas - vientisas su likusia mechanizmo dalimi.



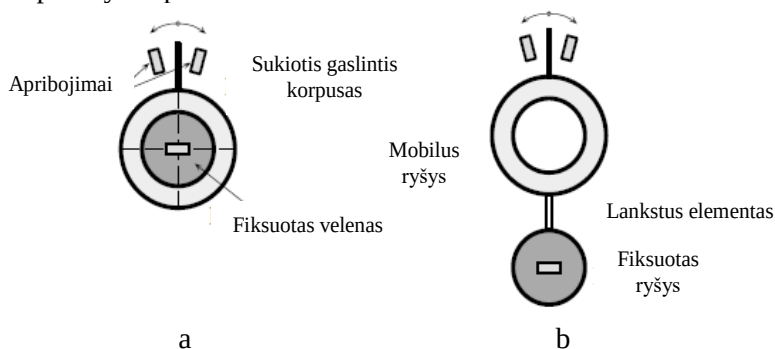
5 pav. Judesio perdavimo elementai: a - sukimosi guolis, b - deformuojamas elementas

Deformuojamą lankstą galima būtų palyginti su sukimosi guoliu, kurio pasisukimo kampas yra ribotas (5a, b pav.).

Deformuojamas elementas gali būti gaminamas dviem būdais:

- iš nepriklausomai pagaminto elemento, kuris sujungiamas su dviem standžiais elementais;
- iš vientiso medžiagos ruošinio (šiuo atveju deformuojamas lankstas yra vientisas su kitais standžiais elementais).

Sukimosi guoliai parodyti 6 pav.



6 pav. Guoliai: a - sukimosi guolis, b - deformuojamas elementas

Deformuojamą elementą sudaro tampri, deformuojama dalis tarp dviejų standžių elementų, kuri yra vientisa su mechanizmu ir tai turi nemažai pranašumų lyginant su klasikineis sukimosi guoliais:

- nėra trinties nuostolių, deformuojamas elementas pagamintas iš vientiso medžiagos ruošinio, o tai panaikina kontaktinį dėvėjimąsi;
- nereikia tepti;
- nėra laisvosios eigos;
- nėra histerezės efekto, slinktis yra tolygi;
- kompaktiškas;
- taikymas mikro ir nano įtaisuose;
- lengvai gaminamas;

- deformuojamas elementas vientisas su mechanizmu;
- nereikalingas remontas, kai yra eksploatuojama rekomenduojamose sąlygose;
- neperkraunami;
- slinktyys gali būti tiksliai numatomos, žinant veikiančias jėgas, priešingu atveju galima numatyti veikiančias jėgas, norimai slinkčiai gauti.

Deformuojami elementai turi ir trūkumų:

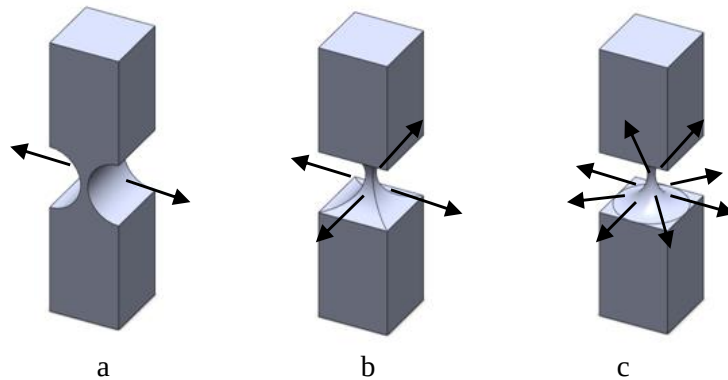
- mažas pasisukimo kampas;
- pasisukimas netikslus, kadangi deformacija yra sudėtinė;
- veikimo metu pasislenka pasisukimo centras;
- jautrūs temperatūriniais pokyčiams.

Plokštuminiai deformuojami elementai gaminami galinio frezavimo, elektroerozinio apdirbimo, pjovimo lazeriu, metalo štapavimo ar fotolitografijos technologiniais apdirbimo procesais.

Sferiniai deformuojami elementai gali būti gaminami tekinimo ar tikslaus liejimo technologiniais procesais.

Pagal savo konfigūraciją deformuojami elementai gali būti lankstūs viena kryptimi (7a pav.), lankstūs dvejomis kryptimis (7b pav.) ir lankstūs daugeliu krypčių (7c pav.). Egzistuoja abipusė priklausomybė tarp besideformuojančių elementų geometrinės konfigūracijos ir jų taikymo.

Lankstūs viena ašimi deformuojami elementai taikomi mechanizmuose, kuriuose judesys veikia plokštumoje, tuo tarpu kai lankstūs dvejomis ašimis bei lankstūs daugeliu ašių taikomi mechanizmuose, kuriuose judesys veikia erdvėje.



7 pav. Deformuojami elementai: a – lankstus viena kryptimi; b – lankstus dvejomis kryptimis; c – lankstus įvairiomis kryptimis

Paprasčiausias deformuojamas elementas - viengubas kompozitinis deformuojamas elementas, pavaizduotas (8 a pav.). Santykinai ilgos lanksčios formos deformuojamas elementas yra pagamintas iš kompozitinės medžiagos turinčios 60 % anglies pluošto, stabilus temperatūros pokyčiams ir turi labai standus.



8 pav. Viengubas kompozitinis deformuojamas elementas [2]

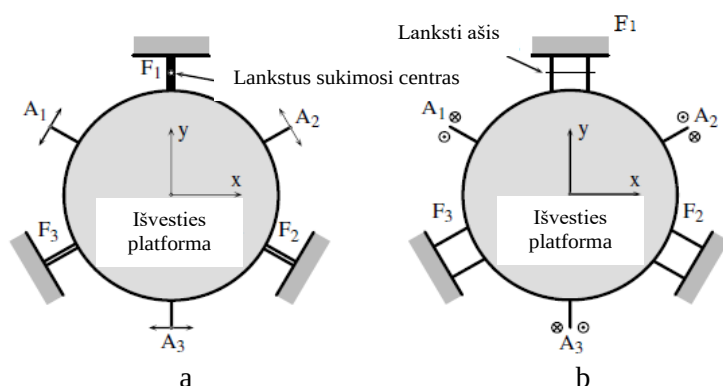
Judesio perdavimo elementų taikymas tiksluose pozicionavimo mechanizmuose

Judesio perdavimo mechanizmai - plačiai naudojami automobilių bei aviacijos pramonėje: pagreičio/greičio/poslinkio jutikliai, prisitaikančios sėdynės, oro pagalvės, defektnis jungiklis, stabdžių sistemos, vykdykliai geometrijos keitimo įrenginiuose, palydovų kampinio pozicionavimo įrenginiuose. Judesio perdavimo mechanizmai taikomi ir kompiuterijoje bei lazerinėje optikoje: kietojo disko pakaba, lazerinės sistemos, optiniai veidrodžiai, optiniai diskai, mikroskopai, kameros, spausdinimo galvutės, optinė skenavimo įranga, kinematinis lęšių montavimas, sukimosi vykdykliai disko pavariai, mikro elektromechaninių

sistemų (MEMS) pramonėje: apkrovai jautrūs rezonatoriai, optiniai jungikliai, skenavimo moduliai barkodų skaitytuvuose, mikro hidro įtaisuose, giroskopai, mikrogriebtuvai, aukšto tikslumo apdirbimo technologijose, mikrosistemų surinkimo įtaisuose, bioinžinerijoje, tiksluose centravimo įtaisuose, poslinkio stiprintuvuose ir daugelyje kitų sričių. Tikslios pozicionavimo sistemos plačiai taikomos biomedicinoje, judesio perdavimo platformose, mikro/nano robotuose, skenavimo įtaisuose, vaizdo bei fotokameros, nano, mikroapdirbimo technologijose, palydovų sekimo sistemose, rentgeno spindulių fokusavime, lazerinėje optikoje, bioinžinerijoje, metrologijoje, kur reikalingas mikrometrinis ar nonometrinis tikslumas.

Optinėse movose. Optinė mova veikia kaip įtaisas galintis orientuoti optinį komponentą (veidrodį), kuris yra nejudamai sujungtas su išvesties plokšte. Taikomos dvi gana plačios lanksčios juostos, kurios nėra lanksčios pasisukimo ir lenkimo kryptimis apie nelanksčią ašį. Iš esmės tai yra sferinis nuoseklus deformuojamas mechanizmas, turintis tris standžius elementus ir du deformuojamus lankstus, kurie veikiami vidurinėje ir išvesties plokštelėse, gali pasisukti, taigi išvesties plokštelė turi du laisvės laipsnius išvesties.

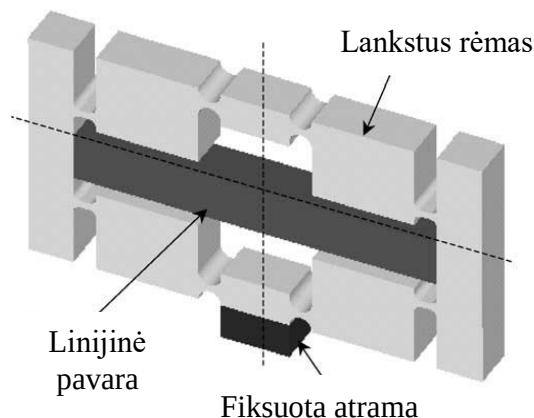
Mova pavaizduota (9 a pav.) vadinama $XY\theta$ staliuku, kuris yra plokštuminės lygiagrečios konfigūracijos gali judėti dvejomis kryptimis. Keičiant trijų vykdyklių A_1 , A_2 ir A_3 įėjimo judesius, galima pasiekti pasislinkimo judesius X ir Y ašimis atskirai, kaip pasisukimą apie šią ašį centrą. Deformuojamos grandinės F_1 , F_2 , ir F_3 yra vienos ašies deformuojami lankstai, bet jie gali būti ir kitų lankstų konfigūracijų. (9 b pav.) pavaizduota sferiškai judanti mova. Šiuo atveju vykdykliai veikia statmenai išvesties platformos plokštumai.



9 pav. Optinių movų principinės schemas: a – plokštuminė, b - sferinė (b) [2]

Tiltelio tipo mechanizmuose. Tiltelio tipo deformuojamas elementas yra klasikinis poslinkio stiprinimo mechanizmas, dažniausiai taikomas paketinio pjezovykdyklio judesio perdavimo skaičiui padidinti. Tiltelio tipo deformuojamas mechanizmas yra kompaktiškas ir poslinkio perdavimo skaičius yra aukštas. Tokio mechanizmo išvesties judesys yra statmenas paketinio pjezoelektrinio vykdyklio poslinkiui.

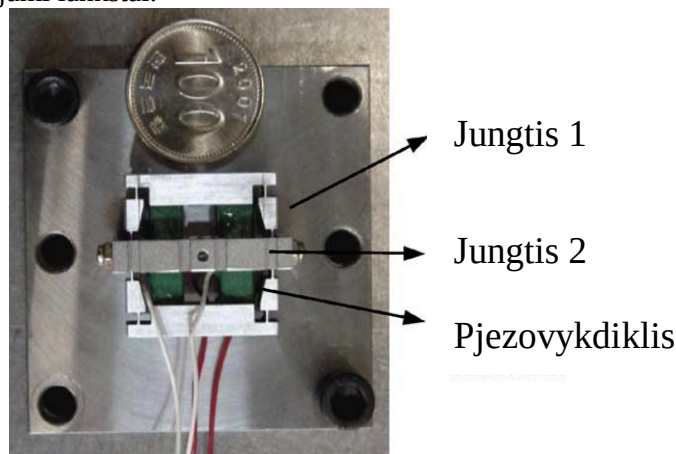
Tiltelio tipo deformuojamas mechanizmas pavaizduotas 10 paveiksle. Buvo suformuluotos deformuojamų mechanizmų su vienos ašies apskritiminiais bei gembiniais su užapvalintais kraštais deformuojamais lankstais lygtys poslinkiui, perdavimo skaičiui, įvesties ir išvesties standumui skaičiuoti. Matematinis modelis buvo patikrintas baigtinių elementų metodu ir gauti artimi rezultatai.



10 pav. Tiltelio tipo mechanizmas [2]

Darbe [2] pateikto sferinio tiltelio tipo deformuojamo mechanizmo konstrukcija pavaizduota (11 pav.). Tiltelio tipo deformuojamą mechanizmą sudaro du tiltelio tipo elementai (11 b, c pav.), sujungti horizontalioje

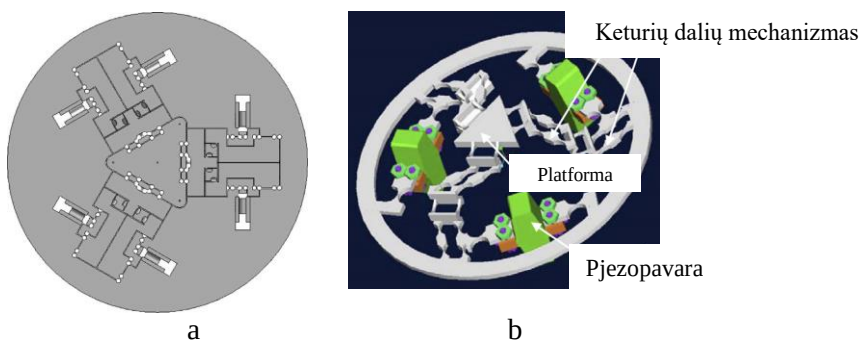
padėtyje statmenai vienas kito atžvilgiu. Tilteliai sujungti nejudamai, todėl išvengiama poslinkio paklaidų. Šiuo atveju taikomi radialiniai deformuojami lankstai, kadangi jie yra lankstesni, nei tokio pat dydžio apskritiminiai deformuojami lankstai.



11 pav. 3D tiltelio tipo mechanizmas [2]

Pasisukimo mechanizmuose. Trijų pasisukimų deformuojamą elementą sudaro trys plokštumoje kas 120° išsidėstę deformuojamų lankstų grandinės bei trys jas veikiantys vykdikliai. Tokia išsidėstymo struktūra leidžia mechanizmui judėti plokštumoje, bei pasisukti mechanizmui apie statmenos pozicionavimo platformai Z koordinatės ašį.

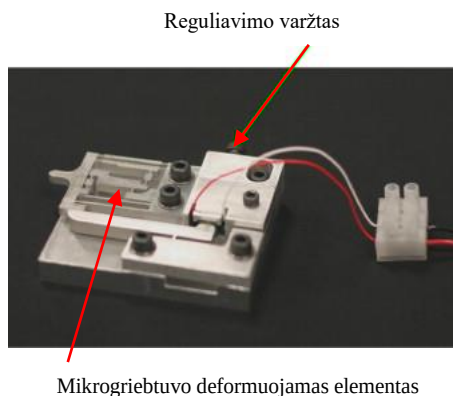
Tikslios pasisukančios sistemos pateiktos 12 pav.



12 pav. Pasisukančios sistemos: a - mikrometrinio pozicionavimo [4], b - XYZ nanopozicionavimo [5]

Mikrogreibtuvuose. Plati mechanizmų grupė, taikanti deformuojamus elementus yra mikrogreibtuvai, kurie taikomi įvairiose srityse tiksliai manipuluoti mikro objektais [9, 12].

Deformuojami mechanizmai taip pat taikomi ir mikroniveliavimo operacijoms [8,11] tripoduose. Mikrogreibtuvus pavaizduotas 13 pav.



a b
13 pav. Mikrogreibtuvus [12]

Deformuojami mechanizmai labai plačiai taikomi mikro/nano pozicionavimui plokštumoje. Straipsnyje aprašoma veikiama dviejų pjezovydiklių XY pozicionavimo sistema [13]. Kinematinės ir dinaminės analizės rezultatai rodo pakankamai platų veikimo diapazoną, tiesinę veikimo charakteristiką, bei geras dinamines charakteristikas. Pozicionavimo sistemos rezoliucija 20 nm.

Apibendrinimas ir išvados

Vystantis technologijoms nanometru ar mikrometru skalės lygyje siekiama ne tik didesnio pozicionavimo tikslumo, platesnio veikimo diapazono, bet tuo paciu ir mažesniu pozicionavimo sistemų geometrinių parametru bei mažesniu judesio trajektorijos nuokrypiu nuo tiesialinijiskumo. Tai galima pasiekti vietoj tradicinių galios šaltinių ir tradicinių judesio perdavimo mechanizmų, taikant išmanius vykdiklius bei judesio perdavimo elementus.

Tikslaus pozicionavimo mechanizmai plačiai taikomi įvairiuose tiksluose pozicionavimo mechanizmuose kurie naudojami įvairiose šiuolaikinėse technologijose: metrologijoje, mikro apdirbimo technologijose, mikrorobotuose, palydovų sekimo sistemose, mano-mikro pozicionavimo ir kitose sistemose. Tikslus pozicionavimas taikomas optinėse sistemose (lazerinės sistemos, šviesos srauto reguliavimas), mikroskopijoje, precizinėje gamyboje, matavimo sistemose, medicinoje ir daugelyje kt. Tikslus pozicionavimas yra labai svarbus daugelyje šiuolaikinių technologijų sričių, ypač mikro ir nano technologijose.

Kitas aktualumo įrodymas didelis kiekis mokslinių publikacijų, apie tokių mechanizmų kūrimą, modeliavimą bei tyrimus. Tačiau vis dar naudojama daug precizinio pozicionavimo sistemų sukurtų tradicinių technologijų pagrindų: su žingsniniais, servo varikliais, hidro, pneumo pavaromis ir t.t.

Tikslaus pozicionavimo sistemos su deformuojamais judesio perdavimo elementais turi daug pranašumų lyginant su tradicinėmis pozicionavimo sistemomis. Jos neturi laisvosios eigos, nėra trinties, nėra susidėvėjimo, nereikalingas tepimas, judesys tiesialinijinis, nėra surinkimo paklaidų. Taikant deformuojamus judesio perdavimo elementus galima gauti labia tikslų, iki nm dydžio, pozicionavimą.

Deformuojami judesio perdavimo elementai šalia daugelio privalumų turi ir trūkumų: mažas pasisukimo kampas; pasisukimas netikslus, kadangi deformacija yra sudėtinė; veikimo metu pasislenka pasisukimo centras; jautrūs temperatūriniais pokyčiams.

Efektyvus deformuojamų judesio elementų taikymas gali būti juos kombinuojant su įvairiais kitais judesio perdavimo elementais (tiksliais mechaniniais vykdikliais, pjezovydikliais ir t.t.). Deformuojami judesio perdavimo elementai efektyvesni, kadangi jie turi daugiau privalumų lyginant su kitais judesio perdavimo mechanizmais.

Intensyviai vystantis ir tobulėjant technologijoms ateityje tikslių mechanizmų poreikis bus dar didesnis, todėl labai svarbu tobulinti jau turimas sistemas, bet kartu ieškoti ir naujų, geresnius rezultatus duodančių, sprendimų.

Literatūra

1. Paros, J. M.; Weisbord, L. How to design flexure hinges. *Machine Design*. 1965. 11, 151.
2. Lobontiu, N.; Garcia, G. Analytical model of displacement amplification and stiffness optimization for a class of flexure-based compliant mechanisms. *Computers and Structures*. 2003. 81, 2797–2810.
3. Mukhopadhyay, D.; Dong, J.; Pengwang, E.; Ferreira, P. A SOI-MEMS-based 3-DOF planar parallel-kinematics nanopositioning stage. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2008. 147, 340–351.
4. Park, S. R.; Yang, S. H. A mathematical approach for analyzing ultra precision positioning system with compliant mechanism. *Journal of Materials Processing Technology*. 2005. 164–165, 1584–1589.
5. Yao, Q.; Dong, J.; Ferreira, P. M. A novel parallel-kinematics mechanisms for integrated, multi-axis nanopositioning. Part 1. Kinematics and design for fabrication. *Precision Engineering*. 2008. 32, 7–19.
6. Dong, J.; Yao, Q.; Ferreira, P. M. A novel parallel-kinematics mechanisms for integrated, multi-axis nanopositioning. Part 2: Dynamics, control and performance analysis. *Precision Engineering*. 2008. 32, 20–33.
7. Zettl, B.; Szyszkowski, W.; Zhang, W. J. Accurate low DOF modeling of a planar compliant mechanism with flexure hinges: the equivalent beam methodology. *Precision Engineering*. 2005. 29, 237–245.
8. Zhang, X.; Hou, W. Dynamic analysis of the precision compliant mechanisms considering thermal effect. *Precision Engineering*. 2010. 34, 592–606.
9. Tian, Y.; Shirinzadeh, B.; Zhang, D. Design and dynamics of a 3-DOF flexure-based parallel mechanism for micro/nano manipulation. *Microelectronic Engineering*. 2010. 87, 230–241.
10. Ryu, J. W.; Lee, S. Q.; Gweon, D. G.; Moon, K. S. Inverse kinematic modeling of a coupled exure hinge mechanism. *Mechatronics*. 1999. 9, 657–674.
11. Kim, J. H.; Kim, S. H.; Kwak, Y. K. Development and optimization of 3-D bridge-type hinge mechanisms. *Sensors and Actuators A*. 2004. 116, 530–538.
12. Zubir M.N.M., Shirinzadeh B., Tian Y. A new design of piezoelectric driven compliant-based microgripper for micromanipulation. **Mechanism and Machine Theory**. 2009. 44, 12, 2248–2264

13. Choi, K.B., Lee, J.J., Hata, S. A piezo-driven compliant stage with double mechanical amplification mechanisms arranged in parallel. *Sensors and Actuators A*. 2010. 161, 1-2, 173–181.

THE APPLICATION OF MOTION TRANSMISSION ELEMENTS IN PRECISION POSITIONING MECHANISMS

Summary

Precision positioning mechanisms are used in a variety of modern technologies: metrology, micro-processing technology, micro-robots, satellite tracking systems, mano-micro positioning systems and others. In recent years, there is a growing need for mechanisms capable of accurately positioning to the nearest micrometer or nanometer. Most precise positioning mechanisms are based on traditional technology: stepper, servo motors, hydro, pneumatic actuators. The main element of the sliding motion of such systems is the bearing. The article analyzes motion transmission elements, their operation principle and their application in precision positioning mechanisms. The analysis is summarized and conclusions are formulated.

Key words: motion transmission element, deformable element, precise positioning, linear motion, rotary motion, positioning mechanism.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Audrius, Čereška

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, profesorius

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: mechaninių statinių ir dinaminių sistemų diagnostika ir monitoringas

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 606 90514, audrius.cereska@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHOR

Author name, surname: Audrius, Čereška

Science degree and name: doctor, professor

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Mechanics Faculty, Mechanical and material engineering department professor

Author's research interests: diagnostics and monitoring of static and dynamic mechanical systems

Telephone and e-mail address: +370 606 90514, audrius.cereska@vgtu.lt

LIEJAMŲ TERMOPLASTINIŲ DETALIŲ SUSITRAUKIMO TYRIMAS

Algis Bilis, Vadim Mokšin
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

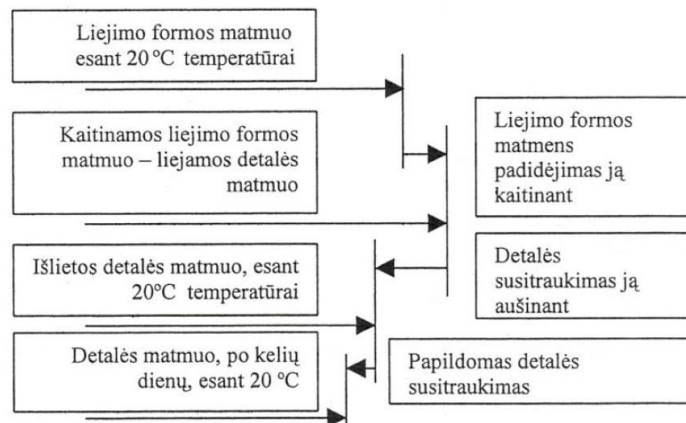
Anotacija

Straipsnyje nagrinėjama termoplastinių detalių, gautų liejant spaudimu, matmenų kokybė. Išnagrinėtas detalės (skriemulio) defektas – kontroliuojamo matmens neatitikimas brėžinyje užduotam matmeniui, atsirandantis dėl medžiagos susitraukimo. Atlikti eksperimentiniai tyrimai ir nustatyta kontroliuojamo matmens priklausomybė nuo liejimo slėgio, formos temperatūros ir žaliavos temperatūros. Nustatytos optimalios minėtų liejimo proceso parametų reikšmės.

Reikšminiai žodžiai: liejimas spaudimu, susitraukimas, slėgis, formos temperatūra.

Įvadas

Matmenų išlaikymas yra vienas iš sudėtingiausių uždavinių liejant detales iš plastmasių (Kumar et al., 2019). Matmens dydis priklauso nuo plastmasės susitraukimo, kuris atsiranda dėl likusių vidinių įtempių medžiagoje. Susitraukimas – tai detalės matmenų sumažėjimas, lyginant juos su liejimo formos matmenimis. Susitraukimas vyksta dėl terminių ir spaudimo procesų, vykstančių liejimo proceso eigoje (Hatta et al., 2018). Šio proceso eiga gali būti pavaizduota schema parodyta 1 pav.



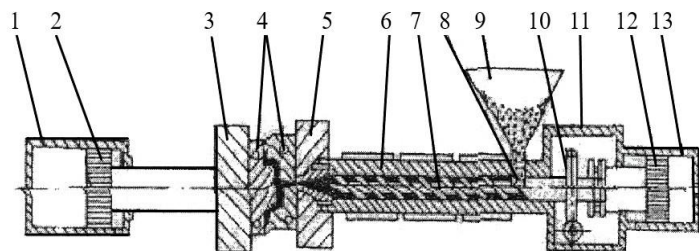
1 pav. Detalės matmens formavimasis liejimo proceso metu ir po jo

Šaltinis: sudaryta autorių

Atliktų tyrimų rezultatai (Ahmad et al., 2019; Jamaluddin et al., 2018; Jozwik et al., 2019) rodo, kad didžiausią įtaką detalės matmenims daro tokie liejimo proceso parametrai: žaliavos temperatūra, liejimo formos temperatūra, liejimo slėgis, o taip pat įpurškimo greitis ir dozė. Siekiant nustatyti šių veiksnių įtaką kontroliuojamo matmens dydžiui buvo atlikti eksperimentiniai tyrimai. Šių tyrimų rezultatai leis surasti optimalius liejimo režimus ir sumažinti brokuotų detalių kiekį.

Tyrimo metodika ir standas

Tyrimams atlikti buvo panaudota plastmasių liejimo mašina DEMAG ERGOtech 125 NC4, kurios schema pateikta 2 pav., o svarbiausios techninės charakteristikos – 1 lentelėje.



2 pav. Liejimo mašinos schema: 1 – hidraulinis formos uždarymo cilindras;

2 – stūmoklis; 3 – puansonas; 4 – liejimo formos; 5 – matrica; 6 – plastifikacijos cilindras; 7 – sraigtinis stūmoklis; 8 – kiauřmė žaliavos tiekimui į cilindrą; 9 – žaliavos bunkeris; 10 – sraigtinio stūmoklio pavara; 11 – hidraulinio įpurškimo cilindro korpusas; 12 – įpurškimo cilindro stūmoklis; 13 – įpurškimo cilindras

Šaltinis: sudaryta autorių

1 lentelė

Liejimo mašinos DEMAG ERGOtech 125 NC4 pagrindinės techninės charakteristikos

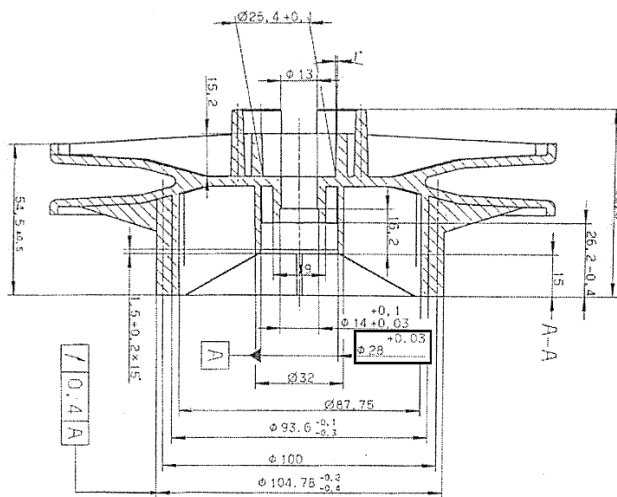
Uždarymo jėga, kN	1250
Cilindro skersmuo, mm	40
L/D	20
Didžiausias detalės svoris (medžiaga – polistirolas), g	210

Tyrimų objektu buvo pasirinkta detalė – skriemulys, kurio brėžinys pateiktas 3 pav. Detalė buvo liejama iš termoplastiko PA66-GK30 Badamid (poliamidas). Šios medžiagos savybės pateiktos 2 lentelėje.

Tyrimų metu buvo kontroliuojamas detalės skersmuo $d = 28^{+0,03}$ (3 pav.). Šis matmuo buvo matuojamas slankmačiu.

Atliekant bandymus buvo keičiami šie liejimo proceso parametrai: liejimo slėgis p (nuo 10 iki 20 MPa), formos temperatūra T_f (nuo 60 iki 90 °C), žaliavos temperatūra T_m (nuo 260 iki 360 °C). Kiti parametrai buvo pastovūs visiems bandymams. Jų reikšmės pateiktos 3 lentelėje.

Kiekvienas bandymas buvo atliekamas tris kartus siekiant sumažinti atsitiktinių paklaidų įtaką matavimo rezultatams. Toliau buvo skaičiuojamas kontroliuojamo skersmens vidurkis.

**3 pav. Skriemulio darbo brėžinys**

Šaltinis: sudaryta autorių

2 lentelė

Termoplastiko PA66-GK30 Badamid savybės

Tankis, g/cm ³	1,14
Susitraukimas, %	1,7–1,8
Rekomenduojama formos temperatūra, °C	60–90
Rekomenduojama žaliavos temperatūra, °C	270–310

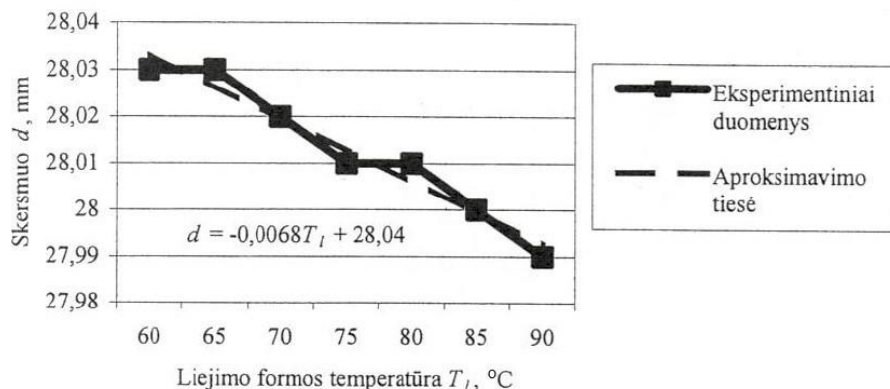
3 lentelė

Nekeičiami liejimo proceso parametrai

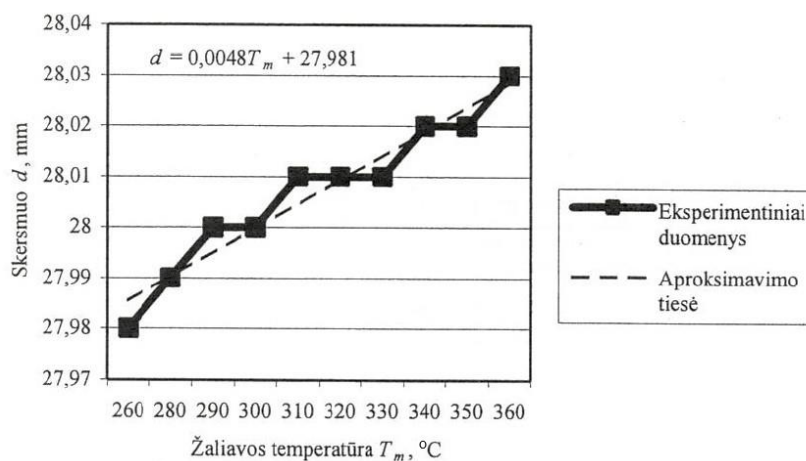
Uždarymo jėga, kN	1200
Įpurškimo greitis, mm/s	102
Įpurškimo laikas, s	2,16
Išlaikymo laikas, s	3
Aušinimo laikas, s	100
Ciklo trukmė, s	127
Dozė, mm	203

Eksperimentinių tyrimų rezultatai

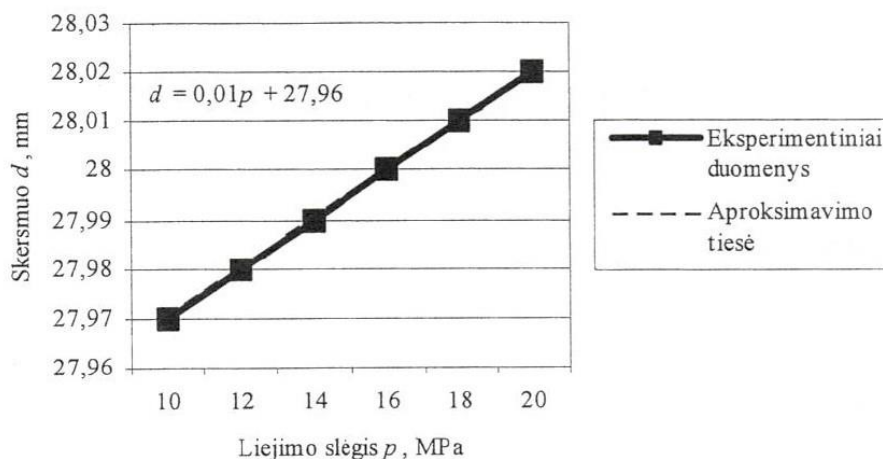
Kontroliuojamo skersmens $d = 28^{+0,03}$ (3 pav.) vidurkio priklausomybės nuo liejimo formos temperatūros, žaliavos temperatūros ir liejimo slėgio grafikai pateikti 4, 5 ir 6 pav. Grafikuose pateiktos regresijos lygtys aprašančios minėtas priklausomybes.



4 pav. Kontroluojamo skersmens priklausomybės nuo liejimo formos temperatūros grafikas
Šaltinis: sudaryta autorių



5 pav. Kontroluojamo skersmens priklausomybės nuo žaliavos temperatūros grafikas
Šaltinis: sudaryta autorių



6 pav. Kontroluojamo skersmens priklausomybės nuo liejimo slėgio grafikas
Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados

1. Didinant liejimo formos temperatūrą mažėja kontroliuojamas skersmuo ir didėja detalės susitraukimas.
2. Didinant žaliavos temperatūrą didėja kontroliuojamas skersmuo ir mažėja detalės susitraukimas.

3. Didinant liejimo slėgį didėja kontroliuojamas skersmuo ir mažėja detalės susitraukimas.
4. Optimalūs liejimo režimai yra tokie: liejimo slėgis >16 MPa, žaliavos temperatūra $300 < T_m < 360$ °C, formos temperatūra $60 < T_l < 85$ °C.

Literatūra

1. Ahmad, A, Wahab, M.S., Shah, A.S.M., Kamarudin, K., Hehsan, H. 2019. Optimization of processing parameters for plastic injection moulding process towards moulded part shrinkage. AIP Conference Proceedings, 2129, 020168.
2. Hatta, N.M, Azlan, M.Z, Sallehuddin, R., Shayfull, Z. 2018. Overview of the injection moulding optimisation for shrinkage defect. International Journal of Innovative Computing, 8(2), 17–22.
3. Jamaluddin, A.A., Mehat, N.M., Kamaruddin, S. 2018. Effect of processing parameters on the shrinkage behaviour of injection moulded polypropylene gear. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 429, 012099.
4. Jozwik, J., Tofil, A., Lucaszewicz, A. 2019. Application of modern measurement techniques for analysis of injection moulding shrinkage. Proceedings of 18th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development, May 22–24, 2019, Jelgava, Latvia, 1742–1748.
5. Kumar, D., Dangayach, G.S., Rao, P.N. 2019. An experimental investigation to optimise injection moulding process parameters for plastic parts by using Taguchi method and multi-objective genetic algorithm. International Journal of Process Management and Benchmarking, 9(1), 1–26.

INVESTIGATION OF THE SHRINKAGE OF MOULDED THERMOPLASTIC PARTS

Summary

The paper deals with the dimensional quality of thermoplastic parts produced by injection moulding. The defect of a part (pulley) resulting from the shrinkage of the material – the deviation of the controlled dimension from the dimension specified in the drawing – was investigated. Experimental investigations were performed and the dependence of the controlled dimension on the moulding pressure, the mould temperature and the raw material temperature was established. The optimum values of the aforementioned process parameters were determined.

Keywords: injection moulding, shrinkage, pressure, mould temperature.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Algis Bilis

Mokslo laipsnis ir vardas: inžinerijos mokslų bakalauras

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: gamybos procesų modeliavimas

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 5 2370594, algis.bilis@stud.vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Vadim Mokšin

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, profesorius

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

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

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 5 2370594, vadim.moksin@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Algis Bilis

Science degree and name: bachelor of engineering

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

Author's research interests: simulation of manufacturing processes

Telephone and e-mail address: 8 5 2370594, algis.bilis@stud.vgtu.lt

Author name, surname: Vadim Mokšin

Science degree and name: Ph. D., professor

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

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

Telephone and e-mail address: 8 5 2370594, vadim.moksin@vgtu.lt

VARŽTINIO JUNGINIO SU SPECIALIOS KONSTRUKCIJOS VERŽLE ANALIZĖ

Audrius Čereška^{1,2}, Jelena Selivonec^{1,2}

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

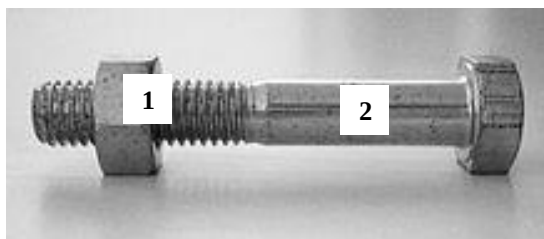
Anotacija

Varžtinis junginys - vienas populiariausių įvairių elementų, jungimo būdų taikomų technikoje. Tikriausiai būtų labai sunku rasti mechanizmą, kuriame nėra varžto jungties. Didžiausia problema yra ta, kad jungties detalės atsipalaiduoja ir atsisuka. Junginiai varžtas-veržlė yra plačiai naudojami įvairiuose technikos srityse: mašinų, laivų, lėktuvų gamyboje, statyboje ir t.t. Iš tikrųjų veržlės atsisuka, kai sujungti elementai yra veikiami įvairių apkrovų. Straipsnyje pateikiamas specialios konstrukcijos veržlės tyrimas. Sudarytas modelis naudojamas įvairių specialios veržlės atsisukimo veiksnių įtakai analizuoti. Gauti rezultatai apibendrinti ir suformuluotos išvados.

Reikšminiai žodžiai: varžtas, veržlė, specialios konstrukcijos veržlė, varžtinis junginys, apkrovos pasiskirstymas, baigtinių elementų metodas.

Išvadas

Varžtinis junginys – tvirtinimo jungimas sriegiu. Naudojamas metrinis ir colinis sriegiai, priklausomai nuo techninio poreikio jie gali būti įvairių profilių. Klasikinis varžtinis junginys pateiktas 1 pav.



1 pav. Klasikinis varžtinis junginys: 1 – veržlė, 2 - varžtas

Varžtinis junginys - vienas populiariausių įvairių elementų, būtų labai sunku rasti mechanizmą kuriame nebūtų varžtinio junginio. Pora, veržlė – varžtas naudojama mažai dinamiškai aktyvių ir padidintų virpesių ir dinaminių apkrovų inžineriniuose objektuose. Lengvuosiuose automobiliuose, sunkvežimiuose, laivų varikliuose, kompresoriuose ir dyzeliniuose generatoriuose; geležinkelio transporte ir bėgių konstrukcijose; aviacijoje, elektroenergetikoje, pramoniniuose ventiliatoriuose, šaldymo įrenginiuose, staklėse, presuose, matavimo prietaisuose, konvejeriuose bei visų tipų kalnakasybos mechanizmuose ir kituose panašiuose objektuose [1-6].

Nors varžtinis junginys labai populiarus, tačiau jis turi nemažai problemų: atsipalaidavimas, savaime ir dėl virpesių, atsipalaidavimas dėl dinaminės apkrovos, nuovargio arba korozijos [7]. Didžiausia problema yra ta, kad jungties detalės atsipalaiduoja ir pasisuka. Iš tikrųjų veržlės atsukamos, jei sujungti elementai yra veikiami įvairių apkrovų.

Atsipalaidavimo dėl dinaminės apkrovos, veikiančios išilgai sujungimo ašies, tyrimai pateikti darbuose [8, 9]. Varžtinis junginys veikiant skersinei apkrovai tiriamas darbe [10]. Tyrimai darbuose [11, 12] parodė, kad esant didelei apkrovai išvengti slydimo tarp sriegių, galima naudojant varžtus su dideliu ilgio ir skersmens santykiu.

Darbuose [13-15] pateiktas varžtinio junginio teorinis modelis. Skaičiuojant junginį atsižvelgiama ne tik į slenkamuosius ir sukimosi laisvės laipsnius, bet ir į jungiamųjų elementų technines charakteristikas.

Darbe [16] pateiktas varžtinio junginio atsipalaidavimo tyrimas kai junginys veikiamas dinaminės apkrovos su šlytimi.

Straipsnyje pateikiamas varžtinio junginio su specialios konstrukcijos veržle tyrimas.

Tyrimo objektas – varžtinis junginys su specialios konstrukcijos dviejų dalių veržle.

Tyrimo tikslas – nustatyti kaip pasiskirsto jėga sriegyje prie skirtingų apkrovimo lygių sujungime su specialios konstrukcijos veržle.

Uždaviniai:

1. Sudaryti varžtas-specialios konstrukcijos veržlė jungties skaičiuojamąjį modelį;
2. Nustatyti vijų apkrovos pasiskirstymą sriegyje;
3. Nustatyti ašinės jėgos pasiskirstymą varžto skerspjūviuose.

Darbe buvo naudojamas baigtinių elementų metodas.

Sudarytas skaičiuojamasis modelis galės būti naudojamas įvairių specialios paskirties veržlių atsisukimo veiksnių įtakai tirti.

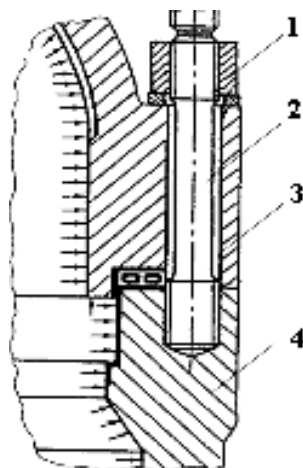
Problema

Varžtinės jungtys labai dažnai naudojamos įvairiuose technikos srityse. Jungiami konstrukcijų elementai veikiami įvairios prigimtės apkrovų: temperatūros, vėjo, vibracijos, agresyvios cheminės aplinkos, konstrukcijos darbo režimo apkrovų. Dėl tokio poveikio sujungimas praranda pradinį įveržimą, o, kartais, visai atsisuka. Konstrukcija gali nebetikti eksploatavimui arba tai gali sukelti avariją. Pavyzdžiui geležinkelio bėgių varžtinės jungtys (2 pav.) dėl vibracijų atsisuka.



2 pav. Jungimo varžtas-veržlė naudojimo geležinkelio bėgiams jungti nuotrauka

Slėginio indo dangtis veikiamas ciklinių apkrovų, dėl ko smeigės yra lenkiamos ir veržlės gali neužtikrinti indo sandarumo (3 pav.).



3 pav. Jungimo varžtas-veržlė naudojimo slėginio indo dangtelio tvirtinimo schema:
1 – veržlė, 2 - smeigė, 3 – dangtelis, 4 - korpusas

Egzistuoja įvairūs srieginio jungimo būdai, užtikrinantys įveržimą ir neatsisukimą. Tai gali būti veržlių fiksavimo būdai: vielos arba vielokaiščio naudojimas, įkertant į sriegį žymekliu, cheminis ir t.t. Arba papildomos tvirtinimo priemonės: plokščiosios, spyruoklinės arba užlenkiamos poveržlės, kontraveržlė ir kitų srieginių detalių naudojimas ir t.t.

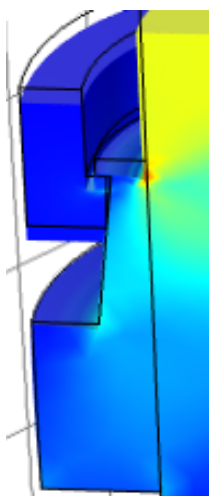
Tyrimo objektas

Darbe nagrinėjama varžtinė jungtis su specialios konstrukcijos veržle. Veržlę sudaro dvi dalys. Dvigubai aukštesnė, lyginant su standartine, veržlė 2 (4 pav.), kurios apatinė dalis gaminama kaip standartinė. Viršutinė dalis yra kūginė ir turi šešias siauras įpjovas (4a,b pav.). Antroji specialios konstrukcijos veržlės dalis yra žiedas 1 (4 pav.). Jis taip pat pagamintas su išsikišančia dalimi, kad nenusiimtų kai įsuktas varžtas arba smeigė. Įpjovos leidžia žiedui judėti aukštyn – žemyn. Taip reguliuojamas kūginės veržlės dalies vijų prispaudimas prie smeigės vijų, keičiant apkrovų pasiskirstymą sriegyje.



4 pav. Specialios konstrukcijos veržlė M10x1: a – bendras vaizdas; b – vaizdas iš viršaus

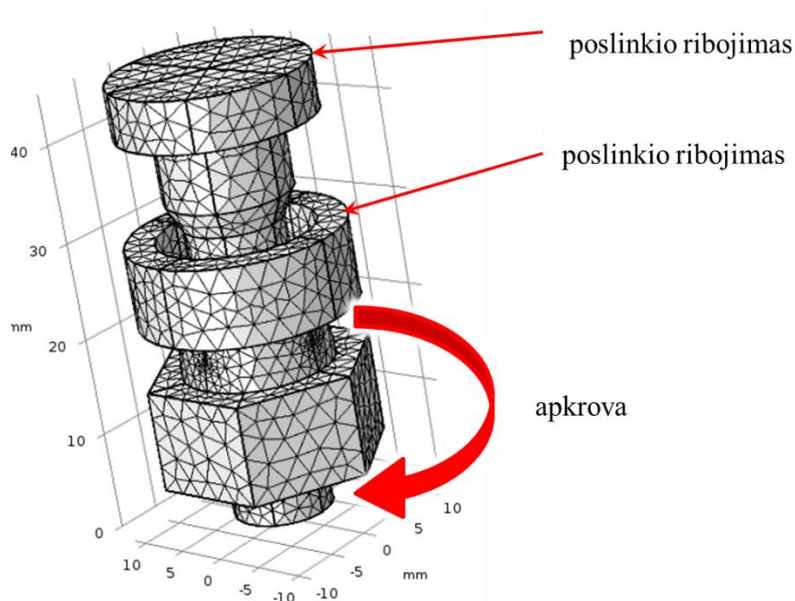
Skaičiuojamasis modelis sukurtas taikant kompiuterinę programą Comsol (5 pav.) [17].



5 pav. Sudaryto modelio veržlės pjūvis iš Comsol programos

Modelio medžiagos mechaninių savybių rodikliai: tamprumo modulis 200 GPa; Puasono koeficientas 0,3; medžiagos sustiprėjimo modulis 1,6 GPa; takumo riba 250MPa.

Apkrovų pasiskirstymai visame jungties aukštyje (20 mm, nes toks yra specialios veržlės aukštis) buvo skaičiuojami prie skirtingų statiskai veikiančių jėgų: nuo 4,7 kN iki 33,5 kN, neviršijant jėgos atitinkančios medžiagos takumo ribą. Vartinio junginio baigtinių elementų modelis pateiktas 6 pav.



6 pav. Baigtinių elementų modelis ir kraštinės sąlygos

Specialios veržlės viršutinės plokštumos vertikalus poslinkis yra ribojamas (6 pav.). Realiam sujungime veržlė čia kontaktuoja su jungiamomis detalėmis. Varžto galvutės viršutinė plokštuma standžiai įtvirtinta, galioja poslinkių mažumo prielaida.

Normalinių įtempių pasiskirstymas

Srieginių jungčių moksliniai tyrimai rodo, kad apkrova sriegio vijose pasiskirsto netolygiai. Didžiausia apkrovos dalis tenka pirmosioms vijoms prie veržlės atraminio paviršiaus. Įtempimai dėl vijos lenkimo ir varžto (smeigės) ašinės jėgos šių vijų ildubose būna didžiausi. Smeigės vijų ildubose atsirandančių vietinių įtempių skaičiavimui, naudojama tokia formulė [18, 19]:

$$\sigma(z) = \sigma_b(z) + \sigma_t(z) = \frac{q(z) \cdot P}{f} k_b + \frac{F_{axial}(z)}{A_{bolt}} k_t \quad (1)$$

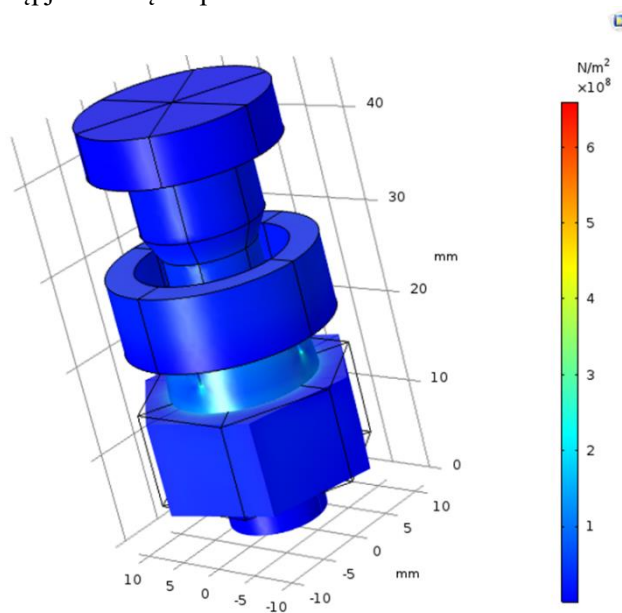
čia $\sigma_b(z)$, $\sigma_t(z)$ – varžto vijų ildubų įtempiai nuo lenkimo ir tempimo, F_{axial} – ašinė jėga varžto skerspjūvyje (kinta per sriegio aukštį nuo nulio iki maksimalios jungties apkrovos), A_{bolt} – varžto skerspjūvio plotas, $q(z)$ – apkrovos pasiskirstymas sriegio vijose, P – sriegio žingsnis, f – vijų kontakto ploto projekcija į varžto skerspjūviui statmeną plokštumą, k_b , k_t – varžto vijų ildubų įtempių koncentracijos koeficientai nuo lenkimo ir tempimo (pagal literatūroje rastus duomenis $k_b = 1,95$; $k_t = 2$ [19]).

Įtempių skaičiavimas pagal (1) formulę leidžia įvertinti įvairių konstrukcinių veiksnių įtaką srieginės jungties stiprumui. Mes planuojame tolimesniuose tyrimuose ją naudoti specialios konstrukcijos veržlės analizei prie skirtingų darbo režimų: įvesti apkrovos kitimą laike, skirtingų dažnių vibraciją.

Pristatytame darbe sprendžiamas statinis uždavinys, norint gauti apkrovos pasiskirstymą sriegio vijose ir ašinę jėgą varžto skerspjūviuose.

Rezultatai ir jų apibendrinimas

Skaičiuojamojo modelio gauti rezultatai vaizdžiai iliustruojami Mizeso įtempių pasiskirstymu 7 pav. Čia galima pastebėti kad ties įpjovomis įtempimai arčiau takumo ribos.

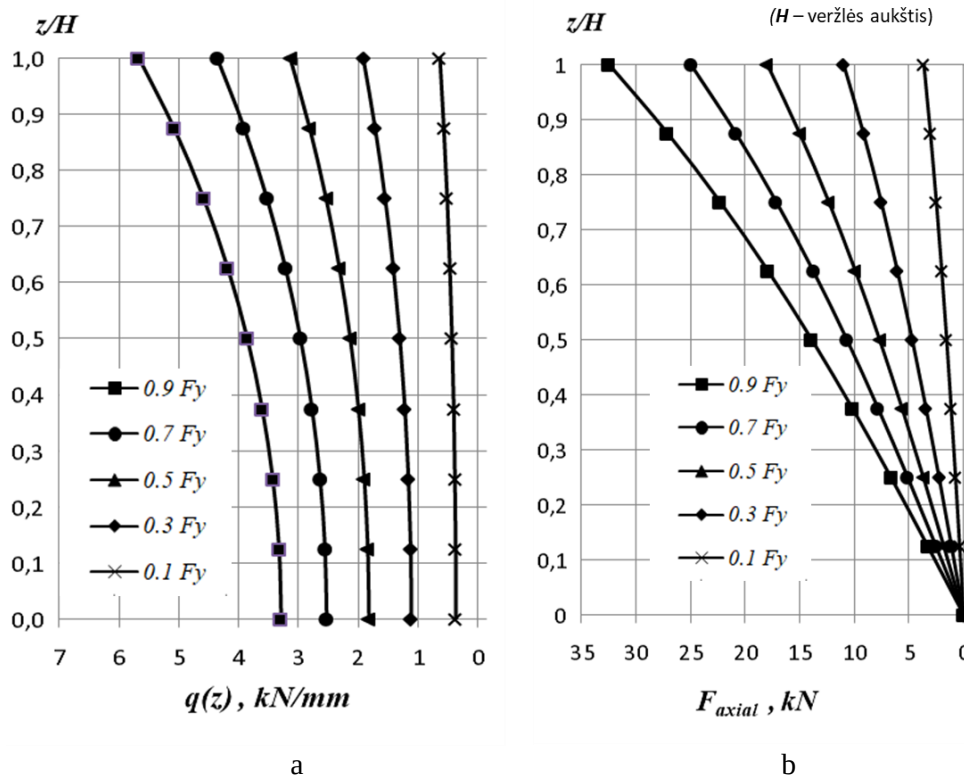


7 pav. Mizeso įtempių pasiskirstymas

8 pav. parodyta priklausomybė srieginės jungties apkrovų nuo pjūvio padėties (čia z koordinatės) jungtyje. Kad būtų galimybė lyginti gautus rezultatus su ateičiai planuojamais tyrimais, ordinatė rodo santykį pjūvio koordinatės z ir veržlės aukščio H . Tai palengvins įvairių aukščių veržlių analizę.

Vijų apkrovos pasiskirstymas sriegyje (8a pav.) būdingas sujungimui su gniuždoma veržle. Kuo vijos arčiau veržlės atraminio paviršiaus, tuo apkrova yra didesnė. Tokia priklausomybė rodo, kad kontaktuojančios vijos sukibusios visu profiliu jungties aukštyje [20]. Darbe sukurtą skaičiuojamąjį modelį galima naudoti sudėtingesnių užduočių skaičiavimo rezultatams gauti, kai varžto ir veržlės vijų kontaktas jungtyje bus nevienodas. Specialios konstrukcijos veržlės įpjovos leidžia keisti vijų persidengimą veržlės kūginėje dalyje, tai leis padaryti apkrovos pasiskirstymą vijose tolygesniu. O prie tam tikrų išorinių jėgų ir vijų persidengimų labiau apkrauti vijas esančias arčiau laisvojo veržlės paviršiaus [18].

Ašinės jėgos pasiskirstymas varžto skerspjūviuose (8b pav.) rodo kitimą nuo nulio iki maksimalios reikšmės.



8 pav. Baigtinių elementų modelio skaičiavimo rezultatai: a – vijų apkrovos pasiskirstymas sriegyje; b – ašinės jėgos pasiskirstymas varžto skerspjuvniuose; čia $F_y = \sigma_y A_{bolt}$, σ_y – jungties detalių medžiagos takumo riba; A_{bolt} – varžto skerspjuvio plotas

Prie veržlės laisvojo galo (apatinis veržlės paviršius pagal 4 pav.) ašinė jėga lygi nuliui, nes tai yra srieginės jungties pradžia, kai varžto vijos pradeda kontaktuoti su veržlės vijomis. Link veržlės atraminio paviršiaus ašinė jėga palaipsniui didėja. Veržlės konstrukcija gali turėti įtakos ašinės jėgos pasiskirstymo dėsningumui [18-20], bet maksimali reikšmė visada bus prie veržlės atraminio paviršiaus.

Išvados

Atlikus literatūros apžvalgą matoma, kad problema aktuali.

Taikant baigtinių elementų metodą gauti apkrovų pasiskirstymai sriegyje, kai jungtis turi specialios konstrukcijos veržlę.

Ašinės jėgos pasiskirstymas varžto skerspjuvniuose parodė, kad prie veržlės atraminio paviršiaus jėga atitinką išorinės apkrovos dydį.

Apkrovos pasiskirstymas sriegyje pagerėjo 3,6% - 6,1%, lyginant su standartine veržle [18].

Gautų rezultatų patikimumui užtikrinti, būtina atlikti natūrinius eksperimentus.

Literatūra

1. Peairs D.M., Park G. Inman D.J. Practical issues of activating self-repairing bolted joints, Smart Material Structures. 2004. 13, 1414–1423.
2. Goodier J.N., Sweeney R.J. Loosening by vibration of threaded fastenings. Mechanical Engineering. 1945. 67, 798–802.
3. Sauer J.A., Lemmon D.C., Lynn E.K. Bolts: how to prevent their loosening. Machine Design. 1950. 22, 133–139.
4. Junker G.H. New criteria for self-loosening of fasteners under vibration. SAE Transactions. 1969. 78, 314–335.
5. Heston A.W. Handbook of Bolts and Bolted Joints. 1998. 317–340. New York: Marcel Dekker. VDI joint design procedures.
6. Čelič D., Boltežar M. Identification of the dynamic properties of joints using frequency–response functions. Journal of Sound and Vibration. 2008. 317, 158–174.
7. Pai N.G., Hess D.P. Experimental study of loosening of threaded fastener due to dynamic shear loads, Journal of Sound and Vibration. 2002. 253 (3), 585–602.
8. Kerley J.J. An application of retrodution to analyzing and testing the backing off of nuts and bolts Loading, NASA Technical Memorandum 4001, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, 1982.
9. Dong Y., Hess D.P. Optimum placement of fastener in structures based on dynamic shear, Journal of Sound and Vibration. 1988. 217, 396–404.

10. Dong Y., Hess D.P. Influence of fastener placement on vibration-induced loosening. *Journal of Sound and Vibration*. 2003. 268, 617–626.
11. Dinger G., Friedrich C. Avoiding self-loosening failure of bolted joints with numerical assessment of local contact state. *Engineering Failure Analysis*. 2011. 18, 2188–2200.
12. Wang Longqi, Lie Seng Tjhen, Zhang Yao. Detection of loose fasteners in a third rail support assembly using a wavelet analysis. *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*. 2014, 7, 2, 73–82.
13. Gao Q., Duan C., Fan H., Meng Q. Rotating machine fault diagnosis using empirical mode decomposition, *Mech. Syst. Signal Process*. 2008. 22, 1072–1081.
14. Hester D., Gonzalez A. A Wavelet-Based Damage Detection Algorithm Based on Bridge Acceleration Response to a Vehicle. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2012. 28, 145–166.
15. Yuan S.X., Zhang Y.Y., Zhang Y.C., et al. Stress distribution and contact status analysis of a bolted rotor with curvic couplings. *Proc I Mech. E Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2010. 224, 1–15.
16. Nguyen, K.V., Tran H.T. Multi-cracks Detection of a Beam-Like Structure Based on the On-Vehicle Vibration Signal and Wavelet Analysis. *Journal of Sound and Vibration*. 2010. 329, 4455–4465.
17. HYPERLINK "http://www.comsol.com" www.comsol.com [žiūrėta: 2019-10-22].
18. Selivonec J. Konstrukcinių veiksnių įtaka srieginių jungčių deformavimui ir ilgaamžiškumui. Kaunas: Lithuanian Academic Libraries Network (LABT), 2006.
19. Махутов Н.А. и др. Конструкции и методы расчёта водо-водяных энергетических реакторов. Москва: Наука, 1987.
20. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые и фланцевые соединения. Москва: Машиностроение, 1990.

ANALYSIS OF BOLT JOINT WITH SPECIAL DESIGN NUT

Summary

Screw joint is one of the most popular, various elements and connection methods used in technology. It would probably be very difficult to find a mechanism that does not have a screw connector. The biggest problem is that the connector details loosen and turn. Bolt-nut compounds are widely used in various fields of technology: machinery, ships, aircraft, construction, etc. In fact, the nuts turn when the connected members are subjected to various loads. The paper presents a study of a special construction nut. The model developed is used to analyse the influence of various nut turning factors. The obtained results are summarized and conclusions are formulated.

Key words: nut, bolt, special design screw, screw joint, load distribution, finite element method.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Audrius, Čereška

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, profesorius

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: mechaninių statinių ir dinaminių sistemų diagnostika ir monitoringas

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 606 90514, audrius.cereska@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Jelena Selivonec

Mokslo laipsnis ir vardas: daktarė, docentė

Darbo vietą ir poziciją: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos fakulteto, Taikomosios mechanikos katedros docentė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: baigtinių elementų metodo taikymas konstrukcijų skaičiavimuose

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 615 38505, jelena.selivonec@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHOR

Author name, surname: Audrius, Čereška

Science degree and name: doctor, professor

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Mechanics Faculty, Mechanical and material engineering department professor

Author's research interests: diagnostics and monitoring of static and dynamic mechanical systems

Telephone and e-mail address: +370 606 90514, audrius.cereska@vgtu.lt

Author name, surname: Jelena Selivonec

Science degree and name: doctor, associate professor

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering Faculty, Applied Mechanics Department associate professor

Author's research interests: finite element method applying in structural calculations

Telephone and e-mail address: +370 615 38505, jelena.selivonec@vgtu.lt

SIJOS ĮLINKIŲ NUSTATYMAS INTEGRAVIMO IR MORO METODAIS

Jurijus Tretjakovas^{1,2}, Audrius Čereška^{1,2}

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

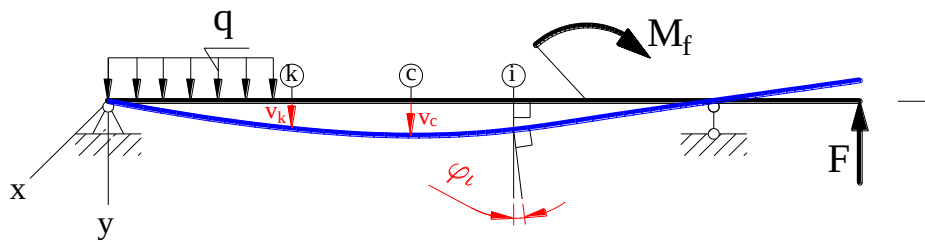
Anotacija

Geminės ir dviatramės sijos, dviejuose guoliuose įtvirtinti lenkiami ir sukami strypai kurie vadinami velenais yra dažniausiai mechanikos ir statybos inžinerijose pasitaikantys elementai. Tokių elementų skaičiuojamoji analizė dažnai atliekama remiantis ne tik stiprumo sąlyga, bet ir standumo reikalavimais. Sijų standumas aprašomas poslinkiais, kurie gali būti skaičiuojami integruojant diferencialinę įlinkių kreivės lygtį, sprendžiant Moro intergralą. Straipsnyje parodomas kelių būdų praktinis taikymas dviatramės sijos pavyzdžiu, aprašomi būdų trūkumai ir privalumai. Gavus rezultatus suformuluotos išvados.

Raktiniai žodžiai: sija, sijos įlinkis, sijos modelis, tiesioginis integravimas, Moro metodas.

Įvadas

Dviatramė sija, tai – konstrukcinis elementas dažnai naudojamas įvairiuose mechaninėse ir statybinėse konstrukcijose. Apkrautos įvairiomis statinėmis, dinaminėmis ir skersinėmis ir išilginėmis jėgomis sijos gali būti deformuojamos. Sijos deformacijas būtina žinoti skaičiuojant sijų standumą ir skaičiuojant statiškai neišsprendžiamus lenkimo uždavinius. Sijos kreivumas ir nutolusių nuo centrinio neutraliojo sluoksnio išilginių sluoksnių deformacija yra susiję su sijoje atsirandančiais normaliniais įtempiais. Išlinkusioje sijoje atsiranda skerspjūvio susikirtimo su neutraliuoju sluoksniu taškų poslinkiai – išilginės ašies taškai pasislenka statmenai ašiai (1 pav. ašies y kryptimi), o skerspjūviai pasisuka apie neutraliąją liniją (1 pav. kampas Φ_i). Statmenas ašiai taško pasislinkimas vadinamas įlinkiu, o skerspjūvio kampinis pasisukimas – deviacija [1–3]. Sijos įlinkiai (1 pav. įlinkiai v_c, v_k) nagrinėjami koordinačių xyz sistemoje.



1 pav. Dviatramės sijos įlinkiai v_c ir v_k

Sijų įlinkių ir deviacijų skaičiavimo būdų yra įvairių [1–4]:

- Įlinkių diferencialinės kreivės lygties sprendimas;
- Moro metodas.

Yra daug sijos deformacijos skaičiavimo būdų. Sprendžiant inžinierinius uždavinius dažnai būna sunku pasirinkti vieną ar kitą sijos deformacijos skaičiavimo būdą.

Darbe atlikta kelių sijos deformacijos skaičiavimo metodų analizė pateikti privalumai ir trūkumai.

Darbo objektas – dviatramės sijos su konsle tarpatraminio centrinio skerspjūvio įlinkio skaičiavimo metodika.

Tyrimo tikslas – pritaikyti įvairias skaičiavimo metodologijas fiziškai ir geometriškai tiesinei dviatramei sijai su konservatyviomis apkrovomis.

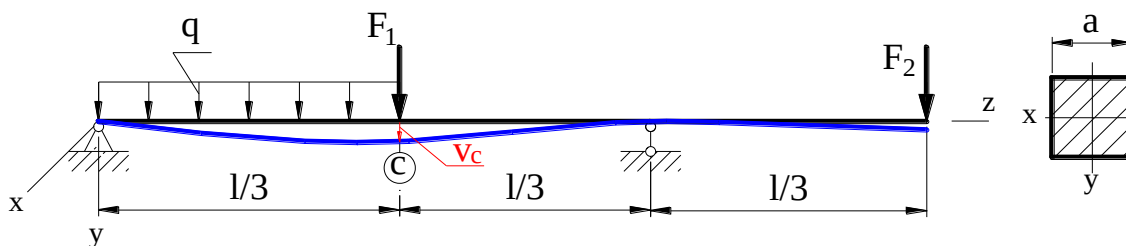
Šiam tikslui pasiekti buvo iškelti tokie uždaviniai:

1. Sugeneruoti tamprią dviatramę stačiakampio skerspjūvio siją su konsle;
2. Sudaryti įlinkių kreivės diferencialinę lygtį ir ją išsprendus rasti norimo pjūvio įlinkį;
3. Apskaičiuoti tą patį įlinkį Moro integralo pagalba;

Tyrimo metodika. Dviatramės sijos poslinkių tyrimas atliekamas integravimo ir Moro metodais [5].

Dviatramės sijos pradinė schema, apkrovos ir skaičiuojamoji schema

Pasirinkta analizei dviatramės sijos su konsle pradinė schema pavaizduota 2 pav. Ji yra stačiakampio skerspjūvio $b \times h$, visas ilgis l , apkrauta dviem koncentruotomis jėgomis F_1 ir F_2 ir tolygiai išskirstytu krūviu q tarp atramų.



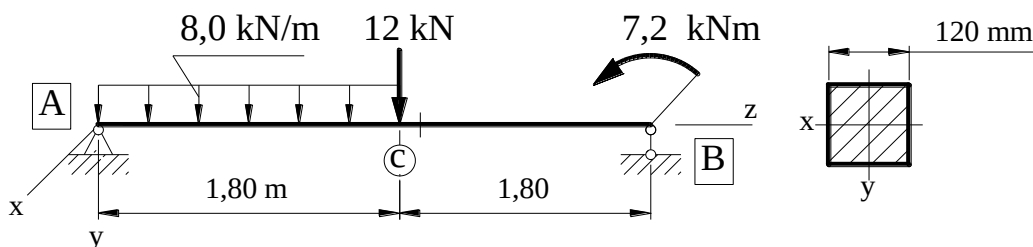
2 pav. Dviatramės sijos su konsole pradinė schema

Sprendžiamas fiziškai ir geometriškai tiesinis uždavinys sijos be nuosavojo svorio įlinkiui v_c (2 pav.) rasti. Dviatramės sijos skaičiuojamoji schema generuojama pasirenkant konkrečias parametrų reikšmes: ilgis $l=5,4$ m, jėgos $F_1=12$ kN ir $F_2=-4,0$ kN, tolygiai išskirstytas linijinis krūvis $q=6,0$ kN/m.

Siją galima suprastinti atsisakant konsolės ir pridėdant koncentruotą momentą M_f prie dešiniojo paslankaus lanksto B. Pridedamo koncentruoto momento skaičiuojamoji išraiška:

$$M_f = F_2 \cdot \frac{l}{3} = -4,0 \cdot \frac{5,4}{3} = -7,2 \text{ kNm} \quad (1)$$

Šis momentas pridamas kryptimi prieš laikrodžio rodyklę. Sijos skaičiuojamoji schema parodyta 3 pav.



3 pav. Dviatramės sijos skaičiuojamoji schema

Sijos medžiaga - metalas, kurio tamprumo modulis $E = 120$ GPa.

Sijos kvadratinio skerspjūvio parametras $a=120$ mm naudojamas skerspjūvio inercijos momentui nustatyti:

$$I_x = \frac{a^4}{12} = \frac{0,12^4}{12} = 17,28 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 \quad (2)$$

Pasinaudodami statinės pusiausvyros lygtimis apskaičiuojame atramų A ir B reakcijų jėgas (F_{rA} parodyta 4 pav.).

Įlinkių kreivės diferencialinė lygtis ir jos sprendimas

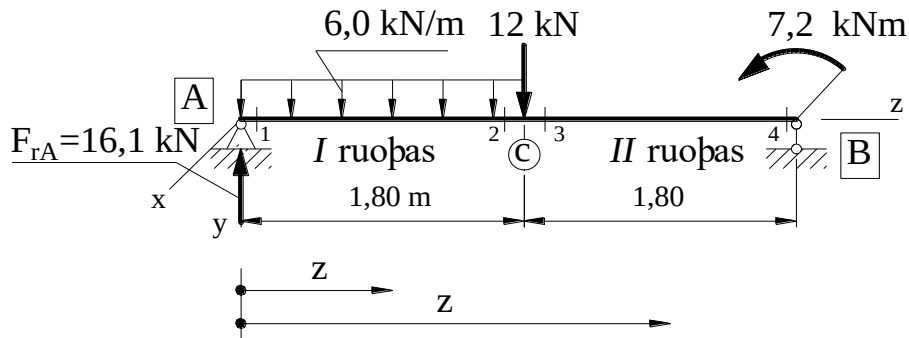
Įlinkių kreivės diferencialinė lygtis sprendžiama ją integruojant, todėl tam tikrais atvejais šis metodas dar vadinamas integravimo metodu [3]. Tai gana plačiai pasaulinėje praktikoje naudojamas metodas, teoriškai aprašomas ir taikomas praktiškai užsienio literatūroje [3]. Tačiau lietuviškoje mokomojoje literatūroje pateikiami tik elementarūs gembinių sijų skaičiavimo pavyzdžiai [2]. Pabandysime užpildyti šią spragą taikydami integravimo metodą dviatramei sijai.

Matematiškai apytikslė diferencialinė įlinkių kreivės lygtis bendruoju atveju užrašoma taip:

$$E \cdot I_x \cdot \frac{d^2 v}{dz^2} = -M(z) \quad (3)$$

čia: $M(z)$ – lenkimo momento funkcija nuo koordinatės z .

Nagrinėjamos sijos atveju diferencialinė lygtis turi būti užrašyta dviem ruožams, nes jų perėjime (t. y. mazge 23) pakinta funkcijos analitinė išraiška. Ruožas 12 vadinamas pirmuoju (I) ir ruožas 34 vadinamas antruoju (II) (4 pav.),



4 pav. Dviatramės sijos ruožai: pirmasis 12 ir antrasis 34

Sijos koordinatę z skaičiuojame nuo kairiojo sijos galo (atamos A), tai lenkimo momento išraiškos bus:
Ruožui 12 kai $0 \leq z \leq 1,8$

$$M(z) = 16,1 \cdot z - 6 \cdot z \cdot \frac{z}{2} \quad (4)$$

Ruožui 34 kai $1,8 \leq z \leq 3,6$;

$$M(z) = 16,1 \cdot z - 6 \cdot 1,8 \cdot \left(z - \frac{1,8}{2} \right) - 12 \cdot (z - 1,8) \quad (5)$$

Diferencialinės įlinkių kreivės lygtys atrodo taip:

12 ruožui:

$$E \cdot I_x \cdot \frac{d^2 v}{dz^2} = 3 \cdot z^2 - 16,1 \cdot z \quad (6)$$

34 ruožui:

$$E \cdot I_x \cdot \frac{d^2 v}{dz^2} = 6,7 \cdot z - 31,3 \quad (7)$$

Norint apskaičiuoti poslinkius integruojamos lygtys (6) ir (7) po du kartus:

$$12 \text{ ruožui} \begin{cases} E \cdot I_x \cdot \frac{dv}{dz} = \int (3 \cdot z^2 - 16,1 \cdot z) dz + C_1 \\ E \cdot I_x \cdot v = \int dz \int (3 \cdot z^2 - 16,1 \cdot z) dz + C_1 \cdot z + D_1 \end{cases} \quad (8)$$

$$34 \text{ ruožui} \begin{cases} E \cdot I_x \cdot \frac{dv}{dz} = \int (6,7 \cdot z - 31,3) dz + C_2 \\ E \cdot I_x \cdot v = \int dz \int (6,7 \cdot z - 31,3) dz + C_2 \cdot z + D_2 \end{cases} \quad (9)$$

Išsprendus matematiniu paketu MatchCad [6] integralus gausime keturias nediferencialines lygtis su keturiomis nežinomomis integravimo konstantomis. Lygtyse pirmąją įlinkio išvestinę dv/dz keičiama deviacija φ .

$$E \cdot I_x \cdot \varphi_I = z^3 - 8,05 \cdot z^2 + C_1 \quad (10)$$

$$E \cdot I_x \cdot v_I = 0,25 \cdot z^4 - 2,68 \cdot z^3 + C_1 \cdot z + D_1 \quad (11)$$

$$E \cdot I_x \cdot \varphi_{II} = 3,35 \cdot z^2 - 31,3 \cdot z + C_2 \quad (12)$$

$$E \cdot I_x \cdot v_{II} = 1,117 \cdot z^3 - 15,66 \cdot z^2 + C_2 \cdot z + D_2 \quad (13)$$

Integravimo konstantoms C_1, C_2, D_1, D_2 nustatyti užrašomos keturios kraštinės sąlygos:

1) kai $z = 0$ tuomet pirmojo pjūvio įlinkis $v_1 = 0$;

2) kai $z = 1,8$ tuomet lygios antrojo ir trečiojo pjūvio deviacijos $\varphi_2 = \varphi_3$;

- 3) kai $z = 1,8$ tuomet lygūs antrojo ir trečiojo pjūvio įlinkiai $v_2 = v_3$;
 4) kai $z = 3,6$ tuomet ketvirtojo pjūvio įlinkis $v_4 = 0$.

Iš lygčių sistemos (8) ir kraštinių sąlygų gaunamos išraiškos:

$$0,25 \cdot z^4 - 2,68 \cdot z^3 + C_1 \cdot z + D_1 = 0 \quad (14)$$

$$z^3 - 8,05 \cdot z^2 + C_1 = 3,35 \cdot z^2 - 31,3 \cdot z + C_2 \quad (15)$$

$$0,25 \cdot z^4 - 2,68 \cdot z^3 + C_1 \cdot z + D_1 = 1,117 \cdot z^3 - 15,66 \cdot z^2 + C_2 \cdot z + D_2 \quad (16)$$

$$1,117 \cdot z^3 - 15,66 \cdot z^2 + C_2 \cdot z + D_2 = 0 \quad (17)$$

Gana sudėtingai keturių (14-17) lygčių sistemai su keturiais nežinomaisiais spręsti naudojamas matematinis paketas MatchCAD [6]. Sistemos supaprastintas algoritmas sprendinys su gautais sprendiniais pateiktas žemiau 5 pav.

$$D1 := 1 \quad C1 := 1 \quad C2 := 1 \quad D2 := 1$$

Given

$$D1 = 0$$

$$25.272000000000000000 + C1 - 1 \cdot C2 = 0$$

$$31.201200000000000000 + 1.800000000000000000 \cdot C1 + D1 - 1.800000000000000000 \cdot C2 - 1 \cdot D2 = 0$$

$$-150.854400000000000000 + 3.600000000000000000 \cdot C2 + D2 = 0$$

$$\text{Find}(D1, C1, C2, D2) = \begin{pmatrix} 0 \\ 20.6 \\ 45.87 \\ -14.29 \end{pmatrix}$$

+

Integravimo konstantos:

$$D1 := 0 \quad C1 := 20.6 \quad C2 := 45.87 \quad D2 := -14.29$$

5 pav. Sprendimo algoritmas ir sprendiniai

Antrojo pjūvio įlinkis skaičiuojamas dvejopai:

1. Iš lygties (11) kai $z = 1,8$:

$$E \cdot I_x \cdot v_{2,I} = 0,25 \cdot 1,8^4 - 2,68 \cdot 1,8^3 + 20,6 \cdot 1,8 + 0 = 24,1;$$

$$v_{2,I} = \frac{24,1 \cdot 10^3}{E \cdot I_x} = \frac{24,1 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^9 \cdot 17,28 \cdot 10^{-6}} = 11,62 \cdot 10^{-3} m = 11,62 \text{ mm}.$$

2. Iš lygties (13) kai $z = 1,8$:

$$E \cdot I_x \cdot v_{2,II} = 1,117 \cdot 1,8^3 - 15,66 \cdot 1,8^2 + 45,87 \cdot 1,8 + (-14,29) = 24,0$$

$$v_{2,II} = \frac{24,0 \cdot 10^3}{E \cdot I_x} = \frac{24,0 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^9 \cdot 17,28 \cdot 10^{-6}} = 11,57 \cdot 10^{-3} m = 11,57 \text{ mm}.$$

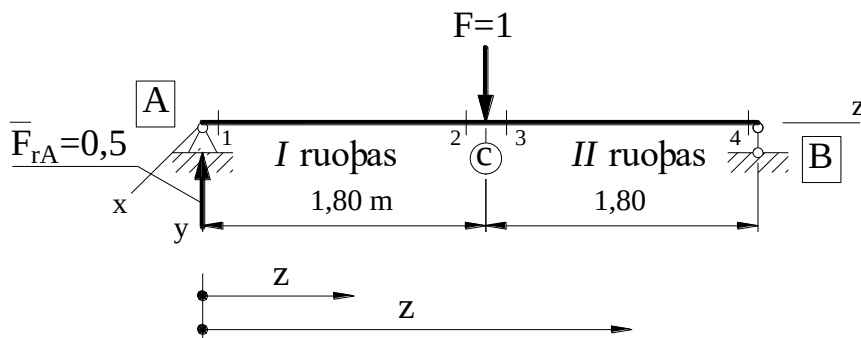
Moro metodas

Moro būdu poslinkis nustatomas apskaičiavus taip vadinamą Moro integralą [2, 4]:

$$v_i = \frac{1}{EI_x} \int_0^l (M \cdot \overline{M}_i) dz \quad (18)$$

čia: M – lenkimo momento funkcija atsirandanti nuo tikrųjų apkrovų; $\overline{M}_i$ – vienetinio lenkimo momento, atsirandančioje sijoje dėl vienetinės apkrovos, pridėtos poslinkio kryptimi, funkcija.

Jeigu tie centriniu pjūviu pridėtume jėgą lygią bemačiam vienetui, jos sukeltų vienetinių momentų funkcija ruožuose 12 ir 34 būtų tokia:



6 pav. Sija apkrauta vienetine jėga

Ruožui 12 kai $0 \leq z \leq 1,8$:

$$M(z) = 0,5 \cdot z \quad (19)$$

Ruožui 34 kai $1,8 \leq z \leq 3,6$:

$$M(z) = 0,5 \cdot z - 1 \cdot (z - 1,80) = 1,80 - 0,5 \cdot z \quad (20)$$

Šiuo atveju sijoje yra du ruožai su skirtingomis lenkimo momento funkcijos išraiškomis, todėl įlinkis gaunamas sumuojant integralus:

$$v = \sum_{j=1}^2 \frac{1}{(EI_x)_j} \int_0^{l_j} (M_j \cdot \overline{M}_i) dz \quad (21)$$

Išstatome funkcijų reikšmes pjūvio C įlinkiui nustatyti:

$$v_C = \frac{1}{EI_x} \left[\int_0^{1,8} (16,1 \cdot z - 3 \cdot z^2) \cdot (0,5 \cdot z) dz + \int_{1,8}^{3,6} (31,3 - 6,7 \cdot z) \cdot (1,80 - 0,5 \cdot z) dz \right] \quad (22)$$

Išsprendus integralus ir juos sudėjus gaunama:

$$v_C = \frac{24,1}{EI_x} \quad (23)$$

Pjūvio C įlinkis apskaičiuotas Moro būdu gaunamas $v_C = 11,62$ mm.

Rezultatai

Sijos tarpatraminio centrinio taško įlinkį apskaičiavus integravimo ir Moro metodais gautieji rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė

Įlinkio reikšmės		
Metodas	Įlinkis, mm	Paklaida, %
Integravimo	11,62	0
	11,57	0,43
Moro	11,62	0

Išvados

Darbe atlikus dviatramės sijos su konsle tarpatraminio centrinio taško įlinkio skaičiavimą tokios išvados:

Įlinkių kreivės lygčių sudarymas ilga ir sudėtinga procedūra. Šių lygčių sprendimas rankiniu būdu yra sudėtingas ir be matematinio kompiuterinio įrankio pagalbos sunkiai sprendžiamas.

Integravimo metodas yra racionalus tik tuo atveju, kai reikia nagrinėti visą įlinkių kreivę arba nustatyti daugelio sijos taškų įlinkius.

Moro metodu įlinkį skaičiuoti paprasčiau esant nesudėtingai apkrovai. Tačiau gaunama tik vieno pjūvio įlinkio reikšmė.

Gautų rezultatų analizė parodė, kad gauta skaičiavimų paklaida 0,43% inžineriniuose skaičiavimuose leidžiama ir inžinerinių problemų sprendiniui įtakos neturi.

Literatūra

1. Atkočiūnas, J., J. Nagevičius. Tamprumo teorijos pagrindai. Vilnius: Technika, 2004.
2. Čižas A. Medžiagų atsparumas. Konstrukcijų elementų mechanika. Vilnius: Technika, 1993.
3. Hibbeler R.C. Mechanics of Materials. Prentice Hall, 2011.
4. Vislavičius, K. ir kt. Medžiagų atsparumo elektroninis vadovėlis. Vilnius, 2008 m.
5. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The Finite Element Method. The Basis. Vol. 1. Fifth edition, Butterworth Heinemann, Oxford, 2000.
6. Benker H. Practical Use of Mathcad: Solving Mathematical Problems with a Computer Algebra System. Springer London Ltd, 2001.

EVALUATION OF THE BEAM DEFLECTION USING INTEGRATION AND MORO METHODS

Summary

Cantilever and two-support beams, twin bearings with bending and turning rods called shafts are the most common elements in mechanical and construction engineering. The numerical analysis of such elements is often based not only on the strength condition but also on the stiffness requirements. The stiffness of beams is described by displacements, which can be calculated by integrating the differential curve equation, solving the Moro integral. The paper demonstrates the practical application of many methods using the example of a two-support beam, and describes the disadvantages and advantages of the methods. After the results were obtained, conclusions were formulated.

Key words: beam, beam deflection, beam model, direct integration, method of Moro.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Jurijus Tretjakovas

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vietą ir poziciją: Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Statybos fakulteto, Taikomosios mechanikos katedros docentas

Autoriaus mokslinių interesų sritys: baigtinių elementų metodas, irimo mechanika

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 686 21859, jurijus.tretjakovas@vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Audrius, Čereška

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, profesorius

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: mechaninių statinių ir dinaminių sistemų diagnostika ir monitoringas

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 606 90514, audrius.cereska@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHOR

Author name, surname: Jurijus Tretjakovas

Science degree and name: doctor, associate professor

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Civil Engineering Faculty, Applied Mechanics Department associate professor

Author's research interests: finits elements method, fracture mechanic

Telephone and e-mail address: +370 686 21859, jurijus.tretjakovas@vgtu.lt

Author name, surname: Audrius, Čereška

Science degree and name: doctor, professor

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Mechanics Faculty, Mechanical and material engineering department professor

Author's research interests: diagnostics and monitoring of static and dynamic mechanical systems

Telephone and e-mail address: +370 606 90514, audrius.cereska@vgtu.lt

AUTOMOBILIO ORO PAGALVIŲ NESUVEIKIMO ATVEJŲ APŽVALGA

Tomas Pasaulis, Robertas Pečeliūnas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto inžinerijos fakultetas, Automobilių inžinerijos katedra

Anotacija

Straipsnyje trumpai aprašomi automobilio oro pagalvių konstrukciniai ypatumai, bei jų tipai. Įvertinamas oro pagalvių efektyvumas ir pateikiami jų efektyvumą apibūdinantys statistiniai duomenys. Analizuojamos automobiliuose naudojamų oro pagalvių išsiskleidimo/neišsiskleidimo sąlygos. Taip pat nagrinėjami oro pagalvių sistemų algoritmai ir juose naudojami kintamieji, nuo kurių priklauso oro pagalvių veikimas. Aprašomos priemonės, kuriomis siekiama užtikrinti oro pagalvių patikimumą ir tinkamą veikimą, bei apibūdinami eismo įvykių pobūdžiai, dėl kurių atsiranda tikimybė, kad automobilyje esančios oro pagalvės gali nesuveikti. Pateikiamos išvados.

Reikšminiai žodžiai: oro pagalvės, pasyvioji sauga, eismo įvykis, susidūrimas, automobilis

Ivadas

Šiandieniniame pasaulyje žmonėms intensyviai judant automobilis yra viena iš populiariausių susisiektimo priemonių, su kuria lengvai ir patogiai galima nuvykti iš taško A į tašką B. Tačiau pasaulyje kiekvieną dieną išgirstame apie skaudžius eismo įvykius, kurių metu žūsta arba yra sunkiai sužalojami žmonės. Tai kelia didelį susirūpinimą tiek automobilių gamintojams, tiek įvairioms institucijoms ir organizacijoms, atsakingoms už saugų eismą keliuose. Pasaulinės sveikatos organizacijos duomenimis kasmet eismo įvykiuose žūsta apie 1,35 milijono žmonių, o nuo 20 iki 50 milijonų žmonių patiria įvairius sužalojimus (Road traffic injuries...2018). Nors pasaulyje technologijos sparčiai tobulėja, atsiranda modernios automobilių saugumo sistemos, pritaikomos naujos idėjos, gerinama kelių infrastruktūra, tačiau žuvusiųjų skaičius eismo įvykiuose išlieka gana didelis.

Automobilių gamintojai labai didelį dėmesį skiria saugumui užtikrinti. Jie nuolat tobulina ir diegia automobiliuose aktyviosios saugos sistemas, kurios padeda išvengti eismo įvykių, taip pat nuolatos gerina ir pasyviosios saugos sistemas, kurios padeda sumažinti eismo įvykių padarinius. Viena iš svarbiausių pasyviosios saugos sistemų yra automobilio oro pagalvės, kurios įvykus eismo įvykiui gali padėti išgelbėti žmonių gyvybes bei sumažinti patiriamus sužalojimus. Tačiau pasitaiko atvejų, kai ši itin svarbi automobilio saugos sistema nesuveikia, o eismo įvykio dalyviai patiria rimtus, dažnai ir mirtinus sužalojimus. Tokie atvejai dažnai sukelia visuomenės pyktį ir nepasitenkinimą automobilių gamintojais.

Šio straipsnio tikslas – išsiaiškinti nuo ko priklauso automobilio oro pagalvių išsiskleidimas.

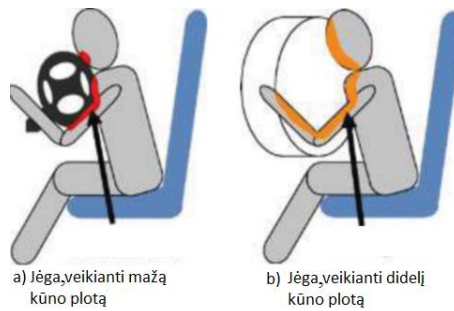
Tikslui pasiekti keliami šie uždaviniai:

- Apžvelgti automobilio oro pagalvių paskirtį, tipus.
- Išsiaiškinti sąlygas, reikalingas automobilio oro pagalvėms išsiskleisti.
- Išsiaiškinti kaip užtikrinamas automobilio oro pagalvių patikimumas ir efektyvumas.
- Apžvelgti atvejus, kada automobilio oro pagalvės gali nesuveikti.

Automobilio oro pagalvių paskirtis, tipai

Automobilio oro pagalvės – tai viena iš svarbiausių automobilio pasyviosios saugos sistemų. Automobilio oro pagalvės yra įrengtos skirtingose automobilio strateginėse vietose siekiant kaip įmanoma labiau sumažinti neigiamą poveikį keleiviams eismo įvykio metu (Nayak *et al.* 2013). Oro pagalvių skaičius automobiliuose vis didėja ir šiuo metu automobilio viduje galima sutikti įvairių oro pagalvių tipų: priekinės, šoninės, užuolaidinės, centrinės ar skirtos keliams (Madhu *et al.* 2015).

Automobilyje esantys keleiviai susidūrimo metu juda į priekį tuo pačiu greičiu kaip transporto priemonė judėjo prieš pat susidūrimą. Keleiviai nustoja judėti tik atsitrenkę į tam tikrus automobilio viduje esančius objektus kaip, pavyzdžiui, vairą, prietaisų skydelį ar sėdynę priekyje. Atsitrenkimo į tam tikrą objektą metu atsirandanti jėga gali sukelti mirtinus arba labai sunkius sužalojimus. Automobilio oro pagalvės būtent ir yra skirtos apsaugoti žmogaus kūną nuo tiesioginio atsitrenkimo į tam tikrus automobilyje esančius objektus. Kitaip tariant, jeigu žmogaus kūnas atsitrenkia į vairą ar prietaisų skydelį, visos atsiradusios jėgos veikia galvą ir kūną siaurose srityse, tačiau kai kūnas atsitrenkia į oro pagalvę, kuri yra daug didesnė ir lankstesnė erdvė, jėga, veikianti judantį į priekį kūną, yra paskirstoma daug didesniame plote (1 pav.) taip sumažinant jėgą į konkretų kūno tašką ir padedant išvengti mirtinų ar labai sunkių sužalojimų (Nayak *et al.* 2013).



1 pav. Jėgos, veikiančios kūną, pasiskirstymas: a) be oro pagalvės; b) su oro pagalve
Šaltinis: Nayak et al. 2013

Esant frontaliniam susidūrimui priekinės oro pagalvės sumažina vairuotojų mirties tikimybę 29 %, o priekyje sėdinčių keleivių, kurių amžius yra didesnis kaip 13 metų, net 32 %. (Kahane 2015). JAV Nacionalinės greitkelių eismo saugumo administracijos duomenimis priekinės oro pagalvės ir saugos diržo kombinacija frontalinio susidūrimo atveju mirties tikimybę sumažina 61 %. Įvykus šoniniam smūgiui šoninės oro pagalvės, apsaugančios galvą, sumažina automobilio vairuotojo mirties tikimybę 37 %, o šoninės oro pagalvės, apsaugančios tik liemens sritį, 26 % (McCart et al., 2007).

Automobilio oro pagalvių išsiskleidimo sąlygos

JAV nacionalinės greitkelių eismo saugumo administracijos teigimu automobilio oro pagalvių suveikimas eismo įvykio metu priklauso nuo įvairių veiksnių: eismo įvykio charakteristikos (susidūrimo greičio, smūgio krypties, kliūties tipo), smūgio jutiklių išdėstymo automobilyje (kiekvienos transporto priemonės jutikliai gali būti išdėstyti skirtingose vietose (Air Bags...2018)).

Automobilio oro pagalvių išsiskleidimas susidūrimo su kliūtimi metu priklauso nuo susidūrimo greičio, t. y. taip vadinamo „išsiskleidimo slenksčio“. Frontalinio susidūrimo metu „Ford“ modelių oro pagalvių „išsiskleidimo slenksčio“ žemutinė riba yra, kai automobilio greitis nedidesnis kaip 23 km/h. Oro pagalvių išsiskleidimo ribas dažniausia reglamentuoja įvairios transporto priemonių konstrukcijų taisyklės, pavyzdžiui JAV įstatymuose yra reikalaujama, kad frontalinio susidūrimo atveju oro pagalvės išsiskleistų esant bent jau 22,5 km/h greičiui (Nayak et al. 2013). Esant mažesniems greičiams oro pagalvių išsiskleidimas nėra pageidautinas, nes tikimybė patirti rimtus sužalojimus yra labai maža. Taip pat priklausomai nuo susidūrimo greičio automobilio oro pagalvės turi išsiskleisti su atitinkama jėga. Labai svarbu, kad esant didesniems susidūrimo greičiams oro pagalvės išsiskleistų greičiau, o mažesniems lėčiau, kadangi priešingu atveju, t. y. netinkamu laiku išsiskleidus oro pagalvėms, žmogus gali patirti papildomus sužalojimus, kurie gali būti net mirtini (Ashley 2015).

Senesniuose automobiliuose naudojamos oro pagalvės buvo sukurtos taip, kad jos išsiskleistų visais iš anksto numatytais susidūrimo atvejais, t. y. kai yra viršijamos oro pagalvių sistemoje nustatytos ribinės vertės. Šiuolaikinės oro pagalvės nėra skirtos naudoti visais susidūrimų atvejais. Susidūrimo metu jutikliai nustato jo sunkumą, keleivių padėtį ir kitą svarbią informaciją apie keleivių salono aplinką (Nayak et al. 2013). Eismo įvykio metu susidūrimui identifikuoti yra naudojami smūgio jutikliai. Dabartiniuose automobiliuose dažniausiai yra naudojami MEMS (ang. Micro Electro Mechanical Systems) jutikliai. Šie jutikliai aptinka greičio pokyčius ir nusiunčia signalą į oro pagalvių valdymo bloką, kuris naudodamas atitinkamus algoritmus, nustato ar automobilio oro pagalvių išsiskleidimas yra reikalingas. Naudodamas centrinį procesorių, oro pagalvių valdymo blokas atlieka algoritminius skaičiavimus ir valdo oro pagalvių išsiskleidimo ir neišsiskleidimo komandas. Automobilio oro pagalvių valdymo blokas naudodamas, atitinkamus algoritmus bei įvertindamas vieną ar kelis kintamuosius, nustato susidūrimo sunkumą (1 lentelė) (Kendall et al. 2014).

1 lentelė

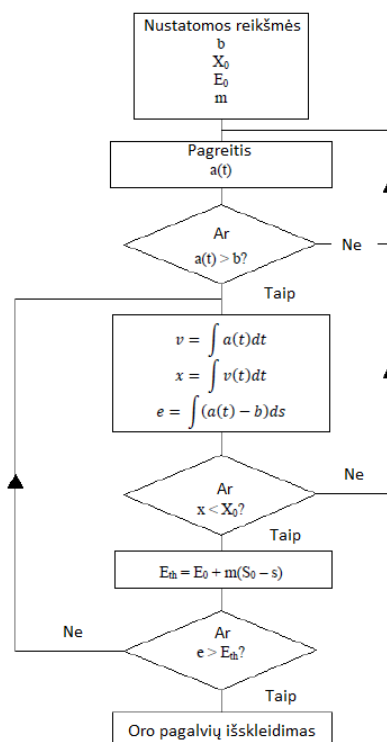
Oro pagalvių sistemos algoritmuose naudojami kintamieji

Kintamasis	Išraiška
Pagreitis	$a = \frac{dv}{dt}$
Greitis	$v = \int a dt = \frac{dx}{dt}$
Poslinkis	$x = \int v dt = \iint a dt dt$
Energijos tankis	$e = \int_{x_0}^x a dx = \int_{v_0}^v v dv = \frac{1}{2} \cdot (v^2 - v_0^2)$

Kintamasis	Išraiška
Energija	$E = \frac{1}{2} \cdot m(v^2 - v_0^2)$
Galia	$\bar{p} = \frac{dE}{dt} = mva$
Galios tankis	$p = \frac{\bar{p}}{m} = va$
Galios koeficiento tankis	$p' = \frac{dp}{dt} = vj + a^2$
Pagreičio kitimo greitis	$j = \frac{da}{dt}$

Šaltinis: Kendall et al. 2014

Automobilio oro pagalvių sistemų algoritmai turi apskaičiuoti ir palyginti įvairius kintamuosius ir pagal juos nuspręsti, ar reikalingas oro pagalvių išsiskleidimas. Kiekviename oro pagalvių valdymo bloke yra nustatyti minėtų kintamųjų verčių diapozonai, kuriais remiantis algoritmai įvertina būtinybę oro pagalvėms išsiskleisti. Algoritmo diagramos pavyzdys pateikiamas 2 paveikslėlyje (Kendall et al. 2014).



2 pav. Algoritmas naudojantis ΔV ; x ; e vertes

Šaltinis: Kendall et al. 2014

Pateiktas algoritmas įvertina greičio pokytį, poslinkį ir energijos tankį. Jeigu visi nustatyti kintamieji viršija automobilio oro pagalvių valdymo bloke nustatytas reikšmes, oro pagalvės eismo įvykio metu yra išsiskleidžiamos. Jeigu bent viena iš nustatytų verčių neviršija ribinės reikšmės, oro pagalvės nėra išsiskleidžiamos (Kendall et al. 2014).

Netinkamai veikiantys ar blogai sukalibruoti oro pagalvių sistemos jutikliai gali netinkamai nustatyti eismo įvykio stiprumą ir perduoti blogą signalą į oro pagalvių valdymo bloką. Tokiu atveju automobilio oro pagalvės gali būti neišsiskleidžiamos arba išsiskleidžiamos netinkamu metu ir netinkama jėga. Visa automobilio oro pagalvių sistema turi būti preciziškai tiksliai sukonstruota, kad tinkamai nustatytų susidūrimo sunkumą, priimtų sprendimus dėl oro pagalvių išsiskleidimo ir visa tai atliktų realiu laiku. Kitu atveju oro pagalvės gali nepadėti, o stipriai pakenkti ar net mirtinai sužaloti automobilyje esančius žmones (Ashley 2015).

Automobilio oro pagalvių testavimas

Automobilio oro pagalvių sistemos turi funkcionuoti tinkamai ir būti patikimos. Siekiant užtikrinti oro pagalvių sistemų tinkamą veikimą ir patikimumą yra atliekamos įvairios oro pagalvių sistemų analizės, kompiuterinis modeliavimas bei realūs bandymai. Oro pagalvių išsiskleidimo modeliavimams naudojamos įvairios programinės įrangos: „LS-DYNA“, „Madymo“ ir t.t. Taip pat atliekami oro pagalvių testai su realiais automobiliais arba specialiai įrengtais bandymo stendais. Daugiausia naudojami du pagrindiniai oro pagalvių

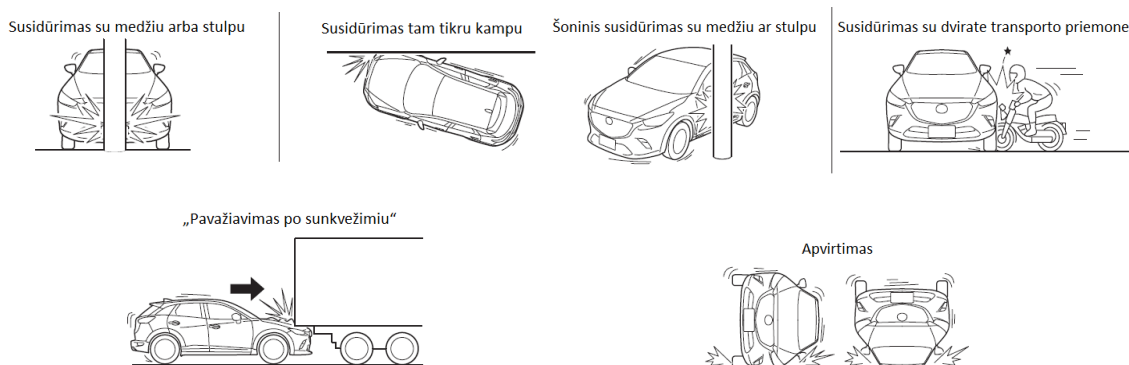
sistemų bandymai: oro pagalvių eksploatacinių savybių ir oro pagalvių sistemos. Gauti kompiuterinio modeliavimo ir eksperimentinių bandymų rezultatai yra lyginami tarpusavyje, atliekamos rezultatų analizės, pateikiamos išvados bei pateikiamos oro pagalvių saugumo gerinimo rekomendacijos (Nayak *et al.* 2013).

Kaip ir dauguma kitų transporto priemonių dalių, oro pagalvės ir jos komponentai turi tam tikrą tarnavimo laiką, todėl kai kurie automobilių gamintojai rekomenduoja reguliariai tikrinti ir pakeisti oro pagalvių sistemų komponentus praėjus tam tikram laikotarpiui (paprastai 10 metų). Kai kuriuose automobiliuose praėjus tam tikram laikui oro pagalvių sistemos indikatorius lemputė gali įsižiebtį prietaisų skydelyje ir išlikti tol, kol bus patikrinta oro pagalvių sistema ir, jei reikia, pakeičiamos sudedamosios jos dalys (Nayak *et al.* 2013).

Eismo įvykio sąlygos, kurių metu oro pagalvių išsiskleidimas nėra užtikrinamas

Realiaame pasaulyje eismo įvykiai nėra tik atsitrenkimai į kietas vientisas kliūtis tam tikru nustatytu kampu, todėl reikia atsakingai išanalizuoti atvejus, kada oro pagalvės išsiskleidimas nėra visiškai užtikrinamas. Labai svarbu tinkamai parinkti kintamųjų verčių diapozonus siekiant užtikrinti oro pagalvių veikimą.

Automobilio oro pagalvių išsiskleidimas dažnai priklauso nuo susidūrimo tipo. Automobilio oro pagalvės gali neišsiskleisti, kai yra deformuojama tik viena siaura automobilio sritis, pavyzdžiui, susidūrimo su stulpu atveju. Oro pagalvės kartais neišsiskleidžia, kai transporto priemonė eismo įvykio metu „pavažiuoja“ po tam tikru objektu, pavyzdžiui, sunkvežimiu, nes tokio susidūrimo atveju smūgis užtrunka ilgesnį laiką. Oro pagalvės susidūrimo metu gali neišsiskleisti, kai santykinis standumas yra labai skirtingas, pavyzdžiui, transporto priemonės priekis atsitrenkia į kitos transporto priemonės šoną. Taip pat susidūrimai, kurie vyksta automobiliui judant pasvirusiu kampu t. y. ne horizontaliai kelio paviršiui, ne visada lemia oro pagalvės išsiskleidimą, nes tokiu atveju automobilio lėtėjimas vyksta kryptimi, nelygiagrečia jutikliui (Kendall *et al.* 2014). Šiuos išvardintus ir panašius atvejus aprašo ir automobilių gamintojai. Kaip pavyzdys pateikiami automobilio „Mazda CX 3“ naudotojo vadove nustatyti atvejai, kurių metu nėra garantuojamas oro pagalvių išsiskleidimas.



3 pav. Atvejai, kurių metu nėra užtikrinamas oro pagalvių išsiskleidimas

Šaltinis: Mazda Cx-3 Owners Manual 2015

Apibendrinant galima teigti, kad automobilio oro pagalvių išsiskleidimas priklauso ne tik nuo ankščiau aprašytų tam tikrų kintamųjų bei naudojamų atitinkamų algoritmų, bet ir nuo susidūrimo ar kliūties tipo. Nors automobilio oro pagalvės yra labai svarbios saugumui užtikrinti, tačiau jų išsiskleidimas nėra visiškai užtikrinamas.

Išvados

1. Oro pagalvės yra įvairių paskirties tipų ir skirtos apsaugoti keleivių kūnus nuo tiesioginio atsitrenkimo į tam tikrus, automobilyje esančius objektus, taip siekiant sumažinti sužalojimus bei padedant išvengti mirčių eismo įvykių metu.

2. Automobilio oro pagalvių išsiskleidimas priklauso nuo susidūrimo greičio. Be to valdymo bloke esantis centrinis procesorius, naudodamas įvairius algoritmus, apskaičiuoja ir įvertina įvairius kintamuosius, pagal kuriuos sprendžia, ar reikalingas oro pagalvių išsiskleidimas.

3. Siekiant užtikrinti oro pagalvių tinkamą veikimą, įvairiomis programomis atliekami kompiuteriniai modeliavimai bei realūs bandymai naudojant bandymų standus arba realius automobilius. Gauti rezultatai yra analizuojami ir pateikiamos išvados bei rekomendacijos.

4. Oro pagalvės gali neišsiskleisti šiais atvejais: automobiliui atsitrenkus į siaurą objektą, automobiliui „pavažiavus po sunkvežimiu“, automobiliui susidūrus su kliūtimi tam tikru kampu, kai transporto priemonių santykinis standumas yra labai skirtingas bei automobilio apvirtimo atveju.

Literatūra

1. Air Bags [interaktyvus]. [žiūrėta 2019 rugsėjo 17 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.nhtsa.gov/equipment/air-bags>.
2. Ashley, B. 2015. Defective Designs in Airbag Technology, *The Forum: A Tennessee Student Legal Journal: Vol. 2: Iss. 1, Article 4*.
3. Kahane, C. J. 2015. Lives saved by vehicle safety technologies and associated Federal Motor Vehicle Safety Standards, 1960 to 2012 – Passenger cars and LTVs – With reviews of 26 FMVSS and the effectiveness of their associated safety technologies in reducing fatalities, injuries, and crashes. Report No. DOT HS 812 069. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
4. Kendall, J., Solomon, K. A. 2015. Air Bag deployment criteria. *The Forensic Examiner*. 24 p.
5. Madhu, S., Kumar, A. 2015. A Research review on airbag in automobile safety system. *International Journal of Applied Engineering Research*, ISSN 0973-4562 Vol. 10 No.33
6. Mazda Cx-3 Owners Manual. 2015. *Mazda Motor Corporation*.
7. McCartt, A., Kyrychenko, S. 2007. Efficacy of side airbags in reducing driver deaths in driver-side car and SUV collisions. *Traffic Injury Prevention*.
8. Nayak, R., Padhye, R., Kanesalingam, S., Arnold, L., Behera, B. K. 2013. Airbags, *Textile Progress*. 45:4: 209-301.
9. Road traffic injuries [interaktyvus]. [žiūrėta 2019 rugsėjo 17 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>.

OVERVIEW OF CAR AIRBAGS DEPLOYMENT

Summary

In the article briefly describes the design features and types of car airbags. The effectiveness of the airbags is evaluated and statistics describing their effectiveness are presented. The conditions required for the deployment/non-deployment of the airbags used in cars are analyzed. The algorithms of the airbag systems and the variables that influence the operation of the airbags are also examined. Describe the measures to ensure the reliability and proper functioning of the airbags, and describe the nature of the accidents that may cause the airbags in the vehicle to fail. The conclusions are presented.

Key words: airbags, passive safety, traffic accident, impact, car

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Tomas Pasaulis

Mokslo laipsnis ir vardas: magistrantas

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: eismo saugumas, transporto priemonių dinamika

Telefonas ir el. pašto adresas: (8 6) 15 67396, tomas.pasaulis@stud.vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Robertas Pečeliūnas

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: eismo saugumas, transporto priemonių dinamika

Telefonas ir el. pašto adresas: (8 5) 274 4790, robertas.peceliunas@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Tomas Pasaulis

Science degree and name: postgraduate

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Transport Engineering, Department of Automobile Engineering, postgraduate

Author's research interests: traffic safety, vehicle dynamics

Telephone and e-mail address: (8 6) 15 67396, tomas.pasaulis@stud.vgtu.lt

Author name, surname: Robertas Pečeliūnas

Science degree and name: doctor, assoc professor

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Transport Engineering, Department of Automobile Engineering, assoc professor

Author's research interests: traffic safety, vehicle dynamics

Telephone and e-mail address: (8 5) 274 4790, robertas.peceliunas@vgtu.lt

AUTOMATINĖ VIRPESIŲ SLOPINIMO SISTEMA

Vytenis Naginevičius, Skirmantas Adomavičius, Paulius Plečkaitis

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Dažnai eksploatuojant įvairius įrengimus susiduriama su nepageidautiniais reiškiniais, vienas iš kurių yra įrenginio vibracijos, kurios blogina eksploatavimo sąlygas, t.y. neigiamai įtakoja siekiamo pasiekto rezultato kokybę, didina remonto bei techninės priežiūros rodiklius ir t.t., nes vibracija, ypač rezonansiniame režime, yra žalingas reiškinys. Šiuo atveju kalbama apie medžiagų apdirbimo stakles, kurių vibracijų slopinimo problemai spręsti skirtas šis darbas.

Reikšminiai žodžiai: virpesių slopinimas, virpesių gesinimas, srauto reguliatorius

Ivadas

Ši sistema užtikrina savaiminį objekto, kuris dėl įvairių išorinių bei vidinių jėgų poveikio linkęs vibruoti stacionaraus pagrindo atžvilgiu santykinai žemu (iki 20 kHz) dažniu, slopinimo procesą.

Darbo tikslas: pateikti automatinio objekto virpesių slopinimo koncepciją.

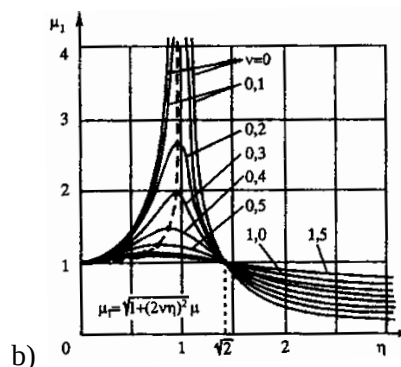
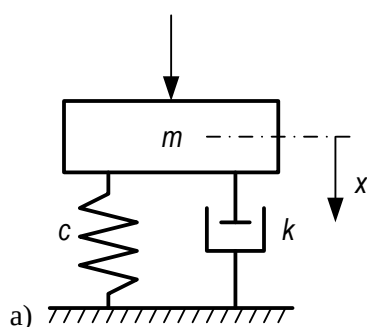
Uždaviniai tikslui pasiekti:

1. Trumpai apžvelgti mechaninių virpesių slopinimo sistemas;
2. Analizuoti analogišką automatinę vibracijų slopinimo sistemą;
3. Pateikti automatinės virpesių slopinimo sistemos konstrukciją ir veikimo principą.

Klasikinių virpesių slopinimo sistemų apžvalga

Etaloninės virpesių slopinimo sistemos dinaminis modelis pateiktas 1 pav.

$$\hat{F}_x = F \cos \Omega \omega$$



1 pav. Etaloninės virpesių slopinimo sistemos dinaminis modelis (a) ir amplitudinė dažninė charakteristika (b) $\mu = f(\eta)$, čia μ - amplitudinė funkcija

Šaltinis: Žiliukas, Barauskas, 1997: 55-63

Sistema (1 pav. a) yra žadinama išorine žadinimo jėga, kurios dažnis yra Ω . Nuosavų sistemos virpesių dažnis yra ω_0 . Masės m judėjimo lygtis (Žiliukas, Barauskas, 1997: 55-63; Блехман, 1971: 49-60):

$$m\ddot{x} + k\dot{x} + cx = F \cos \Omega \omega \quad (1)$$

čia: k – slopinimo koeficientas, c – spyruoklės tamprumo koeficientas, $F \cos \Omega \omega = \hat{F}$ – harmoninė žadinimo lygtis

Šios lygties sprendiniai pateikiami šaltinyje (Žiliukas, Barauskas, 1997: 55-63). Jų pagrindu yra formuojama (1 pav. b) amplitudinė dažninė charakteristika $\mu = f(\eta)$.

$$\mu = \frac{xc}{\hat{F}} \quad (2)$$

$$\eta = \frac{\Omega}{\omega_0} \quad (3)$$

Priklausomai nuo tvirtinimo standumo ir slopinimo (3 pav.) apie sistemos vibroizoliavimą galima daryti tokias išvadas:

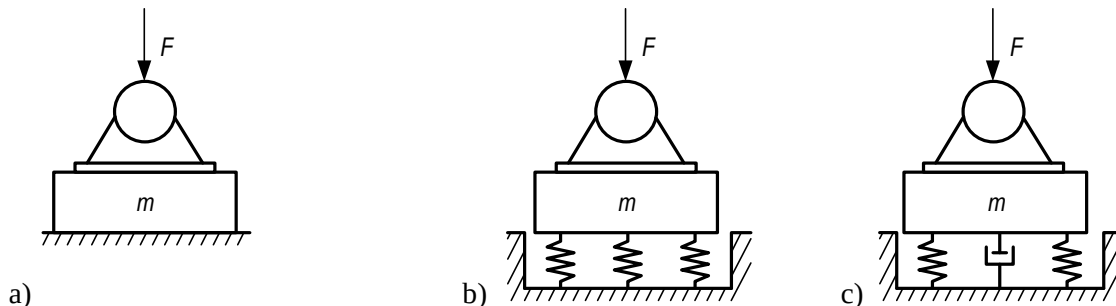
1. Standžiai įtvirtinus sistemą (2 pav. a) visa žadinimo jėga perduodama į aplinką

$$\mu = \frac{F_G}{F} = 1; \quad c \rightarrow \infty; \quad \eta \rightarrow \infty \quad (4)$$

$$F_G = k\dot{x} + cx \quad (5)$$

2. Kai sistemos pagrindas ant pamato padėtas per tamprius ryšius (2 pav. b ir c) intervale $0 < \eta < \sqrt{2}$, į aplinką perduodama jėga yra didesnė už žadinimo jėga ($\mu > 1$);

3. Slopinimas blogina izoliavimo kokybę (2 pav. c) už rezonanso. Iki virpesių rezonanso ($\mu > 1$) ir esant jam slopinimas būtinas. Tai reiškia, kad ypač aukštos amplitudės pasireiškia tada, kai sistema „išsibėgėja“ arba „stabdoma“.



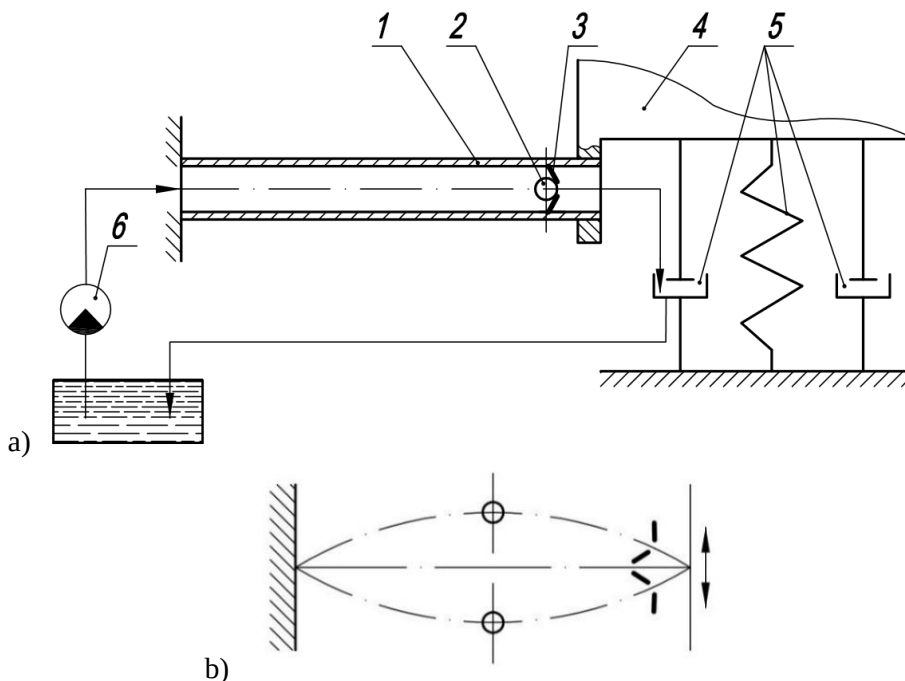
2 pav. Mašinos tvirtinimo prie pamato būdai:
standžiai (a), per tamprius ryšius (b) ir per tamprius ryšius su slopinimu (c)

Šaltinis: Žiliukas, Barauskas, 1997: 55-63

Darbe siūloma sistema yra taikoma apsaugai nuo virpesių dažnių diapazone iki rezonanso ir jo metu. Mechanizmų virpesių problemų sprendimo būdai yra analizuojami šaltiniuose (Huang, Hsu, 1997: 77-91; Ragulskis, Palevičius, 2002: 53-57)

Analogiškos slopinimo sistemos apžvalga

Anologo konstrukcija pateikta 3 pav. Virpant objektui (3 pav. a) 4 pavojingui objektui dažniu iki rezonanciniame diapazone (Huang, Hsu, 1997: 77-91; Ragulskis, Palevičius, 2002: 53-57), vamzdyje 1 žadinami skersiniai virpesiai (3 pav. b),

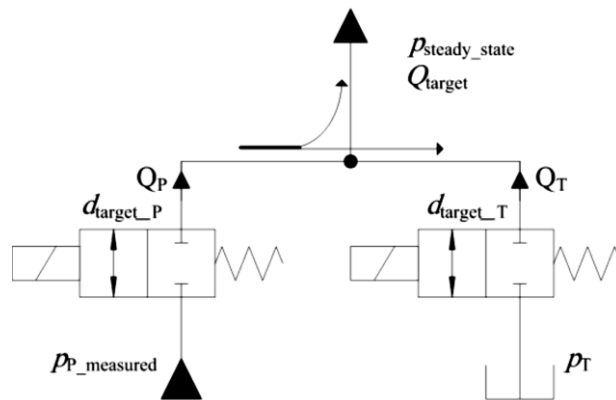


3 pav. Anologo konstrukcija (a) ir skersiniai virpesiai vamzdyje (b), čia:

1 – vamzdis, 2 – sandarinimo šratas, 3 – sandarinimo lizdas, 4 – objektas, 5 – slopinimo sistemos demferis, 6 – kompresorius

Šaltinis: Ragulskis, Palevičius, 2002: 53-57

Skersiniai virpesiai (3 pav. b) atsitraukia sandarinimo šratą (3 pav. a) 2 nuo sandarinimo lizdo 3 į stovinčios bangos viršūnę, vožtuvas atsidaro ir skystis patenka į papildomos slopinimo sistemos demferį 5, keisdamas slopinimo sąlygas. Objekto virpesių amplitudė gesta ir siurblio 6 formuojamas slėgis įstumia šratą 4 į kontaktą su sandarinimo lizdu 3.



5 pav. Srauto regulatorius su elektromagnetiniais (solenoidiniais) vožtuvais
Šaltinis: Huova, Plöckinger 2010: 79-92

1. Mažiausias galimas padavimo Q_{P_min} ir išleidimo Q_{T_min} srautas nustatomas (išmatuojamas) atitinkamai mažiausia galima impulso skverbtimi valdant padavimo (maitinimo) d_P arba išleidimo (rezervuaro) d_T vožtuvus, kai priešingas vožtuvas yra pilnai uždarytas, ir matuojant srautą Q_{target} (Huova, Plöckinger 2010: 79-92):

$$\begin{cases} Q_{P_min} = Q_{target}, \text{ kai } d_P = \min, d_T = 0; \\ Q_{T_min} = Q_{target}, \text{ kai } d_P = 0, d_T = \min; \end{cases} \quad (6)$$

2. Nustatomas (išmatuojamas) padavimo Q_{P_target} ir išleidimo Q_{T_target} srautas:

$$\begin{cases} Q_{P_target} = Q_{P_min} \\ Q_{T_target} = Q_{target} - Q_{P_min} \end{cases}, \text{ kai } Q_{target} - Q_{T_min} < Q_{P_min}; \quad (7)$$

$$\begin{cases} Q_{P_target} = Q_{target} - Q_{T_min} \\ Q_{T_target} = Q_{T_min} \end{cases}, \text{ kai } Q_{target} - Q_{T_min} > Q_{P_min}; \quad (8)$$

3. Valdymo signalo impulso skverbtis, valdanti padavimo (maitinimo) d_{target_P} ir išleidimo (rezervuaro) d_{target_T} vožtuvus yra apskaičiuojama:

$$d_{target_P} = \frac{Q_{P_target}}{Q_P} \cdot 100; \quad (9)$$

$$d_{target_T} = \frac{Q_{T_target}}{Q_T} \cdot 100; \quad (10)$$

čia: Q_P – norimas padavimo (maitinimo), Q_T – išleidimo (rezervuaro) srautas.

Išvados:

1. Išanalizavus analogišką sistemą nustatyta, kad šios sistemos trūkumas – skysčio, pratekančio per vožtuvą debitas ribojamas uždarančio elemento skylės dydžiu ir yra nedidelis.

2. Pateiktoje automatinėje virpesių slopinimo sistemos konstrukcijoje analogiškos sistemos trūkumas pašalinamas uždarančiu elementu panaudojant spyruoklę, kuri vibruodama rezonansiniu dažniu deformuojama dėl skersinių virpesių amplitudės ir taip tarp vijų atsiranda tarpai skysčiui tekėti.

3. Srauto valdymui reikalingas impulso pločio moduliacijos dažnis turi būti pakankamas didelis, kadangi toks valdymas sukels atitinkamas srauto pulsacijas: valdymo impulso trukmė tiesiogiai įtakoja pulsacijų amplitudę.

Literatūra

1. Huang Y., Hsu C. Dynamic behavior of tubes subjected to internal and external cross flows. Journal of Shock and Vibration. 4(2). 1997. p. 77-91
2. Huova M., Plöckinger A. Improving resolution of digital hydraulic valve system by utilizing fast switching valves. In A. Laamanen, & M. Linjama (Eds.), Proceedings of the Third Workshop on Digital Fluid Power, October 13-14 2010, Tampere, Finlan. p. 79-92
3. Ragulskis M. K., Palevičius A. Theoretical and experimental studies of tubular valve dynamics // International Journal of Acoustics and Vibration: a quarterly publication of the International Institute of Acoustics and Vibration. ISSN 1027-5851, 2002. p. 53-57
4. Žiliukas P., Barauskas R. Mechaniniai virpesiai. Kaunas, Technologija 1997. ISBN 9989-13-545-1. p. 55 – 63
5. Блехман И. И. Синхронизация динамических систем. Главная редакция физико-математических литературы. Москва 1971. p. 49-60

AUTOMATIC VIBRATION SUPPRESSION SYSTEM

Summary

Often the operation of the various installations exposed to undesirable effects, one of which is the machine vibrations which impair the operating conditions, e.g. adversely affect the desired result to achieve quality, increased repair and maintenance indicators, etc., since vibration, especially in resonant mode is destructive phenomenon. In this work suggested vibration suppression problem apply to materials processing machines.

Key words: vibration damping, vibration suppression, flow regulator.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Vytenis Naginevičius

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: transporto priemonės, vidaus degimo varikliai, medžiagų apdirbimo technologijos, virpesiai

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 600 20386, vytenis.naginevicius@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Skirmantas Adomavičius.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorius

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: automatinis valdymas, elektronikos technika, kompiuterinės komunikacijos.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 681 44222, skirmantas.adomavicius@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Paulius Plečkaitis

Mokslo laipsnis ir vardas: profesinio bakalauro studijų studentas.

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, Autotransporto elektronikos antro kurso studentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: autotransporto elektronika.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 62394415, paulius.pleckaitis@stud.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Vytenis Naginevicius.

Science degree and name: PhD, Associated Professor.

Workplace and position: University of Applied Engineering Sciences, Engineering Faculty, associated professor.

Author's research interests: Vehicles, Internal Combustion Engines, Materials Processing Technologies, Vibrations

Telephone and e-mail address: +370 600 20386, vytenis.naginevicius@edu.ktk.lt

Author name, surname: Skirmantas Adomavicius.

Science degree and name: Master's degree, Lecturer.

Workplace and position: University of Applied Engineering Sciences, Engineering Faculty, lecturer.

Author's research interests: Automatic Control, Electronics, Computer Communications.

Telephone and e-mail address: +370 681 44222, skirmantas.adomavicius@edu.ktk.lt

Author name, surname: Paulius Plečkaitis

Science degree and name: Professional Bachelor Student

Workplace and position: University of Applied Engineering Sciences, Engineering Faculty, Motor Transport Electronics second-year student.

Author's research interests: Motor Transport Electronics

Telephone and e-mail address: +370 62394415, paulius.pleckaitis@stud.ktk.lt

VARIKLIO VIRPESIŲ SLOPINTUVAS

Vytenis Naginevičius, Skirmantas Adomavičius, Paulius Plečkaitis

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Variklio ir pavarų dėžės pagalvių viena iš dviejų funkcijų yra virpesių, perduodamų kėbului slopinimas t.y. dinaminės hidraulinio slopintuvo ir spyruoklės komplekto slopinimo jėgos atskyrimas nuo kėbulo, kas didina automobilio komfortiškumą. Slopinimo problemoms spręsti naudojamos įvairios konstrukcinės schemos, keletas kurių yra narinėjamos darbo apžvalgoje. Apibrėžtos jų pritaikymo galimybės ir ribos, privalumai ir trūkumai. Pateikta originalios slopinimo sistemos dinaminė schema, slopinimo sistemos konstrukcinė schema bei sudaryta šios sistemos diferencialinė judėjimo lygtis.

Reikšminiai žodžiai: slopinimo sistema, virpesiai, variklis, judėjimo diferencialinė lygtis

Įvadas

Variklio tvirtinimo konstrukcija turi atitikti du esminius, tačiau prieštaringus kriterijus. Pirma, ji turi būti standi ir slopinanti virpesius tam, kad galima būtų valdyti tuščios eigos virpesius ir variklio tvirtinimo konstrukcijos rezonansą diapazone nuo 5 iki 30 Hz. Be to, jis turi veikti kaip slopintuvas judesiams, atsirandantiems važiuojant nelygiais keliais, greitėjant ir lėtėjant, posūkiuose. Antra, norint sumažinti virpesių amplitudę aukštesnių dažnių diapazone, reikalingas konstrukcijos derinimas, kas užtikrintų vibracijų izoliavimą ir akustinį komfortą.

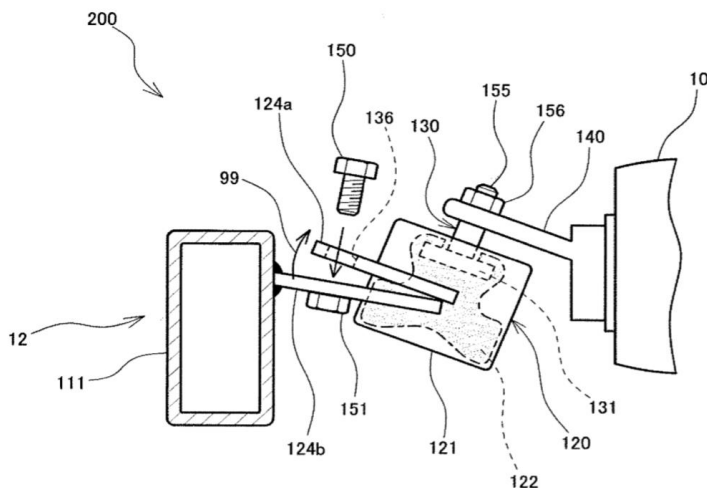
Darbo tikslas: ištirti originalios konstrukcijos slopintuvo panaudojimo galimybes tvirtinant variklį prie kėbulo.

Uždaviniai tikslui pasiekti:

1. Apžvelgti automobilių variklio tvirtinimo prie kėbulo schemas;
2. Pateikti originalios slopinimo sistemos dinaminę schemą ir slopinimo sistemos konstrukcinį sprendimą;
3. Sudaryti slopinimo sistemos diferencialinę judėjimo lygtį.

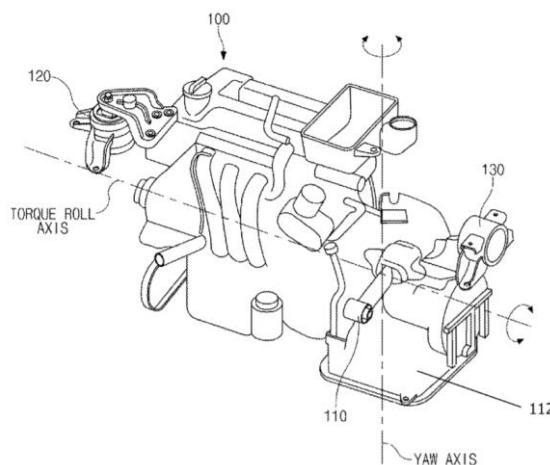
Variklio tvirtinimo prie kėbulo schemų apžvalga

1, 2 ir 3 pav. pateiktos variklio tvirtinimo prie kėbulo konstrukcijos schemos. Tai guminės tvirtinimo schemos, kurios negali tenkinti anksčiau minėtų kriterijų vienu metu, nes kietumas (Stiffness) ir slopinimo koeficientas (Damping Coefficient) beveik nekinta visame variklio sistemų virpesių diapazone (tarkim 1 ~ 250 Hz) atsižvelgiant į sužadinimo (Excitation) amplitudę ir dažnį.



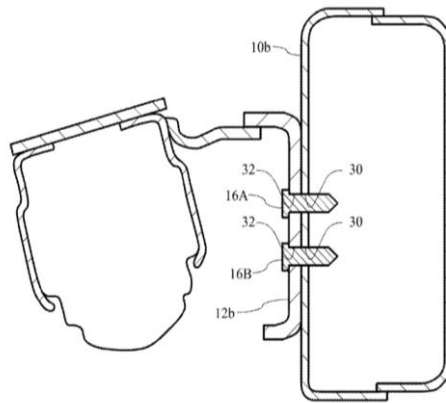
1 pav. Variklio tvirtinimas prie kėbulo

Šaltinis: Murakami, 2019



2 pav. Variklio tvirtinimas prie kėbulo

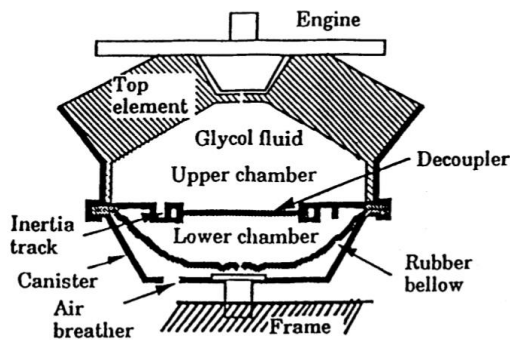
Šaltinis: Kim, 2015



3 pav. Variklio tvirtinimas prie kėbulo

Šaltinis: Matsueda 2019

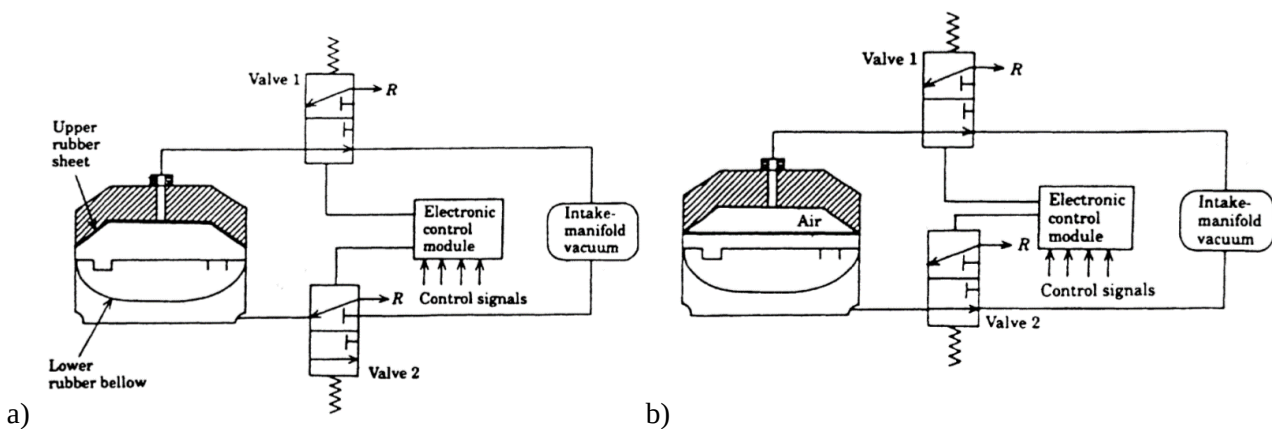
Taigi reikia kompromiso tarp rezonanso valdymo ir izoliacijos. Tam, kad konstrukcija atitiktų abu reikalavimus, buvo suprojektuoti hidromechaniniai slopintuvai (Singh, 2000: 319-330) (4 pav.).



4 pav. Hidromechaninis slopintuvas

Šaltinis: Singh, 2000: 319-330

Toks tvirtinimas suteikia geresnių standumo ir slopinimo savybių, kurios kinta priklausomai nuo dažnio ir žadinimo amplitudės. Tačiau dėl skysčio inercijos poveikio virpesių slopinimo negalima pilnai kontroliuoti. Tai pasireiškia ir rezonansiniuose dažniuose, viršijančiuose 100 Hz. Be to, skysčio inercijos poveikis daro įtaką įprastinio slopintuvo vibracijos izoliacinėms savybėms net prie 20 Hz. Šių problemų įveikimui siūlomos adaptyvios montavimo konstrukcijos (5 pav.) Ši sistema tenkina aukščiau minėtus kriterijus, tačiau skysčio masės ištraukimas vyksta per fiksuotą angą. Tai riboja proceso greitaeigiškumą.

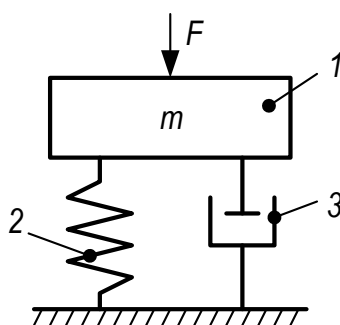


5 pav. Adaptyvios montavimo konstrukcijos

Šaltinis: Singh, 2000: 319-330

Objekto virpesių slopinimo elementas ir jo veikimo principas

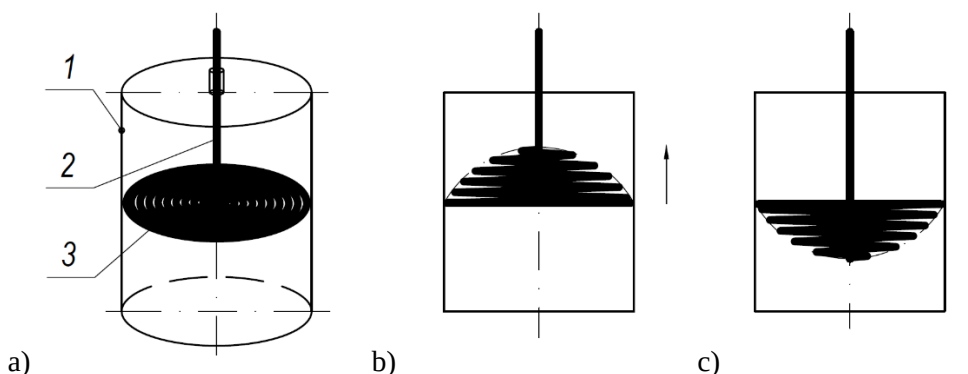
Klasikinis dinaminis judėjimo modelis pateiktas 6 pav.



6 pav. Dinaminis modelis, čia 1 – variklis, 2 – spyruoklė, 3 – slopintuvas

Šaltinis: sudaryta autorių

Tyrimo objektas yra slopintuvas (7 pav.) ir jo įtaka bendrai virpesių sistemai, t.y. dedamoji $k\dot{x}$ (1)



7 pav. Virpesių slopintuvas, čia: 1 – korpusas, 2 – stūmoklis, 3 – spiralė

Šaltinis: sudaryta autorių

Judėjimo lygtis

$$m\ddot{x} + k\dot{x} + cx = F \cos \Omega t$$

(1)

čia: m – variklio masė, kg, k – slopintuvo klampa, c – spyruoklės standumas, Ω – žadinimo jėgos kampinis dažnis, x – koordinatė.

Slopintuvas (7 pav. a) tai korpuse 1, kuris pripildytas klampaus skysčio, kreipiančiosiose judantis stūmoklis 2, prie kurio galo standžiai tvirtinama tampri spiralė 3. Plyšių tarp spiralės vijų pusiausvyros padėtyje ($x=0$) nėra. Strypui judant aukštyn (7 pav. b) arba žemyn (7 pav. c) tarp vijų atsiranda plyšiai, pro kuriuos prateka skystis, taip mažindamas pasipriešinimo judėjimui jėgą, kuri, kaip matosi iš lygties (1) yra greičio $\dot{x}$ funkcija.

Sukuriamas efektas, kai jėga, priklausanti nuo greičio $\dot{x}$ ir didėja dėl didesnio pasipriešinimo ir mažėja dėl atsirandančių didesnių plyšių. Taigi, pasipriešinimo jėgos, kurią pažymime E , struktūrai nustatyti darome keletą prielaidų:

1. Jei plyšių $\Delta(D, r)$ plotas yra fiksuotas, tai pasipriešinimo jėga yra proporcinga greičio kvadratui (dėl didelės skysčio klamos). Parametrai D ir r parodyti 8 pav.

$$\Delta(D, r) = S(D, r) - S(0, r)$$

(2)

2. Greitis nustato spiralės formą su plyšiais. Kuo didesnis greitis, tuo didesnis yra plyšių plotas, tuo didesnė parametro D funkcija.

3. Kuo didesnis plyšių plotas, tuo mažesnė pasipriešinimo jėga.

Ištemptos spiralės plotas $S(D, r)$ yra parametro D funkcija

$$\text{Kai } D = 0, \text{ tai } S = \pi r^2$$

(3)

Atsižvelgiant į prielaidas 2

$$D = \theta \dot{x}$$

(4)

kur θ – proporcingumo koeficientas tarp D ir $\dot{x}$

Pagal 3 prielaidą pasipriešinimo jėga yra atvirkščiai proporcinga plyšio plotui. Įvertinus visas tris prielaidas gauname pasipriešinimo jėgos išraišką

$$E(\dot{x}) = k \cdot \text{sign}(\dot{x}) \cdot (\dot{x})^2 \cdot \frac{1}{\Delta(\theta\dot{x}, r)} \quad (5)$$

Kai $\dot{x} = 0$, pridedame 4 prielaidą

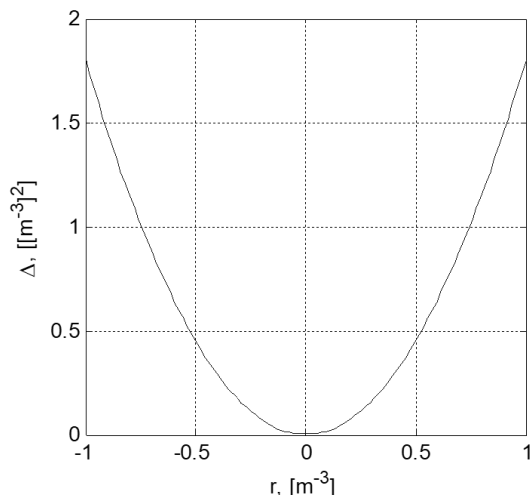
4. Pasipriešinimo jėga nėra begalinė, kai plyšių nėra (spirale yra pusiausvyros būsenoje).

Įvertinus 4 prielaidą gauname galutinę pasipriešinimo jėgos išraišką

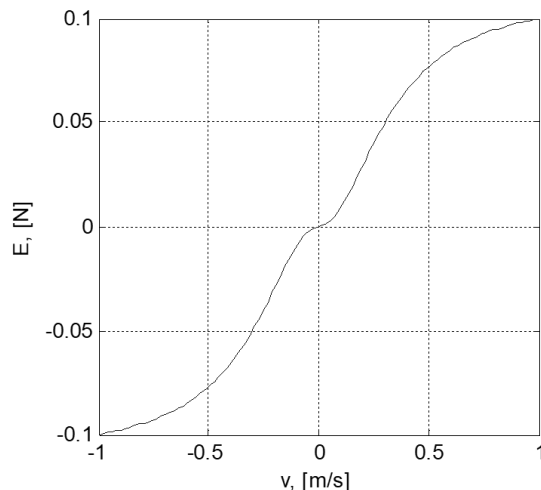
$$E(\dot{x}) = k \cdot \text{sign}(\dot{x}) \cdot (\dot{x})^2 \cdot \frac{1}{\Delta(\theta\dot{x}, r) + \delta} \quad (6)$$

čia δ yra nedidelis teigiamas skaičius, nustatantis pasipriešinimo jėgą, kai plyšių nėra.

Pasipriešinimo jėgos priklausomybė nuo greičio pateikiama 9 pav.



8 pav. Ryšys tarp plyšių ploto $\Delta(D, r)$ ir r ,
Šaltinis: sudaryta autorių



9 pav. Jėgos priklausomybė nuo greičio, kai
 $k = 0,1; \theta = 0,5; \Delta = 0,1; r = 1$
Šaltinis: sudaryta autorių

Taigi sistemos judesio lygtis

$$m\ddot{x} + E(\dot{x}) + cx = F \cos \Omega t \quad (7)$$

Išvados

1. Apžvelgus automobilių variklio tvirtinimo prie kėbulo schemas nustatyta, kad guminės tvirtinimo schemas negali slopinti variklio sistemų virpesius visame diapazone, todėl siekiant tai naudojami hidromechaniniai slopintuvai, kuriuose negalima užtikrinti pilnos virpesių kontrolės, bei sudėtingesnės adaptyvios montavimo konstrukcijos.

2. Pateiktas originalios variklio virpesių ir tvirtinimo sistemos konstrukcinis sprendimas, kuriame strypui judant aukštyn arba žemyn tarp vijų atsiranda plyšiai, pro kuriuos prateka skystis, taip mažindamas pasipriešinimo judėjimui jėgą.

3. Sudaryta slopinimo sistemos diferencialinė judėjimo lygtis, kurioje varijuojant dydžiu δ ir konstrukciniais sistemos parametrais (vijų skaičius, jų standumas ir forma) galima gauti įvairias virpesių slopinimo charakteristikas.

4.

Literatūra

1. Hiroshi Murakami (Toyota Jidoshita Kabushiki Kaisha). United States Patent No.: US 2019/0143799 A1. Date of Patent: May. 16, 2019
2. Yong Joo Kim (Hyundai Motor Company). Engine Mounting Structure For Reducingvbration. United States Patent No.: US 9,193,250 B2. Date of Patent: Nov. 24, 2015
3. Koji Matsueda (Toyota Jidoshita Kabushiki Kaisha). Mounting Structure of Engine Mount. United States Patent No.: US 2019/0084398 A1. Date of Patent: Mar. 21, 2019
4. R. Singh. Dynamic Design Of Automotive Systems: Engine Mounts And Structural Joints. Sādhana, Vol. 25, Part 3, June 2000, p. 319 – 330

ENGINE VIBRATION DAMPERS

Summary

One of the two functions of engine and gearbox mounts is the damping of vibrations transmitted to the body, i.e. the separation of the dynamic damping force of the hydraulic power steering and the spring assembly from the body, which increases the comfort of the car. There are various construction schemes used to solve damping problems, some of which are presented in this work. The possibilities and limits of their application, advantages and disadvantages are defined. The dynamic scheme of the original damping system, the constructional scheme of the damping system and the differential equation of motion of this system are presented.

Key words: damping system, vibration, motor, differential equation of motion.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Vytenis Naginevičius

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vietą ir poziciją: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto docentas

Autoriaus mokslinių interesų sritys: transporto priemonės, vidaus degimo varikliai, medžiagų apdirbimo technologijos, virpesiai

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 600 20386, vytenis.naginevicius@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Skirmantas Adomavičius

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorius

Darbo vietą ir poziciją: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto lektorius

Autoriaus mokslinių interesų sritys: automatinis valdymas, elektronikos technika, kompiuterinės komunikacijos

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 681 44222, skirmantas.adomavicius@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Paulius Plečkaitis

Mokslo laipsnis ir vardas: profesinio bakalauro studijų studentas

Darbo vietą ir poziciją: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, Autotransporto elektronikos antro kurso studentas

Autoriaus mokslinių interesų sritys: autotransporto elektronika

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 62394415 paulius.pleckaitis@stud.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Vytenis Naginevicius

Science degree and name: PhD, Associated Professor

Workplace and position: University of Applied Engineering Sciences, Engineering Faculty, associated professor

Author's research interests: Vehicles, Internal Combustion Engines, Materials Processing Technologies, Vibrations

Telephone and e-mail address: +370 600 20386, vytenis.naginevicius@edu.ktk.lt

Author name, surname: Skirmantas Adomavicius

Science degree and name: Master's degree, lecturer

Workplace and position: University of Applied Engineering Sciences, Engineering Faculty, lecturer

Author's research interests: Automatic Control, Electronics, Computer Communications

Telephone and e-mail address: +370 681 44222, skirmantas.adomavicius@edu.ktk.lt

Author name, surname: Paulius Plečkaitis

Science degree and name: Professional Bachelor Student

Workplace and position: University of Applied Engineering Sciences, Engineering Faculty, Motor Transport Electronics second-year student

Author's research interests: Motor Transport Electronics

Telephone and e-mail address: +370 62394415, paulius.pleckaitis@stud.ktk.lt

IŠKROVŲ ĮTAKA AUTOMOBILINIŲ STARTERINIŲ BATERIJŲ SAVYBĖMS

Darius Juodvalkis, Andrius Dargužis

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Automobiliams su vidaus degimo va rikliais yra būtinas elektros energijos šaltinis. Elektros energiją tiekia generatoriai, o ji kaupiama akumuliatorių baterijose. Ilgą laiką buvo naudojamos švino rūgšties baterijos, tačiau palaipsniui populiarėja AGM tipo baterijos. Švino rūgšties baterijų tarnavimo laikas trunka apie 5 metus, tačiau jis gali sutrumpėti dėl netinkamos eksploatacijos. Norint nustatyti, ar akumuliatorių baterijų dar tinka naudojimui, reikia įvertinti baterijų būklę. Vienas iš pagrindinių akumuliatorių baterijos būklę nusakančių parametru yra SOH (angl. State of health). Šiame darbe tirta gili iškrovo įtaka baterijos SOH parametru.

Reikšminiai žodžiai: akumuliatorių baterija, akumuliatorių baterijos būklė, gili iškrova.

Įvadas

Automobilių akumuliatorių baterijų pagrindinė paskirtis yra tiekti starteriui variklio paleidimui būtiną elektros energiją bei, tuo metu, kai vidaus degimo variklis nedirba ir nesisuka generatorius, arba tuo atveju, kai nepakanka generatoriaus galingumo veikiant varikliui, aprūpinti įjungtus elektros imtuvus energija. Akumuliatorių baterija ne tik kaupia iš generatoriaus tiekiamą įkrovimui skirtą elektros energiją, bet taip pat sumažina įtampos šuolius ir neleidžia jiems sugadinti kitų elektros sistemos komponentų, t.y. veikia kaip įtampos stabilizatorius elektros sistemoje.

Šiandien serijinėje automobilių gamyboje dažniausiai naudojamos dviejų tipų rūgštinės švino akumuliatorių baterijos:

- standartinės užvedimo, apšvietimo ir uždegimo akumuliatorių baterijos (SLI – angl. Starting, Lighting and Ignition Batteries);
- elektrolito prisotinto stiklo pluošto akumuliatorių baterijos (AGM - angl. Absorption Glass Mat Batteries).

Yra ir kitų tipų baterijos, kurios dažniausiai naudojamos hibridiniuose ir elektriniuose automobiliuose: nikelio-metalo hidrido (NiMH), ličio jonų (Li-ion), ličio polimerų (Li-pol). Šių baterijų pagrindinis trūkumas yra didesnė kaina, dėl ko jas naudoti automobiliuose su vidaus degimo varikliais kaip starterines baterijas netikslinga.

Automobilio variklio paleidimas priklauso nuo akumuliatorių baterijos būklės, o tai ypač svarbu šaltuoju metų laikotarpiu. Baterijų būklė gali būti apibūdinama SOH (State of health) parametru. SOH yra akumuliatorių baterijos būklė, lyginant su jo būkle idealiomis sąlygomis. SOH vienetai yra procentiniai punktai (100% = akumuliatorių baterijos būklė, atitinkanti gamintojo nurodytas specifikacijas).

Rūgštinės baterijos tarnauja apie 3-5 metus, po to baterijos charakteristikos (talpa ir startinė srovė) ženkliai mažėja ir bateriją reikia pakeisti nauja [1]. Švino rūgštinių baterijų tarnavimo laikas gali labai priklausyti nuo eksploatacijos sąlygų, t.y. aplinkos temperatūros, įkrovimo ir iškrovimo ciklų bei režimų. Siuolaikinės baterijos pritaikytos dirbti įvairiose klimatinėse zonose. Baterijos įkrovimo režimu „rūpinasi“ automobilio generatorius ir, jei jis veikia tinkamai, baterija būna visada įkraunama kokybiškai. Starterinės baterijos pritaikytos didelės srovės ciklinėms iškrovoms ir tam tikras šių iškrovų skaičius nėra joms kenksmingas. Automobiliuose, kuriuose įdiegtos START-STOP sistemos, naudojamos ciklinėms iškrovoms atsparesnės AGM arba EFB tipo rūgštinės baterijos [2, 3]. Visų tipų rūgštinės baterijos kenksmingos gilios iškrovos. Automobilį eksploatuojant normaliomis sąlygomis, baterija visą laiką būna įkrauta iki tam tikro lygio. Tačiau, neužvestame automobilyje palikus įjungtus elektros prietaisus, arba automobilio neeksploatuojant ilgą laiką, baterijos gali išsikrauti žemiau kritinio lygio. Bateriją giliai iškrovis, joje aktyviai vyksta senėjimo procesai. Kuo ilgiau baterija būna giliai iškrauta, tuo šie procesai labiau pažeidžia ją ir baterija gali būti sugadinta [4].

Šiame straipsnyje pristatomi atlikti eksperimentiniai tyrimai, kurių metu nustatyta gilių iškrovų ir jų trukmės įtaka automobilinių starterinių švino rūgštinių baterijų savybėms. Tyrimams naudotos įvairaus amžiaus ir pradinės būklės baterijos.

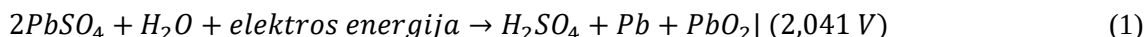
Tyrimo metodika ir įranga

Įprastinė aptarnaujama 12 V akumuliatorių baterija susideda iš šešių skyrių. Akumuliatorių, dar vadinamą plokštelių bloku, sudaro pakaitomis sudėtos teigiamos ir neigiamos plokštelės. Šios plokštelės yra atskirtos skyrikliais ir sudaro plokščių rinkinius. Visos teigiamos plokštelės, kaip ir neigiamos, yra sujungtos lygiagrečiai, todėl jų 2 V įtampa sumuojasi ir ties akumuliatorių baterijos išvadais gauname 12 V. Nuo plokštelių skaičiaus priklauso akumuliatoriaus talpa. Baterijos gali būti ir neaptarnaujamos. Šio tipo

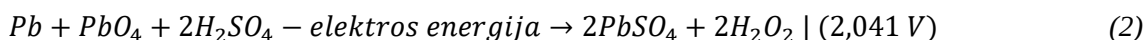
akumuliatorių baterijos išoriškai skiriasi tik tuo, kad nėra aptarnavimo kamščių. Tai buvo galima padaryti, nes švino ir stibio lydinio rėmelius pakeitė švino ir kalcio lydinio rėmeliai, o dėl to labai sumažėjo savaiminis išsikrovimas ir vandens sąnaudos.

AGM akumuliatorių baterijos atsparesnės ciklinėms iškrovoms ir našesnės. Iš esmės AGM baterijos struktūra yra tokia pati, kaip ir SLI tipo akumuliatorių baterijos. Esminis skirtumas yra tas, kad elektrolitas nebėra laivai plūduriuojantis tirpalas, o yra susietas su specialiu stiklo pluošto separatoriumi, vadinamu „Absorbent Glass Mat“. Dėl šio tipo separatoriaus atsiranda didelis kontaktinis plotas ir sumažėja vidinė varža, kuri prisideda prie akumuliatorių baterijos galios. Atsižvelgiant į jų eksploataavimo trukmę, AGM baterijos turi daug privalumų, palyginus su paprastomis SLI baterijomis. AGM baterija gali atlaikyti tris kartus daugiau veikimo ciklą ir išsikrauti 4 – 5 greičiau nei įprastinė SLI baterija.

Visose švino ir rūgšties baterijose veikia tos pačios esminės reakcijos. Įkraunant akumuliatorių bateriją, vyksta cheminės reakcijos, kurių dėka kaupiama generatoriaus atiduodama elektros energija (1) [5]:



Iškraunant, tos pačios cheminės reakcijos, kurios įkrovė akumuliatorių bateriją, vyksta priešinga kryptimi, taip išskiriant sukauptą elektros energiją (2) [5]:



Dauguma akumuliatorių, ypač tie, kurie yra įkraunami, gali savaime išsikrauti. Tai ypač pasakytina apie švino rūgšties akumuliatorių baterijas. Švino rūgšties baterija savaime išsikrauna maždaug 5 % per mėnesį. Išsikraunant akumuliatorių baterijai, joje formuojasi maži švino sulfato kristalai. Tuo atveju, jei akumuliatorių baterija paliekama ilgam laikui, tie maži kristalai gali susijungti į didelius kristalus. Tokia akumuliatorių baterija vadinama sulfatuota (3) [5]:



Baterijų būklė gali būti apibūdinama SOH (State of health) parametru. SOH yra akumuliatorių baterijos būklė, lyginant su jo būkle idealiomis sąlygomis. SOH vienetai yra procentiniai punktai (100% = akumuliatorių baterijos būklė, atitinkanti gamintojo nurodytas specifikacijas).

Tyrimo esmė nustatyti, kokią įtaką akumuliatorių baterijos SOH parametru daro gilaus iškrovimo būklė po tam tikro laiko. Koks laiko tarpas turi praeiti, kad SOH negrižtamai sumažėtų ar akumuliatorių baterija taptų netinkama naudoti. Kokioms akumuliatorių baterijoms gilus iškrovimas kenkia labiau.

Akumuliatorių baterijoms tikrinti ir įkrauti naudojamas testeris Midtronics GRX-3000 EU (1 pav.). Šis diagnostinis akumuliatorių baterijos įkroviklis yra naujausias Midtronics diagnostikos įrankis. Jis apjungia įkrovimo ir diagnostikos režimus į vieną ciklą. Šis prietaisas gali pats pasirinkti parametrus įkrovimui pagal akumuliatorių baterijų būklę ir tiksliai išmatuoti jų SOH bei talpą. Maksimali įkrovimo srovė 50 A [6].



1 pav. Akumuliatorių baterijos testeris Midtronics GRX-3000 EU

Tyrimui parinkta 14 vienetų vienodo tipo akumuliatorių baterijų Motorcraft BXT96R590. Pirmame etape išmatuota visų akumuliatorių baterijų talpa, įtampa ir SOH. Visos tyrimui naudotos akumuliatorių baterijos ne senesnės nei 2 metų [7].

Tyrimo rezultatai

Atlikus pirminius baterijų būklės testus, nustatyti jų parametrai. Šių testų rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė

Matavimų rezultatai prieš iškrovimą

Nr.	Įtampa, V	Šalto paleidimo srovė, CCA	SOH, %	Amžius, mėn.
1.	12,51	578	95	10
2.	12,37	510	75	15
3.	12,61	580	80	13
4.	12,45	537	70	19
5.	12,25	549	90	13
6.	12,39	480	65	12
7.	12,41	563	85	16
8.	12,46	528	85	11
9.	12,40	498	70	13
10.	12,35	556	80	14
11.	12,28	503	65	20
12.	12,47	545	90	11
13.	12,36	526	80	16
14.	12,43	519	75	21

Akumuliatorių baterijos suskirstomos į dvi grupes pagal jų SOH būklę ir iškraunamos iki 0,1 V. Iškrovimas vyksta 16 Ah srove. Iškrautos akumuliatorių baterijos paliekamos iškrautos, pirmą grupę 2 mėn., antrą grupę 4 mėn.

Praėjus 2 mėn. laikotarpiui pirmos grupės akumuliatorių baterijos įkraunamos ir testuojamos pilnu Midtronics GRX-3000 EU diagnostiniu režimu, kuris automatiškai parenka įkrovos dydį ir laiką. Šis režimas nustato akumuliatorių baterijos būklę ir tinkamumą naudoti. Pirmos grupės rezultatai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė

Matavimų rezultatai po iškrovimo

Nr.	Įtampa, V	Šalto paleidimo srovė, CCA	Ankstesnis SOH, %	Dabartinis SOH, %
5.	12,45	540	90	90
7.	12,39	566	85	85
3.	12,40	543	80	75
13.	12,44	430	80	80
2.	12,47	380	75	60
4.	12,42	430	70	65
6.	12,46	365	65	40

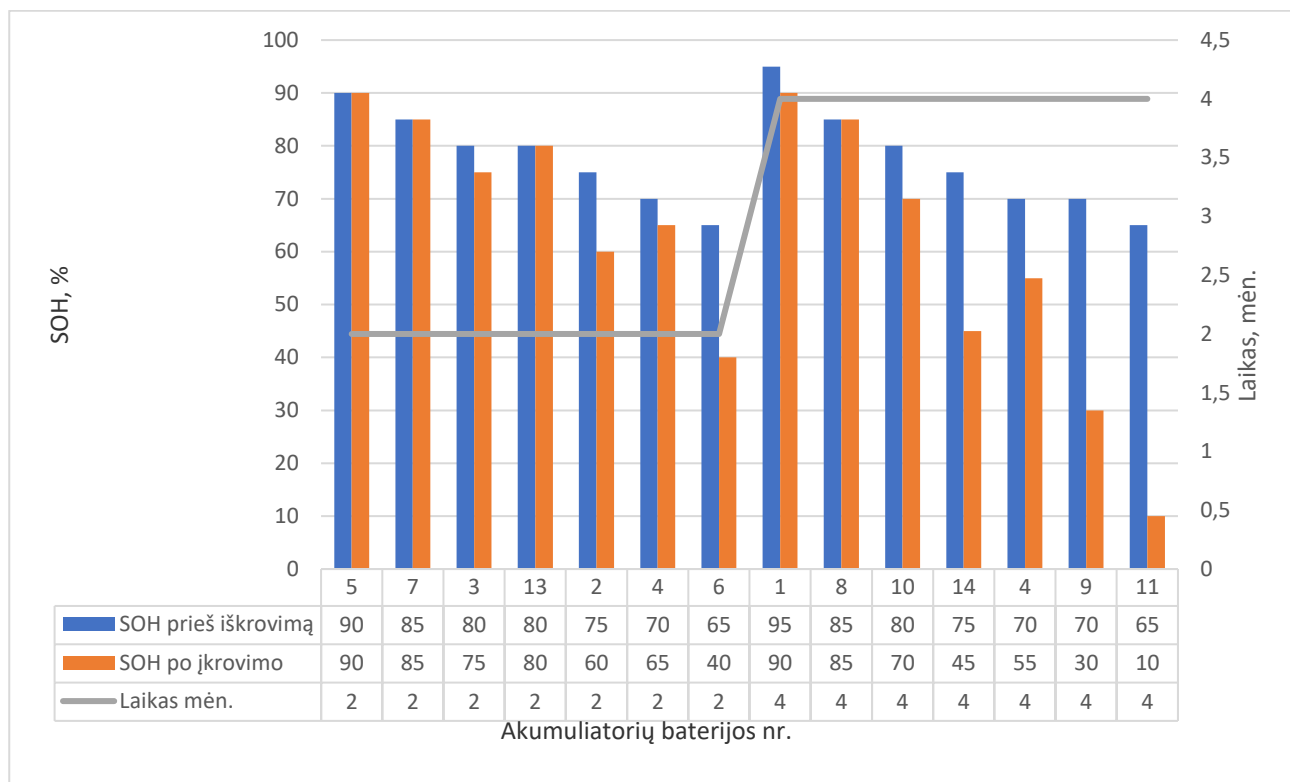
Praėjus 6 mėn. laikotarpiui, antros grupės akumuliatorių baterijos įkraunamos ir testuojamos pilnu Midtronics GRX-3000 EU diagnostiniu režimu, kuris automatiškai parenka įkrovos dydį ir laiką. Antros grupės rezultatai pateikti 3 lentelėje.

2 lentelė

Matavimų rezultatai po iškrovimo

Nr.	Įtampa, V	Šalto paleidimo srovė, CCA	Ankstesnis SOH, %	Dabartinis SOH, %
1.	12,41	550	95	90
8.	12,43	532	85	85
10.	12,40	520	80	70
14.	12,47	475	75	45
4.	12,46	513	70	55
9.	12,42	420	70	30
11.	12,44	380	65	10

2 paveiksle pateikti apibendrinti abiejų grupių baterijų tyrimo rezultatai.



2 pav. Tyrimo rezultatai

Pagal gautus duomenis matome, kad SOH parametras daugiau sumažėjo tų akumuliatorių baterijų, kurių pradinis SOH buvo mažesnis, bei pastebime, kad kuo ilgiau akumuliatorių baterija buvo neįkrautos būsenos, tuo labiau sumažėjo SOH. Tačiau geros būklės akumuliatorių baterijoms gilus iškrovimas turėjo mažai arba neturėjo jokios įtakos. Taigi galima teigti, kad gilaus iškrovimo įtakos dydis priklauso nuo laiko, kurį akumuliatorių baterija būna iškrauta ir nuo pradinės akumuliatorių baterijos būklės. Kuo žemesnis SOH prieš iškrovimą tuo didesnė žala padaroma akumuliatorių baterijai. 2 mėnesių trukmės gilus iškrovimas SOH parametrai sumažino nuo 5 % iki 20 %, o 4 mėnesių trukmės - 20 % iki 50 %.

Išvados

1. Pasaulyje populiariausia akumuliatorių baterija išlieka švino ir rūgšties SLI tipo akumuliatorių baterija. Po jos žengia naujesnės kartos AGM tipo akumuliatorių baterija.
2. Švino rūgšties akumuliatorių baterijų senėjimas ir eksploatavimo trukmė turi stiprią sąveiką ir ryšį tarp eksploatavimo sąlygų ir skirtingų vidinių procesų. Svarbiausios veikimo sąlygos: temperatūra, elektrinis potencialas, iškrovimo lygis. Svarbiausi senėjimo procesai: sulfatacija ir aktyvių medžiagų praradimas.
3. Gilaus iškrovimo įtaka akumuliatorių baterijų būklei priklauso nuo laiko, kurį akumuliatorių baterija būna iškrauta, ir nuo pradinės akumuliatorių baterijos būklės – 4 mėnesių trukmės gili iškrova akumuliatorių baterijų SOH parametrai gali sumažinti nuo 20 % iki 50 %.

Literatūra

1. The lifetime of acid. Batteries. https://batteryuniversity.com/learn/archive/can_the_lead_acid_battery_compete_in_modern_times
2. Bosch S4 EFB technology. http://nl.bosch-automotive.com/en/parts_and_accessories/service_parts_1/batteries_4/s5_efb_1/s5_efb_1
3. Bosch S5 AGM technology. http://nl.bosch-automotive.com/en/parts_and_accessories/service_parts_1/batteries_4/s6_agm_1/s6_agm_1
4. Bosch Car Service: Battery Guide. https://am.boschcarservice.com/us/en/guide_bcs_master_4/battery_maintenance_guide_book/guide_battery_bcs_master
5. Lead Acid Battery: Working, Construction and Charging/Discharging. <https://circuitdigest.com/tutorial/lead-acid-battery-working-construction-and-charging-discharging>
6. Midtronics GRX-3000 EU Diagnostic Battery Station. <http://www.midtronics.com/shop/products-1/battery->

chargers-and-maintenance-products/diagnostic-chargers/gr-series/midtronics-grx-series-diagnostic-battery-charger
7. Motorcraft® Tested Tough® MAX Batteries. https://www.motorcraft.com/us/en_us/home/our-products/batteries/motorcraft-tested-tough-max-batteries.html

THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DISCHARGES ON STARTER BATTERIES

Summary

Lead acid starter batteries are the most popular in conventional cars. These batteries have a lifetime of about 5 years, but it can be significantly shorter if batteries are not properly used. One of the most dangerous factors is the deep discharge of the battery and the time it is discharged. The condition of the batteries is best described by the SOH parameter. The researches revealed the effect of deep discharge on the SOH parameter of the battery. In some cases, the SOH parameter for batteries was reduced by about 50 percent.

Key words:

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Darius Juodvalkis.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, studijų programos Automobilių techninis eksploatavimas docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: transporto technologijos, inžinerinių tyrimų metodologija.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 682 14365, darius.juodvalkis@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Andrius Dargužis.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, lektorius

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, studijų programos Automobilių techninis eksploatavimas lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: transporto technologijos, inžinerinių tyrimų metodologija.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 614 77194, andrius.darguzis@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Darius Juodvalkis

Science degree and name: PhD.

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, associated professor of Automobile technical maintenance study programme.

Author's research interests: transport technology, engineering research methodology.

Telephone and e-mail address: +370 68214365, darius.juodvalkis@edu.ktk.lt

Author name, surname: Andrius Dargužis

Science degree and name: doctor of technological sciences

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, lecturer of Automobile technical maintenance study programme

Author's research interests: transport technology, engineering research methodology.

Telephone and e-mail address: 8 614 77194, andrius.darguzis@edu.ktk.lt

CHOLESTERINIŲ SKYSTŲJŲ KRISTALŲ, NAUDOJAMŲ KAIP INDUSTRINĖS ALYVOS PRIEDAI, TRIBOLOGINIO EFEKTYVUMO TYRIMAS

Yurij Buldakov, Vadim Mokšin
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

Straipsnyje pateikti industrinės alyvos II-40 su cholesterinių skystųjų kristalų priedais ir be jų tribologinių tyrimų rezultatai. Tribologiniai tyrimai buvo atlikti su trinties pora „besisukantis ritinėlis – nejudama trinkelė“, esant tokioms sąlygoms: trinkelės apkrova 1000 N, slydimo greitis 1,43 m/s, skystųjų kristalų koncentracija alyvoje 2 % (pagal alyvos tūrį). Bandiniai buvo pagaminti iš C45 plieno. Tyrimų rezultatai pateikti kaip trinties koeficiento priklausomybės nuo tepimo mišinio sudėties grafikas.

Reikšminiai žodžiai. industrinė alyva, cholesteriniai skystieji kristalai, molekulinė masė, trinties koeficientas.

Ivadas

Pastaruoju metu manoma, kad mažas besitrinančių paviršių trinties koeficientas gaunamas tada, kai jų paviršiniuose sluoksniuose atsiranda teigiamas mechaninių savybių gradientas. Dažniausiai jis atsiranda veikiant aktyviosioms paviršiaus medžiagoms, sąveikaujančių detalių paviršius padengiant plastiškųjų metalų sluoksniais, priedams chemiškai reaguojant su sąlyčio paviršiais arba susidarius tam tikrai tepalo molekulių sandarai besitrinančių kūnų paviršiuose. Tokiu atveju skystieji kristalai yra įdomūs todėl, kad kai kurios jų savybės (pvz., takumas) būdingos skysčiams, o kai kurios (pvz., tamprumas) – kietajam kristaliniam kūnui.

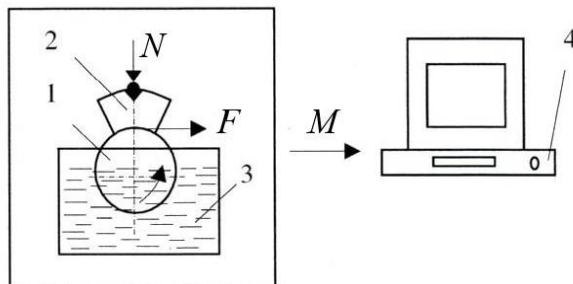
Literatūroje yra nepakankamai duomenų, leidžiančių aprašyti tepimo skystaisiais kristalais mechanizmą, jų poveikį tepalų tribologinėms charakteristikoms. Žinių kaupimas apie tokių mišinių tribologines savybes prasidėjo palyginti neseniai (Ермаков, 2011; Vekteris, Mokšin, 2002; Vekteris, Mokšin, 2003; Aviles et al., 2019; Carrion et al., 2009). Taip pat atsiranda ir publikacijų (Ермаков, 2012), kuriose teigiama, kad gamtinių tribologinių junginių (pvz., sąnarių) trinties koeficientas ir dilimas yra maži dėl jų tepimo medžiagos skystųjų kristalų būsenos.

Šio darbo tikslas – nustatyti cholesterinių skystųjų kristalų įtaką industrinės alyvos tribologinėms charakteristikoms, kad vėliau būtų galima palyginti rezultatus su rezultatais, gautais tiriant variklinę alyvą su tais pačiais skystaisiais kristalais (Vekteris et al. 2004), esant toms pačioms bandymų sąlygoms. Tai leis nustatyti paviršiaus aktyviųjų medžiagų, esančių tepale, vaidmenį, formuojant tepalo ir skystųjų kristalų molekulinį sluoksnį sąveikaujančių kūnų paviršiuose.

Tyrimo standas, metodika ir medžiagos

Bandymai buvo atlikti kompiuterizuotu tyrimu stendu (1 pav.), kurio pagrindas yra trinties mašina CMI-2. Šis standas eksperimento metu leidžia nepertraukiamai matuoti ir kompiuterio atmintyje registruoti elektrinį signalą, proporcingą trinties momentui. Tyrimams buvo naudojama trinties pora „besisukantis ritinėlis – nejudanti trinkelė“, kuri dirbo ribinės trinties sąlygomis.

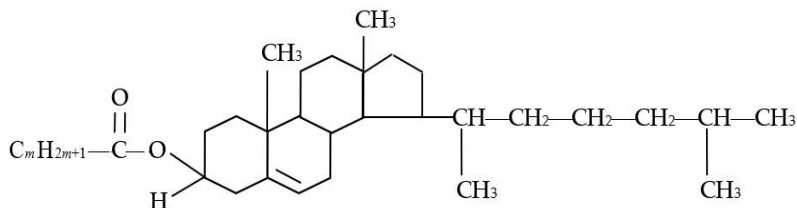
Trinties momentui (ritinėlio veleno sukimo momentui) matuoti buvo naudojamas indukcinis keitiklis, kurio torsionas kietąja jungtimi sujungtas su ritinėlio vėlu. Elektrinis signalas, proporcingas trinties momentui, iš indukcinio keitiklio matavimo ričių eina į elektrinę lyginimo schemą, vėliau per stiprinimo ir „0“ padėties nustatymo bloką patenka į kompiuterio matavimo signalų įvesties ir išvesties plokštę. Užregistruotiems signalams apdoroti buvo naudojama programa „Microsoft Excel“.



1 pav. Tyrimų standas: 1 – besisukantis ritinėlis; 2 – nejudanti trinkelė; 3 – tepalo vonelė; 4 – kompiuteris; N – apkrovos jėga; F – trinties jėga; M – trinties momentas

Šaltinis: sudaryta autorių

C45 plieno trinties pora „besisukantis ritinėlis – nejudanti trinkelė“ (1 pav.) buvo tepama ritinėlių 1 panardinus į vonelę 3 (1 pav.) su tiriamąja alyva su skystųjų kristalų priedais arba be jų. Trinties poros tepimui buvo naudojama industrinė alyva И-40, kurios vienodas kiekis (160 ml) buvo įpilamas į vonelę. Kaip priedai prie jos buvo naudojami tos pačios homologinės eilės cholesteriniai skystieji kristalai (cholesterolio esteriai), kurių bendroji molekulinė formulė pateikta 2 pav., o pavadinimai ir pagrindinės savybės pateikti 1 lentelėje.



2 pav. Cholesterinių skystųjų kristalų molekulinė formulė

Šaltinis: sudaryta autorių

1 lentelė

Cholesterinių skystųjų kristalų savybės

Pavadinimas	Radikalas C_mH_{2m+1} (1 pav.)	Lydymosi temperatūra, °C	Cholesterinės fazės egzistavimo temperatūrų intervalas, °C	Skaidrėjimo temperatūra, °C	Molekulinė masė
Valerijonų rūgšties cholesterolio esteris (Val)	C_4H_9	93	93–101,5	101,5	470,79
Kaprono rūgšties cholesterolio esteris (Kap)	C_5H_{11}	99,5	99,5–101,5	101,5	484,81
Miristo rūgšties cholesterolio esteris (Mir)	$C_{13}H_{27}$	71,4	71,4–84,1	84,1	597,03
Stearino rūgšties cholesterolio esteris (St)	$C_{17}H_{35}$	83	(79,5–75,5) ¹	83	653,14

¹Mezofazė atsiranda tik aušinant lydalą.

Visų bandinių (ritinėlių ir trinkelė) darbiniai (trinties) paviršiai buvo apdirbti iki vidutinio aritmetinio profilio nuokrypio reikšmės $Ra = 2,5 \mu m$.

Tepimo mišiniai buvo ruošiami taip: alyva (160 ml) buvo kaitinama iki skystųjų kristalų lydymosi temperatūros. Tuo pačiu metu buvo lydomi skystieji kristalai, toliau išlydyti skystieji kristalai (2 % pagal alyvos tūrį, tai yra 3,2 ml) buvo supilami į karštą alyvą, mišinys buvo kruopščiai permaišomas ir ataušinamas iki kambario temperatūros. Atšaldytas mišinys buvo supilamas į vonelę, ant veleno užmaunamas ritinėlis, į laikiklį įstatoma trinkelė, įjungiamas stendas, trinkelė apkraunama 1000 N apkrova (kontakto slėgis 5 MPa) ir kompiuteris per tris minutes 0,3 s intervalais registravo elektrinius indukcinio keitiklio signalus. Prieš įjungiant standą, buvo tikrinamas ant veleno pritvirtinto ritinėlio spindulinis mušimas ir visais atvejais jis neviršijo leistinos reikšmės (0,1 mm pagal trinties mašinos CMLI-2 techninį pasą). Ritinėlio sūkiai buvo pastovūs: $n = 545$ sūk./mm (apskritiminis greitis $v = 1,43$ m/s).

Taip buvo išbandyta industrinė alyva be priedų ir su keturių tipų cholesterinių skystųjų kristalų (1 lentelė) priedais. Kiekvienas bandymas buvo atliekamas tris kartus, kad sumažėtų atsitiktinių paklaidų įtaka bandymų rezultatams.

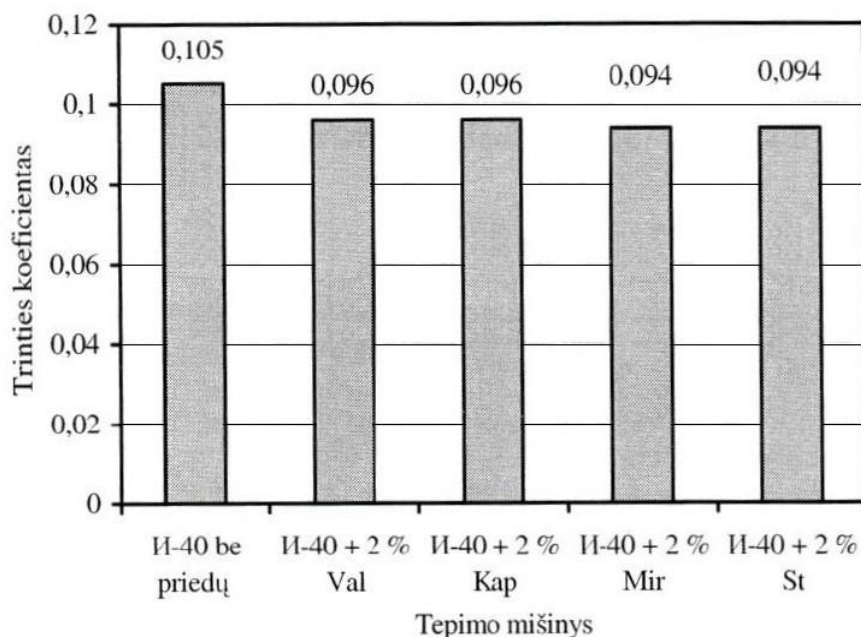
Naudojantis indukcinio keitiklio kalibravimo grafiku, pagal išmatuoto signalo reikšmes buvo nustatytos trinties momento reikšmės, vėliau kiekvienam bandymui buvo apskaičiuota vidutinė trinties momento reikšmė ir pagal formulę (1) nustatytas vidutinis trinties koeficientas.

$$\mu = \frac{2M}{dN}, \quad (1)$$

čia μ – vidutinis trinties koeficientas tepimo mišiniui, M – vidutinis trinties momentas, Nm, d – ritinėlio skersmuo, m ($d = 0,05$ m), N – trinkelės apkrova, N ($N = 1000$ N).

Tyrimų rezultatai

Tyrimų rezultatai kaip vidutinio (trijų bandymų rezultatų) trinties koeficiento priklausomybės nuo tepimo mišinio sudėties grafikas, pateikti 3 pav.



3 pav. Trinties koeficiento priklausomybės nuo tepimo mišinio sudėties grafikas

Išvados

1. Visi ištirti cholesteriniai skystieji kristalai turėjo teigiamos įtakos industrinės alyvos tribologinėms charakteristikoms, be to, naudojant kaip priedus stambiamolekulinius skystuosius kristalus (miristo ir stearino rūgščių cholesterolio esterius), trinties koeficientas sumažėjo nuo 0,105 iki 0,094, t. y., 1,12 karto lyginant su trinties poros tepimu alyva be priedų ir neatsižvelgiant į tai, kad tribologiniai bandymai buvo atlikti esant žemesnei negu skystųjų kristalų perėjimo iš kietosios fazės į skystųjų kristalų fazę tepimo mišinio temperatūrai.

2. Lyginant su mineraline varikline alyva (kurioje ištirpinti tie patys skystieji kristalai leido sumažinti trinties poros trinties koeficientą 1,3 karto, esant toms pačioms kitoms tyrimų sąlygoms), ištirti cholesteriniai skystieji kristalai nepasižymėjo ypač dideliu tribologiniu efektyvumu naudojami kaip industrinės alyvos priedai. Toks mažas efektyvumas gali būti paaiškintas mažesniu paviršiaus aktyviųjų medžiagų kiekiu industrinėje alyvoje, kurios, kaip manoma, padidina skystųjų kristalų molekulių sutvarkymo laipsnį ribiniuose besitrinančių paviršių sluoksniuose.

3. Didėjant cholesterinių skystųjų kristalų molekulinei masei ir molekulių dydžiui, priedų tribologinis efektyvumas didėja.

Literatūra

- Aviles, M.D., Sanchez, C., Pamies, R., Sanes, J., Bermudez, M.D. 2019. Ionic liquid crystals in tribology. *Lubricants*, 7(9), 72.
- Carrion, F.J., Martinez-Nicolas, G., Iglesias, P., Sanes, J., Bermudez, M.D. 2009. Liquid crystals in tribology. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(9), 4102–4115.
- Vekteris, V., Mokshin, V., Buchinskas, V. 2004. Influence of liquid crystals to friction characteristics of mineral lubricants. *Proceedings of the 11th World Congress in Mechanism and Machine Science*, April 1–4, 2004, Tianjin, China, 5, 2320–2323.
- Vekteris, V., Mokšin, V. 2002. Use of liquid crystals to improve tribological properties of lubricants. Part I: Friction coefficient. *Mechanika*, 6, 67–72.
- Vekteris, V., Mokšin, V. 2003. Use of liquid crystals to improve tribological properties of lubricants. Part II: Friction zone temperature. *Mechanika*, 1, 56–60.
- Ермаков, С.Ф. 2012. Трибология жидкокристаллических наноматериалов и систем. Минск: Издательский дом Белорусская наука.

RESEARCH INTO THE TRIBOLOGICAL EFFECTIVENESS OF TWISTED NEMATIC LIQUID CRYSTALS USED AS INDUSTRIAL OIL ADDITIVES

Summary

The paper presents results of tribological tests of industrial oil И-40 with and without twisted nematic liquid crystal additives. Tribological tests were performed with friction pair "rotating roller – stationary block" under the following conditions: block load was 1000 N, sliding (peripheral) speed was 1.43 m/s, liquid crystal concentration in oil was 2% (by oil volume). Rollers and blocks were made of C45 steel. The results are presented as a graph of the dependence of the friction coefficient on the composition of the lubricant.

Keywords: industrial oil, twisted nematic liquid crystals, molecular mass, friction coefficient.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Yuriy Buldakov

Mokslo laipsnis ir vardas: inžinerijos mokslų bakalauras

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: tribologija

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 5 2370594, yuriy.buldakov@stud.vgtu.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Vadim Mokšin

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, profesorius

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

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

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 5 2370594, vadim.moksin@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Yuriy Buldakov

Science degree and name: bachelor of engineering

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

Author's research interests: tribology

Telephone and e-mail address: 8 5 2370594, yuriy.buldakov@stud.vgtu.lt

Author name, surname: Vadim Mokšin

Science degree and name: Ph. D., professor

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

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

Telephone and e-mail address: 8 5 2370594, vadim.moksin@vgtu.lt

VANDENILIO TAIKYMAS VIDAUS DEGIMO VARIKLYJE

Dalius Kalisinskas
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Mažėjant iškastinių energijos šaltinių išteklių ir jiems brangstant, ieškoma būdų kaip sumažinti jų vartojimą. Transporto sektoriuje pagrindinis vartojamas energijos šaltinis yra degalai. Degant degalams į aplinką yra išmetama kenksmingos dujos, kurios sukelia „šiltnamio efektą“, smogą. Taip pat senka naftos atsargos, todėl didėja degalų kainos. Ieškoma įvairių alternatyvų. Viena iš alternatyvų tai vandenilio panaudojimas kaip priedas tradiciniams degalams. Degdamas vandenilis neišskiria nuodingų deginių. Automobilyje vandenilio gavybai naudojamas vandenilio generatorius, kuris elektrolizės būdu iš vandens išskiria vandenilį. Degalų pagerinimas vandeniliu – vidaus degimo variklio efektyvumo didinimas. Vandenilio naudojimas kaip priedas tradiciniams degalams pagerina vidaus degimo variklio charakteristikas t.y. sumažėja kuro sąnaudos, sumažėja kenksmingų priemaišų koncentracija išmetamosiose dujose. Atlikta variklio ekologiskumo tyrimai, sudarytas skaitinis modelis kuro sąnaudų ir išmetamųjų dujų kiekiui nustatyti prie skirtingų variklio režimų.

Reikšminiai žodžiai: vandenilis, kuras, emisija, energetyka.

Įvadas

Kiekvienais metais pasaulyje darosi vis aktualesnė aplinkosaugos problema. Ieškoma būdų kaip kovoti su klimato kaita. Nemažai valstybių, kovojančių su klimato kaita, ėmė skatinti elektromobilių pramonę (Delfi autonaujienos, 2017). Elektros jėgainių naudojimas šiuolaikiniuose automobiliuose yra ganėtinai patogus aplinką tausojantis procesas, tačiau vienas iš pagrindinių šio proceso trūkumas, skatinantis žmones naudoti skystojo kuro jėgaines – ilgas elektros akumuliatorių krovimo laikas. Vystantis elektromobiliams, gretimai vystosi ir benzininiai bei dyzeliniai vidaus degimo varikliai. Siekiant sumažinti šių variklių daromą žalą aplinkai, vykdomi eksperimentai ieškant ekologiškesnių bei ekonomiškai naudingesnių degalų pakaitalų. Viena iš galimų vystymo kryptų yra vandenilio panaudojimas transporte. Vandenilio, kaip energijos šaltinio, naudojimas plečiamas vystant degalų elementų technologijas, kurios skirtos vandenilio dujų energijos konvertavimui į elektros energiją. Tačiau ir elektros ir vandenilio tiekimo transportui infrastruktūra šiuo metu yra vystymo stadijoje, todėl pereinamuoju laikotarpiu aktualu pradėti naudoti giminingas technologijas. Yra galimybė transporte, turinčiame vidaus degimo variklius, kaip papildomus degalus naudoti vandenilio dujas (Rimkus, Bučinskas, 2019).

Deginant iškastinį kurą sukeliami rimtų problemų aplinkai. Pagrindinis neigiamas poveikis aplinkai yra automobilio išmetamosios dujos, t.y. NO_x, CO, CO₂ ir nesudegę angliavandeniliai.

Variklio išmetamų teršalų kiekis nustatomas pagal variklio eksploatavimo sąlygas. Pagrindiniai emisijos variklio oksiduoja azoto, anglies oksidai ir nesudegusių angliavandenilių.

NO_x - azoto oksidai paprastai susidaro aukštoje temperatūroje.

CO ir CO₂ – gaunamas sudegus kurui. Jei yra pakankamai deguonies, tada CO oksiduojama į CO₂. Anglies monoksidas dažniausiai susidaro esant riebiam mišiniui.

Nesudegę angliavandeniliai susidaro dėl nepilnai sudegusio kuro. Degimo kameros šilumos prarandama prie kameros sienelių, todėl esantis degus mišinys prie sienelių nespėja pilnai sudegti. Degimo kameroje dažnai yra spragų ir įtrūkimų, kurios neleidžia sklisti liepsnai. Šios sritys padidina nesudegusių angliavandenilių kiekį. Kadangi yra per mažas degimo greitis, todėl nesudegę angliavandeniliai yra išmetami per atsidiariusi išmetimo vožtuvą. Norint, kad sudegtų pilnai kuras, reikia padidinti degimo greitį. Tai galima padaryti papildomai į degųjį mišinį padavus vandenilį (Yilmaz et al., 2010).

Vandenilis užima reikšmingą vietą kaip pildomas kuras, naudojant geriau sudega kuras, didesnis degimo greitis, svaresnės išmetamosios dujos. Vandenilio liepsnos greitis yra greitesnis, nei kitų kuro rūšių, todėl galimai mažiau šilumos perduodama aplinkai (Subramanian, Ismail, 2018). Tai pagerina šilumos efektyvumą.

Vandenilis gali būti naudojamas kaip priedas benziniams, dyzeliniam ir dujiniais varikliams (Dulger, Ozcelik, 2000). Vandenilis gali būti paduodamas įvairiais būdais. Atliktame tyrime vandenilis gaunamas vandenilio generatoriuje. Vandenilis į degimo kamera gali būti paduodamas per papildomą purkštuką tiesiai į degimo kamera arba tiesiog patenka su įsiurbiamu oru.

Padavus vandenilį variklis gali dirbti liesnesniu mišiniu, todėl geriau sudega kuras ir mažiau susidaro anglies monoksido (Dulger, Ozcelik, 2000).

Nepilnas sudegimas yra pagrindinis benzinių ir dyzelinių variklių CO, HC, NO_x emisijos priežastis. Mažesnė tarša pasiekama kai degalai sudega pilnai (Karagoz et al., 2015).

1 lentelė

Kuro degimo charakteristikos

Savybės/Kuras	Vandenilis	Benzinas	Dyzelinas
Savaiminio užsidegimo temperatūra (C)	585	440	280
Degumo riba ()	4-75	1,3-7,6	0,7-5
Stechiometrinis mišinys (% masės)	34,7	15	14,55
Laminarinis liepsnos greitis (cm/s)	270	33	33
Žemutinė kaloringumo reikšmė (Kcal/kg)	28,673	10,5	10,3
Išskiriamas šilumos kiekis (Kcal/ m ³)	707	860	845
Liepsnos temperatūra (C) ore	2045	2300	2290
Oktaninis skaičius	>126	87-98	nėra

Tyrimo tikslas - teoriškai ir eksperimentiškai nustatyti išmetamųjų dujų kiekį vidaus degimo varikliams veikiant įprastiniais degalais su papildomai tiekiamomis vandenilio dujomis.

Tyrimo uždaviniai:

1. Nustatyti vandenilio priedo tradiciniuose degaluose įtaką išmetamųjų dujų sudėčiai.
2. Sudaryti matematinį išmetamųjų dujų modelį.

Eksperimento sudarymas

Eksperimento tikslas nustatyti dyzelinio variklio ekologiškumo ir ekonomiškumo parametrus. Matuojamos išmetamosios dujos NO_x, HC, dūmingumas. Taip pat buvo išmatuotos kuro sąnaudos prie skirtingų variklio režimų.

Eksperimentui atlikti buvo pasirinktas 1999m. automobilis su 1.9 litro vienaėiliu dyzeliniu varikliu (2 lentelė). Tyrimams atlikti šiame automobilyje sumontuotas vandenilio generatorius. Vandenilio generatorius gamina vandenilio dujas, kurias variklis pats įsiurbia kartu su oru. Tada šis mišinys patenka į vieną ertmę su degalais ir pasiekia tinkamą riebumą. Degimo kameroje vandenilis sprogs greičiau nei užsidega degalai, tad tuo metu išsiskiria energijos kiekis, kuris dar tuo pačiu degalus paverčia „savotišku“ degalų rūku, kas dar padidina jų degimo efektyvumą.

2 lentelė

Automobilio techniniai duomenys

Pavadinimas	VW Golf
Pilnoji masė	1790 kg
Ilgis	4020 mm
Plotis	1695 mm
Aukštis	1405 mm
Įsibėgėjimas iki 100km/h	12.8s
Maksimalus greitis	175 km/h
Kuro sąnaudos:	
Mieste	6.5 ltr./100km
Užmiestyje	4.1 ltr./100km
Mišriu	5.0 ltr./100km
Kuro rūšis	Dyzelinas
Suspaudimo laipsnis	22.0:1
Maksimali galia	66kW

Vandenilio generatorius užpildomas elektrolitu, kurio sudėtis distiliuotas vanduo ir kalio hidroksidas. Vandenilio generatorius veikia elektrolizės principu. Tam reikalinga 12 voltų įtampa ir 25 amperų srovė. Vandenilio generatoriaus pagamintų dujų kiekis per valandą siekia 130 litrų. Veikiant generatoriui kyla elektrolito temperatūra, o didėjant temperatūrai generatorius naudoja vis didesnę srovę. Nuo srovės stiprio priklauso vandenilio dujų išsiskyrimo efektyvumas. Bandymais nustatyta, kad viršijus 28 amperų srovę pradeda skirtis kartu su vandeniliu ir vandens garai. Todėl reikalinga įranga stabilizuoti elektros srovę. Nuolatinės srovės naudojimas elektrolizės reakcijai nėra našiausias būdas, išgauti deguonies ir vandenilio dujas iš elektrolito. Kad pasiekti didžiausią vandenilio generatoriaus našumą bei valdyti elektrolizės srovę, kuri, dėl elektrolizės metu išskiriamos šilumos, nėra pastovi, yra pajungimas srovės impulsų generatorius (SIG).

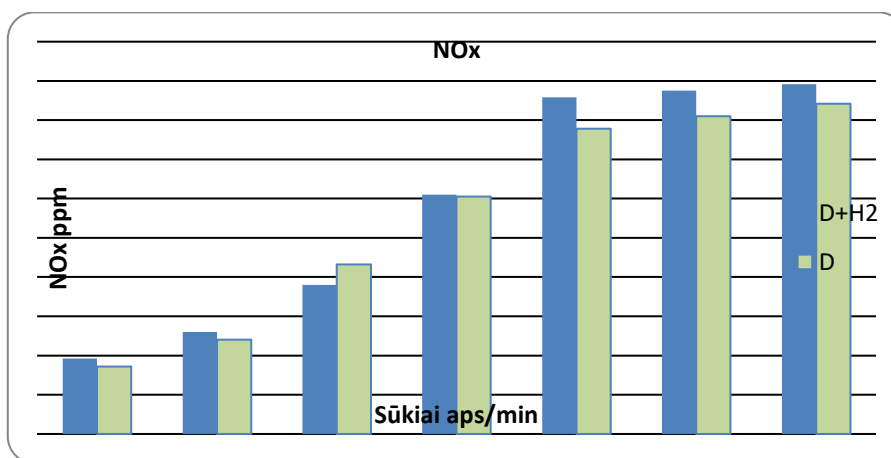
SIG veikimo principas yra dažnas grandinės pertraukimas, kuris apibūdinamas dažniu (Hz), tai yra kiek kartų per sekundę buvo pertraukta grandinė (įjungta ir išjungta). Taip nuolatine srovė paverčiama į tam tikro dažnio kintamą srovę, bet paliekant tą pačią įtampą. Tai leidžia ekonomiškiau naudoti automobilio energiją. Taip pat mes galime keisti dujų išsiskirimo kiekį keisdami galingumą, kuris priklauso nuo srovės. Apžvelgus literatūrą naudingiausias dažnis yra apie 70%.

Išmetamosios dujos matuotos su dūmų analizatoriumi Testo 350s. Šiuo prietaisu buvo išmatuota dyzelinio automobilio emisija. Matavimai atlikti varikliui veikiant dyzelinu ir papildomai padavus vandenilį. Dujų emisija matuota esant skirtingiems variklio režimams. Gauti duomenys pateikti grafiko pavidalu.

NOx emisija. NOx yra bekvapės, bespalvės dujos, natūralus degimo šalutinis produktas. Esant 1260 °C laipsnių, azotas tampa oksidatoriumi, o tai reiškia, jog dabar jis turi natūralų polinkį jungtis su deguonies atomais. NOx yra vienas atomas azoto ir nežinomas (arba "x") skaičius deguonies atomų.

Atsidarius įsiurbimo vožtuvui, mažo slėgio sritis, susidariusi cilindre, greitai prisipildo atmosferinio slėgio, 14,7 psi, oro. Šis suslėgtas oras jungiasi su kuro angliavandeniliais (HC) ir sudaro pagrindą degimui, nustumiančiam stūmoklį ir sukuriančiam variklio galią. Suspaudimo metu, kai stūmoklis pradeda kilti, oro ir kuro molekulės dėl tarpusavio trinties įkaista.

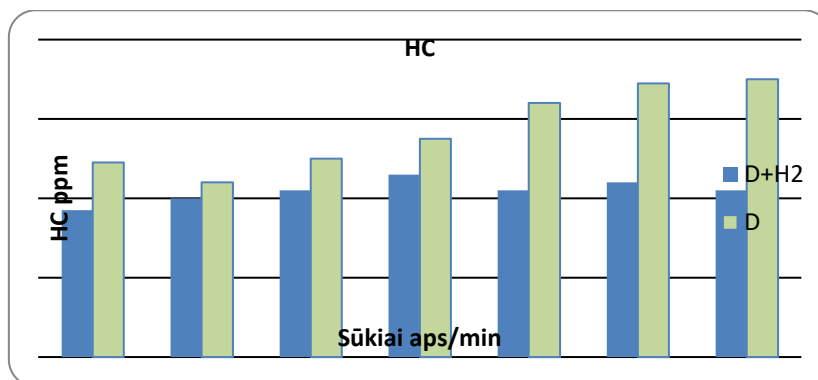
Absorbuodamos šilumą, molekulės plečiasi. Toliau kylant stūmokliui, slėgis cilindre toliau didėja, todėl trintis tarp molekulių dar labiau išauga, dėl to dar labiau didėja temperatūra, o molekulės dar labiau plečiasi. Absorbuodamos šilumą, angliavandenilių molekulės skyla į vandenilį ir anglį; o deguonies molekulės (O₂) skyla į du atskirus deguonies atomus. Dėl uždegimo kibirkšties vienas deguonies atomas oksiduoja (susijungia su jais) du vandenilio atomus ir sukuria vandenį, o du deguonies atomai su vienu anglies atomu sudaro anglies dvideginį. Didėjant oksidacijai, naujai susidaręs vanduo ir anglies dvideginis sukuria papildomą slėgį, kurį variklis paverčia į naudingą galią, kurios pagalba sukamas alkūninis velenas varo automobilį. Kol degimo kameros temperatūra išlieka žemiau 1260 °C laipsnių, azoto molekulės išlieka inertinės, o tai reiškia, jog jos neskyla į atskirus azoto atomus ir nesijungia su kitomis dujomis. Tačiau, pasiekus 1260 °C laipsnių, su iš esmės geromis dujomis vyksta blogi dalykai. Azoto molekulės skyla ir jungiasi su deguonimi, sudarydamos NOx junginius.



1 pav. NOx kiekis. D – degalai dyzelinas; D+H₂ – degalai dyzelinas ir vandenilis
Šaltinis: sudaryta autorių

Panaudojant vandenilį NOx kiekis padidėja iki 13 procentų (1 pav.). NOx sumažėja kadangi degdamas kuras su vandeniliu gaunama didesnė degimo temperatūra.

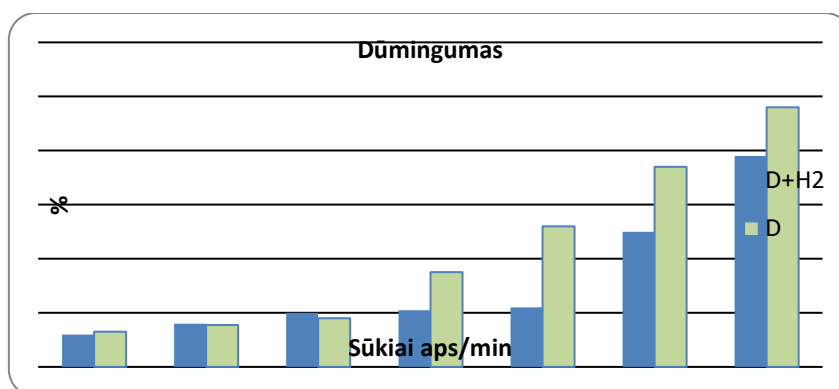
Nesudegusių angliavandenilių (HC) į aplinką išmetama mažiau, varikliui dirbant liesesniais degiaisiais mišiniais. Nevisiškai apkrovus variklį, dėl mažesnės temperatūros degimo kameroje anglies monoksido susidaro daugiau, o nuo kokybinių išpurškimo parametrų tiesiogiai priklauso HC kiekis išmetamosiose dujose. Panaudojant papildomai vandenilį gaunamas didesnis liepsnos greitis. Liepsna labai greitai išplinta visame cilindre. Kuras išdega netgi cilindre ar cilindro galvutėje esančių spragų ar įtrūkimų. Todėl žymiai sumažėja angliavandenilių kiekis išmetamosiose dujose. Panaudojant vandenilį išmetamosiose dujose HC sumažėjo vidutiniškai 30 ppm. Iš paveikslų matyti, kad angliavandenilių mažesnė koncentracija išmetamosiose dujose yra esant didesniems variklio sūkiams. Viena iš galimų priežasčių yra angliavandenilių oksidacija. Liepsnos gesimas nedideliu atstumu nuo cilindro sienelių ir nustato pusiausvyrą tarp karštos zonos ir liepsnos reakcijos metu išsiskyrusios liepsnos šilumos. Panaudojant vandenilį geriau sudega kuras. Angliavandenilių kiekis pateiktas (2 pav.).



2 pav. Angliavandenilių kiekis

Šaltinis: sudaryta autorių

Didžiausia dyzelinio variklio problema yra jo dūmingumas. Sumažinti suodžių kiekį išmetamosiose dujose iki leistino dydžio galima taikant ištisą priemonių kompleksą, kuris optimizuoja degimo procesą. Kuo kuro lašeliai yra smulkesni geriau kuras garuoja ir maišosi su oru, todėl geriau sudega. Suodžių kiekiui sumažinti panaudosime vandenilį, kaip priedą dyzeliniams degalams. Variklis gali veikti su liesesniu kuro-oro santykiu, neprarandant variklio galios. Dūmingumas pateiktas (3 pav.).



3 pav. Suodžių kiekis

Šaltinis: sudaryta autorių

Išmatavus suodžių skaičių išmetamosiose dujose, kaip matome iš diagramos, kad variklio dūmingumas sumažėjo 23%. Papildomai padavus vandenilį variklis gali veikti liesesniu mišiniu. Dyzeliniame variklyje suodžių kiekis didėja didinant variklio sūkius, kadangi yra riebinamas kuras.

Nedidelis vandenilio priedas variklio įsiurbiamoje oro degalų porcijoje leidžia varikliui veikti su liesesniu oro degalų mišiniu. Vidaus degimo variklių daugumos krūvių atveju normaliam greitėjimui reikalingi beveik stochiometriniai oro-degalų mišiniai, tačiau veikiant tuščia eiga, esant sumažintiems krūviams arba nuosaikiai greitėjant vandenilio priedas į liesą degimo mišinį užtikrina normalų variklio veikimą, tuo pačiu metu sumažindamas išmetamųjų dujų kiekį ir degalų sunaudojimą.

KOMPIUTERINIS MODELIAVIMAS

Teoriniams vandenilio-kuro-oro mišinio tyrimams buvo panaudota Maskvos valstybinio Baumano vardo technikos universiteto mokslininkų sukurta kompiuterinė dyzelinio variklio darbo procesų modeliavimo programa. Šis modelis tai variklio darbo procesų ir visų termodinaminių variklių ciklų modaliavimo programinė įranga, skirta modeliuoti ir optimizuoti darbo procesams, dviejų ir keturių taktų vidaus degimo varikliams su įvairių tipų papildomu pripūtimu. Ji kartu yra ir termodinaminė programinė įranga, pasižyminti tuo, kad variklio cilindrai laikomi atvira termodinamine sistema.

Azoto oksidų susidarymo modeliavimas atliekamas padalinant cilindrą į dvi zonas t.y naujai pripildytų dujų zona ir deginių dujų zona. Naujai pripildytą dujų zoną sudaro oro, kuro ir liekamosios dujos. Prieš degiojo mišinio užsidegimą yra tik naujai pripildytų dujų zona. Degimo metų deginamųjų dujų tūris padidėja. Degimui apskaičiuoti daroma prielaida, kad oro ir kuro santykis kinta tiesiškai nuo pradinės vertės $AF_{ini} < 1$ iki 1. Oro ir degalų santykio degimo AF_c vertė yra švaistiklio ϕ funkcija

$$AF_c = AF_{ini} + \frac{1 - AF_{ini}}{\varphi_z} \varphi \quad (1)$$

čia: φ_z – degimo trukmė

Skaiciuojant NO susidarymą degimo zonoje, nustatoma vidutinė NO koncentracija visoje degimo kameroje. NO koncentracija apskaičiuojama:

$$\frac{dr_{NO}}{d\varphi} = \frac{p \cdot 2.333 \cdot 10^7 \cdot e^{\frac{38020}{T_{Cz}}} \cdot r_{N_2} \cdot r_{O_{eq}} \cdot \left[1 - \left(\frac{r_{NO}}{r_{NO_{eq}}} \right)^2 \right]}{R \cdot T_{az} \left(1 + \frac{2346}{T_{Cz}} \cdot e^{\frac{3365}{T_{az}}} \cdot \frac{r_{NO}}{r_{O_{2eq}}} \right)} - \frac{1}{\omega} \quad (2)$$

čia: p – slėgis cilindre, Pa; T_{Cz} – temperatūra degimo zonoje, K; R – dujų konstanta J/molK; ω – kampinis švaistiklio greitis 1/s; $r_{NO_{eq}}$, $r_{N_{2eq}}$, $r_{O_{eq}}$, $r_{O_{2eq}}$ – azoto oksidų pusiausvyros koncentracijos.

NO koncentracija cilindre $r_{NOc} = r_{NO} \cdot r_{bc}$

r_{bc} – deginamųjų dujų frakcija cilindre

NO koncentracija cilindre „sausų“ deginamųjų dujų

$$e_{NO} = \frac{30 r_{NO} M_{bg}}{L_c \cdot \eta_m} \cdot 3600000 \quad (3)$$

čia: M_{bg} – dujų masė cilindre degimo pabaigoje, kmol; L_c – darbas atliktas per ciklą kJ; η_m – variklio mechaninis naudingumo koeficientas.

Suodžių susidarymo modeliavimas atliekamas pagal Dr. Prof. Razleitsev sukurta matematinę modelį. Suodžiai susidaro dėl aukštos temperatūros terminio polimerizacijos ir dehidritacijos garai-skystis branduolio išgarinimo lašai. Suodžių formavimasis degimo zonoje

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_K = 0.004 \frac{q_c}{V} \cdot \frac{dx}{d\tau} \quad (4)$$

čia: V – cilindro tūris; q_c – ciklas kuro masės; $\frac{dx}{d\tau}$ – šilumos išsiskyrimo greitis.

Suodžių formavimasis spartėja dėl aukštos temperatūros terminės polimerizacijos t.y. nevisiškas lašų virtimas garais. Suodžių kiekis įpurškimo metu apskaičiuojamas:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_n = 1.7 \frac{q_c}{V} \cdot \frac{1 - \exp \left[- \left(\frac{\sqrt{K \cdot t}}{d32} \right)^n \right]}{\tau_{enp}} \quad (5)$$

čia: τ – dabartinis laikas nuo įpurškimo pradžios; τ – įpurškimo trukmė; n – pasiskirstymo koeficientas; K – garavimo konstanta; $d32$ – vidutinis lašų skersmuo.

Po įpurškimo suodžių kiekis apskaičiuojamas

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_n = 0.0028 \left(1 - X_{knbp} \right) \frac{n' q_c}{2 \cdot V \cdot \tau_2} \left(\frac{\sqrt{K \cdot \tau}}{d32} \right)^{n'} \exp \left(- \left(\frac{\sqrt{K \cdot \tau}}{d32} \right)^{n'} \right) \quad (6)$$

čia: τ_2 – dabartinis laikas po įpurškimo nutraukimo; X_{knbp} – šilumos kiekis po įpurškimo

Suodžių įvertinimas degimo metu

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_B = 3.1 \cdot 10^{-6} n^{0.5} p \cdot [C] \quad (7)$$

čia: p – slėgis cilindre MPa; $[C] = \frac{C}{V}$ – suodžių koncentracija cilindre.

Suodžių koncentracija įvertinama dėl plėtimosi

$$\frac{d[C]}{d\tau} = B \left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_K + B \left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_n - \frac{1}{B} \left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_B - \left(\frac{d[C]}{d\tau} \right)_V \quad (8)$$

čia: $B = A \left(\frac{n_{nor}}{n} \right)^m$ - empirinis koeficientas; n – variklio sūkliai; n_{nor} – sūkliai esant maksimaliai galiai; A – koeficientas.

Išmetamųjų dujų suodžių koncentracija susijusi su normaliomis degimo sąlygomis

$$[C]_H = \int_{\varphi_n}^{480} \frac{d[C]}{d\tau} \cdot \frac{d\varphi}{6n} \left(\frac{0.1}{p_{480}} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (9)$$

čia: p_{480} – slėgis cilindre prieš 60° iki viršutinio rimties taško; k – išmetamųjų dujų adiabatinė eksponentė
Dūmingumo lygtis

$$Hardrige = 100 \cdot [1 - 0.9545 \exp(-2.4226[C])] \quad (10)$$

Dyzelinio variklio skaitinis modelis buvo sudarytas varikliui dirbant su kuru dyzelinas ir papildomai padavus vandenilį. Varikliui nustatoma apkrova. Atlikti keturi modeliavimo atvejai, kai variklis neapkraunamas, apkraunamas 25%, 50%, 70% apkrova (3 lentelė). Gauti ekologiniai parametrai pateikti lentelėje.

3 lentelė

Ekologiniai parametrai

	Dyzelinas	Dyzelinas + vandenilis	Dyzelinas + vandenilis	Dyzelinas + vandenilis	Dyzelinas + vandenilis
Apkrova	0%	0%	25%	50%	75%
Dūmų lygis	4,765	2,937	3,218	4,652	6,216
„Bosch“ dūmų numeris	0,522	0,321	0,352	0,496	0,822
Absoliutaus šviesos sugerties koeficientas	0,114 (1/m)	0,069 (1/m)	0,095(1/m)	0,457(1/m)	0,194(1/m)
Specific particulate matter	0,095 (pm)	0,052 (pm)	0,068(pm)	0,075(pm)	0,154(pm)
Specifinės kietosios dalelės	793,80 (g/kWh)	769,32 (g/kWh)	780,62 (g/kWh)	790,30 (g/kWh)	870,60 (g/kWh)
Šlapioji NO _x frakcija išmetamosiose dujose	1087,4 (ppm)	617,53 (pm)	700,41(pm)	905,8(pm)	1200,6(pm)
Savitasis NO _x išmetimas	7,37 (g/kWh)	4,19 (g/kWh)	4,01 (g/kWh)	6,52 (g/kWh)	8,02 (g/kWh)

Variklio ekologiniai parametrai pagerėja, bet viršijus daugiau kaip 50 procentų apkrova gan žymiai padidėja teršalų kiekis išmetamosiose dujose.

Išvados

Atlikus tyrimus, kai vandenilis yra naudojamas vidaus degimo variklyje, kaip priedas tradiciniams degalams nustatyta:

1. NO_x išmetamosiose dujose padidėja iki 13%. Pastebėta, kad NO_x nežymiai sumažėja varikliui dirbant 2000 aps/min sūkių diapazone.
2. Anglaivandeniliai išmetamosiose dujose sumažėja apie 30ppm, nes variklis naudojant papildomai vandenilį gali dirbti liesesniu mišiniu.
3. Dūmingumas sumažėja iki 23%, nes su vandeniliu degalai geriau sudega.
4. Atlikus skaitinį modeliavimą nustatyta, kad variklio ekologiniai parametrai pagerėja, kai neviršijama 50% variklio apkrovos.

Literatūra

1. Delfi autonaujienos 2017 [žiūrėta 2019 m. rugsėjo 20 d.] Prieiga per internetą: <https://www.delfi.lt/auto/autonaujienos/ar-elektromobiliai-taps-panaceja-nuo-aplinkos-tarsos.d?id=74989060>
2. Dulger Z and Ozcelik K. *Fuel Economy Improvement by on Board Electrolytic Hydrogen Production*. Int J Hydrogen Energy (25) (2000), p 895-897.
3. Yilmaz, A. C.; Uludamar, E.; Aydin, K. 2010. Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines, *International Journal of Hydrogen Energy* 35: 11366–11372.
4. Karagoz, Y.; Yuca, N.; Sandalcı, T.; Dalkılıç, A.S. 2015. Effect of hydrogen and oxygen addition as a mixture on emissions and performance characteristics of a gasoline engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40: 8750–8760.
5. Rimkus A., Bučinskas E. Brauno dujų įtaka kibirkštinio uždegimo variklio degimo procesui. Inžinerinės ir edukacinės technologijos, 2019: 99-104.

6. Rimkus, A. 2017. HHO (H₂/O₂) dujų panaudojimo vidaus degimo variklyje efektyvumo vertinimas. Inžinerinės ir edukacinės technologijos, 2017(2): 101–107
7. Subramanian, B.; Ismail, S. 2018. Production and use of HHO gas in IC engines. International Journal of Hydrogen Energy, 43: 7140–7154.

APPLICATION OF HYDROGEN IN THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Summary

Now, when fossil fuel sources are constantly running out and therefore becoming more and more expensive, we are trying to find ways how to minimize the consumption. In transport section, main energy source is liquid fuel. Using that fuel noxious gases are being emitted to atmosphere and creates “greenhouse” effect as well as smog. The reserve is running out and therefore prices are becoming higher. So we are looking for various alternatives. One of them is use of hydrogen as a supplement to traditional fuel. While burning hydrogen doesn’t create noxious compounds. In a car hydrogen is being created with a hydrogen generator, which extracts it from water by using electrolysis. The benefit using hydrogen is – better efficiency of internal combustion engine. Hydrogen helps to lower fuel consumption as well as emission of noxious gases. Research of efficiency and emissions of internal combustion engine using hydrogen as additive to traditional fuel has been carried out, numerical model has been created to demonstrate consumption and emissions during different working conditions.

Key words: hydrogen, fuel, exhaust, energetics

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Dalius, Kalisinskas

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorius

Darbo vieta ir pozicija: Kauno technikos kolegijos, autotransporto elektronikos studijų programos lektorius

Autoriaus mokslinių interesų sritys: inžinerinių tyrimų metodologija

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 68177017, dalius.kalisinskas@ktk.edu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Dalius Kalisinskas.

Science degree and name: Master, Lecturer

Workplace and position: Kaunas Technical College, Lecturer of the program of motor transport electronics studies.

Author’s research interests: methodology of engineering sciences

Telephone and e-mail address: +370 68177017, dalius.kalisinskas@ktk.edu.lt

PRIEDŲ ĮTAKA VARIKLINĖS ALYVOS TRIBOLOGINĖMS SAVYBĖMS

Tomas Mickevičius, Artūras Kupčinskas
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Variklinės alyvos atlieka ne tik tepimo, bet ir plovimo, aušinimo bei kitas svarbias funkcijas. Tinkamas alyvos parinkimas stipriai nulemia variklio ilgaamžiškumą. Įvairios variklių dalys dėvėsi ir joms nuolatos reikalinga priežiūra. Susidėvėjusius komponentus keičiant naujais reikalaujama didelių investicijų, todėl toks problemos sprendimas yra ekonomiškai nenaudingas. Siekiant to išvengti galima panaudoti priedus į alyvą, kurios kiek galima labiau sumažintu trintį ir prailgintu mechanizmo veikimo laiką. Norint optimizuoti šių priedų naudojimą ir didinti panaudojimo efektyvumą, būtinos žinios apie šių medžiagų savybes, bei įvairius procesus vykstančius tepimo mechanizmuose.

Reikšminiai žodžiai: alyva, tribologiniai tyrimai, trinties momentas, nudilimas

Įvadas

Tepimo medžiagos yra skirtos besitrinantiems detalių paviršiams sutepti, taip sumažinant tų paviršių mechaninį dilimą, trinties jėgą tarp šių paviršių ir apsaugant juos nuo aplinkos poveikio, korozijos. Kartu sandarinami tarpai tarp dviejų paviršių ir tie paviršiai apsaugomi nuo sulipimo. Tepimo medžiagos būna skystos ir tirštos. Skystos vadinamos alyvomis, o tirštos – tepalais [3,11].

Dviejų detalių, judančių viena kitos atžvilgiu, lietimosi paviršių veikia trinties jėga [2,5]. Mašinų darbo resursą riboja išdilimas, kurio pagrindinės priežastys yra trintis ir korozija. Dilimo intensyvumas priklauso nuo detalių konstrukcijos, gamybos technologijos, eksploatacijos sąlygų ir tepalų savybių. Tepalų paskirtis - sumažinti detalių trintį ir išdilimą. Tai konstrukcinis mašinos elementas. Kadangi įvairių mechanizmų konstrukcija ir darbo sąlygos labai skiriasi, tai jiems tepti reikalingi skirtingų savybių tepalai. Todėl tepalų asortimentas pagal sudėtį ir savybes būna labai įvairus. Pagal žaliavos rūšį tepalai skirstomi į mineralinius, gaminamus iš naftos, organinius - iš augalinių arba gyvulinių riebalų, ir sintetinius, gaminamus cheminės sintezės būdu [3,4,12].

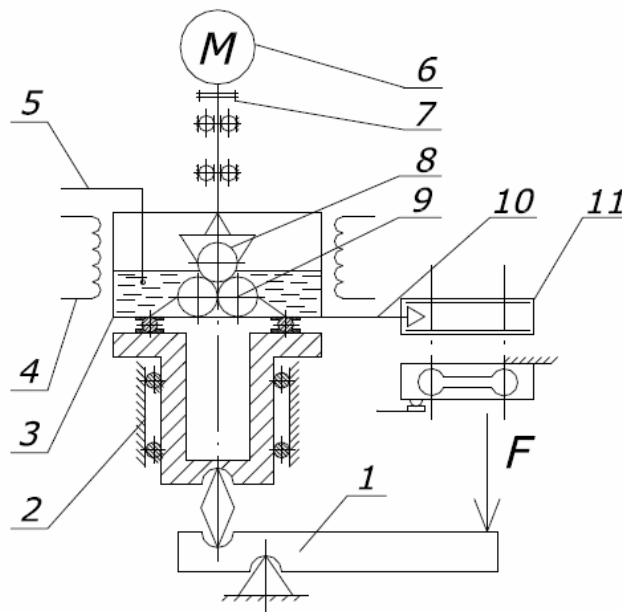
Nepriekaištingą šiuolaikinių mašinų ir transporto priemonių veikimą galima užtikrinti tik kompleksinėmis priemonėmis, kurias sudaro modernūs konstrukciniai sprendimai jas projektuojant, kokybiškų ir tinkamų eksploatacinių ir konstrukcinių medžiagų naudojimas bei laiku ir kokybiškai atlikta techninė priežiūra. Kiekviena šios sistemos grandis tarpusavyje tamptai susijusi [1]. Mašinų techninis tobulinimas tiesiogiai priklauso nuo alyvų funkcinių galimybių. Mineralinės ir sintetinės alyvos neturi būtinų savybių, kurios reikalingos jų funkcijoms įvairiuose mechanizmuose atlikti. Tai ypač liečia forsutus vidaus degimo variklius, kurių mechaninės apkrovos būna pakankamai didelės [4,9]. Alyvų kokybę lemia jų savybės, kurios įvertinamos tam tikrais rodikliais. Eksploatacijos metu darbinį skysčių savybės keičiasi, todėl alyvos tam tikrais intervalais turi būti keičiamos [7,9,10].

Alyvos priedai yra skirti pagerinti alyvos kokybę ir jai suteikti tam tikras savybes [12]. Alyvos turi atitikti daugybę joms keliamų reikalavimų. Jų efektyvumui didžiausia įtaką turi bazinių alyvų savybės. Viena iš tų savybių, apsprendžianti alyvos naudojimo trukmę – ilgaamžiškumas [8,10]. Tiek bazinės, tiek ir priedais modifikuotos alyvos sensta – keičiasi jų fizikinės, cheminės ir tribologinės savybės. Alyvų priedai, privalo užtikrinti efektyvų alyvos darbą įvairiuose temperatūrose ir esant įvairiems darbo režimams bei apkrovoms. Alyvos priedų gali būti įvairių, kurie padidina vienokias ar kitokias alyvos savybes, kurios suteikia tiek alyvai, tiek automobilio varikliui ilgaamžiškumo. Taip pat, gali sulėtinti arba ir visai panaikinti nepageidaujamus procesus, vykstančius alyvoje jos darbo metu. Priedai turi gerai tirpti alyvoje ir nenusėsti, būti efektyvūs ir stabilūs, gerindami vienas alyvos savybes turi nepabloginti kitų, lengvai tekėti pro valymo filtrus ir nebūti peleningi. Šio darbo tikslas – ištirti priedų įtaką sintetinių alyvų tribologinėms savybėms.

Tyrimų metodika

Tyrimai buvo atlikti VDU ŽŪA Jėgos ir transporto mašinų inžinerijos instituto bandymo laboratorijoje. Tyrimui pasirinkta sintetinė variklinė alyva ir penki skirtingi alyvų priedai. Variklinė alyva 5w40 buvo panaudota su penkių priedų (A, B, C, D, E) mišiniais. Bandyme naudotų skirtingų priedų gamintojai teigia, kad priedas turį įtakos varikliniai alyvai mažindamas variklių sudedamųjų dalių trintį bei dėvėjimąsi. Penkių skirtingų alyvų priedų savybės pateiktos 1 lentelėje.

Tepamųjų medžiagų tribologinių savybių tyrimai atlikti 4-rių rutulių metodu, pagal standartą DIN 51 350. Tyrimai buvo atliekami modernizuotu tepamųjų medžiagų tyrimo įrenginiu MAST – 1 (1 pav.).



1 pav. Tepamųjų medžiagų apsaugos nuo dilimo vertinimo „keturių rutulių“ metodu įrenginio schema 1 – apkrovos perdavimo svirtis; 2 – bandymų kameros vertikaliojo centravimo guolis; 3 – tiriamos tepamosios medžiagos indas (22 ml); 4 – tiriamos tepamosios medžiagos šildytuvas; 5 – termopora; 6 – elektros variklis; 7 – mova; 8 – viršutinis sukamas rutulys; 9 – trys nejudamai įtvirtinti rutuliai; 10 – trinties momentą jėgos jutikliui perduodanti svirtis; 11 – jėgos jutiklis

Atliekant bandymą, 3 apatiniai rutuliai įtvirtinti stovi vietoje, o viršutinis rutuliukas yra sukamas per movą elektros variklio. Trys apatiniai rutuliai 9 nejudamai įtvirtinami laikiklyje, talpinami inde 3 ir užpilami bandoma alyva. Bandymams naudoti 22 ml tūrio tepamosios medžiagos mėginiai. Ketvirtasis rutulys 8 įtvirtinamas bandymų mašinos veleno. Viršutinis ir apatiniai rutuliai prispaudžiami, viršutinis rutulys sukamas pastoviu 1420 min^{-1} greičiu. Bandymui naudojami standartiniai $\varnothing 12,7 \text{ mm}$ skersmens rutuliai, gaminami iš plieno 100Cr6.

Prieš paleidžiant tyrimą, ant apkrovos svirties uždedamas 3 kg svarstis atitinkamai sudarantis 300 N apkrovą rutulių kontakte.

1 lentelė

Alyvų priedai ir jų savybės

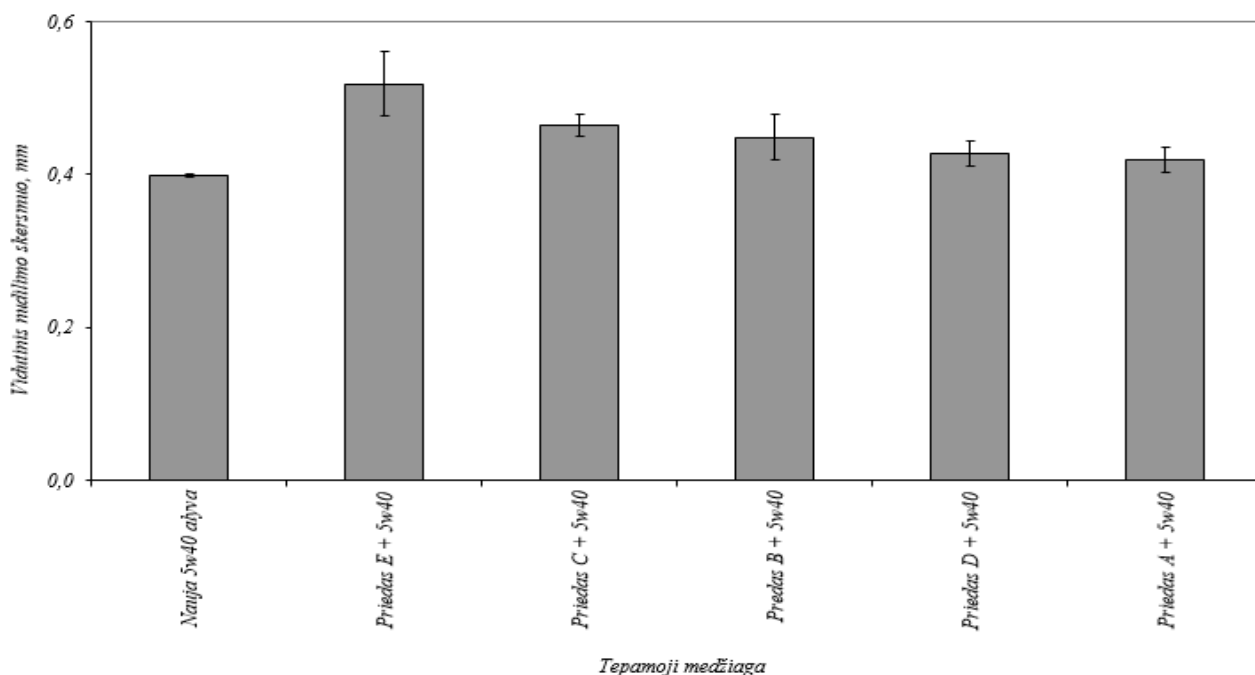
Priedo pavadinimas	Deklaruojamos priedo gerinančios savybės
Priedas A	Ši priemonė mažina variklio sudedamųjų dalių trintį bei dėvėjimąsi. Pagerina automobilio variklio darbą, sumažina dūmingumą ir tepalo suvartojimą, apsaugo alyva nuo putojimo, mažina variklio triukšmus, padeda atstatyti kompresiją ir susidėvėjusius žiedus.
Priedas B	Kompleksinis alyvos priedas, skirtas dėl didelės ridos susidėvėjusiems varikliams. Apsaugo nuo variklio alyvos oksidacijos, atkuria alyvos skalavimo, neleidimo putoti, dilimą mažinančias savybes, sumažina dūmingumą ir alyvos sunaudojimą, sumažina variklio triukšmus.
Priedas C	Priedas į variklinę alyvą su molibdeno disulfidu MoS ₂ . MoS ₂ sukuria ant visų besitrinančių slystančių variklio paviršių efektyvią plėvelę, atsparią didelėms apkrovoms. Ji žymiai sumažina trintį ir užtikrina daug laisvesnę variklio eigą. Tai sumažina alyvos ir kuro sąnaudas, sumažina variklio susidėvėjimą, padidina variklio ilgaamžiškumą.
Priedas D	Tepalo priedas + variklio sandariklis. Tai tirštas universalus tepalo priedas, pagerinantis tepalo klampumą, padidina variklio kompresiją ir galingumą, sandarina tarpelius tarp variklio metalinių detalių, sumažina tepalo suvartojimą ir dūmingumą, saugo variklio detales nuo dilimo.
Priedas E	Atstato trinties paviršius, apsaugo ir sutvirtina detalių paviršius. Padidina ir išlygina kompresiją cilindruose. Padidina variklio galingumą ir akceleraciją. Sumažina degalų sąnaudas. Sureguliuoja spaudimą variklio tepalų sistemoje. Pailgina mazgų tarnavimo laiką 2-3 kartus. Apsaugo nuo šaltojo užvedimo neigiamų pasekmių. Sumažina triukšmą ir vibracijas.

Alyvos tyrimo bandymas trunka 60 minučių. Po bandymo ant plieninių rutuliukų matuojami ir vertinami susidarę dilimo pėdsakai (nudilimo skersmuo, forma, nudilimo gylis, besisukančio rutuliuko dilimo pėdsakas – juosta). Nudilimo pėdsakų skersmenis matuojami optiniu mikroskopu „Nikon Elipse MA100“.

„Picolog Recorder“ programinė įranga bandymo metu registruoja trinties paviršiuje susidarantį trinties momentą, tiriamos tepamosios medžiagos bei aplinkos temperatūrą. Šie duomenys pasibaigus bandymui perkeliama į „Microsoft Excel“ programą, kurioje jie apdorojami ir įvertinami statistiškai.

Tyrimų rezultatai

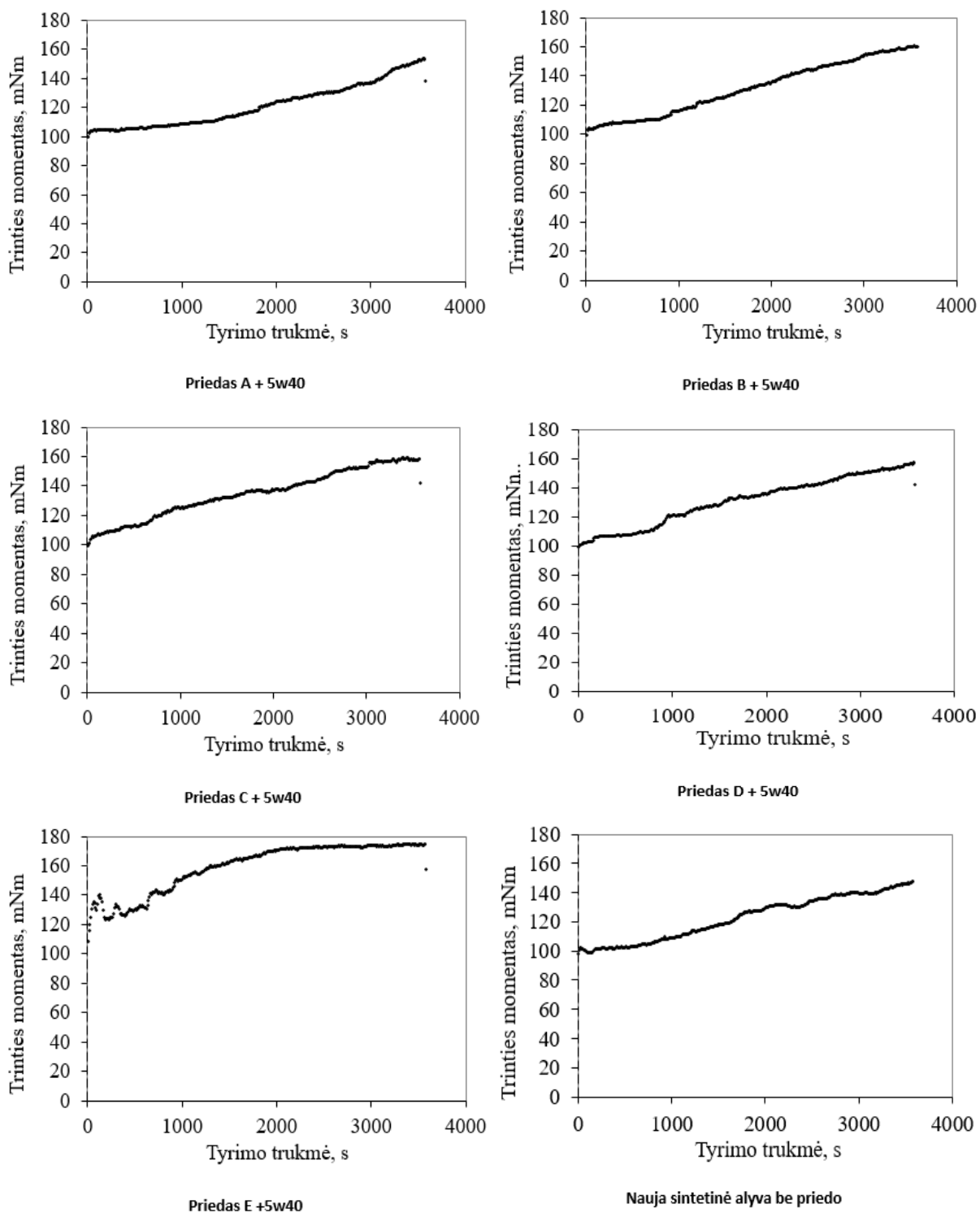
Vidutinio nudilimo skersmens rezultatai pateikti (2.pav.). Atlikus alyvos bandymus su priedais gavome skirtingas tribologines savybes. Pateiktame grafike matome, kad priedo E ir sintetinės alyvos mišinio bandyme vidutinis rutuliukų nudilimas buvo gautas didesnis 1,3 karto lyginant su naujos sintetinės alyvos be priedo.



2 pav. Vidutinis nudilimo skersmuo esant 300 N apkrovai naujos sintetinės alyvos be priedo ir alyvos su penkiais skirtingais priedais

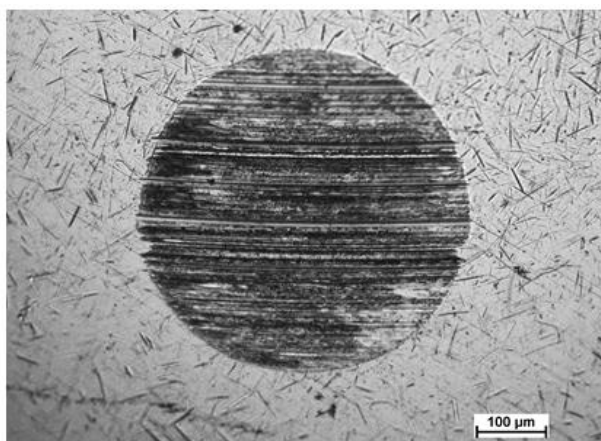
Trinties momentų kitimo bandymų grafikai pateikti 3 pav. Iš šių grafikų matome, kad trinties momentai, sintetinės alyvos su priedais ir sintetinės alyvos be priedų, kito labai panašiai, nuolat turint tendenciją didėti. Visų bandymų metu trinties momentas pradžioje buvo apie 100 mNm, tačiau alyvos ir priedo E bandymo trinties momento kitimo grafike matyti, kad bandymo pradžioje trinties momentas buvo labai nestabilus, tai kildavo tai leisdavosi ir tik praėjus 1000 sekundžių nuo bandymo pradžios, trinties momentas tapo stabilus ir turėjo tendenciją didėti.

Mažiausias vidutinis trinties momentas po atliktų bandymų buvo užfiksuotas sintetinės alyvos ir priedo A atliktame bandyme, kuris buvo lygus 121,4 mNm. Šis rezultatas buvo tik per 1,2 mNm mažesnis už alyvos be priedo gautą rezultatą. Didžiausias vidutinis trinties momentas buvo gautas sintetinės alyvos ir priedo E mišinyje. Šio mišinio vidutinis trinties momentas buvo 159,1 mNm, o tai yra 1,3 karto didesnis lyginant su sintetinė alyva be jokių priedų.

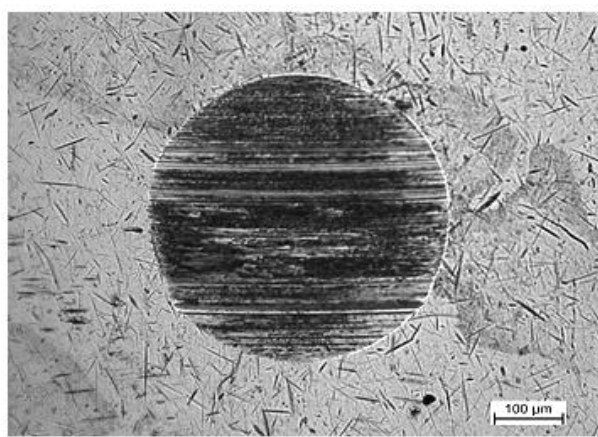


3 pav. Naujos sintetinės alyvos be priedo ir alyvos su penkiais skirtingais priedais trinties momentų kitimo grafikai rutuliukus apkraunant 300 N apkrova.

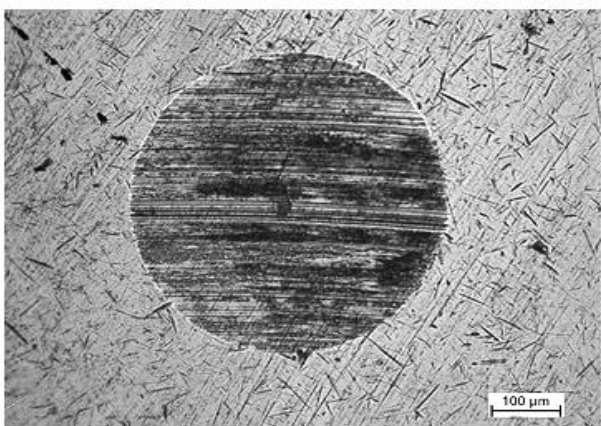
Vertinant rutuliukų paviršiaus vaizdus pastebimas tam tikras skirtumas (4 pav.). Lyginant naują sintetinę alyvą be priedo matyti, kad variklinių alyvų priedai turi įtakos variklinių alyvų tribologinėms savybėms.



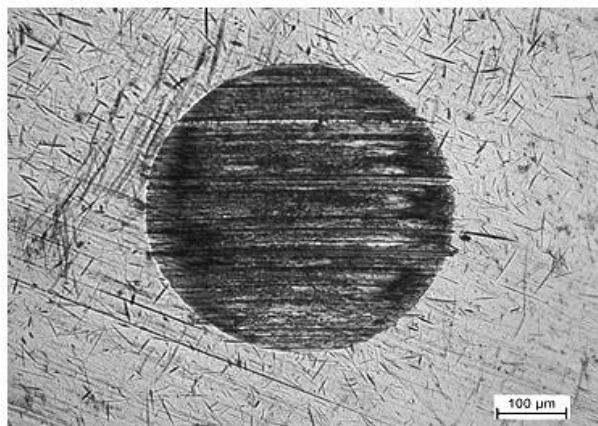
Nauja sintetinė alyva



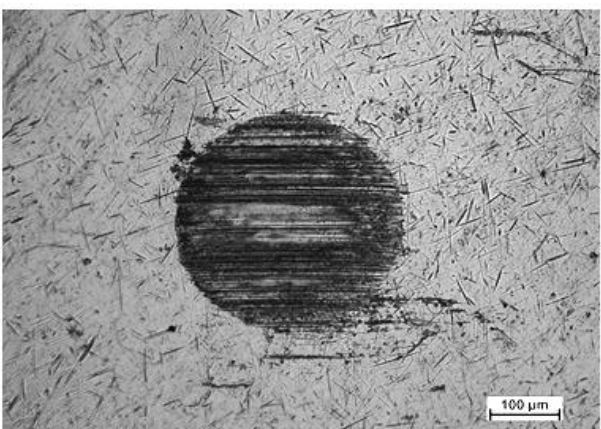
Priedas A + 5w40



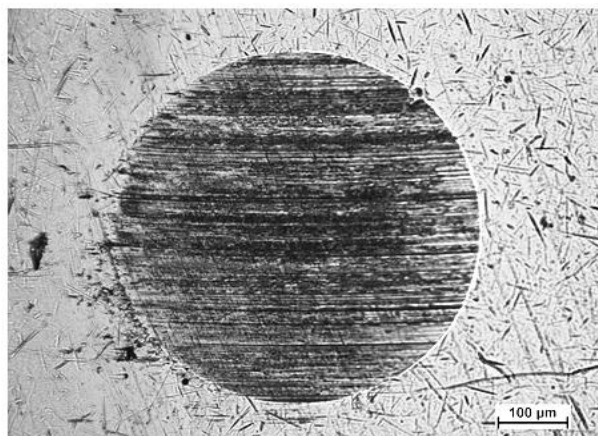
Priedas B + 5w40



Priedas C + 5w40



Priedas D + 5w40



Priedas E + 5w40

4. pav. Paviršiaus vaizdai naudojant sintetinę alyvą su priedais ir alyvos be priedo, esant 300 N apkrovai

Iš pateiktų paviršiaus vaizdų nudilimo dėmė matoma žymiai mažesnė alyvos su priedu D. Bandyme pėdsako forma nėra taisyklingai apvali, o taip pat, matosi gilūs rėžiai. Sintetinės alyvos ir priedo C nudilimo pėdsakas taisyklingos apvalios formos. Priedo E bandyme nudilimo pėdsakas buvo gautas didžiausias, tačiau gilių rėžių nepastebėta.

Išvados

Įvertinus naujos sintetinės alyvos su priedais nudilimų grafikus pastebėta, kad didžiausi nudilimai 1,3 karto gauti naudojant priedą E.

Mažiausią vidutinį trinties momentą po atliktų bandymų buvo užfiksuotas sintetinės alyvos su priedu A atliktame bandyme, kuris buvo lygus 121,4 mNm ir tik per 1,2 mNm mažesnis už alyvos be priedo gautą rezultatą.

Didžiausias vidutinis trinties momentas buvo gautas naudojant sintetinės alyvos ir priedo E mišinio. Šio mišinio vidutinis trinties momentas buvo lygus 159,1 mNm, o tai yra 1,3 karto didesnis lyginant su sintetine alyva be jokių priedų.

Vertinant rutuliukų paviršiaus vaizdus su sintetine alyva labiausiai išryškėjo priedas D, kurio nudilimo dėmė buvo mažiausia palyginus su kitais priedais. Priedo C palikta nudilimo dėmė neturėjo konkrečių kontūrų.

Panaudojus priedus sintetinėje alyvoje gauti rezultatai parodė, kad vidutinis nudilimas tik padidėjo, iš ko galima būtų spręsti, kad papildomai naudoti jokių priedų nereiktų.

Literatūra

1. Sokolovskij, E., & Matijošius, J. (2012). Transporto priemonių konstrukcinės ir eksploatacinės medžiagos: laboratorinių darbų metodikos nurodymai. Vilnius: Technika.
2. Buteliauskas, Stanislovas. (2008). Automobilių sandara ir priežiūra. Kaunas „Technologija“, 2008m.–188p.
3. Jučas P. Degalai ir tepalai. – Vilnius: Mokslas, 1992.
4. Jučas P. Chemotologija. – Kaunas, Akademija, 2006.
5. Giedra, K., Kirka, A., & Slavinskas, S. (2006). Automobiliai. " Smaltijos" leidykla.
6. Labeckas, G., Slavinskas, S., & Kirka, A. Biodegalų ir bioalyvų inžinerija. 2008. Akademija, LŽŪU, 9-19.
7. Šimatonis, S., & Traktorių, T. S. (1994). automobilių ir variklių teorija.: I-II dalis. K.: LŽŪA leidybinis centras.
8. Jonaitis, L. Mašinų servisas. Kaunas. Smaltija, 1998.
9. Garbinčius, Giedrius. Automobilių techninė priežiūra ir remontas. 2012.
10. Rymeikis, V., Audzevičius, V., Pagurskas, J., Pocius, Č., & Ramanauskas, V. (1990). Mašinų patikimumas ir remontas. Vilnius: Mokslas.
11. Kupčinskas, A. (2013). Aplinkai draugiškų plastinių tepalų gaminimas ir jų savybių vertinimas (Doctoral dissertation, Aleksandras Stulginskis University).
12. Balnys, R. Vidaus degimo variklio alyvos kokybės pokyčių tyrimas eksploatacijos metu (Doctoral dissertation, Kaunas University of Technology).

INFLUENCE OF ADDITIVES ON TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ENGINE OIL

Summary

Engine oils perform many important functions besides merely lubricating, cleaning and cooling down. Selection of proper oil for the engine can significantly improve its lifespan. Various engine parts wear down and require constant maintenance. Replacement of the used components requires new investments; therefore, such solution is not economically viable. Oil additives, on the other hand, can reduce friction and naturally boost engine durability. In order to optimize the use of these additives and increase their efficiency, it is important to learn more of their properties, as well as various processes occurring in the lubrication mechanisms.

Key words: oil, tribological tests, moment of friction, wear.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Tomas Mickevičius

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.

Darbo vietą ir poziciją: Kauno technikos kolegija, docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: transporto inžinerija, vidaus degimo variklis.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 65255737, tomas.mickevicius@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Artūras Kupčinskas.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, lektorius.

Darbo vietą ir poziciją: Kauno technikos kolegija, lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: transporto inžinerija, vidaus degimo variklis.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 69805964, artūras.kupcinskas@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Tomas Mickevičius.

Science degree and name: doctor, associated professor.

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, associated professor

Author's research interests: transport engineering, internal combustion engine.

Telephone and e-mail address: +370 652 55737, tomas.mickevicius@edu.ktk.lt

Author name, surname: Artūras Kupčinskas

Science degree and name: Doctor, lecturer

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, lecturer.

Author's research interests: transport engineering, internal combustion engine

Telephone and e-mail address: +370 69805964, arturas.kupcinskas@edu.ktk.lt

INTELIGENCIJŲ TIPAI INŽINERINĖSE STUDIJOSE

Dovilė Martišienė¹, Rasa Muleravičienė²
Kauno technikos kolegija^{1,2}, Kauno kolegija²

Anotacija

Kiekvienas esame panašūs, kartu ir skirtingi. Vieni lengviau bendraujantys, veiklūs, inovatyvūs, kiti priešingai – tylūs, nekalbūs, apatiški. Individas gali sieti bendri pomėgiai, bet turėti skirtingas žinias. Pasak H. Gardnerio (1999:180-181) „galime ir toliau ignoruoti savo skirtingumus ir apsimetinėti, kad visi esame vienodi (...). Arba galime savo švietimą keisti ir mūsų skirtybes maksimaliai išnaudoti.“ Tai paskatino apžvelgti inteligencijos tipus ir atlikti tyrimą kokie inteligencijos tipai vyrauja inžinerinėse studijose. Akivaizdu, kad panašių tyrimų jau yra atlikta, tačiau šis tyrimas atspindi konkrečios institucijos – Kauno technikos kolegijos situaciją.

Reikšminiai žodžiai: H.Gardneris, inteligencijos tipai, lavinimo būdai.

Ivadas

Šiandieninė aplinka apsupta inovacijomis leidžia individus paruošti įdomiai gyventi ir veikti šiuolaikinėje informacinėje visuomenėje. Įgyta patirtis, jos dalijimaisi su kitais leidžia išplėsti teoriją ir atrasti naujas praktines galimybes.

Individo veiklos sėkmė priklauso ne tik nuo įgytų formalių kvalifikacijų, bet ir nuo jo gebėjimo prisitaikyti prie kintančios aplinkos, kurioje esminis veiksnys yra asmens kompetencija ir jos plėtojimas. Reikšmingais tampa individo veiklos gebėjimai, leidžiantys pasirinkti veiklos metodus, kurie sudaro sąlygas įgytą kvalifikaciją realizuoti profesinėje veikloje remiantis asmeninėmis savybėmis, požiūriais ir vertybėmis. Labai svarbi tampa emocijų ir psichikos raida, nes norint pradėti studijuoti reikia būti fiziškai ir emociškai subrendusiam. Dažniausiai individas net nejaučia, kad siekti vienokių ar kitokių rezultatų jam padeda jo prigimtinės savybės. Tai sąlygoja šiame straipsnyje sprendžiamą problemą: *Kokios prigimtinių savybės dominuoja tarp šiuolaikinių studentų? Ar jos turi (ar neturi) įtakos mokymuisi?*

Straipsnio tikslas – išanalizuoti intelekto tipų dominavimą inžinerinėse studijose.

Straipsnio uždaviniai:

1. Apžvelgti inteligencijos tipus, jų bruožus ir lavinimo būdus.
2. Nustatyti inteligencijos tipus Kauno technikos kolegijoje (EE,ET,AE, ATE studijų programose).

Tyrimo metodai: mokslinės literatūros ir dokumentų analizė, anketinė apklausa.

Straipsnį sudaro dvi dalys: Pirmoje dalyje trumpai pristatomi inteligencijos tipai, pagrindiniai jų bruožai, lavinimo būdai. Antra dalis skirta inteligencijos tipų nustatymui Kauno technikos kolegijoje.

1. Inteligencijos tipai, jų bruožai ir lavinimo būdai.

Kiekvienas žmogus yra unikalus, todėl mokytis siekti užsibrėžtų tikslų jam geriausiai sekasi jo prigimtinių savybių nulemtu būdu. Kiekvienas mūsų savyje turime visų tipų inteligencijų tipų. Tačiau jie išreikšti skirtingai - vieni stipriau, kiti – silpniau. H. Gardnerio (1983) teigimu, dviejų vienodų asmenybių, kurios turėtų inteligencijas vienodų proporcijų ir būtų identiškos, nėra. Kokį inteligencijos tipą turi lemia genetika, paveldimumas, aplinka, šeima, kelintas vaikas šeimoje, mokykla ir t.t. (Veblauskaitė, 2009).

H. Gardner (1983) tvirtino, kad inteligencijos tipai retai yra nepriklausomi. Jie yra panaudoti tuo pačiu metu ir yra linkę papildyti vienas kitą, kadangi žmonės vysto įgūdžius ar sprendžia problemas (Gardner, Walters, 1984). Kadangi individas paprastai turi 2–3 vyraujančias inteligencijos rūšis, tai apsprendžia individualų priimtina mokymosi būdą bei stilių.

Pasak H. Gardnerio (1983), mūsų kultūra pernelyg išaukština kalbinę bei loginę- matematinę inteligencijas, tačiau reikia skirti vienodą dėmesį ir individams su kitomis inteligencijomis, kurie praturtina pasaulį menu, šoku, architektūra, dizainu ir t.t. Inteligencijos tipas turi poveikį individo vystymuisi ir mokymuisi. Daugelis individų jaučia diskomfortą atsidūrę aplinkoje, kurioje neišnaudojamos jų inteligencijos savybės, pavyzdžiui, kūno-kinestezinis matematinėje- loginėje aplinkoje, kai jis būtų laimingesnis, ten kur galima judėti.

Kad būtų atsižvelgta į platesnį žmogiškojo potencialo spektrą H. Gardneris (1983) sukūrė „Intelekto įvairovės teoriją“. Joje išskyrė 8 inteligencijos formas (1 paveikslas), o vėliau pridėjo dar tris: religinę, egzistencinę ir moralinę (dorovinę).

Intelekto įvairovės teorija suteikia individui būdą pažvelgti į savo gyvenimą, iširti galimybes, kurias jie paliko vaikystėje, pavyzdžiui, meilė menui, taip suteikiant galimybę paliktas savybes tobulinti per kursus, pomėgius ar kitokias programas. Svarbiausia suvokti savo silpnąsias ir stiprias puses.

Intelekto įvairovės teorija ne tik aprašė inteligencijų tipus, jų pagrindinius bruožus, bet atsižvelgus į kiekvienos inteligencijos specifiką pasiūlė jų lavinimo būdus (2 paveikslas).

Matematinė-loginė	Gebėjimas abstrakčiai samprotauti, skirti loginius ar skaičių dėsningumus, spręsti loginius galvosūkius, ieškoti priežasties ir pasekmių ryšių.
Erdvinė -vaizdinė	Gebėjimas tiksliai suvokti vizualinį ir erdvinį pasaulinį ir kurti bei keisti jį pagal savo suvokimą, konstruoti trimačius objektus, interpretuoti diagramas, žemėlapius ir t.t.
Kūno-kinestezinė	Gebėjimas kontroliuoti savo kūno judesius ir meistriškai valdyti objektus.
Muzikinė	Gebėjimas kurti ir pajusti ritmą, garso aukštumą ir tembrą, išskirti instrumento skambesį melodijoje, mėgautis improvizuojant ir žaidžiant su muzikos garsais.
Gamtinė	Gebėjimas stebėti gamtą, atpažinti ir skirstyti kategorijomis augalus, gyvūnus ir kitus gamtos objektus, tausoti ją ir rūpintis..
Socialinė	Gebėjimas skirti žmonių nuotaikas, temperamentą, motyvą, bendrauti su kitais socialinėje aplinkoje.
Vidinė-asmeninė	Gebėjimas į pažinti save, gilinti į savo jausmus ir gebėjimus, juos skirti bei remtis kontroliuojant savo elgesį, pažinti savo stipriąsias ir silpnąsias puses.
Žodinė-kalbinė	Gerai išvystyti kalbiniai gebėjimai ir jautrumas žodžių skambesui, ritmui, pajėgumas pakeisti nuotaiką, įtikinti ar perteikti informaciją.

1 pav. Inteligencijų tipai ir pagrindiniai jų bruožai

Šaltinis: pagal H.Gardnerį (1983)

Ši teorija siūlo neapsistoti prie vieno lavinimo būdo, o taikyti kelis. Pavyzdžiui, mokotės ekonomikoje apie pasiūlą, galite skaityti apie tai (lingvistinė inteligencija), studijuoti matematines formules (loginė-matematinė), nagrinėti grafines diagramas (erdvinė) ir t.t. Mokymo/si būdų įvairovė leidžia individui surasti efektyviausią mokymo/si įrankį.

Matematinė-loginė	Kuriami ir sprendžiami galvosūkių, kryžiažodžių (pvz. Sudoku), sprendžiami uždaviniai, sudaromi konkretūs planai, klasifikuojamos idėjos, kuriamos problemų sprendimo strategijos, naudojami skaičiuokliai, kompiuteriai, dalyvavimas konkursuose, moksliniuose projektuose.
Erdvinė -vaizdinė	Piešimas, derinimas spalvų, dėlionių dėliojimas, figūrų lankstymas, lipdymas, koliažų kūrimas, dalyvavimas parodų organizavime ir jų lankymas, reklaminių lapelių ar emblemių kūrimas, žaidimas kamuoliu, šokimas (reikia įsijudinti šoko figūras).
Kūno-kinestezinė	Dalyvavimas vaidmenų žaidimuose, išvykose, sportuojant, žaidžiant judriuosius žaidimus, atliekant pratimus, reikalaujančius kūno judesių, šokant, liečiant daiktus, pervarkant mokymosi vietą, kuriant rankdarbius.
Muzikinė	Užduotys, susijusios su šoku, dainavimu, muzikos klausymu, žaidžiant muzikinę atmintį lavinančius žaidimus, rengiant muzikinius pasirodymus, skaitant balsu įsiklausant į balso ir žodžių skambesį, niūniuojant, karaokė, mokantis groti koku nors muzikos instrumentu.
Gamtinė	Užduotys susijusios su gamtos stebėjimu, atpažinimu ir skirstymu pagal kategorijas augalus, gyvūnus ir kitus gamtos objektus, meile gamtai, jos tausojimu.
Socialinė	Dažnas bendravimas su žmonėmis, darbas grupėse, renginių organizavimas ir dalyvavimas juose, įsitraukimas į vaidmenų pratimus.
Vidinė-asmeninė	Mokymasis būti vieniems, skiriamas laiko apmąstymams, skaitant knygas apie gyvenimo prasmės paieškas, meditacinę literatūrą, rašant dienoraštį, mintyse kalbant su savimi, atliekant atsipalaidavimo pratimus.
Žodinė-kalbinė	Dalijantis mintimis, diskutuojant grupėse, skaitant, klausantis garso įrašų, rašant, sakant kalbas, vaidinant, mokantis naujų žodžių, rašant rašinius, kalbant ekspromtu, rengiant humoro valandėles, kuriant ir sprendžiant kryžiažodžius, žaidžiant žodžių žaidimus (Alias) ir t.t.

2 pav. Inteligencijų lavinimo būdai

Šaltinis: pagal H.Gardnerį (1983)

Matematinė-loginė	Programuotojai, ekonomistai, buhalteriai.
Erdvinė -vaizdinė	Architektai, fotografai, dailininkai, skulptoriai, pilotai, mechanikai, inžinieriai.
Kūno-kinestezinė	Sportininkai, meistrai, virėjai, chirurgai, mechanikai, šokėjai, aktoriai, fizioterapeutai.
Muzikinė	Kompozitoriai, dirigentai. Visi, kurie gali dainuoti ir šokti. Taip pat svarbu darželio auklėtojoms, pradinėjų klasių mokytojams.
Gamtinė	Ūkininkai, girininkai, apželdinimo specialistai, ekologai, biologai, veterinariai, turizmo vadybininkai, geologai, okeanografai.
Socialinė	Socialiniai darbuotojai, psichoterapeutai, vadybininkai, kariškiai, politikai, mokytojai .
Vidinė-asmeninė	Konsultantai, teologai, rašytojai, psichologai, jūreiviai, filosofai, menininkai.
Žodinė-kalbinė	Žurnalistai, advokatai, mokytojai, rašytojai, psichoterapeutai, treneriai, politikai.

3 pav. Siūlomos profesijos pagal inteligencijų tipus

Šaltinis: pagal H.Gardnerį (1983)

Sėkminga individo veikla dažnai priklauso ne tiek nuo įgytų formalųjų kvalifikacijų, kiek nuo gebėjimo prisitaikyti prie nuolat kintančios aplinkos. Kai individas žino savo gebėjimus, jam lengviau įgyti norimą kvalifikaciją, realizuoti save profesinėje veikloje bei siekti gerų rezultatų. Individams, kurie turi kelias vienodai išreikštas inteligencijas kartais yra sunku apsispręsti kokios profesijos atstovu norėtų būti. Tokiu atveju galima pasinaudoti inteligencijos įvairovės teorija, kuri ne tik padeda nusistatyti inteligencijos tipus bei juos lavinti, bet ir siūlo galimas profesijas (3 paveikslas).

2. Inteligencijos tipai Kauno technikos kolegijoje

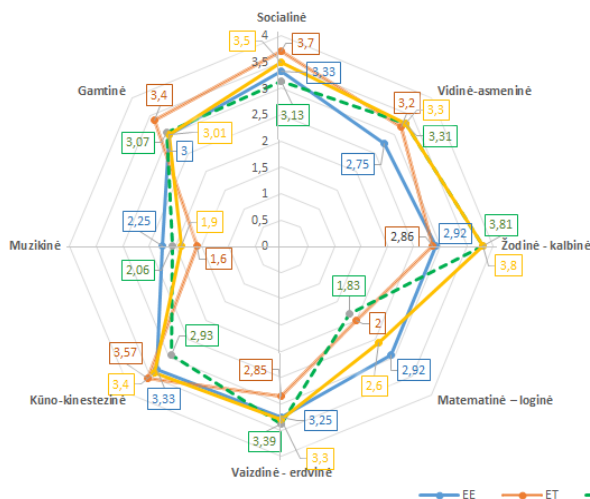
Tyrimas atliktas Kauno technikos kolegijoje. Tyrimo metu buvo apklausta 200 respondentų, iš jų 17 negražino anketos. Tyrime dalyvavo šių specialybių I ir II kurso studentai: 76 autotransporto elektronikos, 17 elektros energetikos, 31 elektronikos technikos ir 59 automobilių techninio eksploatavimo.

Anketa sudaryta iš 2 dalių: 1 dalis - demografinė, 2 dalis skirta inteligencijos tipui nustatyti.

Trumpai apžvelgsime demografinį bloką. Tyrimo imtis 183 respondentai. Tyrime dalyvavo I ir II kurso autotransporto elektronikos, elektros energetikos, elektronikos technikos ir automobilių techninio eksploatavimo specialybių studentai, iš kurių 35 % yra atvykę iš kitų miestų ar kaimų, Apie 30 % gyvena su tėvais, kita dalis gyvena bendrabutyje arba nuomoja gyv. plotą. Studentų amžius nuo 19 iki 21 metų. Užsienio kalbų mokėjime pagrįdė dominuoja anglų kalba, kuria gali laisvai rašyti ir kalbėti apie 36 % studentų, gali susišnekėti 57%. Po lygiai kalbų žinojimas pasiskirsto tarp vokiečių, prancūzų ir rusų kalbos. Vidutiniškai per dieną prie kompiuterio studentai praleidžia apie 7 val. Respondentai su kompiuteriu dirbti išmoko savarankiškai, po 18 % pasiskirstė lankyti kursai ir draugų pagalba. Apie 92 % respondentų turi kompiuterį ar planšetę namuose. Visi respondentai naudoja internetu, elektroninio pašto bei kitomis sistemomis tiek darbo, tiek asmeniniais tikslais.

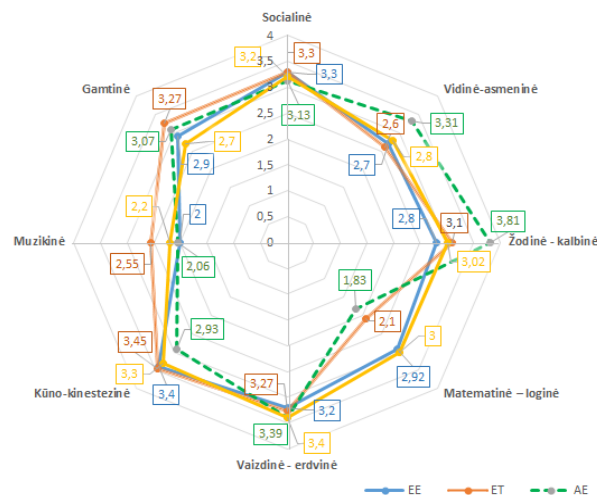
Klausime „Kokie labiausiai mėgstami dėstymo metodai?“, išryškėjo, kad tarp respondentų labiausiai yra mėgstamas (91%) aiškinimas naudojant vizualias priemones. Nemaža dalis respondentų (69%) mėgsta spręsti uždavinius. Apie 65% mėgsta laboratorinių darbų atlikimą realioje laboratorijoje ir taikant kompiuterines programas. Klausime „Ar paskaitų lankymas turi būti privalomas“ 70% respondentų atsakė „Taip“. Atsiskaitymo forma respondentams priimtinausia raštu. Klausime „Ko tikėtis iš dėstomų dalykų?“, 73 % respondentų atsakė, kad tikisi daugiau praktinių įgūdžių.

Antra dalis buvo skirta ištirti inteligencijos tipus tarp respondentų Kauno technikos kolegijoje. Ši anketos dalis buvo parengta pagal Smith, A. Accelerated Learning in the Classroom. Network Educational Press Ltd (1999). Iš viso buvo 40 teiginių, po 5 teiginius – kiekvienam inteligencijos tipui, kurie įvertinti balais. Gauti rezultatai pateikti grafiškai.



4 pav. I kurso AE, EE, ET, ATE specialybių inteligencijos tipai
Šaltinis: sudaryta autorių

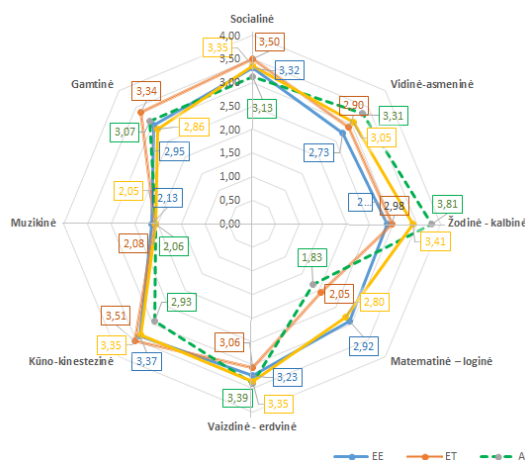
Kaip matome iš 4 paveikslas tarp pirmo kurso respondentų inteligencijos tipai pasiskirsto taip: elektros energetikos studijų programoje - socialinis ir kūno kinestezinis (3,33); elektronikos technikoje – socialinis (3,7); autotransporto elektronikoje – žodinis-kalbinis (3,81); automobilių techninio eksploatavimo – žodinis-kalbinis (3,8). Mažiausiai dominuojantys tipai yra: matematinis-loginis (~ 2,1) EE, ET, ATE studijų programose ir muzikinis ritminis (~ 2) EE, AE, ET, ATE studijų programose. Likę intelekto tipai tarp respondentų pasiskirstę panašiai.



5 pav. II kurso AE, EE, ET, ATE specialybių inteligencijos tipai
Šaltinis: sudaryta autorių

Kaip matome iš 5 paveikslo tarp antro kurso respondentų inteligencijos tipai pasiskirsto taip: elektros energetikos studijų programoje – kūno-kinestezinis (3,4); elektronikos technikoje – kūno-kinestezinis (3,4); autotransporto elektronikoje – žodinis-kalbinis (3,81); automobilių techniniam eksploatavime – kūno-kinestezinis (3,3). Mažiausiai dominuojantys tipai yra: matematinis-loginis (~ 2,1) AE, ET studijų programose ir muzikinis ritminis (~ 2) EE, ATE studijų programose.

Kaip matome iš 6 paveikslo išvedus I ir II kursų respondentų atsakymų bendrą vidurkį dominuoja šie inteligencijos tipai: elektros energetikos studijų programoje – kūno-kinestezinis (3,37); elektronikos technikoje – kūno-kinestezinis (3,51); autotransporto elektronikoje – žodinis-kalbinis (3,81); automobilių techniniam eksploatavime – kūno-kinestezinis (3,41). Mažiausiai dominuojantys tipai yra: matematinis-loginis (~ 2) AE, ET studijų programose ir muzikinis-ritminis (~ 2) EE, ATE studijų programose.



6 pav. I ir II kurso AE, EE, ET, ATE specialybių inteligencijos tipai
Šaltinis: sudaryta autorių

Apibendrinant galima teigti, kad tarp I ir II kurso studentų labiausiai dominuoja kūno-kinestezinis ir žodinis kalbinis inteligencijos tipas, tačiau techniškojo profilio specialybėse labiau reikėti skatinti matematinę – loginę inteligencijos tipą. Skatinti studentus daugiau analizuoti duomenis, naudoti dedukcinį mąstymą, naudoti kompiuterius diagramoms, skaičiavimams atlikti ir t.t.

Išvados

1. Apžvelgus H.Gardnerio inteligencijų tipus matosi, kad žmogaus veikloje inteligencijos reiškiasi skirtingai ir dažniausiai dominuoja 2-3 inteligencijos tipai.

2. EE, ET, AE ir ATE 1 ir 2 kurso studijų programose dominuoja šie inteligencijų tipai: EE studijų programoje – kūno-kinestezinis; ET – kūno-kinestezinis; AE – žodinis-kalbinis; ATE – kūno-kinestezinis. Mažiausiai dominuojantys tipai yra: matematinis-loginis AE, ET studijų programose ir muzikinis-ritminis EE, ATE studijų programose.

Literatūra

1. Gardner H. Frames of Mind: The theory of multiple intelligences. New York: Basic Books, 1983.
2. Gardner H., Walters J. The Crystallizing Experience: Discovering an Intellectual Gift // Report – Research/Technical. Harvard Univ., Cambridge, Mass, 1984, March.
3. Gardner H. Intelligence Reframed. Multiple intelligences for the 21st century. New York: Basic Books. 1999, p. 292
4. Gardner, Howard. Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences. New York: Basic Books, 2011, p.528
5. Intelektų teorija [interaktyvus], [žiūrėta 2019.02.12], prieiga per internetą: https://lt.wikipedia.org/wiki/Intelekt%C5%B3_%C4%AFvairov%C4%97s_teorija
6. Intelektų įvairovės [interaktyvus], [žiūrėta 2019.03.04], prieiga per internetą: <http://forvardas.lt/h-gardnerio-intelektu-ivairoves>.
7. Intelektų rūšys [interaktyvus], [žiūrėta 2019.03.04], prieiga per internetą: <https://psichika.eu/blog/intelektu-rusys-pagal-gardneri/>
8. Multiple-intelligences [interaktyvus], [žiūrėta 2019.01.12], prieiga per internetą: <http://www.institute4learning.com/resources/articles/multiple-intelligences>
9. Vėblauskaitė E. Pradinių klasių mokinių konstrukcinio intelekto ir kūrybiškumo sąsajos [interaktyvus]. Magistro darbas, Kaunas, 2009 [žiūrėta 2019.03.10], prieiga per internetą: <http://talpykla.elaba.lt/elaba-fedora/objects/elaba:2078378/datastreams/>
10. Smith A. Accelerated Learning in the Classroom. Network Educational Press Ltd, 1999. [interaktyvus], [žiūrėta 2018.11.12], prieiga per internetą: www.gedminai.lt/n/wp-content/uploads/2012/01/MOKOMOJI-M.-Nr-4.docx
11. Veterienė J. Daugialypis intelektas [interaktyvus], 2014, [žiūrėta 2019.03.10], prieiga per internetą: http://www.marsclt.lt/files/marsclt/MokMedziaga/12_tema_Teorine_vaizdine_medziaga_Daugialypis_intelektas.pdf
12. Žukauskienė R. Raidos psichologija. Margi raštai. Vilnius, 2002.

TYPES OF INTELLIGENCES IN ENGINEERING STUDIES

Summary

We are all alike and together and different. Some of us are more communicative, active and innovative, others are opposite, silent, non-speaking, apathetic etc. Individuals may have common interests but have different knowledge. According to Gardner (1999: 180-181) “we can continue to ignore our differences and pretend that we are all the same (...). Or, we can change our education and make the most of our differences.” This led to an overview of the types of intelligence and explore what kind of intelligence engineering studies are predominant. Obviously, similar studies have already been carried out, but this study reflects the situation of a specific institution, the Kaunas Technical College.

Key words: H.Gardner, Types of Intelligence, Educational Methods.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Dovilė Martišienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorė.

Darbo vietą ir poziciją: Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakultetas, Studijų programų departamento lektorė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: mechanikos inžinerija, edukacinės technologijos, edukologija.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 613 53875, dovile.martisiene@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Rasa Muleravičienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorė.

Darbo vietą ir poziciją: Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakultetas, Studijų programų departamento lektorė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: elektrotechnika, edukologija.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 672 06580, rasa.muleraviciene@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Dovilė Martišienė.

Science degree and name: master, lecturer.

Workplace and position: Kaunas Technical Colleges, Faculty of Engineering Sciences, Department of Study Programs, Lecturer.

Author's research interests: mechanical engineering, educational technology, educology.

Telephone and e-mail address: 8 613 53875, dovile.martisiene@edu.ktk.lt.

Author name, surname: Rasa Muleravičienė.

Science degree and name: master, lecturer.

Workplace and position: Kaunas Technical Colleges, Faculty of Engineering Sciences, Department of Study Programs, Lecturer.

Author's research interests: electrical engineering, educology.

Telephone and e-mail address: 8 672 06580, rasa.muleraviciene@edu.ktk.lt

MATEMATINIO SAMPROTAVIMO SVARBA MOKANT(IS) MATEMATIKĄ BENDROJO LAVINIMO MOKYKLOJE IR KOLEGIJOJE

Antanas Augaitis
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Didžioji dalis abiturientų, pasirinkusių inžinerijos mokslų studijas, neturi matematikos (ir kitų tikslųjų mokslų) pagrindų: išugdyto loginio mąstymo, išlavintos vaizduotės ir kūrybiškumo. Šios kompetencijos bendrojo lavinimo mokykloje jau daugelį metų neugdomos. Su šia problema susiduria visų Lietuvos kolegijų ir aukštųjų mokyklų matematikos dėstytojai. Šiame straipsnyje atkreipiamas dėmesys į iki šiol švietime nesuvaldytus procesus: bendrųjų programų kokybę, vadovėlių kokybę, mokytojų kvalifikacijos tobulinimą. Siūlomas vienas, su matematikos dėstytojų metodika susijęs, šios problemos sprendimo būdas – nuoseklus, paremtas loginėmis struktūromis, matematinių sąvokų įvedimas bendrojo lavinimo mokyklos matematikos kurse. Straipsnyje, kaip atskiras atvejis, pateikiama „kampo“ sąvokos įvedimo loginė seka.

Reikšminiai žodžiai: sąvoka, apibrėžimas, loginė seka, matematinis samprotavimas, kampas.

Įvadas

Kauno technikos kolegijos studentai mokosi matematiką vienerius metus, pirmame kurse. Matematikos modulio apimtis - 9 kreditai. Kolegijoje matematikos mokymo programa pratęsia daugelio mokyklinės matematikos temų nagrinėjimą, todėl dėstant matematiką, remiamasi mokyklinėmis žiniomis ir įgūdžiais. Mokant matematikos pirmo kurso studentus, kiekvienais metais susiduriame su faktu: didesnės dalies pirmakursių matematikos žinios silpnos, matematiniai gebėjimai nesusiformavę. Iš publikuotų straipsnių, atliktų tyrimų matome, kad su tomis pačiomis problemomis susiduria ir kitų Lietuvos kolegijų bei aukštųjų mokyklų matematikos dėstytojai. Šia tema prirašyta daug straipsnių, bandyta taikyti naujus mokymo metodus, skirtos papildomos matematikos konsultacijos susidariusioms žinių spragoms pašalinti, bet situacija vis tiek nesikeičia. Vidurinę mokyklą baigę jaunuoliai ateina į kolegiją neparuošti matematikos studijoms.

Susidariusios situacijos priežasčių daug. Šiame straipsnyje minimos kelios priežastys, atsiradusios vykstant švietimo sistemos kaitai. Plačiau nagrinėjama problema, kuri atsiranda, kai netinkamai, nesilaikant logikos taisyklių, apibrėžiamos naujos matematinės sąvokos. Rezultate gauname, kad mokyklos kursas neparuošia žmogaus abstrakčiam mąstymui be kurio studentui neįmanoma suprasti daugelio aukštosios matematikos temų. Aišku, kolegijoje aukštosios matematikos programos turinys šiek tiek susiaurintas ir supaprastintas, bet be abstraktaus mąstymo vis tiek neįveikiamas. „Matematika disciplinuoja mąstymą, o abstrakčių modelių tyrimas lavina vaizduotę. Matematika turi gebėjimą skirti: teisingą nuo neteisingo, pramingą nuo neprasmingo, suprantamą nuo nesuprantamo“ (Norvaiša, 2019). Šie gebėjimai praverčia ne tik mokantis matematikos, bet ir realiame gyvenime.

Straipsnio tikslas. Atkreipti dėmesį į matematinių sąvokų apibrėžimų formulavimo netikslumus ir atskirų temų išdėstymo nenuoseklumą bendrojo lavinimo mokyklos vadovėliuose, analizuojant kampo sąvokos įvedimą matematikos kurse.

Uždaviniai.

1. Apžvelgti kai kuriuos iki šiol švietimo sistemoje nesuvaldytus procesus.
2. Išnagrinėti kampo sąvokos apibrėžimo netikslumus mokomojoje literatūroje; pateikti kampo sąvokos įvedimo seką bendrojo lavinimo mokyklos kurse.

Metodai. Literatūros analizė, atvejo analizė.

Problemos išskirtinumas. Situacija nesikeičia visą dešimtmetį ir daugiau. Per metus laiko, kurį studentai mokosi aukštosios matematikos kolegijoje, dėl riboto laiko, visomis naudotomis priemonėmis nieko pakeisti nepavyksta. Akivaizdu, kad priežasčių reikia ieškoti matematikos mokymo pradiniam etape. Išsiaiškinus priežastis ir pradėjus kažką keisti, rezultatų dar teks palaukti. Šiame kontekste dažnai keliamas klausimas: ar tai, kolegijoje, universitete, dėstančių matematiką, dėstytojų problema? Taip, tai - visų matematikų problema. Tik bendromis jėgomis sprendžiant susidariusias problemas, galima pagerinti matematikos mokymo kokybę.

Pokyčiai švietimo sistemoje atkūrus nepriklausomybę

„Pastarųjų dešimtmečių švietimo kaita Lietuvoje yra ugdymo proceso formavimas naudojant mokymosi arba humanistinės paradigmos planą. Keičiama tai, kas apibūdinama mokymo arba tradicine paradigma ir priskiriama sovietinės švietimo sistemos palikimui. Svarbiausias kaitos bruožas yra abiejų paradigimų bėkompromisis supriešinimas“ (Norvaiša, 2019).

Iki nepriklausomybės atkūrimo matematika buvo dėstoma ir mokytojai buvo ruošiami dėstyti visose mokyklose pagal tuos pačius vadovėlius, todėl mokyklos keitimas mokiniui didesnės įtakos neturėjo.

Mokyklos buvo vidurinės, todėl mokinys pradėjęs mokytis konkrečioje mokykloje dažniausiai ją ir baigdavo. Buvo nesudėtinga vyresniųjų klasių matematikos mokytojai sužinoti, ko mokiniai išmoko pradinėse klasėse, vėliau 5-8 klasėse ir t.t. Mokytojai galėdavo bendrauti tarpusavyje. Vienose mokyklose matematikos mokymo(-si) sistema veikė produktyviau, kitose – menkliau, bet sistema veikė. Mokinių matematikos pasiekimai buvo geri. Tai rodė egzaminų, tyrimų, matematikos olimpiadų rezultatai.

Kas atsitiko su švietimo sistema po nepriklausomybės atkūrimo? Po nepriklausomybės atkūrimo prasidėjo naujų vadovėlių leidimai, prasidėjo reformos, kurios sudarė sąlygas matematikos mokytis „palengvintai“ be logiškų apibrėžimų, be įrodymų, be sąvokų pagrindimo. Didelė dalis mokinių rinkosi tokį kursą. Jeigu nenorėjo, galėjo nebesimokyti fizikos, chemijos ir kitų dalykų. Taip buvo sumenkintas požiūris į bendrojo išsilavinimo svarbą. Šios reformos pasekmes jausime dar ilgai.

Mokyklų tinklo pertvarka suardė mokytojų bendravimo sistemą. Atskiromis mokyklomis tapo pradinės mokyklos, pagrindinės, progimnazijos ir gimnazijos. Nebeliko produktyvaus bendravimo tarp mokytojų, dirbančių pagrindinėje ir pradinėje mokykloje, gimnazijoje ir progimnazijoje. Nutrūko natūralus mokytojų kvalifikacijos kėlimo procesas. Susidariusią problemišką situaciją turėjo išspręsti švietimo ir mokslo ministerija, tačiau jai to padaryti nepavyko. Iki šiol nepavyksta suvaldyti šių procesų.

1. Vadovėlių kokybė. Vadovėlių leidyba praktiškai nekontroliuojama. Už dalykinių vadovėlių leidybą atsakingas vienas (du) specialistas. Vadovėliai nerecenzuojami arba recenzuojami neatsakingai (labai daug matematinių klaidų).

2. Mokytojų kvalifikacijos kėlimas. Įkurtų kvalifikacijos centrų veikla nukrypo ne į dalykinės kvalifikacijos kėlimą, bet į bendro pobūdžio (bendravimo, naujienų skleidimo, programų pristatymo ir t.t.) seminarų organizavimą. Iširo mokytojų rengimo sistema, kuri buvo neefektyvi, netinkamai organizuota dėl menko mokytojų prestižo, atlyginimo. Pavyzdžiui, pradinių klasių mokytojų, kurie turėtų būti iš visų mokytojų ruošiami kokybiškiausiai, atrenkant gabiausius, rengimą perdavė pedagoginėms mokykloms (neuniversitetinėms įstaigoms). Mokytojų ruošimo kokybė menko dėl silpno studentų pasirengimo. Pedagogo specialybę rinkosi studentai su prastesniais vidurinės mokyklos baigimo rezultatais.

3. Bendrųjų programų kokybė. Dalykinių problemų sprendimą turėjo pašalinti bendrosios ugdymo programos, tačiau jos paruoštos tokios ir taip, kad didžioji dalis mokytojų jų net nenagrinėja. Nėra sprendžiamos dalykų suderinamumo problemos (pvz., matematikoje tema „Vektorius“ mokoma 11 klasėje, o fizikoje jis taikomas 8 klasėje). Programų struktūra tokia, kad programų kūrėjams būtų paprasčiau kurti programą. Programose nėra sąvokų įvedimo nuoseklumo, aiškumo. Dalis sąvokų įvedama per anksti, kitos per vėlai. Didelis programų trūkumas yra tame, kad nuo pirmos iki dvyliktos klasės siekiama laikytis tos pačios programų struktūros.

Kampo sąvokos apibrėžimų analizė

Tiek mokyklinėje, tuo labiau, kolegijoje dėstomoje aukštojoje matematikoje nebello matematinio samprotavimo, kuris siekia supratimo, aiškumo, tikslumo ir tuo skiriasi nuo mokymosi, kuriame svarbu tik gebėjimas naudotis standartiniais algoritmais, nesuprantant jų prasmės. Šiuolaikinėje matematikoje matematiniu samprotavimu vadinamas matematinis diskursas, kuriam būdinga:

- kiekviena sąvoka apibrėžiama jau turimų žinių pagrindu ir naujų žinių struktūros dalimi;
- kiekvienas teiginys yra nedviprasmiškas ir formuluojamas taip, kad būtų aišku, kas yra žinoma ir kas nėra žinoma;
- kiekvienas teiginys pagrindžiamas logiškai taisyklingu samprotavimu;
- matematikos žinios orientuotos į tikslą ir sprendžia kurią nors problemą (Norvaiša, 2019).

Sąvokų vaidmuo mokymo procese yra ypač svarbus. Taigi viena iš pagrindinių matematikos didaktikos taisyklių yra: kiekvieną matematikos sąvoką mokinys turi įsisavinti tobulai (Ažubalis, 2008: 71).

Šiame straipsnyje nagrinėjama, atrodo, visiems gerai žinoma, „kampo“ sąvoka ir kitos su kampu susijusios sąvokos, su kuriomis susiduria KTK studentai matematikos, mechanikos, fizikos ir kitose paskaitose. Tai tik vienas iš daugelio pavyzdžių. Tokio pat dėmesio reikia ir kitoms sąvokoms: procentui, vektoriui, funkcijai, ribai, išvestinei, integralui ir t.t. Tik tvirtas, išmanus, suprastas sąvokos valdymas veda prie supratimo, taikymo praktikoje, kūrybiškumo. Nesuprantamų sąvokų visada šalinamės, jų vengiame, o priversti naudoti jas, dažnai klystame.

Išsiaiškinime su kokiomis problemomis susiduria mokykloje mokytojai mokydami ir mokiniai mokydami kampus. Sąvoka „kampas“ laikoma viena iš pagrindinių geometrinių sąvokų arba viena iš penkių pagrindinių geometrinių figūrų. Paanalizuokime kampo sąvokos apibrėžimo kaitą.

Jeigu pažvelgsime į Bendrąją matematikos ugdymo metodiką (Dragūnas, Rumšas, 1984: 37), tai rasime, kad „Visi apibrėžimai, pateikiami matematinėje teorijoje, turi būti korektiški“. Jeigu nevartojame apibrėžimo

sąvokos, tai paaiškinimai, komentarai turi būti korektiški, t.y. logiškai teisingi, bet ne nepagrįsti arba nuo pagrindimo išsukami, neaptariami, nepaaiškinami pagal turimą mokinių suvokimą.

N. Nikitinas pateikia tokį kampo apibrėžimą: „Kampu vadinama figūra, kurią sudaro du spinduliai, išeinantys iš vieno taško“ (Nikitinas, 1969: 17). Pagal šį apibrėžimą kampu vadinami du spinduliai su tuo pačiu spindulių pradžios tašku, tačiau čia pat tvirtinama kitaip: „Kampo modelis yra popieriaus lapo dalis, apribota kampo kraštinėmis. Likusioji lapo dalis taip pat yra kampo modelis, bet jau kito. Vadinasi viename brėžinyje turime du kampus. Kraštinės kampo, paimto plokštumoje, dalija plokštumą į dvi sritis. Toliau nagrinėsime kampą su jo vidaus sritimi“ (Nikitinas, 1969: 17,18).

Iš pateikto turinio matyti, kad autorius apibrėžia vieną, o aiškina visai ką kitą. Peršasi išvada, kad yra kampai be vidinės srities ir yra kampai su vidine sritimi. Dviprasmiškumas visada kenkia mąstymui ir vėliau, aiškinant kitus teiginius, kelia abejones.

Kitame vadovėlyje, Matematika 5 klasei 1 dalis, kurią Lietuvos Respublikos švietimo ir mokslo ministerija rekomendavo mokykloms, randame tokį kampo apibrėžimą: „Geometrinė figūra, kurią sudaro du iš vieno taško išeinantys spinduliai, vadinama kampu“ (Bakštys, 2001: 95). Šis apibrėžimas beveik nesiskiria nuo anksčiau pateikto N. Nikitino apibrėžimo, tik tampa labiau nesuprantamas, nes šalia sąvokos „figūra“ atsiranda sąvoka „geometrinė figūra“. Autoriai, kaip ir N. Nikitinas kampą vaizduoja plokštumos dalimi.

Dabartiniu metu mokyklose plačiai naudojamame vadovėlyje (Matematika tau + 5 klasė 1 dalis, 2013 58), kuris parašytas atsižvelgiant į bendrąsias ugdymo programas (čia buvo reikalaujama ne apibrėžti, o tik mokytojui su mokiniiais aptarti kampą), autoriai teigia: „Kampą gauname iš vieno taško nubrėžę du spindulius“. Pagal šį teiginį, mokiniai lyg ir turėjo žinoti, kas yra kampas, tik nemokėjo jo gauti. Dabar jau moka ir gauti.

Kaip ir anksčiau minėti autoriai, taip ir šio vadovėlio autoriai tvirtina, kad kampas yra su plokštumos dalimi, tačiau žengė dar vieną žingsnį toliau. Jie kampu vadina pačią plokštumos dalį.

Taigi, kampas yra ta (?) plokštumos dalis, kurią gauname iš vieno taško nubrėžę du spindulius, kuriuos vadiname kampo kraštinėmis. Nubrėžę du spindulius iš vieno taško, gauname dvi plokštumos dalis. Taigi neaišku kuri iš tų dviejų dalių vadinama kampu.

2016 metais Baltų lankų išleistame išsamiaame vadove „Padėkime vaikams mokytis matematiką vaizdžiai ir pažingsniui“ (Vorderman, 2016: 80) autorius pateikia tokį kampo apibrėžimą: „Kampas susidaro, kai viename taške susikerta dvi tiesės“. Iš šio teiginio galima daryti išvadą, kad dvi tiesės gali susikirsti keliuose taškuose, bet kai susikerta viename taške, tai susidaro kampas. Kampo net nereikia apibrėžti, jis susidaro pats. Toliau net neverta nagrinėti, kai aiškinimo pradžia nesuprantama ir neaiški.

Žinomas matematikas P. Vaškas savo knygoje „Netradicinė geometrija“ (2000: 11) įvade rašo, kad bus laikomasi „logiškai griežto geometrijos kurso struktūros. 1. Išvardijamos geometrinės pirminės (pradinės) sąvokos. Jos neapibrėžiamos. 2. Pateikiami kitų sąvokų apibrėžimai.“

Ketvirtame skyriuje randame tokį kampo apibrėžimą: „Figūra, kurią sudaro du spinduliai, turintys bendrą pradžią, vadinama kampu“ (Vaškas, 2000: 35). Jeigu tai logiškai griežtas apibrėžimas, tai iš apibrėžimo turi būti aišku, ką vadiname kampu. Ką sudaro du spinduliai? Jei jie sudaro dvi figūras, tai kurią iš jų vadinsime kampu? Neaišku ar ta sudarytoji figūra susideda iš spindulių ar iš spindulių ir dar kai ko (vidinės srities, plokštumos?).

Toliau nagrinėdamas kampo sąvoką, P. Vaškas pripažįsta, kad sąvoka „kampas“ naudojama ir kita prasme. „Nagrinėkime neištiesintą kampą. Pažymėkime jį kampu ABC. Jis yra plokštumoje, einančioje per tieses OA ir OB. Kampas AOB tą plokštumą padalija į dvi dalis (riboja dvi jos dalis). Viena dalis paryškinta. Dažniausiai ši dalis ir nagrinėjama. Ji irgi vadinama kampu“ (Vaškas, 2000: 36).

Tai kaip mokiniams suprasti, apie kurį kampą kalbama: apie du spindulius, turinčius bendrą pradžią, ar apie du spindulius, ribojančius plokštumos dalį? Visos apibrėžiamos sąvokos turi turėti vienaprasmią apibrėžimą, nes dviprasmybės kelia sumaištį mąstyme.

Iš pateiktų pavyzdžių peršasi išvada, kas iki šių dienų nėra bendro sutarimo, ką vadinti kampu. Būta daug bandymų rasti tobulą kampo apibrėžimą. Pateiksiu kelis pavyzdžius.

Vikipedija pateikia tokį apibrėžimą: „Geometrijoje ir trigonometrijoje kampas – figūra, kurią sudaro tiesės, turinčios bendrą susikirtimo tašką“. Šis teiginys su keliomis klaidomis. Tiesės sudaro kelias figūras, bet ne figūrą; „turinčios bendrą susikirtimo tašką“ reiškia, kad jos gali turėti susikirtimo tašką, kuris nėra bendras taškas (tai neįmanoma, nes jeigu taškas yra susikirtimo taškas, tai jis automatiškai yra bendras taškas).

Danuta Debesienė, Trakų Vytauto Didžiojo gimnazijos mokytoja metodininkė, naudoja tokį apibrėžimą: „Kampas, tai plokštumos dalis, kurią riboja du spinduliai, išeinantys iš vieno taško, vadinamo kampo viršūne. Spinduliai vadinami kampo kraštinėmis“. Šis apibrėžimas jau tikslesnis, tačiau jį sugadina žodžiai „riboja du spinduliai“ ir viename sakinyje pateikti du apibrėžimai: kampo ir kampo viršūnės apibrėžimas.

Žodynas.lt pateikia panašų apibrėžimą: „Kampas matematikoje - plokštumos dalis, apribota dviem spinduliais išeinančiais iš vieno taško“. Šiame apibrėžime žodis „riboja“ pakeistas žodžiu „apribota“.

Galima tęsti tokių apibrėžimų sąrašą, bet jie jokio aiškumo neįneša.

Panagrinėkime su kokiomis pasekmėmis susiduriame netinkamai, neaiškiai, dviprasmiškai apibrėžę kampo sąvoką.

Prisiminkime kosinuso apibrėžimą, kurį naudoja daugelio vadovėlių autoriai: „Skaičius, kurį gauname padaliję prie smailiojo kampo esančio statinio ilgį iš įžambinės, vadinamas to smailiojo kampo kosinusu“ (Matematika tau + 10 klasė, 2 dalis, 2010: 14). Čia galima suprasti, kad kampo kraštinės yra prie kampo, šalia kampo, t.y. jos nėra kampo dalys. Kaip mokiniui suvokti iki kur yra kampas ir nuo kur prasideda taškai prie kampo?

Naujausiame vadovėlyje (Matematika tempus bendrasis ir išplėstinis kursas 11 klasė, 2016: 13) randame skyrių „Kampai apskritime“. Jau pats skyriaus pavadinimas vertas kritikos, nes bendrosiose ugdymo programose buvo nurodyta, kad apskritimą reikia suvokti kaip skritulio kontūrą. Kaip tame kontūre rasti kampas? Pasirodo, galima ir tokių kampų yra ne vienas. Centrinis kampas – kampas, kurio viršūnė yra apskritimo centras, ir įbrėžtinis kampas – kampas, kurio viršūnė yra apskritimo taškas, o kraštinės kerta apskritimą. Pateikti centrinio ir įbrėžtinio kampo apibrėžimai komplikuoja situaciją. Pirma: centrinio kampo apibrėžime nieko nesakoma apie kampo kraštines, ar jos kerta apskritimą ar nekerta. Jeigu nekerta, ar jų net nėra, nes apie jas nutylėta. Antra: įbrėžtinio kampo kraštinės kerta apskritimą, vadinasi jos nėra apskritime. Visiškai supainioja trečiasis kampas: „Apibrėžtinis kampas – kampas, kurio kraštinės liečia apskritimą“. Tačiau šiuo atveju jau ne kampas yra apskritime, o apskritimas - kampe.

Analizuojant toliau, iškyla klausimas ar trikampio kampas yra figūra? Kuo skiriasi centrinis kampas nuo bet kurio kampo, jeigu bet kuris plokštumos taškas yra bet kurio apskritimo centras? Jeigu visi kampai yra centriniai kampai, tai kam tą pačią figūrą apibrėžti du kartus?

Pasekus tik vienos sąvokos apibrėžimo istoriją, matome, kad įvedant ir apibrėžiant matematines sąvokas nesilaikoma logiškai griežtos geometrijos kurso struktūros.

Pristatysiu savo kampo apibrėžimą, kuris nekelia jokių pašalinių klausimų.

Kampas yra viena iš pagrindinių geometrijos sąvokų. Taškas - neapibrėžiamas, tiesė – neapibrėžiama, tik išsiaiškinama, kokią figūrą suprantame kaip tašką, kokią figūrą suprantame, kaip tiesę. Parodome, kad taškų ir tiesių plokštumoje galime pavaizduoti kiek norime. Tiesėje yra be galo daug taškų. Jie gali būti pavaizduoti arba nepavaizduoti. Yra taškų, priklausančių tiesei, ir yra taškų, nepriklausančių tiesei. Kada aptariame visas mokinių sugalvotas situacijas, pereiname prie trijų sąvokų: spindulio, atkarpos ir kampo apibrėžimų. Tam, kad būtų aiškiau, nurodoma apibrėžimo sudarymo struktūra. Ji viena ir ta pati visoms naujoms sąvokoms apibrėžti. Naudosime žodį „dalija“. Aiškinant žodžio „dalija“ prasmę, turime susitarti, kad „mažesnis“ dalija „didesnį“ į dalis, bet ne atvirkščiai.

Spindulio apibrėžimas. Taškas dalija tiesę į dvi dalis, kurias vadiname spinduliais. Taškas, kuris dalija tiesę į dvi dalis, yra abiejų spindulių taškas ir vadinamas spindulio pradžios tašku.

Atkarpos apibrėžimas. Du taškai dalija tiesę į tris dalis: du spindulius ir tiesės dalį tarp taškų, kurią vadinsime atkarpa. Taškai yra spindulių pradžios taškai ir atkarpos galų taškai.

Kampo apibrėžimas. Du spinduliai, išeinantys iš vieno taško, dalija plokštumą į dvi dalis, kurios vadinamos kampais. Taškas ir spinduliai priklauso (yra) abiem kampams ir vadinami: taškas – kampo viršūne, o spinduliai – kampo kraštinėmis.

Visi apibrėžimai paprasti, akivaizdūs (galima iliustruoti brėžiniais), apibrėžti laikantis loginės struktūros, nepalikta jokių dviprasmybių. Naudodamiesi ta pačia logine struktūra, mokiniai savarankiškai, vadovaujami mokytojo, gali apibrėžti trikampį, keturkampį, skritulį, skritulio išpjovą, skritulio nuopjovą, centrinį kampą, įbrėžtinį kampą.

Skritulio išpjovos apibrėžimas. Du skritulio spinduliai dalija skritulį į dvi dalis, kurias vadiname skritulio išpjovomis.

Išpjovos kampas vadinamas centriniu kampu. Centrinis kampas nėra figūra.

Skritulio nuopjovos apibrėžimas. Styga dalija skritulį į dvi dalis, kurias vadiname skritulio nuopjovomis. Dvi stygos išeinančios iš vieno taško, dalija skritulį į tris dalis: dvi nuopjovas ir skritulio dalį, kurią vadiname įbrėžtiniu kampu. Įbrėžtinis kampas nėra geometrinė figūra.

Trikampio kampas taip pat nėra figūra. Trikampio kampai, centrinis kampas, įbrėžtinis kampas yra tik kampų dalys, turinčios tą patį laipsninį matą, kaip ir kampas, iš kurio jie gauti.

Apibrėždami kampą, o vėliau kampo apibrėžimo pagrindu kitų pavadinimų kampus, privalome vadovautis taisykle, kad nuo pirmo apibrėžimo nukeliavus iki paskutinio apibrėžimo, grįždami atgal nuo paskutinio apibrėžimo iki pirmo apibrėžimo, turime negauti prieštaravimo, turime nekelti papildomų sąlygų pirmajam apibrėžimui.

Matematika yra rašytinė kalba su apibrėžtomis sąvokomis. Vartodami apibrėžtas sąvokas turime nekaltuoti jų turinio, nes tada patys pradedame kalbėti nesuprantamai, o mūsų mokiniai mūsų nesupranta, nebemėgsta matematikos. Atimame iš jų kūrybos džiaugsmą, nelieka motyvacijos ieškoti ir atrasti.

Išvados

1. Bendrųjų ugdymo programų sudarytojai, vadovėlių autoriai, mokytojai dažnai nesilaiko sąvokų įvedimo nuoseklumo, tikslumo, logiškumo. Atsiranda klaidingi teiginiai, prarandamas loginis ryšys tarp atskirų temų. Matematika tampa atskirų sąvokų kratiniu, kurias galima tik mintinai išmokti. Mokiniai naudoja jiems patogius, dažnai klaidingus teiginius, daro klaidingas išvadas. Taigi, visi šie sąmoningai ar nesąmoningai dėl patogumo atsiradę teiginiai, matematiką paverčia neįdomiu ir nuobodžiu mokomuoju dalyku.

2. Matematikos vadovėliuose nesprendžiamos įsisenėjusios problemos. Nesprendžia problemų ir kvalifikacijos kėlimo centrai. Jeigu organizuojamas koks nors seminaras mokytojams, tai dažniausiai aiškinama, kaip dirbti pagal vieną ar kitą vadovėlį, kaip spręsti įvairių tipų uždavinius ir panašiai. Trūksta matematikos didaktikos seminarų, kaip dėstyti mokykloje vieną ar kitą temą, pvz., procentą, kampą, vektorių, funkciją ir t.t. Trūksta seminarų, kurių metu mokytojas galėtų rasti atsakymus į daugelį mokymo proceso eigoje iškilusių klausimų. Ar vienas ir vienetas reiškia tą patį? Kas yra funkcijos reiškimo būdai? Kodėl trikampio kampas nėra kampas?

3. Norint pasiekti geresnių matematikos mokymosi rezultatų būtina matematiką mokyti kūrybiškai, t.y. organizuoti matematikos mokymą taip, kad patys mokiniai „atrastų“ tas matematines sąvokas patys, vadovaujami mokytojo, remdamiesi jau žinomomis sąvokomis ir teiginiais ir loginiais ryšiais tarp jų. Einant šiuo keliu didėja mokinių motyvacija mokytis, kurti ir domėtis matematika. Tik taip formuojami tvirti gebėjimai, žinios tampa reikalingomis.

Matematikos dėstytojai deda dideles viltis į naujai kuriamas matematikos ir kitų dalykų bendrąsias programas, tikisi, kad jos atvers matematikai duris į dvidešimt pirmą amžių, kuriame jau nebegalima mokyti taip, kaip tiko devyniolikto amžiuje. Vis dažniau viešojoje erdvėje pripažįstama, kad Lietuvos perspektyvos išlikti stabiliai besivystančia šalimi technologijų amžiuje priklauso nuo visuomenės narių matematikos ir gamtos mokslų svarbos suvokimo, nuo mokėjimo susikonscentruoti į vertės kūrimą, nuo gebėjimo kūrybiškai taikyti žinias.

Literatūra

1. Ažubalis A., V. (2008). Logika ir mokyklinė matematika. Monografija, 71 p.
2. Bakštyš A., Bakštyš G. „Alma litera“ (2001). Matematika 5 klasė 1 dalis, 95 p.
3. Dabrišienė V., Vosylienė M., Zalubienė J., Greičiūtė R., Ūsienė A., Apynis A., Kaunas: Šviesa (2016). Matematika tempus Bendrasis ir išplėstinis kursas 11 klasė, 13 p.
4. Drėgūnas V., Rumšas P., „Mokslas“ (1984). Bendroji matematikos mokymo metodika, 37 p.
5. Intienė K., Knyvienė J.G., Meškauskaitė V., Stundžienė Ž., Vanagas V., Vilnius: TEV (2013). Matematika tau + 5 klasė 1 dalis, 58 p.
6. Intienė K., Meškauskaitė V., Rudalevičienė R., Vilimienė A., Vanagas V., Vilnius: TEV (2010). Matematika tau + 10 klasė 2 dalis, 14 p.
7. Norvaiša R. norvaisa.lt (2019). Kodėl mokome tokios matematikos, kokios mokome?
8. Nikitinas N., Kaunas: Šviesa (1969). Geometrija VII-VIII klasei, 17,18 p.
9. Vaškas P., Kaunas: Šviesa (2000). Netradicinė geometrija, 35,36 p.
10. Vorderman C., Baltos lankos (2016). Padėkime vaikams mokytis matematiką vaizdžiai ir pažingsniui, 80 p.

THE IMPORTANCE OF MATHEMATICAL REASONING IN TEACHING/LEARNING MATHEMATICS IN SECONDARY EDUCATION SCHOOLS AND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Summary

The vast majority of secondary school graduates who choose engineering studies do not have the basics of mathematics (or other exact sciences), namely, developed logical thinking, well-trained imagination and creativity. These competences have not been fostered in secondary schools for many years. This problem is faced by all lecturers of mathematics in Lithuanian Universities and Universities of Applied Sciences. The article focuses on unmanaged processes in education sphere, i.e. quality of secondary school curricula, quality of textbooks and teacher training improvement. The method of solving the above mentioned problems related to the methodology of teaching mathematics is proposed. It is a consistent introduction of mathematical concepts based on logical structures to the course of mathematics in secondary education schools. The article also analyses a case study of the logical sequence of the introduction of the concept 'angle'.

Key words: concept, definition, logical sequence, mathematical reasoning, angle.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Antanas Augaitis.

Mokslo laipsnis ir vardas: lektorius.

Darbo vietą ir poziciją: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos fakulteto matematikos dėstytojas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: matematikos didaktika ir dėstymo metodika.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 682 39356, augantanas@gmail.com.

A COVER LETTERS AUTHORS

Author name, surname: Antanas Augaitis.

Science degree and name: lecture.

Workplace and position: He is a lecturer of mathematics at Kaunas *University of Applied Engineering Science* , Faculty of Engineering.

Author's research interests: didactics of mathematics and teaching methodology.

Telephone and e-mail address: 8 682 39356, augantanas@gmail.com.

DARBO UŽMOKESČIO NELYGYBĖS PRIVAČIAME SEKTORIUJE LYTIES ATŽVILGIU ASPEKTAI

Ineta Zykienė, Akvilė Celiešiūtė
Kauno technologijos universitetas

Anotacija

Siekiant užtikrinti vienodas moterų ir vyrų dalyvavimo šalies darbo rinkoje galimybes bei įgyvendinti atitinkamų įstatymų ir kitų teisės aktų reikalavimus, reikia išsamios analizės, besiremiančios mokslinės literatūros analize, statistine informacija apie lygių galimybių situaciją darbo rinkoje ir jos pokyčius, kuri yra svarbi pagrindai darbo užmokesčio nelygybės lyties atžvilgiu analizei ir sprendimams priimti. Straipsnyje analizuojami darbo užmokesčio nelygybės privačiame sektoriuje lyties atžvilgiu aspektai. Mokslinės literatūros bei antrinių šaltinių turinio analizė parodė, kad Lietuvoje vis dar išlieka diskriminacija lyties atžvilgiu darbo rinkoje. Dalyvavimo Lietuvos darbo rinkoje skirtumus lyties atžvilgiu lemiantys veiksniai siejami su moterų integravimosi į darbo rinką kliūtimis. Atlikta didžiausių moterų ir vyrų darbo užmokesčių privačiame sektoriuje analizė parodė, kad vis dar egzistuoja darbo užmokesčio nelygybė lyties atžvilgiu šiame sektoriuje.

Reikšminiai žodžiai: darbo užmokestis, Lietuvos darbo rinka, pajamų nelygybė, privatus sektorius.

Išvadas

Profesijų segregacija pagal lytį, darbo užmokesčio skirtumai lyties atžvilgiu jau seniai egzistuojantys ir būdingi darbo rinkai. Kaip teigė Bettio ir Verashchagina (2009), darbo užmokestis daro didelį poveikį lyčių pasiskirstymui pagal apmokamą darbą. Profesijose, kuriose vyrauja moterys, darbo užmokestis mažesnis nei tose, kuriose vyrauja vyrai (Bettio ir Verashchagina, 2009). Anot Polaviejo (2018), moterys vis dar per mažai atstovaujamos gerai apmokamose profesijose. Stereotipinis mąstymas, išliekantis darbo rinkoje apie moters vaidmenį, nepriklausomai nuo moters kvalifikacijos, pasirengimo darbo rinkai, dažnai lemia blogesnę moterų padėtį darbo rinkoje ir mažesnę darbo užmokesčių. England (2010), remdamasis atliktais tyrimais, akcentavo socialinių ir politinių sprendimų svarbą pokyčių ir lyčių lygybės integravimo politikoje gerinant moterų padėtį darbo rinkoje. Socialiniai ir politiniai sprendimai kaip valstybės instrumentas gali reikšmingai prisidėti prie lygių galimybių darbo rinkoje užtikrinimo. Mokslininkai analizuoja lyčių nelygybės Lietuvos darbo rinkoje klausimus, tačiau mokslinių tyrimų apie darbo užmokesčio nelygybės privačiame sektoriuje aspektus mažai.

Straipsnio objektas – darbo užmokesčio nelygybė.

Straipsnio tikslas – išanalizuoti darbo užmokesčio nelygybės privačiame sektoriuje aspektus.

Uždaviniai:

- išanalizuoti diskriminacijos lyties atžvilgiu apraiškas Lietuvoje;
- nustatyti dalyvavimo Lietuvos darbo rinkoje skirtumus lyties atžvilgiu lemiančius veiksnius;
- išanalizuoti vyrų ir moterų darbo užmokesčio skirtumai privačiame sektoriuje.

Metodai: mokslinės literatūros analizė, antrinių statistinių duomenų analizė.

Diskriminacijos lyties atžvilgiu apraiškos Lietuvoje

Kiekvienos demokratiškos valstybės siekis yra pripažintas ir neatmetamas lygių teisių užtikrinimas (Valackienė ir Krašenkienė, 2007). Žmogaus teisių užtikrinimas ir lygių galimybių pripažinimas yra vienas iš svarbiausių demokratinės valstybės bruožų, kuris įgyvendinamas ir Lietuvoje (Žvinklienė ir kt., 2018). Šalies lygių galimybių įstatymas lygias galimybes apibrėžia kaip žmogaus teises, nepaisant jo amžiaus, lytinės orientacijos, negalios, rasės ar etninės priklausomybės, religijos, įsitikinimų ar kitų Lietuvos Respublikos tarptautinėse sutartyse ar įstatymuose nurodytų pagrindų (Lietuvos Respublikos Lygių galimybių įstatymas 2003, 2 st.). 2017 m. liepos 1 d. įsigaliojo naujas Lietuvos Respublikos darbo kodeksas, kuriuo remiantis darbdaviai įsipareigojo įgyvendinti lyčių lygybės principus. „Lyčių lygybę darbdavys privalo užtikrinti darbuotojų priėmimo į darbą metu, suteikdamas vienodas darbo sąlygas, vertindamas atliktą darbą ar mokėdamas darbo užmokesčių už vienodos vertės darbą“ (Lietuvos Respublikos Darbo kodeksas, 2017, 26 st.).

Viena iš prielaidų, lemianti nevienodas galimybes darbo rinkoje ir darbo užmokesčio nelygybę lyties atžvilgiu, siejama su diskriminacijos apraiškomis. Nors Lietuvos įstatymuose akcentuojamas visų socialinių grupių laisvės ir lygybės užtikrinimas, tačiau atskirties lyties atžvilgiu apraiškos šalyje egzistuoja. Anot Šidlauskienės ir Pocevičienės (2014), vien per 2013 m. su diskriminacija susidūrė apie 900 tūkst. moterų, kurios yra priskiriamos vienai iš jautriausių socialinių grupių. Su diskriminacija susidūrė apie 56 proc. visų 2013 m. gyvenusių moterų (Šidlauskienė ir Pocevičienė, 2014). Panaši situacija išliko ir 2017 m. Remiantis Lietuvos Respublikos Lygių galimybių kontrolieriaus ataskaita (2018), 2017 m. daugiausiai žmonių, t. y. 312 asmenų, kreipėsi dėl diskriminacijos lyties atžvilgiu, o tai sudarė net 49 proc. visų beisikreipusiųjų. Didžioji

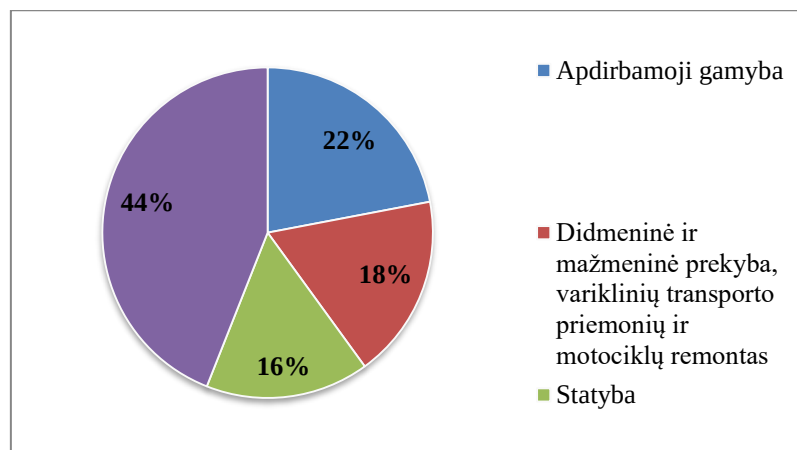
dalis, t. y. 48 proc., pareiškėjų buvo moterys. 2018 m. Lietuvos Respublikos lygių galimybių kontrolieriaus tarnyba atliko 86 tyrimus dėl galimos diskriminacijos lyties atžvilgiu, ir tai sudarė net 32 proc. visų tarnybos atliktų tyrimų. Didžioji dalis atliktų tyrimų, t. y. 43, buvo atlikti dėl galimų moterų ir vyrų teisių pažeidimų darbo srityje (Lietuvos Respublikos Lygių galimybių kontrolieriaus tarnyba, 2019). Lyčių diskriminacija darbo rinkoje ypač pastebima analizuojant vyrų ir moterų gaunamas pajamas (Žiogelytė, 2012). Nors vyrų ir moterų darbo užmokestis padidėjo, tačiau moterys vis dar uždirba mažiau nei vyrai. Remiantis Europos lyčių lygybės instituto duomenimis (2018), kiekvieną mėnesį vyrai Lietuvoje uždirba maždaug 16 proc. daugiau nei moterys. Didelė gaunamų pajamų atskirtis tarp vyrų ir moterų sukuria diskriminaciją ne tik darbo rinkoje, bet kituose sektoriuose.

Apibendrinant galima teigti, jog vienas svarbiausių kiekvienos demokratiškos valstybės tikslų, užtikrinančių jos pažangą ir efektyvią ekonominę, socialinę bei kultūrinę plėtrą, yra garantuoti visų visuomenės narių lygiateisiškumą. Lygybė tarp moterų ir vyrų yra darnios visuomenės plėtos prielaida bei vystymosi rodiklis. Lietuvoje lyčių lygybė suvokiama kaip vienas pagrindinių demokratijos ir pagarbos žmogaus teisėms principų. Nors Lietuvos Respublikos įstatymuose įteisintas lygių galimybių užtikrinimas šalyje, tačiau diskriminacija lyties atžvilgiu darbo rinkoje vis dar išlieka opia valstybės problema.

Dalyvavimo Lietuvos darbo rinkoje skirtumus lyties atžvilgiu lemiantys veiksniai

Dalyvavimo Lietuvos darbo rinkoje skirtumai lyties atžvilgiu – tai sąlygų darbo rinkoje skirtumai atskiriems asmenims ar jų grupėms lyties atžvilgiu, lemiantis prielaidas integravimosi į darbo rinką trukdžiams susidaryti. Anot Guščinskienės ir Čiburienės (2009), ryškus asimetriškumo principas vertinant vyrų ir moterų galimybes, ir tradiciškai nusistovėjęs vyro verslininko stereotipas vis dar išlieka darbo rinkoje.

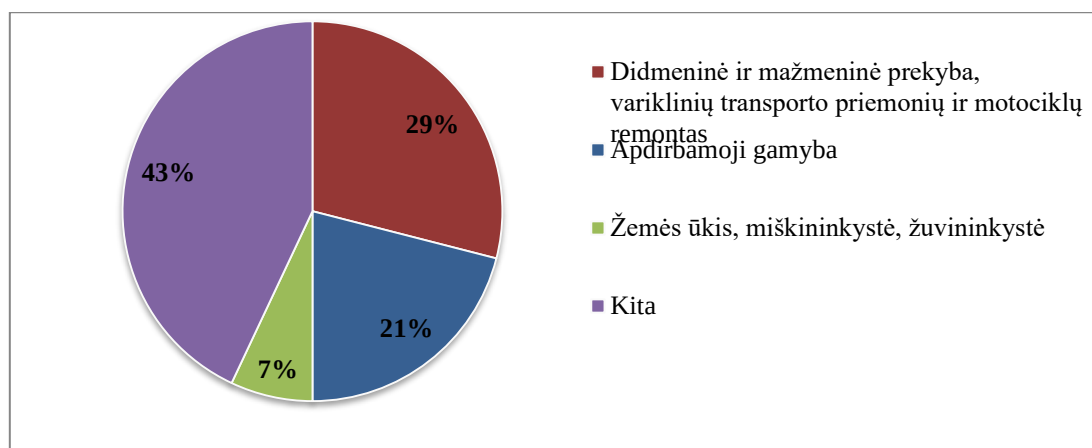
Pasak Šidlauskienės (2010), tradiciškai moterų darbas nėra pakankamai vertinamas. Moterims patikimi ne tokie atsakingi ir žemesnės kvalifikacijos darbai (Kanopienė, 2005). Daug moterų susiduria su kliūtimis siekdamos karjeros ir geriau apmokamos darbo vietos. Nors pastaruoju metu moterys vis dažniau siekia karjeros aukštumų, tačiau 2016 m. moterys privačiame sektoriuje sudarė tik 34,5 proc. visų vadovų (Paulauskas, 2017). Panaši situacija išlieka ir šiuo metu. Pažvelgus į kitas darbo pozicijas vyrų ir moterų pasiskirstymas keičiasi. 2017-2018 m. moterys sudarė net 64 proc. visų įstaigų darbuotojų, įvairiose įstaigose dirbo apie 26 tūkst. moterų. 2017 m. moterys sudarė apie 52 proc., 2018 m. apie 48 proc., o 2019 m. pirmame pusmetyje apie 46 proc. visų ne kvalifikuotų darbuotojų (Lietuvos statistikos departamentas, 2019). Dar vienas veiksnys, lemiantis dalyvavimo darbo rinkoje skirtumus lyties atžvilgiu yra vis dar išlikęs išankstinis darbdavių bei visuomenės nusistatymas prieš moteris (Crone, 2015; Valackienė ir Krašenkienė, 2007). Anot Kanopienės (2005), darbdaviai į vadovaujančias pozicijas dažniau priima vyrus, savo pasirinkimus grįsdami tuo, kad moterys yra per daug emocionalios, joms yra sunkiau sutelkti komandą. Be to, darbdaviai dažnai atsižvelgia į moters šeimyninę padėtį ir ketinimą susilaukti vaikų. Dėl šios priežasties, moterys, pasinaudojusios motinystės atostogomis, dažniau nei vyrai yra priverstos keisti darbą, jos 2 kartus dažniau nei vyrai susiduria su darbdavio ar kolegų palaikymo trūkumu (Lietuvos statistikos departamentas, 2018). Svarbu atsižvelgti ir į tai, kad net ir dirbdami tose pačiose srityse vyrai ir moterys susiduria su skirtingu visuomenės požiūriu. Kaip teigė Šidlauskienė (2010), profesinėje srityje iš vyrų dažnai tikimasi kompetencijų, saviraiškos viešajame gyvenime, tuo tarpu moteris siejama su šeima, namų puoselėjimu. Moters atliekama namų ruoša ar veikla privačioje erdvėje dažnai yra nemokama. Dėl šios priežasties visuomenėje susidaro nuomonė, kad sritis, kurioje dirba moteris finansiškai yra mažiau vertinga, nei sritis, kurioje dirba vyrai (Kraujutaitytė ir Jurkevičiūtė 2016). Dalyvavimo darbo rinkoje skirtumus lyties atžvilgiu lemia ir skirtingas profesijos pasirinkimas. Pasak Kanopienės (2005), vyrai ir moterys skirtingose profesijų grupėse pasiskirstę nevienodai. Remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis (2019), 2017-2019 m. daugiausiai vyrų dirbo apdirbamosios gamybos, didmeninės ir mažmeninės prekybos, variklinių transporto priemonių ir motociklų remonto bei statybos srityse (žr. 1 pav.).



1 pav. Vyrų, dirbančių privačiame sektoriuje, pasiskirstymas pagal ūkio šakas, proc.

Šaltinis: sudaryta autorių, remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis (2019).

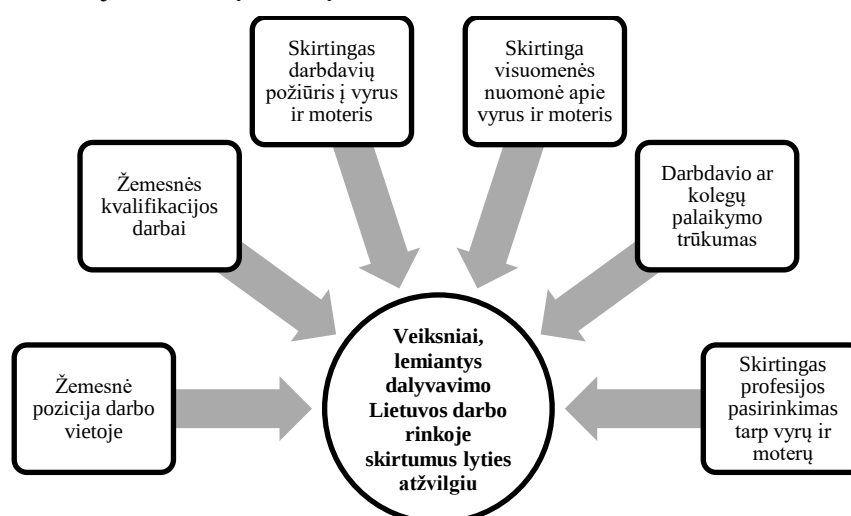
Mažiausiai vyrų dirbo kasybos ir karjerų eksploatavimo bei elektros, dujų, garo tiekimo ir oro kondicionavimo srityse. Šių profesijų atstovai sudarė tik po 0,4 proc. visų Lietuvos vyrų, dirbančių privačiame sektoriuje. 2017-2019 m. didžioji dalis moterų dirbo didmeninės ir mažmeninės prekybos, variklinių transporto priemonių ir motociklų remonto srityje. Nemaža dalis moterų dirbo apdirbamosios gamybos bei žemės ūkio, miškininkystės ir žuvininkystės srityse (žr. 2 pav.)



2 pav. Moterų, dirbančių privačiame sektoriuje, pasiskirstymas pagal ūkio šakas, proc.

Šaltinis: sudaryta autorių, remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis (2019).

Moterys, rečiau nei vyrai renkasi elektros, dujų, garo tiekimo ir oro kondicionavimo bei vandens tiekimo, nuotekų valymo, atliekų tvarkymo ir regeneravimo sritis. Šiose srityse 2017-2019 m. dirbo tik 0,3 proc. visų privačiame sektoriuje dirbančių moterų.



3 pav. Veiksniai, lemiantys dalyvavimo Lietuvos darbo rinkoje skirtumus lyties atžvilgiu

Šaltinis: sudaryta autorių.

Apibendrinant, galima teigti, kad veiksniai, lemiantys dalyvavimo Lietuvos darbo rinkoje skirtumus lyties atžvilgiu yra žemesnė pozicija darbo vietoje, žemesnės kvalifikacijos darbai, skirtingas darbdavių požiūris į vyrus ir moteris, skirtinga visuomenės nuomonė apie vyrus ir moteris, darbdavio ar kolegų palaikymo trūkumas, skirtingas profesijos pasirinkimas tarp vyrų ir moterų (žr. 3 pav.).

Vyrų ir moterų darbo užmokesčio skirtumai privačiame sektoriuje

Remiantis Paulausku (2017), 2008-2015 m. didžiausi vyrų ir moterų darbo užmokesčio skirtumai buvo pastebimi privačiame sektoriuje. Pagrindinė vyrų ir moterų darbo užmokesčio skirtumų priežastis privačiame sektoriuje yra tai, kad viešajame sektoriuje darbo užmokestis yra mokamas pagal tam tikrą pareigų kategorijų ir lygių sistemą, kuri nustatoma centralizuotai. Dėl šios priežasties viešajame sektoriuje yra daugiau kontrolės ir skaidrumo (Grybaitė, 2006).

1 Lentelė

Didžiausi vidutiniai vyrų ir moterų darbo užmokesčiai privačiame sektoriuje 2016-2019 metais

Lytis	Veiklos sritis	Laikotarpis			
		2016 m.	2017 m.	2018 m.	2019 m. (I-asis ir II-asis ketvirtis)
Moterys	Pagrindinių vaistų pramonės gaminių ir farmacinių preparatų gamyba	1275,4 Eur	1387,4 Eur	1325,2 Eur	1953 Eur
	Draudimo, perdraudimo ir pensijų lėšų kaupimo, išskyrus privalomąjį socialinį draudimą, veikla	1340,98 Eur	1470 Eur	1564 Eur	2246,6 Eur
	Moksliniai tyrimai ir taikomoji veikla	1492,08 Eur	1577,7 Eur	1680,4 Eur	2322,8 Eur
Vyrai	Finansinė ir draudimo veikla	1936,08 Eur	2075,53 Eur	2190,18 Eur	3098,65 Eur
	Piniginis tarpininkavimas	2135,83 Eur	2344,08 Eur	2415,95 Eur	3435,35 Eur
	Draudimo, perdraudimo ir pensijų lėšų kaupimo, išskyrus privalomąjį socialinį draudimą, veikla	1981,13 Eur	2153,65 Eur	2309,83 Eur	3442,8 Eur

Šaltinis: sudaryta autorių, remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis (2019)

Remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis (2019), privačiame sektoriuje, be individualių įmonių, moterys daugiausiai uždirba dirbdamos pagrindinių vaistų pramonės gaminių ir farmacinių preparatų gamyboje, draudimo, perdraudimo ir pensijų lėšų kaupimo, išskyrus privalomąjį socialinį draudimą, veikloje bei mokslinių tyrimų ir taikomosios veiklos srityse. Tuo tarpu vyrai privačiame sektoriuje daugiausiai uždirba pinigų tarpininkavimo, draudimo, perdraudimo ir pensijų lėšų kaupimo, išskyrus privalomąjį socialinį draudimą, veiklose ir finansinėje draudimo veikloje (žr lentelę). Remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis (2019), moterys daugiausiai uždirbo mokslinių tyrimų ir taikomojoje veikloje, vyrai beveik visu nagrinėjamu laikotarpiu daugiausiai uždirbo piniginių tarpininkavimų srityje. 2019 m. I-ajame ir II-ajame ketvirtyje moterys mokslinių tyrimų ir taikomojoje veikloje vidutiniškai uždirbo 2322,8 Eur, o vyrai piniginių tarpininkavimų srityje analizuojamu laikotarpiu vidutiniškai uždirbo 3435,35 Eur. Skirtumas tarp didžiausių vidutinių vyrų ir moterų darbo užmokesčių privačiame sektoriuje buvo net 1112,55 Eur. Didžiausių vidutinių vyrų ir moterų darbo užmokesčių draudimo, perdraudimo ir pensijų lėšų kaupimo, išskyrus privalomąjį socialinį draudimą, veiklos sektoriuje analizė parodė, kad šiame sektoriuje dirbantys vyrai ir moterys gauna vienus didžiausių darbo užmokesčių privačiame sektoriuje, bet skirtumas tarp vyrų ir moterų didžiausių vidutinių darbo užmokesčių išliko akivaizdus visu analizuotu 2016-2019 m laikotarpiu. Vidutinis moterų darbo užmokestis 2016-2019 m. sudarė apie 68 proc. vyrų gaunamų pajamų šioje srityje.

Didžiausių vidutinių vyrų ir moterų darbo užmokesčių privačiame sektoriuje 2016-2019 metais analizė parodė, kad vyrai uždirba daugiau nei moterys. Moterų darbo užmokestis vidutiniškai sudaro apie 68 proc. vyrų užmokesčio. Dideli darbo užmokesčių atotrūkiai tarp vyrų ir moterų vis dar išlieka opia privataus sektoriaus problema.

Išvados

- Nors Lietuvoje lyčių lygybę užtikrina įvairūs įstatymai, tačiau diskriminacija lyties atžvilgiu vis dar išlieka opia šalies problema. Dažniausiai su diskriminacija lyties atžvilgiu yra susiduriama darbo rinkoje. Lietuvoje vyraujantys darbo užimtumo modeliai formuoja nevienodas struktūrines galimybes moterims dalyvauti darbo rinkoje. Nors Lietuvos strateginiuose dokumentuose deklaruojamas siekis įveikti kliūtis

lyčių lygybei, diskriminacijos lyties atžvilgiu apraiškos šalyje egzistuoja. Didelė gaunamų pajamų atskirtis tarp vyrų ir moterų sukuria diskriminaciją ne tik darbo rinkoje, bet ir socialiniame gyvenime.

- Dalyvavimo Lietuvos darbo rinkoje skirtumus lyties atžvilgiu lemiantys veiksniai siejami su moterų integravimosi į darbo rinką kliūtimis. Moterys dažniau susiduria su trukdžiais siekdamos karjeros ir geriau apmokamos darbo vietos. Vis dar išlikęs išankstinis darbdavių bei visuomenės nusistatymas prieš moteris, moterų žemesnės pozicijos darbo vietose ir žemesnės kvalifikacijos darbai daro įtaką skirtumams Lietuvos darbo rinkoje lyties atžvilgiu susidaryti ir egzistuoti. Netolygus vyrų ir moterų pasiskirstymas ūkio šakose bei profesijos pasirinkimo atžvilgiu išlieka dar viena aktualia problema, sudarančia dalyvavimo Lietuvos darbo rinkoje skirtumus lyties atžvilgiu.
- Atlikta didžiausių moterų ir vyrų darbo užmokesčių privačiame sektoriuje analizė parodė, kad egzistuoja ryškūs skirtumai tarp vyrų ir moterų darbo užmokesčių privačiame sektoriuje. Moterys ir vyrai vis dar linkę dirbti skirtingus darbus, o tai daro įtaką darbo užmokesčių skirtumui lyties atžvilgiu. Viena vertus, moterys ir vyrai dažnai dominuoja skirtinguose sektoriuose. Kita vertus, analizė parodė, kad tame pačiame sektoriuje dirbančių moterų ir vyrų darbo užmokestis buvo akivaizdžiai skirtingas, t. y. moterų darbo užmokestis buvo žymiai mažesnis nei vyrų darbo užmokestis analizuotu laikotarpiu.

Literatūra

1. Bettio, F., & Verashchagina, A. (2009). *Gender segregation in the labour market: Root causes, implications and policy responses in the EU*. Prieiga per internetą: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/39e67b83-852f-4f1e-b6a0-a8fbb599b256>.
2. Crone, J. A. (2015). *How can we solve our social problems?* Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc., 344 p.
3. England, P. (2010). The gender revolution: Uneven and stalled. *Gender and Society*, 24(2), 149-166.
4. Europos lyčių lygybės institutas (2018). *2017 m. lyčių lygybės indeksas*. Prieiga per internetą: <https://eige.europa.eu/lt/in-brief>.
5. Grybaitė, V. (2006). Lyčių lygybė darbo rinkoje: moterų ir vyrų darbo užmokesčio skirtumai. Prieiga per internetą: <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=127046>.
6. Guščinskienė, J., & Čiburienė, J. (2009). Lietuvos moterų verslumo galimybių kaita integracijos į Europos Sąjungą sąlygomis. *Ekonomika ir vadyba*, 14, 772-779.
7. Kanopienė, V. (2005). Moterų užimtumas Lietuvoje: ES kontekstas. *Socialinis darbas*, 4(2), 5-11.
8. Kraujutaitytė, L., & Jurkevičiūtė, T. (2016). Institucinis regiono valdysenos lyčių lygybės diskursas. Prieiga per internetą: http://193.219.76.12/index.php/RDFS/article/view/1248/pdf_1.
9. Lietuvos Respublikos Darbo kodeksas (2017). 26 straipsnis. Darbuotojų lyčių lygybė ir nediskriminavimas kitais pagrindais. Prieiga per internetą: <https://taz.lt/?p=5907#more-5907>.
10. Lietuvos Respublikos Lygių galimybių įstatymas (2003). Pagrindinės šio įstatymo sąvokos. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.222522>.
11. Lietuvos Respublikos Lygių galimybių kontrolierius (2018). 2017 metų veiklos ataskaita. Prieiga per internetą: <https://www.lygybe.lt/data/public/uploads/2018/03/lygiu-galimybiu-kontrolieriaus-2017-m.-veiklos-ataskaita.pdf>.
12. Lietuvos Respublikos Lygių galimybių kontrolierius (2019). 2018 metų veiklos ataskaita. Prieiga per internetą: <https://www.lygybe.lt/data/public/uploads/2019/04/lgk-2018-m.-veiklos-ataskaita-.pdf>.
13. Lietuvos statistikos departamentas (2018). 18-64 metų amžiaus asmenys, naudojęsi vaikų priežiūros atostogomis. Prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/naujienos?articleId=5910544>.
14. Lietuvos statistikos departamentas (2019). Darbo užmokesčio indeksas (mėnesinis). Prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/lt/statistiniu-rodikliu-analize?hash=3b33d141-b2b8-438a-ad8f-2f2bf131b580>.
15. Paulauskas, D. (2017). Lyčių nelygybė darbo rinkoje. Prieiga per internetą: http://ivairovesnamai.lt/uploads/8/6/1/6/8616620/lyciu_nelygybe_darbo_rinkoje.pdf.
16. Polavieja, J. G. (2008). The effect of occupational sex-composition on earnings: Job-specialization, sex-role attitudes and the division of domestic labour in Spain. *European Sociological Review*, 24 (2), 199–213.
17. Šidlauskienė, V. (2010). Ką atskleidžia moterų ir vyrų lygybės įmonėje vertinimas? Kaip priimti lygybės iššūkius darbovietėje? Prieiga per internetą: <https://etalpykla.lituanistikadb.lt/object/LT-LDB-0001:J.04~2010~1367175100621/J.04~2010~1367175100621.pdf>.
18. Šidlauskienė, V., & Pocevičienė, V. (2014). Pažeidžiamos moterų grupės padėtis užimtumo srityje. Prieiga per internetą: <https://etalpykla.lituanistikadb.lt/object/LT-LDB-0001:J.04~2014~1506433899996/J.04~2014~1506433899996.pdf>.
19. Valackienė, A., & Krašenkienė, A. (2007). Diskriminacijos raiška ir valstybės institucijos bei visuomeninis sektorius. Prieiga per internetą: <http://elibrary.lt/resursai/LMA/Filosofija/fil72/6.pdf>.
20. Žiogelytė, L. (2012). Vyrų ir moterų darbo užmokesčio skirtumų Lietuvoje vertinimas. Prieiga per internetą: <https://etalpykla.lituanistikadb.lt/object/LT-LDB-0001:J.04~2012~1367188410245/J.04~2012~1367188410245.pdf>.

21. Žvinklienė, A., Kublickienė, L., Šėporaitytė-Vismantė, D., & Janušauskienė, D. (2018). *Patikėję demokratija: gyventojų nuostatos ir socialinė patirtis lygių galimybių užtikrinimo srityje*. Lietuvos socialinių tyrimų centras, 150 p.

ASPECTS OF WAGE INEQUALITY IN THE PRIVATE SECTOR

Summary

In order to ensure equal opportunities for women and men in the labour market and to meet the requirements of relevant laws and regulations, a comprehensive analysis based on the analysis of scientific literature and statistics on the labour market situation and its development is necessary. It is important for reasoned analysis and decision-making on gender pay inequalities. The aim of the article is to analyse aspects of wage inequality in the private sector. According to the results of the analysis, there are marked differences between the wages of men and women in the private sector in Lithuania. Women and men still tend to do different jobs, which affects the gender pay gap. The analysis showed that there was a marked difference in pay between women and men in the same sector, i.e. women's wages were significantly lower than men's wages during the analysed period.

Key words: Wages, Lithuanian labour market, income inequality, private sector.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Ineta Zykiene

Mokslo laipsnis ir vardas: daktarė, lektorė

Darbo vieta ir pozicija: Kauno Technologijos universiteto, Ekonomikos ir verslo fakulteto lektorė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: makroekonomika, mikroekonomika, darbo rinkos tyrimai, ekonominių veiksnių analizė. Telefonas ir el. pašto adresas: +37065512546, ineta.zykiene@ktu.lt.

Autoriaus vardas, pavardė: Akvilė Celiešiūtė

Mokslo laipsnis ir vardas: studentė

Darbo vieta ir pozicija: Kauno Technologijos universiteto, Ekonomikos ir verslo fakulteto fakulteto studentė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: darbo rinkos tyrimai, ekonominių veiksnių analizė. Telefonas ir el. pašto adresas: +37068358159, akvile.celiesiute@ktu.edu

SOCIALINIŲ TINKLŲ POPULIARUMO ASPEKTAI

Vita Krivickienė¹, Radvilė Alijauskaitė²

Kauno technikos kolegija¹, Kauno technologijos universitetas²

Anotacija

Straipsnyje analizuojamas „Facebook“, „YouTube“ ir „Instagram“ socialinių tinklų populiarumas pasaulyje bei Lietuvoje vartotojų požiūriu ir jų populiarumą lemiantys ypatumai. Mokslinės literatūros bei antrinių šaltinių turinio analizė parodė, kad populiariausias socialinis tinklas vartotojų požiūriu pasaulyje bei Lietuvoje yra „Facebook“. Jo populiarumas siejamas su socialinio tinklo sukuriamomis galimybėmis aktyviam bendravimui bei intensyviai informacijos sklaidai, ir vartotojų privatumo bei saugumo užtikrinimo galimybėmis, darančiomis įtaką ne tik privačių vartotojų, bet ir organizacijų bei įmonių pasirinkimui. „YouTube“ ir „Instagram“ socialiniai tinklai sudaro didesnes galimybes vaizdo įrašų sklaidai ir komunikacijai. Jų vartotojai yra aktyvių asmenų grupės, turinčios santykinai *panašius pomėgius ir poreikį* aktyviam komunikavimui.

Reikšminiai žodžiai: socialiniai tinklai, „Facebook“, „YouTube“, „Instagram“, vartotojų požiūris.

Įvadas

Jau ne vienas dešimtmetis matomas augantis socialinių tinklų populiarumas. Socialiniai tinklai sulaukia ne tik didėjančio vartotojų susidomėjimo, bet ir sukuria naujas bendravimo ir informacijos sklaidos galimybes tiek žmonėms, tiek organizacijoms. Socialinė žiniasklaida tapo XXI amžiaus saviraiškos metodu, leidžiančiu absoliučiai naujai išreikšti savo įsitikinimus, idėjas ir būdą. Šis bendravimo ir informacijos sklaidos būdas sudarė galimybę išsiskirti greitai besikeičiančioje skaitmeninėje laisvėje. Socialiniai tinklai pirmauja populiariausių internetinių puslapių sąrašuose pagal lankomumą. Anot Nations (2019 (a)), socialinė žiniasklaida yra internetinės komunikacijos priemonė, leidžiančios bendrauti tarpusavyje tiek dalijantis, tiek vartojant informaciją realiu laiku. „Socialinius tinklus galima įvardyti kaip priemones, kurios suteikia galimybę sąveikauti ir veikti žmonėms ar organizacijoms socialinėje erdvėje“ (Krutovaitė, 2016). Socialinės žiniasklaidos tikslai yra informuoti, motyvuoti, įtikinti ar siekti abipusio supratimo (Vaičiulė, 2019). Socialiniai tinklai daro įtaką žmonių elgesiui bei bendravimui ir informacijos sklaidai, tuo pačiu ir patys yra veikiami savo vartotojų elgesio, gebėjimo priimti ir dalintis gaunama informacija nuolatinės tarpusavio sąveikos procese. Lietuvoje atliekami socialinių tinklų plėtos statistiniai tyrimai, tačiau mokslinių įžvalgų apie socialinių tinklų populiarumo Lietuvoje ir užsienyje aspektus mažai.

Straipsnio objektas – socialinių tinklų populiarumo aspektai.

Straipsnio tikslas – išanalizuoti socialinių tinklų populiarumo pasaulyje ir Lietuvoje aspektus.

Uždaviniai:

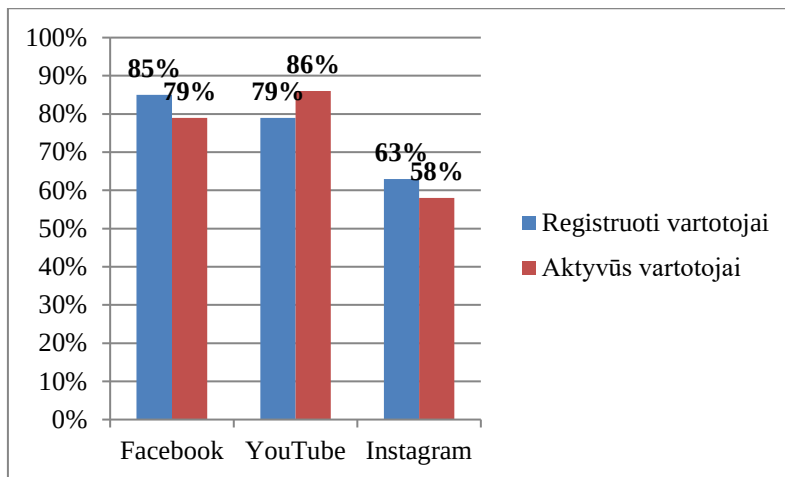
- išnagrinėti socialinių tinklų populiarumo tendencijas pasaulyje ir Lietuvoje vartotojų požiūriu;
- išanalizuoti populiariausių socialinių tinklų kaip bendravimo ir informacijos sklaidos būdo ypatumus.

Metodai: mokslinės literatūros analizė, antrinių statistinių duomenų analizė, kokybinė turinio analizė.

Socialinių tinklų populiarumo tendencijos pasaulyje ir Lietuvoje vartotojų požiūriu

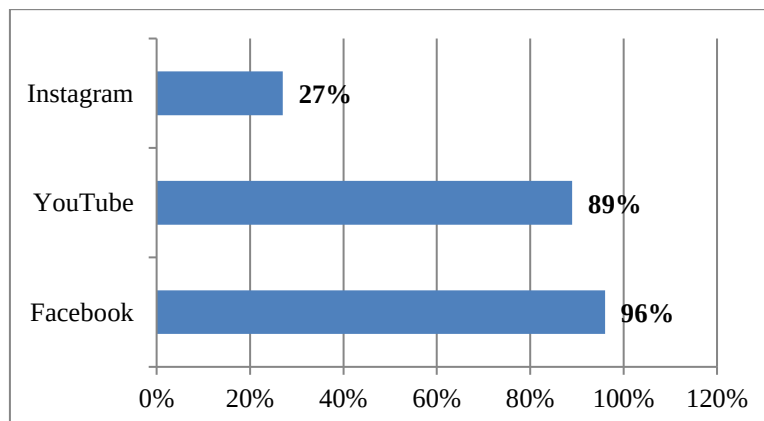
Socialiniai tinklai kaip viena pagrindinių šiuolaikinių bendravimo ir informacijos mainų formų apjungia žmones įvairių tikslų pagrindu. Anot Wilson ir Peterson (2002), elektroninėje erdvėje veikia skirtingos grupės, nuo mažų grupių, diskutuojančių tam tikromis specifinėmis temomis iki sudėtinių, apjungiančių milijonus žmonių, kurie domisi rinkos naujienomis ar prekių bei informacijos sklaida.

Remiantis Chaffey (2019), net 4,4 mlrd. pasaulio gyventojų naudoja internetu ir net 3,5 mlrd. žmonių naudoja socialiniais tinklais (Ortiz-Ospina, 2019). Socialiniai tinklai sudaro galimybes ne tik vartotojų saviraiškai, bet ir yra orientuoti į grupių komunikaciją, vartotojų bendravimo stiprinimą ir dialogo tarp grupių įvairiais visuomeniniais ar kultūros klausimais vystymą.



1 pav. Socialinių tinklų „Facebook“, „YouTube“ ir „Instagram“ registruoti ir aktyvūs vartotojai, proc.
Šaltinis: sudaryta autorių, remiantis Digital InformationWorld (2019)

Remiantis Digital Information World (2019) duomenimis, socialinis tinklas „Facebook“ yra populiariausias pasaulyje pagal registruotų vartotojų skaičių, t. y. net 85 proc. interneto vartotojų yra šio tinklo nariai (žr. 1 pav.). Antroje vietoje yra „YouTube“ socialinis tinklas, kurio registruotais vartotojais yra 79 proc. interneto vartotojų. Trečioje vietoje tarp analizuojamų socialinių tinklų yra „Instagram“, kurio registruotais vartotojais yra 63 proc. interneto vartotojų. Pagal aktyvius vartotojus tarp analizuojamų socialinių tinklų pirmauja „YouTube“, turintis 86 proc. aktyvių interneto vartotojų. Antroje vietoje yra „Facebook“, kurio aktyvūs vartotojai apima 79 proc. interneto vartotojų. Socialinis tinklas „Instagram“, turintis 58 proc. aktyvių interneto vartotojų, išlieka trečioje vietoje tarp analizuojamų tinklų.



2 pav. Socialinių tinklų „Facebook“, „YouTube“ ir „Instagram“ pasiskirstymas Lietuvoje pagal vartotojų skaičių, proc.

Šaltinis: sudaryta autorių, remiantis Metinė medijų tyrimų apžvalga (2018)

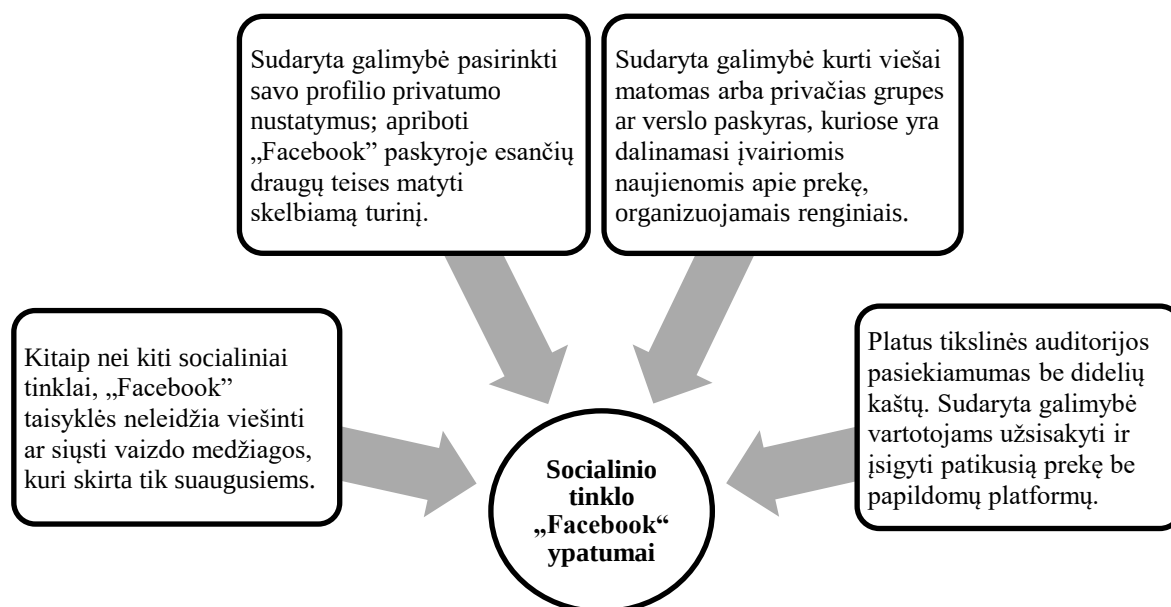
Analizuojant socialinių tinklų populiarumo tendencijas Lietuvoje, galima teigti, kad socialinis tinklas „Facebook“ vartotojų požiūriu yra populiariausias Lietuvoje. Šio tinklo vartotojus sudaro net 96 proc. Lietuvos interneto vartotojų (žr. 2 pav.). Remiantis Vaičiule (2019), pagrindiniai „Facebook“ vartotojų Lietuvoje tikslai yra socialinis bendravimas ir informacijos paieška. Antroje vietoje tarp analizuojamų socialinių tinklų yra „YouTube“, kurio vartotojais yra 89 proc. interneto vartotojų. Socialinis tinklas „Instagram“ užima trečiąją poziciją tarp straipsnyje analizuojamų socialinių tinklų. Šio tinklo vartotojais yra 27 proc. Lietuvos interneto vartotojų.

Apibendrinant galima teigti, kad vartotojų požiūriu populiariausiu socialiniu tinklu pasaulyje ir Lietuvoje yra „Facebook“, turintis didžiausią skaičių registruotų vartotojų. Antroje vietoje tarp analizuojamų socialinių tinklų yra „YouTube“. Socialinis tinklas „Instagram“ yra trečioje vietoje pagal populiarumą tarp analizuojamų straipsnyje tinklų. Socialinių tinklų populiarumo tendencijos Lietuvoje ir pasaulyje sutampa.

Populiariausių socialinių tinklų kaip bendravimo ir informacijos sklaidos būdo ypatumai

Vienu populiariausių socialinių tinklų pasaulyje ir Lietuvoje išlieka „Facebook“. Socialinio tinklo „Facebook“ populiarumas tarp vartotojų kelia klausimą: kokie „Facebook“ ypatumai lemia vartotojų pasirinkimą? Šiuo atžvilgiu bendravimo ir informacijos mainų poreikiai gali būti svarbūs, nes, anot Lee ir Chiou (2013), asmenys vis labiau tampa priklausomi nuo socialinių tinklų, kad patenkintų savo socialinius poreikius.

Kaip tvirtino Nations (2019 (b)), „Facebook“ platforma buvo įkurta Jungtinėse Amerikos Valstijose 2004 m. Eduardo Saverin, Dustin Moskovitz, Chris Hughes ir Mark Zuckerberg, Harvardo universiteto studentai sukūrė socialinį tinklą, kurio pagalba vartotojai galėtų rašyti komentarus, dalintis nuotraukomis, naujienomis ar kitu turiniu. Socialinio tinklo įkūrėjų tikslas buvo sukurti platformą, kuri padėtų užmegzti kontaktus su draugais, su kuriais ilgą laiką nebendravo, arba padėtų susipažinti su naujais draugais. 2012 m. „Facebook“ tapo populiariausiu socialiniu tinklu pasaulyje, turėdama daugiau nei 1 mlrd. vartotojų. Anot Nations (2019 (b)), ši platforma buvo bei išlieka nemokama ir yra priimtina įvairaus amžiaus vartotojų grupėms dėl aiškaus ir lengvo naudojimosi. Tai viena iš platformos populiarumą lemiančių priežasčių. Be to, Mark Zuckerberg uždraudė naudoti melagingą tapatybę prisijungiant prie platformos, siekdamas sukurti asmeninį ir patikimą ryšį tarp vartotojų. Tai taip pat prisidėjo prie socialinio tinklo populiarumo augimo (Nations, 2019 (b)). Šiuo metu socialinis tinklas „Facebook“ turi apie 2,41 mlrd. aktyvių vartotojų, t. y. tų kurie prisijungė prie „Facebook“ platformos per pastarąsias 30 dienų (Clement, 2019).

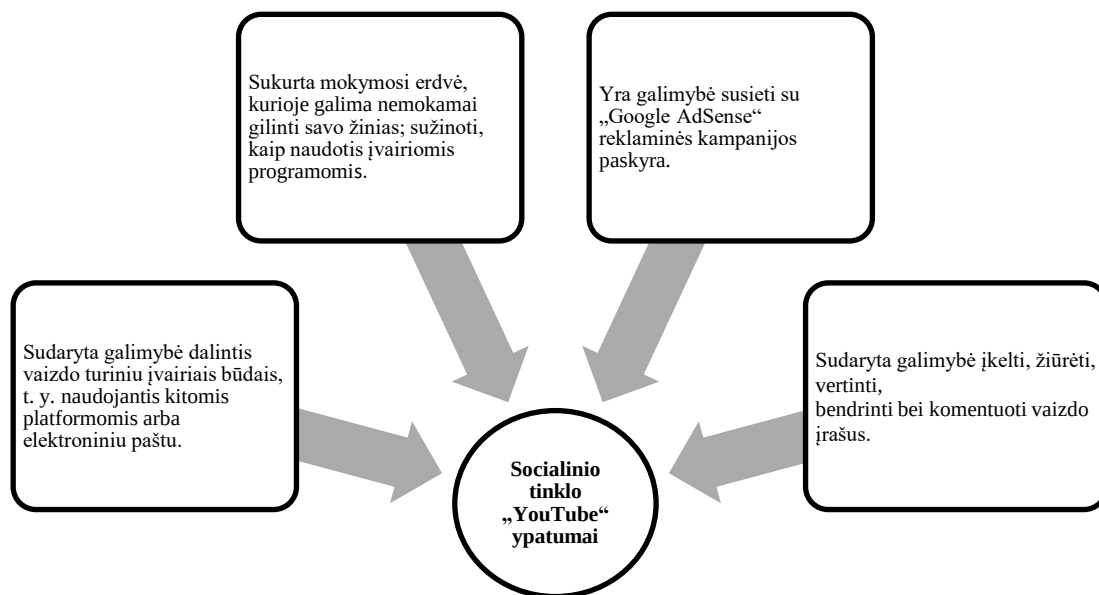


3 pav. Socialinio tinklo „Facebook“ ypatumai

Šaltinis: sudaryta autorių, remiantis Nations (2019(a,b))

Socialinis tinklas „Facebook“ pasižymi vartotojų privatumo ir saugumo užtikrinimo galimybėmis. Tuo pačiu sudaro galimybes intensyviai bendravimui ir didelei informacijos sklaidai (žr. 3 pav.). Tai daro įtaką ne tik privačių vartotojų, bet ir organizacijų bei įmonių pasirinkimui naudotis šios platformos kuriamomis galimybėmis. Dažnai įmonės kaip marketingo komunikacijos būdą pasirenka socialinį tinklą „Facebook“ dėl plačios tikslinės auditorijos pasiekiamumo be didelių kaštų. Verslo organizacijoms ypač patogiu naudoti šia komunikacijos priemone, kadangi vartotojas gali tiesiogiai užsisakyti ir įsigyti patikusių prekę.

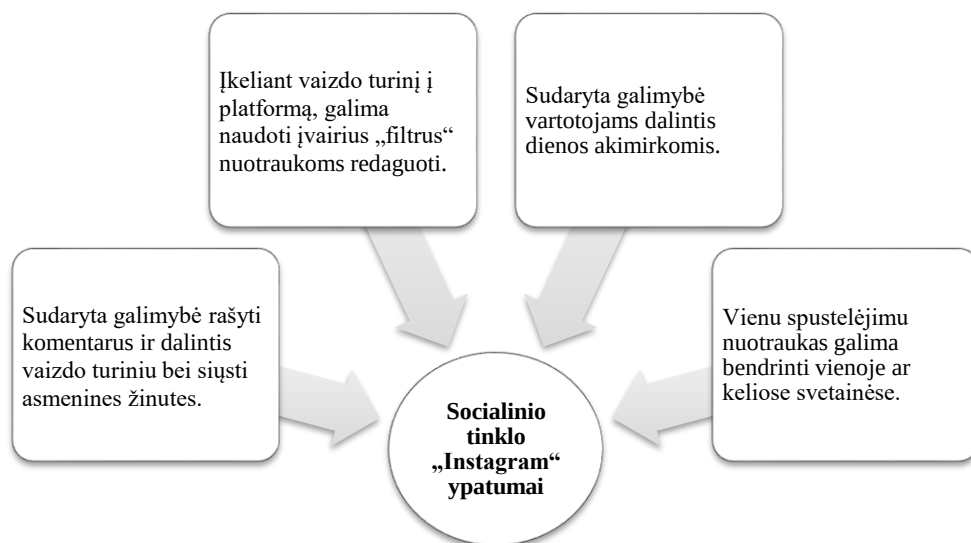
Antrą vietą pagal populiarumą užimantis socialinis tinklas „YouTube“ - nemokama vaizdo įrašų bendrinimo platforma, kurią 2005 metais sukūrė Chad Hurley, Steve Chen ir Jawed Karim, buvę JAV bendrovės „PayPal“ darbuotojai. „YouTube“ platformos sukūrimo pirminis tikslas buvo sukurti vaizdo įrašų platformą, kuri lengvai leistų bendrinti turinį (Soffar, 2015). Po metų „YouTube“ internetinį tinklą įsigijo JAV bendrovė „Google“ už 1,65 mlrd. dolerių, todėl šiuo metu „YouTube“ veikia kaip viena bendrovės „Google“ antrinių įmonių. Vartotojams sudaryta galimybė įkelti, žiūrėti, vertinti, bendrinti bei komentuoti vaizdo įrašus. Vaizdo turinį sudaro muzikiniai vaizdo įrašai, garso įrašai, filmų anonsai bei kitas vaizdo turinys (YouTube, 2019).



4 pav. Socialinio tinklo „YouTube“ ypatumai

Šaltinis: sudaryta autorių, remiantis Soffar (2015)

Socialinis tinklas „YouTube“ pasižymi sudarytomis galimybėmis lengvai dalintis vaizdo bei garso įrašais, skatinančiomis aktyvų vartotojų tarpusavio bendravimą (žr. 4 pav.). Socialiniame tinkle sukurta mokymosi erdvė, suteikianti galimybę vartotojams mokytis nuotoliniu būdu patogiu jiems metu. Socialinio tinklo „Instagram“ suteikiama galimybė prisijungti prie reklaminės kampanijos „Google AdSense“ paskyros yra puikus būdas verslui ir privatiems vartotojams keistis bei perduoti naudingą informaciją savo klientams, o taip pat ir įtraukti žmones į įvairias diskusijas bei tokiu būdu išlaikyti artimesnį ryšį tarp verslo atstovų ir klientų. Tai pat suteikiama galimybė socialinio tinklo vartotojams užsidirbti pinigų iš įkeltų vaizdo įrašų. Trečią vietą pagal populiarumą tiek Lietuvoje, tiek užsienyje užimantis tinklas „Instagram“ yra nemokama internetinė nuotraukų dalijimosi programa ir platforma, kurią 2012 m. įsigijo „Facebook“. Kaip ir kitų socialinių tinklų platformose, „Instagram“ vartotojai gali rašyti komentarus ir dalintis vaizdo turiniu bei siųsti asmenines žinutes savo draugams. Kevin Systrom ir Mike Krieger iš San Francisko, platformą įkūrėjai, nusprendė, jog jų sukurtas socialinis tinklas bus skirtas tik nuotraukų dalijimuisi (Rouse, 2017). 2016 m. socialiniame tinkle „Instagram“ buvo įdiegta funkcija, leidžianti vartotojams dalintis dienos akimirkomis, kurios dingsta po 24 valandų (Rouse, 2017). Socialinis tinklas „Instagram“ yra ypatingai populiarius jaunimo, nuo 18 iki 24 metų amžiaus, tarpe. Virš 50 proc. vartotojų platformoje apsilanko daugiau nei kartą per dieną (Chaffey, 2019).



5 pav. Socialinio tinklo „Instagram“ ypatumai

Šaltinis: sudaryta autorių, remiantis Rouse (2017)

Socialinis tinklas „Instagram“ pasižymi orientavimusi į vaizdą, sudarydamas galimybes aktyviam bendravimui ir intensyviai vaizdinės informacijos sklaidai (žr. 5 pav.). Tai daro įtaką skirtingų vartotojų grupių pasirinkimui naudotis šios platformos kuriamomis galimybėmis, tačiau populiariausiu išlieka jaunų žmonių tarpe.

Apibendrinant galima teigti, kad analizuojami socialiniai tinklai sudaro galimybes vartotojų aktyviam bendravimui ir intensyviai informacijos sklaidai. Socialiniai tinklai yra reikšminga socialinio bendravimo priemonė ir įtakingas informacijos šaltinis, darantis poveikį vartotojų saviugdai, suvokimui bei pažinimui. Socialinių tinklų ypatumai daro įtaką aktyvių vartotojų grupių formavimuisi. „Facebook“ yra priimtinas įvairaus amžiaus vartotojų grupėms dėl aiškaus bei lengvo naudojimosi, dėl patikimos tarpasmeninės komunikacijos bei nesudėtingos informacijos sklaidos. Socialinis tinklas „YouTube“ pasižymi sudarytomis galimybėmis lengvai dalintis vaizdo bei garso įrašais. Socialinis tinklas „YouTube“ yra labiau priimtinas aktyviems verslo ir privatiems vartotojams, siekiantiems intensyvesnio bendravimo, įtraukiančio žmones į įvairias diskusijas bei veiklas. Socialinis tinklas „Instagram“ yra labai populiarus jaunimo tarpe dėl galimybės aktyviam bei momentiniam bendravimui ir erdvios informacijos sklaidos.

Išvados

1. Socialiniai tinklai internete plačiąją prasme suvokiami kaip tinklalapiai, suteikiantys jų vartotojams galimybę patiems komunikuoti, dalytis informacija, jungtis į bendraminčių grupes, sąveikauti ir veikti socialinėje erdvėje. „Facebook“ yra populiariausias socialinis tinklas vartotojų požiūriu pasaulyje ir Lietuvoje. Antras pagal populiarumą vartotojų požiūriu pasaulyje ir Lietuvoje yra vaizdo įrašų socialinis tinklas „YouTube“, išsiskiriantis vartotojų aktyvumu. Trečias pagal populiarumą vartotojų požiūriu pasaulyje ir Lietuvoje tarp straipsnyje analizuotų socialinių tinklų išlieka „Instagram“, pasižymintis išskirtiniu populiarumu jaunų žmonių tarpe.

2. Socialiniai tinklai, t. y. „Facebook“, „YouTube“ ir „Instagram“, išsiskiria turinio pateikimo forma. Socialinis tinklas „Facebook“ pasižymi vartotojų privatumo ir saugumo užtikrinimo galimybėmis. Tuo pačiu sudaromos galimybės vartotojų grupių kūrimuisi, informacijos dalijimuisi, renginių skelbimui, verslo puslapių kūrimui, komentarų rašymui ir kitos, skatinančios aktyvų bendravimą ir informacijos sklaidą. Socialinio tinklo „Facebook“ funkcijos skirtos ne tik asmeniniam naudojimui, bet ir verslo reikmėms. Socialinis tinklas „YouTube“ išsiskiria sudarytomis galimybėmis lengvai dalintis įvairiausiais vaizdo įrašais, tiesioginėmis transliacijomis ir kanalų kūrimu. Sukurta mokymosi erdvė, suteikia galimybę „YouTube“ vartotojams mokytis nuotoliniu būdu. Šie socialinio tinklo „YouTube“ ypatumai sudaro galimybes įtraukti žmones į įvairias diskusijas bei išlaikyti artimesnį ryšį tarp verslo atstovų ir klientų. Socialinis tinklas „Instagram“ yra vartotojų pripažinta nuotraukų ir video dalinimosi platforma. Socialinio tinklo „Instagram“ siūlomos tiesioginės video transliacijos, bendravimo galimybės rašant asmenines žinutes ir komentarus, galimybė vartotojams dalintis dienos akimirkomis yra ypač patrauklios jauniems vartotojams. Analizuojami tinklai turi savo specifinius bruožus, bet bendra jų charakteristika - galimybių vartotojų aktyviam bendravimui ir intensyviai informacijos sklaidai sudarymas.

Literatūra

1. Chaffey D. (2019). Global social media research summary 2019. Smart Insight. Prieiga per internetą: <https://www.smartinsights.com/social-media-marketing/social-media-strategy/new-global-social-media-research/>.
2. Clement J. (2019). Number of Facebook users worldwide 2008-2019. Statista. Prieiga per internetą: <https://www.statista.com/statistics/264810/number-of-monthly-active-facebook-users-worldwide/>.
3. Digital Information World (2019). The most popular social media platforms of 2019. Prieiga per internetą: <https://www.digitalinformationworld.com/2019/01/most-popular-global-social-networks-apps-infographic.html>.
4. Krutovaitė R. (2016). Socialinių tinklų taikymas įmonės komunikacijoje: UAB „Unilever Lietuva distribucija“ ir UAB „Fazer Lietuva“ atvejai. Kauno technologijos universitetas.
5. Lee, C. C., & Chiou, W. B. (2013). Keep logging in! Experimental evidence showing the relation of affiliation needs to the idea of online social networking. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 16(6), 419-422.
6. Nations D. (2019 (a)). What is social media? Lifewire. Prieiga per internetą: <https://www.lifewire.com/what-is-social-media-explaining-the-big-trend-3486616>.
7. Nations D. (2019 (b)). What is Facebook? Lifewire. Prieiga per internetą: <https://www.lifewire.com/what-is-facebook-3486391>.
8. Ortiz-Ospina E. (2019). The rise of social media. Our World in Data. Prieiga per internetą: <https://ourworldindata.org/rise-of-social-media>.
9. Vaičiulė R. (2019). Vartotojų komunikacijos percepcija: socialinis feisbuko tinklas. *Regional Formation and Development Studies*, 1(27), 131-140.
10. Rouse M. (2017). Instagram. Search CIO. Prieiga per internetą: <https://searchcio.techtarget.com/definition/Instagram>.

11. Soffar H. (2019). What are the advantages and disadvantages of using YouTube? *Online Sciences*. Prieiga per internetą: <https://www.online-sciences.com/technology/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-using-youtube/>.
12. Metinė medijų tyrimų apžvalga (2018). Prieiga per internetą: http://www.tns.lt/data/files/Metines_apzvalgos/KANTAR_Metin%C4%97_medij%C5%B3_tyrim%C5%B3_ap%C5%BEvalga_2018.pdf.
13. Wilson, S. M., & Peterson, L. C. (2002). The anthropology of online communities. *Annual Review of Anthropology*, 31, 449-467.
14. YouTube (2019). Prieiga per internetą: <https://www.youtube.com/>.

ASPECTS OF POPULARITY OF SOCIAL NETWORKS

Summary

Social networks influence people's behaviour and communication, while social networks are influenced by the behaviour and the ability to receive and share the information of their users, in the process of constant interaction. Statistical research on social network development is being conducted in Lithuania, but there are still a few scientific insights into aspects of the popularity of social networks in Lithuania and abroad. The aim of the article was to analyse the aspects of the popularity of social networks in the world and in Lithuania. According to the results of the analysis, the characteristics of social networks influence the formation of active user groups. Facebook is acceptable to users of all ages for its clear, easy-to-use, reliable interpersonal communication and easy information dissemination. YouTube is more appealing to active business and private users, who seeks more intense communication that engages people in a variety of discussions and activities. Instagram is very popular with young people because of its ability to communicate instantly and spatially.

Key words: Social networks, Facebook, YouTube, Instagram, consumer attitudes.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Vita Krivickienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktarė, docentė

Darbo vieta ir pozicija: Kauno technikos kolegija

Autoriaus mokslinių interesų sritys: informacinės technologijos, suaugusiųjų mokymas. Telefonas ir el. pašto adresas: 8 650 17883, vita.krivickiene@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Radvilė Alijauskaitė.

Mokslo laipsnis ir vardas: studentė

Darbo vieta ir pozicija: Kauno Technologijos universiteto, Ekonomikos ir verslo fakulteto studentė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: marketingo tyrimai, socialinė žiniasklaida marketinge. Telefonas ir el. pašto adresas: 8 639 33684, radvile.alijskaite@ktu.edu

ISSN 2029-9303

INŽINERINĖS IR EDUKACINĖS TECHNOLOGIJOS
2019 Nr. 2

Lietuvių kalbos redaktorė **Sonata Paulauskienė**
Užsienio kalbos redaktorė **Judita Štreimikienė**

Tiražas 70 egz. 147 psl. Parengimo spaudai data 2020 – 01 - 31
Išleido Kauno technikos kolegija, Tvirtovės al. 35, LT-50155 Kaunas

www.ktk.lt

El.p. ktk@ktk.lt

Spausdino KTU spaustuvė/leidykla „Technologija“, Studentų g. 54, LT-51424 Kaunas

<http://ktu.edu/lt/leidykla>

El.p. leidykla@ktu.lt