

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, 2022

<p>Vyriausioji redaktorė Dr. Lina Girdauskienė <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences</i> <i>(Lietuva/Lithuania)</i></p>	<p>Socialiniai mokslai/ Social Sciences</p>
<p>Vykdančioji redaktorė Doc. Dr. Giedrė Adomavičienė <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences</i> <i>(Lietuva/Lithuania)</i></p>	<p>Socialiniai mokslai/ Social Sciences</p>
<p>Mokslinė sekretorė Doc. Dr. Esmeralda Štyps <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences</i> <i>(Lietuva/Lithuania)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Redaktorių kolegija/Editorial Board:</p>	
<p>Dr. Ali Can <i>Karabuk universitetas/ Karabuk University (Turkija/Turkey)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Prof. Habil. Dr. Gál József <i>Šegedo universitetas/ University of Szeged, (Vengrija/Hungary)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Dr. Ivans Griņevičs, <i>Rygos technologijos universitetas, Daugpilio Studiju ir mokslo centras /</i> <i>Riga University of Technology, Daugavpils Study and Research Center</i> <i>(Latvija/Latvia)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Prof. Dr. Elmar Heinemann <i>Šmalkaldeno taikomųjų mokslų universitetas/University of Applied Sciences</i> <i>Schmalkalden (DE)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Prof. Dr. Rainer Schackmar <i>Šmalkaldeno taikomųjų mokslų universitetas/University of Applied Sciences</i> <i>Schmalkalden (Vokietija/Germany)</i></p>	<p>Socialiniai mokslai/ Social Sciences</p>
<p>Mgr. Dominika Trębacz <i>Automobilių pramonės institutas, mokslinio žurnalo „The Archives of</i> <i>Automotive Engineering“ vykdančioji redaktorė/Automobile Industry Institute,</i> <i>Executive editor of scientific journal „The Archives of Automotive Engineering</i> <i>(Lenkija/Poland)</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Prof. Dr. Boris Tudjarov <i>Sofijos technikos universitetas/ Sofia Technical University</i> <i>(Bulgarija/Bulgaria).</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Prof. Dr. Slawomir Wierzbicki <i>Varmijos Mozūrų universitetas/ University of Warmia-Masuria</i> <i>(Lenkija/Poland).</i></p>	<p>Technologijos mokslai/ Technological Sciences</p>
<p>Dr. Jurgita Barynienė <i>Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University Of Technology</i> <i>(Lietuva/Lithuania)</i></p>	<p>Socialiniai mokslai/ Social Sciences</p>

Dr. Andrius Dargužis Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Prof. Dr. Genutė Gedvilienė Vytauto Didžiojo universitetas/ Vytautas Magnus University (Lietuva/Lithuania)	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Doc. Dr. Ernestas Ivanauskas Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University of Technology (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Darius Kvbartas Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University Of Technology (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Kastytis Laurinaitis Vytauto Didžiojo universitetas Žemės ūkio akademija / Vytautas Magnus University Agriculture Academy (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Daiva Lepaitė Vilniaus universitetas/Vilnius University (Lietuva/Lithuania)	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Dr. Jonas Matijošius Vilniaus Gedimino technikos universitetas/ Vilnius Gediminas Technical University (Lietuva/Lithuania.	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Vytenis Naginevičius Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Rosita Norvaišienė Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Alfredas Rimkus Vilniaus Gedimino technikos universitetas/ Vilnius Gediminas Technical University (Lietuva/Lithuania.	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Marius Saunoris Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University of Technology (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Tatjana Sokolova Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)	Technologijos mokslai/ Technological Sciences

Dr. Raimondas Šadzevičius

Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences
(Lietuva/Lithuania)

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Prof. Habil. Dr. Vilija Targamadžė

Vilniaus universitetas/Vilnius University (Lietuva/Lithuania)

Socialiniai mokslai/
Social Sciences

Dr. Rasa Žygienė

Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences
(Lietuva/Lithuania)

Technologijos mokslai/
Technological Sciences

Leidinyi 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+edukacijos+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, 2022

ISSN 2029-9303

REDAKTORIAUS ŽODIS

Gerbiami akademinės bendruomenės nariai,

Džiaugiamės galėdami Jums pristatyti naujausią mokslinio žurnalo „Inžinerinės ir edukacinės technologijos“ numerį.

Kauno technikos kolegijos publikuojamas mokslinis žurnalas „Inžinerinės ir edukacinės technologijos“ yra pripažintas LMT leidinys ir įtrauktas į Index Copernicus Journals Master List, kas leidžia dar labiau padidinti mokslo sklaidą ir populiarinti taikomuosius eksperimentinius mokslo tyrimus.

Visus mokslinių straipsnių autorius šiame numeryje vienija vienas bendras vardiklis – tvarumas. Pasak Microsoft viceprezidento Brad Smith, „Klimato kaita iškelia aplinkos, socialines ir ekonomines krizes į visiškai naują lygį. Beveik du tūkstantmečius žmonės karbonizavo mūsų planetą, todėl turime veikti kartu, kad ją dekarbonizuotume.“ 2023 pagrindinės pasaulinės tvarumo tendencijos ir įgyvendinami projektai yra šie (Koehring, 2023):

- Neto 0 emisija ir energijos švaistymas. Tai siekis kiek įmanoma sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą iki nulio, o likusias emisijas neutralizuoti naudojant gamtinius ar technologinius sprendimus;
- Atsparumas ir prisitaikymas. Tikslas užtikrinti nuostolių ir žalos padengimo fondo (įkurto COP27 šalių) aktyvų vystymą ir visų šalių įsitraukimą;
- Žiedinė ekonomika: plastikų ir cheminių medžiagų taršos mažinimas;
- Ekosistemos ir ištekliai: kuriama nauja pasaulinė biologinės įvairovės sistema;
- Socialinis tvarumas: pragyvenimo išlaidų krizei stiprėjant, ieškoti integralių sprendimų.

Tad veikdami kartu ir atliepdami naujausias tendencijas, mokslininkai gilinasi į skirtinguose sektoriuose egzistuojančias spręstinas tvarumo problemas: transporto srityje - aplinkos taršos valdymas - M.Mažeika, D.Juodvalkis „Lietuvos valstybinės oro kokybės stebėjimo analizė“, D.Juodvalkis, A.Dargužis „Hibridinio automobilio regeneracino stabdymo efektyvumo tyrimas važiuojant užmiesčio keliais“, jos mažinimas naudojant biodegalus, e-degalus - D.Mačiulis, A.Rimkus „Slėginio uždegimo variklio degimo proceso skaitinė analizė naudojant įvairius biodegalų mišinius ir keičiant Egr“, A.Čereška „Tepalų ir degalų tribologinių tyrimų apžvalga“, R.Tumėnienė „E-degalai: pagrindiniai aspektai“, diegiant modernias sistemas - J.Strimaitis, R.Žygienė „Išmanios automobilio akumulatoriaus išsikrovimo įspėjimo sistemos tyrimas“, statybos sektoriuje – V.Gurskis, R.Minkštimienė „Hidromazgų techninės būklės vertinimas, V.Medeliene „Kalendorinio planavimo būdų įtaka statybvietsės ištekliams ir jų efektyvumo tyrimas, taikant lošimų teoriją“, J.Mockenė „Determination of metal corrosion influence on structural properties and protection against it“, skirtingose pramonės šakų gamyboje – D.Kalisinskas „Biodujų panaudojimo kogeneraciniame jėgainėje tyrimas“, L.Samuolis, V.Mokšis „Elektronikoje naudojamų aušinimo radiatorių su kaiščiais aušinimo efektyvumo tyrimas: skaitmeninis modeliavimas“, A.Aleksynas, J.Šaltanis „Spausdinto montažo plokščių takelių remonto vertinimas“.

Žurnale taip pat galima susipažinti ir su naujomis technologijomis - VR technologija, leidžiančia išvengti išteklių švaistymo keliaujant ir tokiu būdu skatinti potyrių ekonomiką - G.Kučinskas, J.Kučinskienė „Potyrių vietovės virtualioje aplinkoje“, teksto vertimo strategijomis - I.Dagilienė „ES struktūrinių fondų finansavimo terminų veikos strategijos“, leidžiančiomis užtikrinti vienovę ir dermę.

Ypač šiame kontekste svarbūs tyrimai žmonių išteklių srityje, leidžiantys užtikrinti tvarų žmonių išteklių valdymą - A.Tyliene „Bendruomeninius projektus rengiančių studentų vertybų tyrimas“, E.Čižienė, V.Rainienė „Darbuotojo kvalifikacijos apibrėžtis darbo teisiniuose santykiuose“.

Tikime, kad kiekvienas tyrimas suteiks mums daugiau žinių ir leis eiti tvarumo keliu.

Sveikiname visus šio numerio autorius!

Su pagarba,
Vyriausioji redaktorė

Socialinių mokslų dr. Lina Girdauskienė

TURINYS

LIETUVOS VALSTYBINĖS ORO KOKYBĖS STEBĖJIMO SISTEMOS ANALIZĖ	8
Marius Mažeika, Darius Juodvalkis Kauno technikos kolegija	
HIDROMAZGŲ TECHNINĖS BŪKLĖS VERTINIMAS.....	13
Vincas Gurskis, Rasa Minkštimienė Vytauto Didžiojo universitetas	
KALENDORINIO PLANAVIMO BŪDŲ ĮTAKA STATYBVIETĖS IŠTEKLIAMS IR JŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS, TAIKANT LOŠIMŲ TEORIJĄ	19
Violeta Medelienė Kauno technikos kolegija	
DETERMINATION OF METAL CORROSION INFLUENCE ON STRUCTURAL PROPERTIES AND PROTECTION AGAINST IT	28
Jūratė Mockienė Kaunas University of Applied Engineering Sciences	
HIBRIDINIO AUTOMOBILIO REGENERACINIO STABDYMO EFEKTYVUMO TYRIMAS VAŽIUOJANT UŽMIESČIO KELIAIS	34
Darius Juodvalkis, Andrius Dargužis Kauno technikos kolegija	
SLĖGINIO UŽDEGIMO VARIKLIO DEGIMO PROCESO SKAITINĖ ANALIZĖ NAUDOJANT ĮVAIRIUS BIODEGALŲ MIŠINIUS IR KEIČIANT EGR.....	40
Dovydas Mačiulis, Alfredas Rimkus Vilniaus Gedimino technikos universitetas	
TEPALŲ IR DEGALŲ TRIBOLOGINIŲ TYRIMŲ APŽVALGA.....	50
Audrius Čereška ^{1,2} ¹ Vilniaus Gedimino technikos universitetas (VILNIUS TECH), ² Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija	
E – DEGALAI: PAGRINDINIAI ASPEKTAI.....	58
Rūta Tumėnienė Vilnius tech	
BIODUJŲ PANAUDOJIMO KOGENERACINĖJE JĖGAINĖJE TYRIMAS.....	63
Dalius Kalisinskas Kauno technikos kolegija	
ELEKTRONIKOJE NAUDOJAMŲ AUŠINIMO RADIATORIŲ SU KAIŠČIAIS AUŠINIMO EFEKTYVUMO TYRIMAS: SKAITMENINIS MODELIAVIMAS	67
Laurynas Samuolis, Vadim Mokšin Vilniaus Gedimino technikos universitetas	
SPAUSDINTO MONTAŽO PLOKŠČIŲ TAKELIŲ REMONTO VERTINIMAS	75
Artūras Aleksynas, Julius Šaltanis Kauno technikos kolegija	
INVESTIGATION OF LOADS IN THE COMPANY’S CABLE NETWORK WITH DIGITAL OSCILLOSCOPE.....	80
Gediminas Daukšys Kaunas University of Applied Engineering Sciences	

STATIŠKAI NEIŠSPRENDŽIAMOS SIJOS SKAIČIAVIMO BŪDŲ APŽVALGA	89
Jurijus Tretjakovas ¹ , Svetlana Toropovienė ²	
¹ Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, ² Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija	
POTYRIŲ VIETOVĖS VIRTUALIOJE APLINKOJE	95
Gintaras Kučinskas, Jurga Kučinskienė	
Klaipėdos valstybinė kolegija	
BENDRUOMENINIUS PROJEKTUS RENGIANČIŲ STUDENTŲ VERTYBIŲ TYRIMAS	104
Airida Tylienė	
Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija	
DARBUOTOJO KVALIFIKACIJOS APIBRĖŽTIS DARBO TEISINIUOSE SANTYKIUOSE	111
Ermina Čižienė ¹ , Vida Rainienė ²	
¹ Panevėžio kolegija, ² Kauno technikos kolegija	
ES STRUKTŪRINIŲ FONDŲ FINANSAVIMO TERMINŲ VERTIMO STRATEGIJOS	118
Inga Dagilienė	
Kauno technikos kolegija	
TEACHER-STUDENT INTERACTION IN REMOTE LEARNING: ENTITLEMENT AND CONTINGENCY IN REQUESTS TO TURN WEBCAMS ON/OFF	124
Gabrielė Ivanovaitė	
Kaunas University of Applied Engineering Sciences	
STUDY OF SKILLS OF YOUNG ENGINEERS IN THE CONTEXT OF THE ADD_ON_SKILLS PROJECT	132
Airida Tylienė ¹ , Dorota Anna Krawczyk ² , Beata Biernacka ²	
¹ Vilnius College of Technologies and Design, ² Bialystok University of Technology	

LIETUVOS VALSTYBINĖS ORO KOKYBĖS STEBĖJIMO SISTEMOS ANALIZĖ

Marius Mažeika, Darius Juodvalkis

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Europos aplinkos agentūros duomenimis oro tarša yra pagrindinė žmonių pirmalaikių mirčių dėl aplinkos veiksnių priežastis. Šiuo metu Lietuvoje yra aštuoniolika stacionarių valstybinių aplinkos oro kokybės monitoringo stočių. Valstybinių oro kokybės monitoringo stočių duomenis fiksuoja Aplinkos apsaugos agentūra. Darbe atliekama Lietuvos oro kokybės monitoringo stočių išdėstymo, jų tankio ir fiksuojamų duomenų analizė. Analizuojant Lietuvos oro kokybės stočių duomenis, nustatoma ar optimaliose vietose šiuo metu įrengtos stotys. Lietuvos oro kokybės monitoringo stočių kiekis, tankis, jų išdėstymas ir fiksuojami duomenys lyginami su kitų šalių pavyzdžiais.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Oro kokybė, aplinkos tarša, monitoringo stotis.

Įvadas

Europos aplinkos agentūros duomenimis oro tarša yra pagrindinė žmonių pirmalaikių mirčių dėl aplinkos veiksnių priežastis. Savaiame suprantama, kad ši problema aktualiausia miestuose, nes juose yra daug taršos šaltinių (pramonė ir transportas) ir miestuose gyvena daugiausiai žmonių.

Pramonė ir transportas yra pagrindiniai ore esančių teršalų šaltiniai. Pramonės objektai gali būti toliau nuo miestų, o tuo tarpu transporto tarša neišvengiamai labai aktuali miestų zonose. Šiuo metu transporto sektorius sudaro maždaug 40–50% NO_x ir 10–15% PM emisijų. Automobilių varikliai nuolat tobulinami juos pritaikant vis griežtesniems reikalavimams, kad teršalų emisijos būtų mažesnės. Tačiau vis mažėjančias automobilių emisijas atsveria transporto priemonių skaičiaus augimas ir todėl transporto sektoriaus tarša ir jos dalis bendrame taršos kiekyje išlieka pastovi (Manojlović et al, 2022).

Teršalų kaupimasis ar išsisklaidymas ore labai priklauso nuo meteorologinių sąlygų. Meteorologiniai duomenys būtini, kai reikia įvertinti oro teršalų koncentracijos pasiskirstymą erdvėje, ūkinės ar kitokios veiklos, su aplinkos oro tarša susijusių įvykių poveikį aplinkos orui, modeliuoti įvairius scenarijus numatomų priemonių veiksmingumui nustatyti ar įvertinti oro kokybę modeliavimo būdu ten, kur jos išmatuoti nėra galimybių.

Šio tyrimo tikslas - atlikti Lietuvos valstybinės oro kokybės stebėjimo sistemos analizę. Tyrimo uždaviniai:

1. Atlikti skirtingos paskirties valstybinių oro kokybės stebėjimo stočių išdėstymo Lietuvos teritorijoje analizę.
2. Išanalizuoti pramonės paskirties valstybinių oro kokybės stebėjimo stočių duomenis ir įvertinti pramonės objektų taršos intensyvumo įtaką aplinkos oro kokybei.
3. Pateikti rekomendacijas oro kokybės stebėjimo stočių įrengimo vietų parinkimui.

1. Esamos situacijos analizė

Lietuvoje oro kokybės tyrimų stočių tinklas sukurtas 2003 m., įgyvendinus ES finansuojamą PHARE Dvynių projektą: pagal ES direktyvos reikalavimus nustatyta, kiek Lietuvoje turi būti oro monitoringo stočių. Šiuo metu Lietuvoje yra aštuoniolika stacionarių valstybinių aplinkos oro kokybės monitoringo stočių (Aplinkos apsaugos agentūra, 2022). Valstybinių oro kokybės monitoringo stočių duomenis fiksuoja aplinkos apsaugos agentūra. Valstybinių oro kokybės monitoringo stočių paskirtis skirtinga:

- penkios stotys įrengtos vietose kur didelis transporto eismo intensyvumas ir jų tikslas - matuoti transporto priemonių taršos įtaką oro kokybei;
- keturios stotys įrengtos arti didelių pramonės objektų ir jos matuoja šių objektų taršos įtaką oro kokybei;
- penkios stotys yra miestų foninės, jos įrengtos miestuose atokiau nuo transporto kelių ir pramonės objektų;
- keturios stotys yra kaimo foninės, jos įrengtos ne miestų zonose ir atokiau nuo transporto kelių bei pramonės objektų.

Parenkant oro kokybės monitoringo stočių įrengimo vietas, svarbu atsižvelgti į daugelį faktorių, kurie priklauso nuo matavimų tikslo (stoties paskirties), teršalų šaltinio ir kitų aplinkos veiksnių. Įrengiant pramonės, miestų ir kaimų fonines oro kokybės monitoringo stotis. Faktoriai, kurie lemia optimalų stoties vietos parinkimą, dažniausiai aiškūs ir nekintantys. Didesnė problema yra su oro kokybės monitoringo stočių, kurios skirtos transporto taršos įtakai aplinkos oro kokybei matuoti, montavimo vietos parinkimu, nes reikia atsižvelgti į transporto intensyvumą, susidarancias spūstis ir jų pokyčius.

Vilniaus mieste įrengta viena valstybinė transporto taršos įtakos aplinkos oro kokybei monitoringo stotis (1 pav.), kuri yra Žirmūnuose prie Kareivių gatvės (koordinatės 54°42'55"N 25°17'21"E). Kareivių gatvėje yra didelis eismo intensyvumas ir dažnai formuojasi eismo spūstys.



1 pav. Vilniaus miesto oro kokybės matavimo stotelė Kareivių gatvėje
Šaltinis: sudaryta autorių

Kauno mieste įrengta taip pat viena valstybinė transporto taršos įtakos aplinkos oro kokybei monitoringo stotis, kuri yra Petrašiūnuose prie R. Kalantos gatvės (koordinatės 54°53'42"N 23°59'10"E). R. Kalantos gatvėje yra fiksuojamas vidutinis eismo intensyvumas ir retai susidarantys eismo spūstys. Taip pat minėtoje R. Kalantos gatvėje yra keletas pramonės objektų, kurie išskiria tam tikrus taršos komponentus ir gali daryti žymią įtaką bendrai aplinkos oro taršai.

Klaipėdos mieste įrengtos dvi valstybinės transporto taršos įtakos oro kokybei monitoringo stotys, viena jų yra prie Bangų gatvės (koordinatės 55°42'27.5"N 21°08'28.3"E). Bangų gatvėje fiksuojamas mažas eismo intensyvumas, bet netoli nuo šios vietos miesto centras. Antra Klaipėdos miesto oro kokybės monitoringo stotis, kuri fiksuoja transporto taršos įtaką, yra prie Šilutės plento (koordinatės 55°41'24.0"N 21°10'44.9"E). Šilutės plente yra didelis eismo intensyvumas ir piko metu dažnai formuojasi eismo spūstys.

Šiaulių mieste įrengta viena valstybinė transporto taršos įtakos oro kokybei monitoringo stotis, kuri yra Žemaitės, J. Basanavičiaus gatvių ir Aušros alėjos sankirtoje (koordinatės 55°56'16.1"N 23°18'29.8"E). Ši Šiaulių miesto vieta nepasižymi dideliu eismo intensyvumu, bet yra arti miesto centro ir joje formuojasi eismo spūstys piko metu.

Kad būtų tinkamai reguliuojamas į aplinkos orą patenkančių teršalų kiekis ir sudaromos sąlygos valdyti aplinkos oro kokybę, svarbu turėti tikslią informaciją apie oro kokybę įvairiose vietose. Lietuvoje yra keletas didelių pramonės objektų, kurie į aplinką išmeta didelius kiekius teršalų ir turi žymią įtaką aplinkos oro kokybei. Dažniausia, siekiant vertinti šių teršalų šaltinių įtaką, netoli nuo jų yra įrengtos valstybinės oro kokybės monitoringo stotys. Pramonės objektų įtaka aplinkos oro kokybei matuojama Mažeikiuose, kur veikia AB „ORLEN Lietuva“ valdoma vienintelė naftos perdirbimo įmonė Baltijos valstybėse. Mažeikių Valstybinė oro kokybės monitoringo stotis įrengta Mažeikių mieste šalia Gabijos tako (koordinatės 56°18'34.5"N 22°19'53.2"E). Projektinis AB „ORLEN Lietuva“ naftos perdirbimo produktų gamyklos pajėgumas – 10 mln. t naftos per metus (ORLEAN Lietuva, 2022). AB skiria ypatingą dėmesį aplinkosaugai. Nepaisant, kad bendrovė skiria daug lėšų gamtos apsaugos priemonių diegimui, glaudžiai bendradarbiauja su Lietuvos ir tarptautinėmis kompanijomis kurdamas ekologines programas, naftos perdirbimo gamykla vis tiek išskiria tam tikras teršalų emisijas. Ši naftos perdirbimo gamykla yra labai arti nuo Latvijos sienos, tad šio pramonės objekto poveikis aplinkos oro kokybei neišvengiamai jaučiamas ir kaimyninėje Latvijoje.

Prie Jonavos miesto, kuriame 2021 m. duomenimis buvo apie 27 tūkst. gyventojų, veikia didelė įmonė AB „Achema“. AB „Achema“ - didžiausia azoto trąšų ir kitų pramoninių chemijos produktų gamintoja šalyje bei didžiausia tokio pobūdžio gamykla Baltijos šalyse, įkurta 1965 metais. Įmonės veikla neabejotinai turi poveikį aplinkos oro kokybei, todėl Jonavos mieste yra įrengta stacionari valstybinė oro kokybės monitoringo stotis. Ši stotis įrengta arti Jonavos miesto centro ir yra nutolusi apie 2,5 km nuo gamyklos teritorijos (2 pav.).

AB „Achema“ užtikrinama trąšų gamybos priežiūra visais gamybos etapais, viso produkto raidos ciklo metu. Kasdienėje veikloje bendrovė siekia efektyviai naudoti gamtos išteklius, mažinti gamybos poveikį žmonėms ir aplinkai – gamyboje diegia modernias, efektyvias ir saugias technologijas, mažina taršą, diegia aplinkai draugiškas technologijas, trąšų ir chemijos produktų gamybą grindžia darnaus vystymosi principais. AB „Achema“ nuolat stebi ir vertina savo veiklą, galinčią turėti įtakos aplinkai. AB „Achema“, gaminančios cheminius produktus, ekologinės situacijos patikimumas ir kontrolė – tai svarbiausi įmonės prioritetai aplinkos apsaugos srityje. Vienas svarbiausių bendrovės veiklos tikslų – aplinkos būklės gerinimas, gamybos procese susidarantių atliekų tvarkymas, taršos prevencijos priemonių taikymas, siekiant sumažinti įmonės poveikį aplinkai (AB „Achema“, 2022).

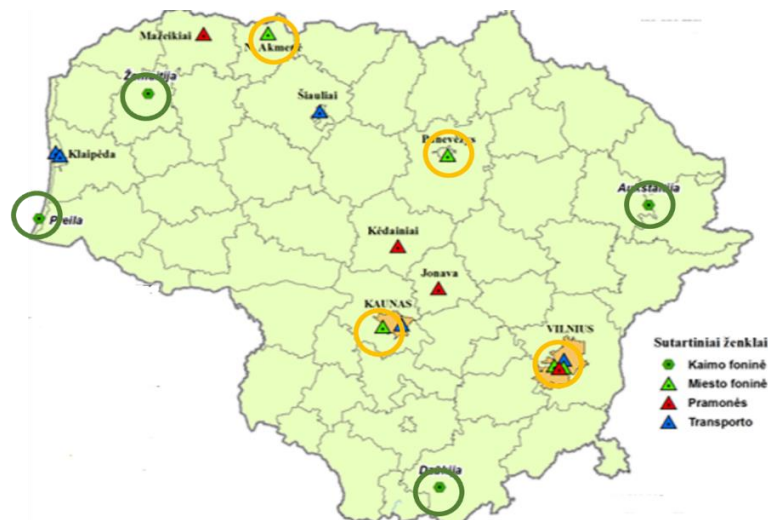


2 pav. Jonavos oro kokybės matavimo stotelė
Šaltinis: sudaryta autorių

Kėdainiuose veikia taip pat didelė trąšų gamykla AB „Lifosa“. AB „Lifosa“ viena didžiausių ir moderniausių Europoje trąšų gamybos bendrovių. Įmonė daugiausiai gamina fosfatines trąšas, skirtas dirvai praturtinti ir jos derlingumui didinti. Prie oro taršos mažinimo AB „Lifosa“ prisideda modernizuodama gamyklą, diegdama aplinką ir išteklius tausojančią įrangą bei sprendimus. Per pastaruosius du dešimtmečius bendrovės emisijos į atmosferą sumažintos pusantro karto ir nuolat yra gerokai mažesnės už šalies teisės aktais nustatytas ribas (AB „Lifosa“, 2022). Nepaisant įmonės pastangų aplinkosaugos srityse, gamybos procesų metu išmetamų teršalų poveikis aplinkos oro kokybei vis tiek yra ir jis stebimas valstybinėje oro kokybės monitoringo stotyje Kėdainių mieste Rasos g. (koordinatės 55°16'48.02"N 23°57'28.49"E). Atstumas nuo šios stoties iki AB „Lifosa“ yra apie 3 km.

Dar viena pramonės taršos įtakos aplinkos oro kokybei stebėjimo vieta yra Vilniaus mieste. Vilniuje yra daug įvairaus dydžio pramonės objektų. Ši stotis įrengta šalia Savanorių prospekto Vilniaus mieste (koordinatės 54°40'23.48"N 25°14'58.29"E).

Iš kitų valstybių atnešamą oro taršą, bendrą foninį šalies oro baseino užterštumo lygį, jo pokyčius ir juos lemiančius veiksnius leidžia analizuoti foninio oro monitoringo stočių sistema. 2022 metais Lietuvoje veikė 5 miestų foninės ir 4 kaimo foninės oro monitoringo stotys (3 pav.).



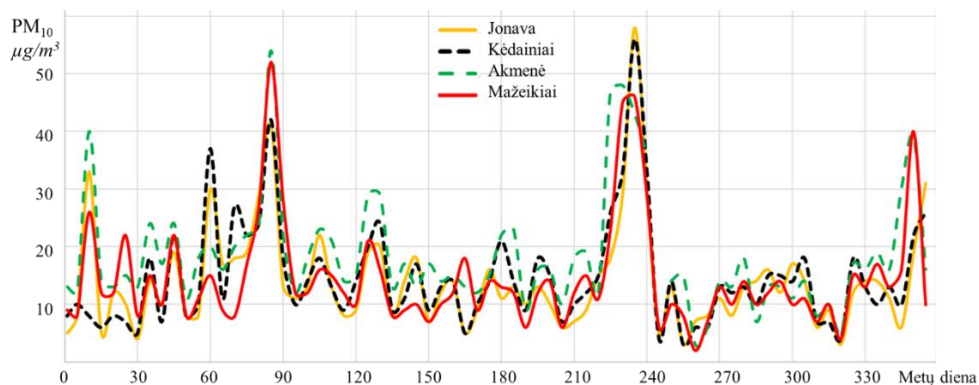
3 pav. Oro kokybės stebėjimo sistema Lietuvoje
Šaltinis: sudaryta autorių

Miestų foninės aplinkos oro kokybės monitoringo stotys įrengiamos atokiau nuo transporto arterijų ir pramonės objektų ir tankiai apgyvendintose zonose. Šios paskirties stotys įrengtos Lietuvos šiaurinėje dalyje Akmenės mieste, Kauno savivaldybėje Noreikiškių gyvenvietėje Rapsų gatvėje (koordinatės 54°53'0"N 23°50'9"E) ir dvi stotys įrengtos Vilniaus mieste senamiestyje ir Lazdynų mikrorajone. Noreikiškių stotis įrengta atokiau nuo Kauno miesto centro, aktyviai besikuriančiame nuosavų namų kvartale, bet netoli nuo jos yra Via Baltica E67 kelias, kuriame nuolat yra didelis transporto intensyvumas.

Kaimo foninės valstybinės oro monitoringo stotys įrengtos vietovėse, kurios yra toli nuo bet kokių taršos šaltinių ir jos skirtos foniniam oro užterštumui ir teršalų srautų iš kitų Europos regionų galimam poveikiui Lietuvos oro kokybei stebėti. Tokios stotys yra įrengtos Neringoje, Telšių apskrityje Plungės rajone, Dzūkijoje Varėnos rajone ir Aukštaitijoje Utenos apskrityje.

2. Rezultatų analizė

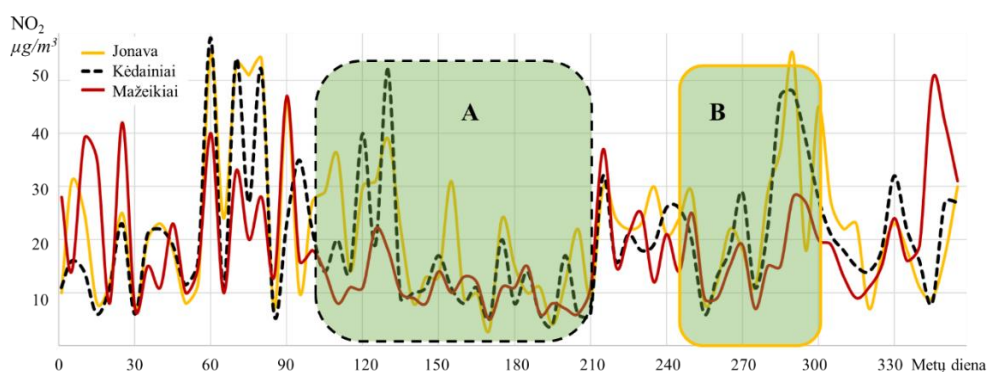
Visų Lietuvoje įrengtų valstybinių oro monitoringo stočių fiksuojami duomenys ir jų istorija prieinama viešai. Didieji Lietuvos pramonės objektai, kurie yra prie Jonavos, Kėdainių, Akmenės ir Mažeikių į aplinkos orą išmeta tam tikras teršalų emisijas. 4 pav. pateikti 2022 metų pramonės taršos paskirties oro monitoringo stočių duomenys apie kietųjų dalelių (PM₁₀) kiekį ore skirtingomis metų dienomis (Aplinkos apsaugos agentūra, 2023). Kietųjų dalelių leistina koncentracija yra 50 µg/m³. Kaip matoma 4 pav., kietųjų dalelių koncentracija ore nuolat kinta, bet tik du kartus šiais metais ir neilgam laikui tam tikrose vietose viršijo leistiną maksimalią normą.



4 pav. Pramonės taršos monitoringo stočių fiksuoti kietųjų dalelių kiekiai 2022 metais

Šaltinis: sudaryta autorių

Kietosios dalelės (PM₁₀) nėra kai kurių pramonės objektų pagrindinis išskiriamas teršalas. Lietuvos pramonės objektai, tokie kaip AB “Achema”, AB “Lifosa” ir AB “ORLEN Lietuva”, dėl juose vykstančių procesų, daugiau išskiria azoto dioksido. 5 pav. pateikta valstybinių oro monitoringo stočių, įrengtų netoli nuo šių pramonės objektų, fiksuojama azoto dioksido koncentracija ore 2022 metų skirtingomis dienomis.



5 pav. Pramonės taršos monitoringo stočių fiksuoti azoto dioksido kiekiai 2022 metais

Šaltinis: sudaryta autorių

Dėl energetinių išteklių kainų ir kilusių problemų tiekimo ir produkcijos realizavimo srityse, AB “Lifosa” šiais metais nuo balandžio vidurio iki rugpjūčio 1d. produkcijos gamybos nevykdė, o AB “Achema” gamybą sustabdė nuo rugsėjo 1d. 5 pav. A ir B zonose yra pažymėti šie laikotarpiai. Analizuojant 5 pav. pateiktus duomenis galima pastebėti, kad azoto dioksido koncentracija ore šalia pramonės objektų keičiasi, bet šiais metais niekada neviršijo leistinos normos (200 µg/m³). Analizuojant duomenis A ir B laikotarpiais, galima pastebėti, kad pramonės objektuose nevykdant gamybos, t.y. jiems neišmetant teršalų, šalia jų esančiuose miestuose įrengtos oro monitoringo stotys nefiksavo jokių žymių azoto dioksido sumažėjimų.

Išvados

1. Lietuvoje, kaip ir kitose Europos šalyse, yra trijų tipų oro taršos monitoringo stotys: transporto taršos, pramonės taršos ir foninės taršos, kurios įrengiamos atsižvelgiant į tikslus - gauti tikslus aplinkos oro kokybės duomenis ir išsiaiškinti vyraujančius taršos šaltinius.

2. Analizuojant stacionarių Lietuvoje įrengtų oro kokybės stebėsenos stočių duomenimis, sudėtinga nustatyti tikruosius taršos šaltinius (transportas, pramonė, namų ūkiai), todėl šių stočių skaičius ir išdėstymas ir kiekis turėtų būti peržiūrėtas. Tam tikru laikotarpiu gamybos nevykdantys pramonės objektai žymios įtakos oro kokybės pokyčiams neturėjo.

3. Renkantis stacionarių oro kokybės stebėjimo stočių vietą, turėtų būti ypač atsižvelgiama į šiuos veiksnius: matavimų tikslą, teršalų šaltinį, gyventojų skaičių ir taršos šaltinių intensyvumą.

Literatūra

1. A. V. Manojlovič, D. M. Radosavljević, O. M. Medar, K. Sever: Methodology for the determination of specific factors of road transport emission. n Thermal Science, January 2022 (2022).
2. AB “Achema” Homepage, <https://www.achema.lt/introduction>, interaktyvus [žiūrėta 2022.12.16].
3. AB “Lifosa” Homepage, <https://www.lifosa.com/en/social-responsibility/safety/environmental-protection/77>, interaktyvus [žiūrėta 2022.12.16].
4. Aplinkos apsaugos agentūra, <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/oras/oro-monitoringo-vietos/stoteliu-tinklas-lietuvoje>, interaktyvus [žiūrėta 2022.12.16].
5. Aplinkos apsaugos agentūra, <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/oras/oro-kokybes-statistika-ir-duomenys/paros-orokokybes-rodikliai> interaktyvus [žiūrėta 2023.01.02].
6. Jakučionytė M., Žaltauskaitė J., Sujetovienė G.: Passive Lichenoindication as a Tool for Evaluation of Air Quality in the Environment of a Fertiliser Plant. Environmental Research, Engineering and Management. Volume 72, No 4, (2016).
7. ORLEAN Lietuva, <https://www.orlenlietuva.lt/LT/Company/OL/Puslapiai/Naftos-produktu-gamykla.aspx>, interaktyvus [žiūrėta 2022.12.16]

ANALYSIS OF LITHUANIAN STATE AIR QUALITY MONITORING SYSTEM

Summary

According to the European Environment Agency, air pollution is the leading cause of premature human death due to environmental factors. Currently, there are eighteen stationary state environmental air quality monitoring stations in Lithuania. The data of state air quality monitoring stations is recorded by the Environmental Protection Agency. The article analyzes the layout of Lithuanian air quality monitoring stations, their density and recorded data. By analyzing the data of Lithuanian air quality stations, it is determined whether the stations are currently installed in optimal locations. The number, density, location and recorded data of air quality monitoring stations in Lithuania are compared to the examples from other countries.

Key words: Air quality, environmental pollution, monitoring station.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Darius Juodvalkis.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegija, Inžinerijos mokslų fakulteto 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: Marius Mažeika.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegija, Inžinerijos mokslų fakulteto docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: transporto technologijos, inžinerinių tyrimų metodologija.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 608 62765, marius.mazeika@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Darius Juodvalkis.

Science degree and name: doctor, associated professor.

Workplace and position: Kaunas University Of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Automotive Engineering department associated professor

Author’s research interests: transport technologies, engineering research methodology.

Telephone and e-mail address: 8 682 14365, darius.juodvalkis@edu.ktk.lt

Author name, surname: Marius Mažeika.

Science degree and name: doctor, associated professor.

Workplace and position: Kaunas University Of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Automotive Engineering department associated professor

Author’s research interests: transport technologies, engineering research methodology.

Telephone and e-mail address: 8 608 62765, marius.mazeika@edu.ktk.lt

HIDROMAZGŲ TECHININĖS BŪKLĖS VERTINIMAS

Vincas Gurskis, Rasa Minkštimienė

Vytauto Didžiojo universitetas

Anotacija

Hidrotechnikos statiniai yra vieni iš svarbių inžinerinių statinių, statomų vandens tiekimui, elektros gamybai, žemės ūkio reikmėms, potvynių kontrolei. Po Lietuvos nepriklausomybės atkūrimo, pasikeitus ekonominei sistemai, dalis šių statinių neteko kai kurių tiesioginių funkcijų, o tuo pačiu ir tinkamos priežiūros, todėl blogėja šių statinių techninė būklė. Norint užtikrinti hidromazgų, susidedančių iš gruntinių medžiagų užtvankų ir vandens pertekliaus pralaidų, saugų naudojimą reikia nuolat ir atidžiai stebėti jų vientisumą ir stiprumą. Hidromazgų vandens pertekliaus pralaidų statybai buvo naudojamas gelžbetoninės konstrukcijos. Daugumos jų jau yra paveiktos korozijos. Siekiant nustatyti atsiradusias pažaidas labai svarbu atlikti tyrimus ir jų pagrindu numatyti tinkamas remonto priemones.

Šiame straipsnyje aptariami šešių svarbesnių Širvintų rajono hidromazgų vandens pertekliaus pralaidų ir kitų betoninių, gelžbetoninių konstrukcijų betono fizikiniai, mechaniniai rodikliai, jie palyginti su projektiniais, atlikta per užtvankų naudojimo laikotarpį atliktų techninės būklės apžiūrų rezultatų analizė.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: hidromazgas, betonas, statinio techninė būklė.

Įvadas

Lietuvoje įvairiu laiku ir įvairiais tikslais buvo statomos užtvankos, kurių svarbiausia paskirtis – sudaryti tvenkinį arba vandens saugyklą. Dažniausiai įrengiamos gruntinių medžiagų (žemių) užtvankos, jos pasaulyje sudaro apie 75 % visų užtvankų (Ribas ir kt., 2021). Žemių užtvankose visada įrengiamos perteklinio vandens pralaidos (PVP), o kartais hidroelektrinės, žuvitakai, laivų šliuzai. Toks hidrotechnikos statinių kompleksas vadinamas hidromazgu. Vilniaus apskrityje hidromazgai su gruntinių medžiagų (žemių) užtvankomis pradėti statyti dar XX a. pirmoje pusėje, tačiau didžioji jų dalis pastatyta 1970–1990 metais drėkinimo, rekreacijos, žuvininkystės, nuotėkio reguliavimo ir kitais tikslais. Vilniaus apskrityje, kurios sudėtyje yra Širvintų rajono savivaldybė, yra 54 žemių užtvankos, kurių tvenkinių arba vandens saugyklų plotai didesni nei 5 ha (Tvenkinių..., 1998). Širvintų rajono savivaldybės teritorijoje yra 15 hidromazgų, kuriuos sudaro gruntinių medžiagų užtvankos ir perteklinio vandens pralaidos.

Hidrotechnikos statinius nuolat veikia sudėtingos sąlygos ir natūralūs gamtos reiškiniai – vandens aplinka, ižas, ledas, temperatūriniai pokyčiai, atmosferos krituliai, saulė, vėjas ir kiti gamtos veiksniai, todėl dauguma hidromazgų gelžbetoninių konstrukcijų yra paveiktos korozijos, stebimi atsiradę plyšiai, atskirų elementų deformacijos. Tai pažymima straipsnyje (Šadzevičius ir kt., 2009), kuriame apžvelgiama 1998-2009 m. tirtų hidromazgų slenkstinių ir šachtinių vandens pertekliaus pralaidų gelžbetoninių konstrukcijų būklė. Autoriai pažymi, kad hidromazguose naudojamos gravitacines atramines sienas veikia įvairios klimato sąlygos, vandens, grunto slėgis ir kt. apkrovos bei technologiniai veiksniai, kad veikiant suminiam agresyvių aplinkų ir apkrovų poveikiui konstrukcijose atsiranda plyšių.

Dėl patvankos aukščio (daugiau kaip 4 m) ir sukaupto didelio vandens kiekio (daugiau kaip 100 000 m³) tvenkiniuose 617 hidromazgų Lietuvoje yra priskirti ypatingų statinių (Statybos techninis reglamentas STR 1.01.03:2017), anksčiau vadintų potencialiai pavojingais (Dėl potencialiai..., 1998), kategorijai, todėl jie turi būti prižiūrimi ypač atsakingai. Pagal statybos techninį reglamentą STR 1.07.03:2017 statinių techninę priežiūrą turi organizuoti šių statinių naudotojas, kuris privalo paskirti už tą statinį atsakingą techninę priežiūrėtoją, kurio funkcija yra periodiškai stebėti statinio būklę, fiksuoti statinių pažaidas, o esant reikalui organizuoti remonto ar rekonstravimo darbus.

Lietuvoje savivaldybių administracijoms patikėta prižiūrėti valstybei priklausančius hidrotechnikos statinius (išskyrus esančius Baltijos jūroje ir esančius vidaus vandens telkiniuose, kurie įtraukti į Susisiekimo ministerijos patvirtintą sąrašą). Priežiūra vykdoma remiantis Statybos techniniu reglamentu STR 1.07.03:2017. Savivaldybių administracijos specialistai arba samdomi techniniai priežiūrėtojai apžiūri hidrotechnikos statinius ir įvertina elementų ir bendrą techninę būklę. Visi apžiūrų dokumentai turi būti archyvuojami.

Vadovaujantis statybos techniniu reglamentu STR 1.07.03:2017 yra būtinos privalomos tokios statinių apžiūros: nuolatinės, kasmetinės, specializuotos ir neeilinės. Kasmetinė apžiūra atliekama prieš ir po didesnių potvynių, bet ne rečiau kaip du kartus per metus, ją atlieka savininkas. Specializuotos apžiūros atliekamos pastebėjus hidrotechnikos statinių pavojingas deformacijas ar pažaidas. Šių apžiūrų metu tikrinama statinių bendra techninė būklė, pagrindiniai patikimumą sąlygojantys elementai, kurie gali turėti įtakos statinių esminių reikalavimų, ypač mechaninio atsparumo ir pastovumo, atitikimui normatyviniuose dokumentuose ir projekte nustatytiems reikalavimams.

Hidrotechnikos statinių naudojimo ir priežiūros klausimai aktualūs ir kitose šalyse. Mokslinėse publikacijose pažymima periodinio techninės būklės vertinimo, savalaikio remonto svarba užtikrinant jų saugą

(Kozlov, Yurchenko, 2020, Volkov ir kt., 2019). Pardo-Bosch ir Aguado (2015) pažymi kad, parenkant priemones, užtikrinančias tinkamą hidrotechnikos statinių veikimą ir konstrukcijų saugumą galima naudoti daugiakriterinę sprendimų priėmimo sistemą, pagrįstą trimis tvarumo aksiomomis: socialine, aplinkosaugos ir ekonomine. Techninės būklės vertinime naudoti 14 žingsnių seką siūlo Brazilijos mokslininkai (Ribas ir kt., 2021). Vis plačiau hidromazgų techninės būklės stebėsenai pasitelkiamos šiuolaikinės priemonės: elektroniniai pjezometrai, tenzometrai, nuosėdžių, posvyrių matuokliai (Prakach ir kt., 2022). Lietuvoje tokios priemonės įdiegtos tik stambiuosiuose Kruonio HAE ir Kauno HE hidromazguose.

Ypač svarbu tinkamai įvertinti hidromazgų perteklinio vandens pralaidų konstrukcijų būklę, nes gelžbetoninių ir betoninių konstrukcijų betonas laikui bėgant sensta, ima keisti savo fizines ir mechanines charakteristikas: stiprį, tamprumo modulį, skersinių deformacijų koeficientą bei kitus rodiklius. Ilgalaikiai procesai lemia deformacijų ir įtempių persiskirstymą tarp armatūros ir betono (Newhook et al, 2004). Betono savybės priklauso nuo užpildų stambumo, rišamosios medžiagos ir užpildų savybių bei kiekio, vandens ir cemento santykio, gamybos būdo, betono mišinio klojumo ir tankinimo būdų, kietėjimo sąlygų. Sukietėjusio betono struktūra yra nevienalytė, nes cemento akmuo ir užpildai yra nevienalyčiai (Kudzys, 1992). Norint išsamiau įvertinti gelžbetoninių konstrukcijų būklę būtina nustatyti betono gniuždymo stiprį. Vienas iš galimų betono tyrimo būdų – betono stiprio tyrimas neardančiuoju metodu.

Daugelio hidrotechnikos statinių amžius yra apie 40-50 metų ir vien dėl medžiagų senėjimo padidėja gedimų ir avarių tikimybė. Hidrotechnikos statinių betoniniai ir gelžbetoniniai elementai dažnai yra sudėtingos konstrukcijos, todėl jų būklę įvertinti yra pakankamai sunku, o vien tik vizualinio metodo kartais nepakanka. Norint kuo tiksliau įvertinti konstrukcijų techninę būklę, reikia surinkti kaip įmanoma daugiau stebėjimo duomenų, juos susisteminti ir palyginti, atlikti konstrukcijų tyrimus.

Šio tyrimo tikslas – įvertinti nuosavybės teise valstybei priklausančių Širvintų rajono šešių hidromazgų techninę būklę ir atlikti techninės būklės apžiūrų rezultatų vertinimą.

Darbo objektas ir metodika

Tyrimo objektas – šeši nuosavybės teise valstybei priklausantys hidromazgai, kuriuos patikėjimo teise valdo Širvintų rajono savivaldybės administracija. Tai Bartkuškio, Gelvanės, Sabališkių, Širvintų, Zdoniškių, Žebokštos hidromazgai. Du iš jų – Širvintų ir Bartkuškio hidromazgai yra išnuomoti privatiems asmenims, juose yra įrengtos hidroelektrinės.

Tiriamų hidrotechnikos statinių techninei būklei nustatyti buvo naudoti įvairūs metodai:

1. kameralinis;
2. vizualinis (apžiūrint tirtus statinius vietoje, statinių bei jų pažeistų elementų fotografavimas);
3. neardantis metodas betono stipriui nustatyti pagal standarto LST EN 12504-2 metodiką;
4. būklės įvertinimas defektyvumo (rizikos) balais (0 balų – ideali būklė, 10 – avarinė elemento būklė)

pagal STR 1.07.03:2017 metodiką.

Taikant kameralinį tyrimo metodą išnagrinėta Širvintų rajono savivaldybės archyve esanti tiriamų hidrotechnikos statinių projektinė ir statybos dokumentacija, rekonstravimo projektai, techninės būklės vertinimo dokumentai per užtvankų naudojimo laikotarpį, tvenkinių naudojimo ir priežiūros taisyklės. Nors visi apžiūrų dokumentai turi būti archyvuojami, tačiau Širvintų rajono savivaldybėje jie yra išlikę tik nuo 2004 metų.

Vizualinių tyrimų metu buvo apžiūrimos ir įvertinamos betoninės, gelžbetoninės konstrukcijos. Vizualinis metodas leidžia operatyviai nustatyti paviršinius konstrukcijų defektus, tokius kaip nuskilusius kampus, plyšius ir tarpus betone, betonavimo defektus, armatūros koroziją.

Betono stipriui neardančiuoju metodu nustatyti naudotas tamprus atšokimo principu veikiantis kalibruotas originalusis Šmito plaktukas. Buvo tiriamos svarbesnės užtvankų betoninės ir gelžbetoninės konstrukcijos: aukštutinio bjefo (AB) tvirtinimo plokštės, jų sujungimo siūlės, perteklinio vandens pralaidos (PVP) įtekėjimo dalys, ramtai, risbermos, tarnybieniai tilteliai.

Rezultatai ir jų aptarimas

Tiriamų Širvintų rajone esančių ir patikėjimo teise valdomų 6 hidromazgų techniniai rodikliai remiantis Tvenkinių katalogu (Tvenkinių..., 1998) pateikiami 1 lentelėje.

1 lentelė

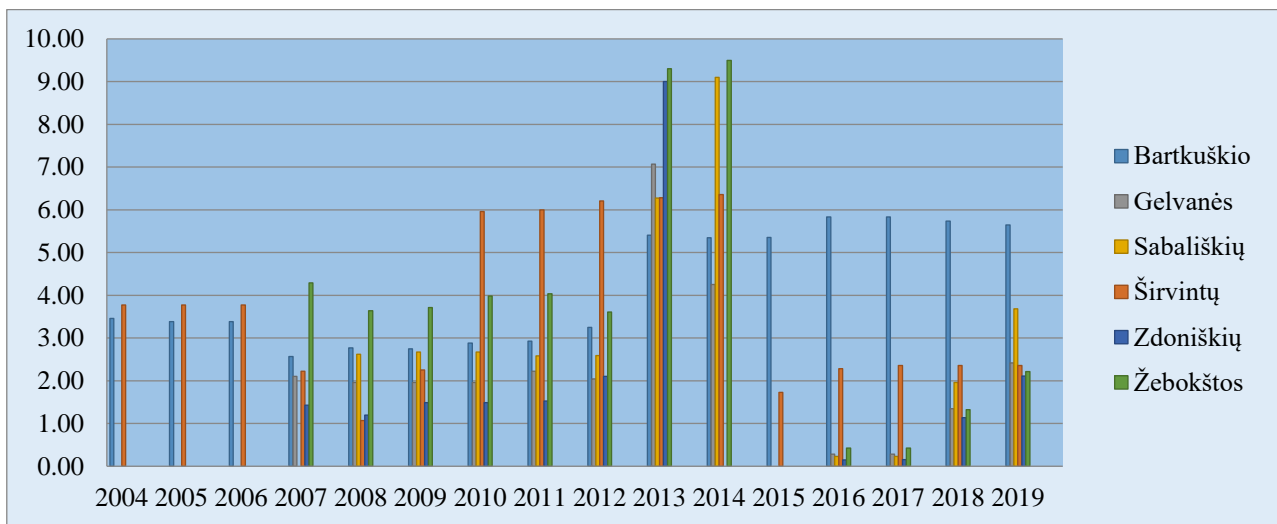
Tiriamų Širvintų rajono hidromazgų sąrašas ir jų rodikliai

Tvenkinio pavadinimas	Statybos metai	Tvenkinio plotas, ha	Tūris, tūkst. M ³	Žemių užtvankos ilgis, m	Patvankos aukštis, m	PVP tipas	Debitas, m ³ /s
Bartkuškio	1986	60,6	1510	480	8	Šachtinė	1,74

Tvenkinio pavadinimas	Statybos metai	Tvenkinio plotas, ha	Tūris, tūkst. M ³	Žemių užtvankos ilgis, m	Patvankos aukštis, m	PVP tipas	Debitas, m ³ /s
Gelvanės	1985	53,8	996,08	210	1,5	Slenkstis-nuopila	0,103
Sabališkių	1976	5,64	73,87	150	8	Šachtinė	0,059
Širvintų	1972	48,5	881,6	210	7	Slenkstinė su dviem segmentiniais uždoriais	3,29
Zdoniškių	1984	13,16	179,82	160	3,78	Vamzdinė greitvietė	0,065
Žebokštos	1986	20,93	346,68	110	4,43	Šachtinė	0,093

Šaltinis: sudaryta autorių

Bendras 1 lentelėje nurodytų tvenkinių plotas prie normaliojo patvankos lygio NPL yra 202,63 ha, o bendras tūris siekia beveik 4 mln. M³. Pagal savivaldybės administracijoje surinktus techninių apžiūrų duomenis sudarytas grafikas (1 pav.), rodantis, kad nuo 2004 m. iki 2012 m. bendra hidromazgų būklė buvo pakankamai gera, bendras būklės vertinimo balas kito nežymiai. Kiek rimtesnis pokytis atsispindi Širvintų hidromazgo vertinime. Nuo 2010 m. bendras būklės vertinimo defektyvumo balas padidėjo iki 6,0, tai rodo, kad hidromazgo būklė ženkliai suprastėjo lyginant su 2009 m., kuomet defektyvumo balas buvo tik 2,3. Kadangi šis hidromazgas buvo išnuomotas mažosios hidroelektrinės veiklai, jo priežiūrą rūpinosi nuomininkas. 2009 m. nuomininkas pasikeitė. Būklės pablogėjimą galėjo lemti neobjektyvus techninės būklės nustatymas arba pasikeitusio hidromazgo nuomininko netinkama statinio ir jo elementų priežiūra.



1 pav. Širvintų r. sav. Hidromazgų techninės būklės vertinimas defektyvumo balais (0-2 balai –gera būklė, 8,1-10 balų – labai bloga būklė) 2004-2019 m.

Šaltinis: sudaryta autorių

Kitų hidromazgų būklė iki 2012 m. buvo pakankamai stabili, tačiau 2013 m. vertinimas ženkliai pablogėjo. Manytina, kad tam įtakos galėjo turėti 2013 m. atlikta hidromazgų specializuota apžiūra, kurią atliko ne savivaldybės administracijos darbuotojai, bet hidrotechnikos statinių ekspertai, t.y. asmenys turintys ypatingo statinio ekspertizės vadovo atestatus. Skirtingi vertinimo rezultatai rodo, kad Širvintų rajono savivaldybės administracijos direktoriaus įsakymu sudarytos komisijos specialistai eilę metų galėjo netiksliai įvertinti statinių techninę būklę, be to, galima teigti, kad vizualus techninės būklės vertinimas nėra tikslus.

2015 m. keturi iš tiriamų hidromazgų buvo rekonstruoti, todėl būklės vertinimo defektyvumo balai tapo mažesni, nes po rekonstravimo statinių būklė tapo gera.

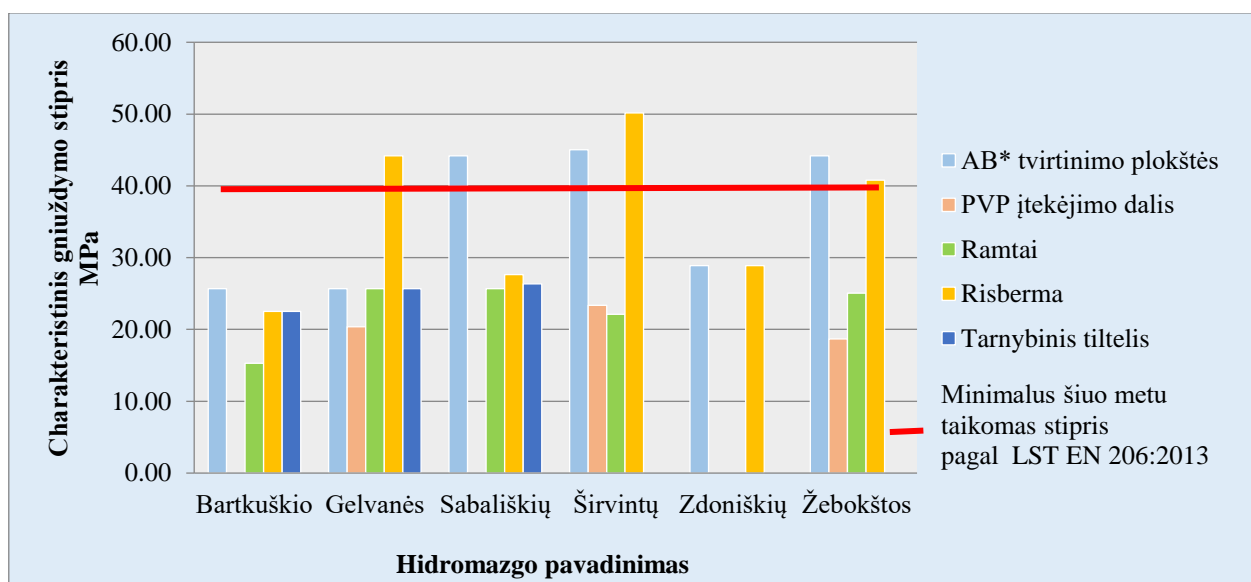
Betono stipriui neardančiuoju metodu nustatyti naudotas tampraus atšokimo principu veikiantis Šmito plaktukas. Siekiant, kad būtų gauti patikimi bandymo rezultatai, tiriamose konstrukcijos vietose buvo smūgiuojama ne mažiau kaip 9 kartus, o atstumas tarp dviejų smūgio vietų buvo imamas ne mažesnis kaip 25 mm. Atsiskuosiavę ir purvini betono paviršiai buvo valomi vieliniu šepetėliu, o nelygūs ir šiurkštūs lyginami abrazyviniu akmeniu. Pagal Šmito plaktuko taravimo kreivę ir atšokimų dydį nustatytas betono gniuždymo stipris (2 lentelė).

Tirtų betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų betono gniuždymo stiprio charakteristinės reikšmės

Nr.	Užtvanka	Aukštutinio bjefo tvirtinimo plokštės	PVP įtekėjimo dalis	Ramtai	Risberma	Tarnybinis tiltelis
		Charakteristinis stipris ($f_{ck, cub}$, N/mm ² , MPa)				
1	Bartkuškio	25,7	-	15,3	22,5	22,5
2	Gelvanės	25,7	20,4	25,7	44,2	25,7
3	Sabališkių	44,2	-	25,7	27,6	26,4
4	Širvintų	45,1	23,4	22,1	50,2	-
5	Zdoniškių	28,9	-	-	28,9	-
6	Žebokštos	44,2	18,7	25,1	40,8	-

Šaltinis: sudaryta autorių

Pagal šiuo metu galiojančią reikalavimą konstrukcijoms, kurias naudojimo metu veikia vidutiniškai drėgna bei cikliškai šlapia ir sausa aplinka, rekomenduojama minimali betono stiprio klasė yra C30/37. Remiantis tyrimo duomenimis nustatyta, kad 17 iš 24 arba 71 % tirtų betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų betono gniuždymo stipris yra mažesnis už šiuo metu reikalaujamą standartinį ir mažiausias betono stipris yra net 50 % mažesnis už standartinį (2 pav.). Vykdam hidrotechnikos statinių tyrimus pasitaikė vietų su stipriai apirusiu betonu, kuriose stiprio neardančiu būdu nustatyti nebuvo galimybės (3 pav.).



2 pav. Tirtų konstrukcijų betono charakteristinio gniuždymo stiprio nuokrypis nuo standartinės vertės

Šaltinis: sudaryta autorių



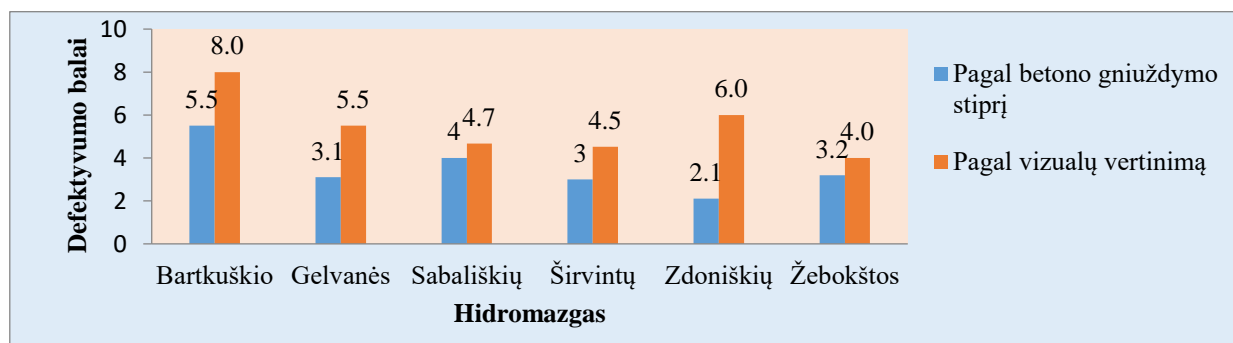
3 pav. Stipriai apirusios gelžbetoninės konstrukcijos Bartkuškio hidromazgo žemutinio bjefo ramtuose

Siekiant palyginti vizualinio ir instrumentinio tyrimo rezultatus nustatyti būklės balai, priklausantys nuo konstrukcijų betono stiprio (3 lentelė).

Konstrukcijų būklės vertinimas defektyvumo balais priklausomai nuo konstrukcijų betono stiprio gniuždant

Būklės vertinimas defektyvumo balais	0-2	2,1-4	4,1-6	6,1-8	8,1-10
Betono klasė	≥ C30/37	C25/30	C20/25	C16/20	≤ C12/15
Vidutinis gniuždymo stipris $f_{cm,cube}$, N/mm ²	≥ 41	40 ... 34	33 ... 29	28 ... 24	< 24

Lyginant vizualinio techninės būklės vertinimo ir instrumentinio betono stiprio tyrimo rezultatus matome, kad hidromazgų vertinimas skiriasi beveik visuose hidromazguose. Vieninteliame Sabališkių hidromazge vizualinio ir instrumentiniu vertinimo rezultatai sutampa (4 pav.). Šie rezultatai patvirtina anksčiau išsakytą teiginį, kad statinių būklės vertinimas tik vizualiai apžiūrint statinius yra netikslus.



4 pav. Tirtų hidromazgų konstrukcijų vertinimo palyginimas

Šaltinis: sudaryta autorių

Iš atlikto duomenų palyginimo matyti, jog neardančiuoju metodu nustatyta betono stiprio klasė rodo gerokai prastesnę būklę, nei vertinant vizualiai (Zdoniškių hidromazge netgi dvigubai prastesnę nei galima pamatyti), todėl vertinant hidromazgų betoninių, gelžbetoninių konstrukcijų būklę turi būti atliekamas ne tik vizualus, bet ir instrumentinis vertinimas.

Išvados

1. Tyrimo metu nustatyta šešių Širvintų rajono savivaldybės hidromazgų būklė. Vertinant vizualiai blogiausia yra Bartkuškio hidromazgo būklė (5,6 defektyvumo balai). Kiti hidromazgai vertinami patenkinamai (2,1 – 3,7 balais), juose didesnių pažeidimų ar defektų nepastebėta.

2. Hidromazgų gelžbetoninėse konstrukcijose dažniausiai pasitaikančios pažeidimos yra paviršinio betono sluoksnio, apsaugojančio armatūrą nuo korozijos, irimas, supleišėjimas, armatūros korozija. Šių pažeidimų daugiausia nustatyta Bartkuškio hidromazge, kurių pagrindinės susiformavimo priežastys: prasta betono kokybė statybos metu, projektinių sprendinių nesilaikymas.

3. Neardančiu metodu nustatytus betono stiprį nustatyta, kad didžiausiu gniuždymo stipriu išsiskyrė Širvintų hidromazgo risbermos ir žemių užtvankos aukštutinio šlaito tvirtinimo plokščių betonai, kuris atitinka C35/45 stiprio klasę. Mažiausias betono gniuždymo stipris nustatytas Bartkuškio hidromazgo ramtuose, kuris atitinka C12/15 klasę ir yra net 58 % mažesnis, nei dabar reikalaujamas.

4. Atlikus hidromazgų techninės būklės vertinimo vizualiū būdu atskaitų analizę nustatyta, kad toks vertinimas nėra tikslus, nes rezultatus įtakoja vertintojų kompetencija. Vertinant hidromazgų gelžbetoninių konstrukcijų būklę pagal betono gniuždymo stiprį gaunami prastesni rezultatai nei vertinant tik vizualiniu metodu, todėl techninės būklės vertinimas turi būti kompleksinis, paremtas ne tik vizualiū, bet ir instrumentiniu vertinimu.

Literatūra

1. Dėl potencialiai pavojingų hidrotechnikos statinių priežiūros ir kontrolės. Patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymu 1998 m. lapkričio 2 d. Nr. 207.
2. Newhook John, Ghali Amin, Gamil Tadros. Canadian Journal of Civil Engineering, 2004, p. 579-588.

3. Kozlov D. and Yurchenko A. The role of inspection of hydraulic structures in the assessment of their technical condition. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 883 (2020) 012049 doi:10.1088/1757-899X/883/1/012049.
4. Kudzys A. Gelžbetoninės ir mūrinės konstrukcijos. Vilnius, 1992, p. 392.
5. Lietuvos Respublikos melioracijos įstatymas. Iš: Valstybės žinios, 1993, Nr. 1-323.
6. LST EN 12504-2:2021 „Betono bandymas konstrukcijose. 2 dalis. Neardomieji bandymai. Atšokimo rodiklio nustatymas“.
7. Pardo-Bosch F., Aguado A. Investment priorities for the management of hydraulic structures. Structure and Infrastructure Engineering. Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance. Volume 11, 2015 – P. 1338-1351.
8. Prakash G., Dugalam R., Barbosh M., Sadhu A. Recent advancement of concrete dam health monitoring technology: A systematic literature review. Structures. Volume 44, 2022, Pages 766-784.
9. Ribas J.R., Severo R.J.C., Guimarães L.F., Perpetuo K.P.C. A fuzzy FMEA assessment of hydroelectric earth dam failure modes: A case study in Central Brazil. Energy Reports, Volume 7, November 2021, Pages 4412-4424.
10. Statybos techninis reglamentas STR 1.01.03:2017 „Statinių klasifikavimas“.
11. Statybos techninis reglamentas STR 1.07.03:2017 „Statinių techninės ir naudojimo priežiūros tvarka. Naujų nekilnojamojo turto kadastro objektų formavimo tvarka“. 2016.
12. Šadzevičius R., Patašius A., Mikuckis F., Hidromazgų vandens ramino baseino gelžbetoninių ramtų plyšių klasifikacija pagal pavojingumą konstrukcijai. Vandens ūkio inžinerija, Nr. 35(55), 2009, p. 110-116
13. Tvenkinių katalogas. Aplinkos apsaugos ministerija, Hidrografinio tinklo tarnyba. Kaunas, 1998.
14. Volkov V.I., Snezhko V.L., Kozlov D.V. Prediction of Safety Level of Low-Head and Ownerless Hydraulic Structures. Power Technol Eng 53, 23–28 (2019).

EVALUATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF HYDROTECHNICAL STRUCTURES

Summary

There are many hydrotechnical structures in Lithuania, which were built using concrete and reinforced concrete. Most of them are already exposed to erosion by concrete and reinforced concrete structures. It is very important to perform concrete tests to determine the defects.

Hydrotechnical complexes were built for irrigation, hydropower, fishery, runoff control, recreation and other purposes. After the restoration of Lithuania's independence, as the economic system changed, some dams and ponds lost their direct functions and, at the same time, proper maintenance, which led to the deterioration of their technical condition.

This article discusses the physical, mechanical characteristics of water overflows and other concrete, reinforced concrete structures of six selected hydrotechnical complexes of Širvintos district, comparing them with design analysis of the results of technical condition inspections performed during the period of use of dams.

Key words: hydrotechnical complexes, concrete, technical condition of structure.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Vincas Gurskis.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.

Darbo vieta ir pozicija: Vytauto Didžiojo universiteto Inžinerijos fakulteto Vandens inžinerijos katedros docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: statybinės medžiagos, statybinė fizika, hidrotechnikos statinių techninė būklė.

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

Autoriaus vardas, pavardė: Rasa Minkštienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras.

Darbo vieta ir pozicija: Vytauto Didžiojo universitetas, Inžinerijos fakultetas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: hidrotechnikos statinių techninė būklė.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 604 10849, rasa.salugaite@gmail.com.

A COVER LETTERS AUTHORS

Author name, surname: Vincas Gurskis.

Science degree and name: Doctor, Associated Professor.

Workplace and position: Vytautas Magnus University Faculty of Engineering, Associated Professor of Water Engineering Department.

Author's research interests: building materials, building physics, technical condition of hydraulic structures.

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

Author name, surname: Rasa Minkštienė.

Science degree and name: master's degree.

Workplace and position: Vytautas Magnus University, Faculty of Engineering.

Author's research interests: technical condition of hydraulic structures.

Telephone and e-mail address: +370 604 10849, rasa.salugaite@gmail.com.

KALENDORINIO PLANAVIMO BŪDŲ ĮTAKA STATYBVIETĖS IŠTEKLIAMS IR JŲ EFEKTYVUMO TYRIMAS, TAIKANT LOŠIMŲ TEORIJĄ

Violeta Medelienė

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Statybos planavimas yra pagrindinė, daug įgūdžių ir praktikos reikalaujanti veikla statybos vadyboje ir projektų valdyme. Gerai suplanuoti statybą yra labai sunki užduotis, kadangi statyba yra dinamiškas, daugiaprocesinis reiškinys, kuris bet kuriuo metu gali pakrypti bet kuria linkme, bet kurioje projekto vietoje dėl pinigų stygiaus, dėl nepakankamo arba visai nesančių projektinių sprendinių detalizavimo, naujų užsakovo pageidavimų, nepakankamos kokybės kontrolės ir pan. Ypač sudėtinga nustatyti racionalius neapibrėžtumo sąlygomis sudarytų darbų atlikimo grafikų bei šių sprendinių įtakoje esančių statybvietės planų sprendinius. Čia projektuotojai susiduria su labai rimtomis problemomis dėl šių sprendinių vertinimo pagrindimų.

Šiame tyrime buvo keliamas tikslas – išanalizuoti alternatyvius visuomeninės paskirties objekto statybos kalendorinio planavimo sprendinius ir jų įtaką statybvietės įrengimo išlaidoms bei atlikti daugiakriterinį jų vertinimą, taikant lošimų teorijos metodus.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: kalendorinis grafikas, nuoseklus planavimas, lygiagretus planavimas, statybvietė, laikini ištekliai, kriterijai, lošimų teorija, efektyvus sprendinys.

Įvadas

Lietuvoje jau kurį laiką didėja statybos apimtys, todėl statybos procesas yra svarbus įrankis, įgyvendinant statybinius projektus bei didinant verslo investicijas. Tinkamai planuojamas ir organizuojamas statybos procesas leidžia jį ženkliai pagreitinti ir tuo pačiu metu sumažinti finansines išlaidas. Didėjanti konkurencija ir aukšti statybos darbų atlikimo reikalavimai skatina statybos procesus optimizuoti.

Siekiant užtikrinti sklandų statybos planavimą, investuojama į aukštą darbo našumą užtikrinančias sistemas, kurios leidžia sumažinti klaidų skaičių, padidinti darbo efektyvumą bei įvertinti laiko ir finansines sąnaudas. Diegiant šias sistemas atsiranda poreikis gauti kuo didesnę investicinę grąžą bei sumažinti statybos projekto trukmę.

Šiuo metu Lietuvos statybos planavimo strategijoje akcentuojamas naujausių technologijų ir statybos planavimo modelių diegimas bei inovatyvių sprendimų taikymas. Lietuvos statybos įmonės vis plačiau diegia ir taiko pažangias Statinio informacinio modeliavimo (*angl. Building Information Modelling- BIM*) technologijas, tačiau laiko planavimas vis dar išlieka didele problema, įgyvendinant realius statybos projektus.

Linijinio kalendorinio grafiko sudarymas yra vienas pagrindinių veiksnių, lemiantis planuojamą statybos trukmę ir sąnaudas. Statybos darbų kalendoriniu grafiku vadovaujasi projektų vadovai, rangovai, subrangovai bei kiekvienas statybos proceso dalyvis. Tinkamai sudarytas statybos darbų kalendorinis grafikas leidžia optimizuoti statybos procesus ir sutaupyti laiko bei finansinių išteklių, kurie galiausiai tampa svarbiausiu rodikliu, vertinant statybos darbų efektyvumą.

Planuojant objektų statybą nuolat bandoma sumažinti statybos darbų trukmę didinant darbo našumo rodiklius, stengiantis kuo didesnę darbų skaičių atlikti vienu metu, didinti grandžių ar brigadų skaičių procesų atlikimui, taikyti įvairius specifinius darbų organizavimo metodus. Tačiau kyla klausimas – ar tikrai darbų trukmės mažinimas visada yra ekonomiškai efektyvus? Kaip skirtingi darbų organizavimo būdai keičia paruošiamųjų darbų kainą?

Tyrimo objektas- visuomeninės paskirties pastato kalendorinio statybos planavimo metodai ir jų įtaka inžineriniam statybvietės ruošimui.

Tyrimo tikslas- išanalizuoti alternatyvius visuomeninės paskirties objekto statybos kalendorinio planavimo sprendinius ir jų įtaką statybvietės įrengimo ištekliams, bei atlikti daugiakriterinį jų vertinimą, taikant lošimų teorijos metodus.

Tikslo realizavimui keliami tokie uždaviniai:

- atlikti kalendorinio statybos planavimo metodų analizę;
- taikant skirtingus metodus, sudaryti visuomeninės paskirties objekto statybos kalendorinius darbų vykdymo grafikus ir apskaičiuoti atitinkamai reikalingus išteklius statybvietei;
- sudaryti vertinimo kriterijų sistemą ir, taikant lošimų teoriją, atlikti kalendorinio grafiko variantų vertinimą.

Tyrimas atliktas, prisilaikant tokių etapų: atlikta kalendorinio planavimo metodų analizė; atrinkti tinkami metodai ir sudaryti kalendoriniai objekto statybos grafikai; kiekvienam grafiko variantui apskaičiuoti

ištekliai statybvietei; sudaryta vertinimo kriterijų sistema; atliktas daugiakriterinis kalendorinio grafiko variantų vertinimas, taikant lošimų teoriją.

Statybos kalendorinio planavimo metodų apžvalga.

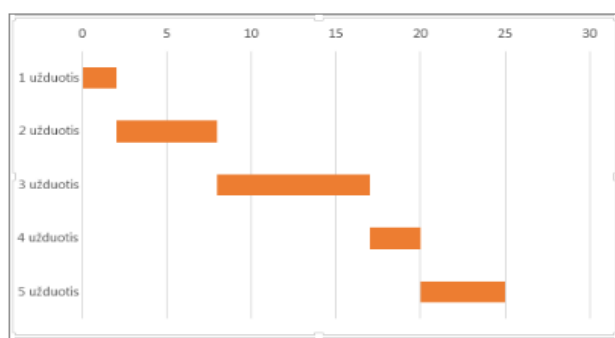
Visame pasaulyje statybos įmonėms dirbant rinkos sąlygomis, planuojant savo veiklas, ypač aktualus yra laiko planavimas. Šiuo metu sukurta ir tobulinama daug metodų, skirtų statybos trukmės kontrolei: kritinio kelio metodas (Baldwin ir kt., 2014: 239-246), Flowline metodas (Seppanen ir kt., 2012: 43-54), tikimybinis PERT metodas (Banaitienė ir kt., 2012:54-58), LoB metodas (Rodrigues Martinez, 2013: 18-20) ir kt.

Kalendorinio planavimo metodai pagal planavimo pobūdį skirstomi į dvi dideles grupes: 1- veikla paremti planavimo metodai; 2- vieta paremti planavimo metodai.

Veikla paremti kalendorinio planavimo metodai aktyviai naudojami jau senai, todėl daugelyje statybos projektų vis dar išlieka jų populiarumas. Pagal šią metodiką statybos projektai vaizduojami kaip atskirų užduočių grupės, sujungtos loginiu ryšiu (Rodrigues Martinez, 2013:10). Šiems ryšiams nustatyti naudojami iš anksto sukurti analizės duomenys. Ši loginė seka vadinama kritinio kelio metodu (angl. *Critical Path Method* – *CPM*). Pagal šią metodiką statybos darbai traktuojami kaip nekintami vienetai, kurie sujungiami loginiu tarpusavio ryšiu. Naudojant kritinio kelio metodą siekiama surasti anksčiausią darbų pabaigą, nustatant ilgiausiai trunkančią nepertraukiamą darbų grandinę (Baldwin ir kt., 2014: 215-216). Pridėjus kiekvienam darbui numatytus išteklius, galime apskaičiuoti viso projekto išteklių poreikį bei jį optimizuoti iki labiausiai priimtino (Hergunsel ir kt., 2011: 40-41). Dažniausiai kritinio kelio metodu planuojami darbai yra atvaizduojami Ganto arba tinklinėse diagramose.

Vieta pagrįsti planavimo metodai sukuria pasikartojančių užduočių ciklą, kurie dar vadinami kartotiniaisiais planavimo metodais (angl. *Repetitive Scheduling Methods* – *RPM*). Pagrindinis šių užduočių tikslas, išteklių perkėlimas iš vienos vietos į kitą, tad numatytoms darbų vietoms nebereikia pakartotinio išteklių naudojimo. Tai reiškia, kad keičiama išteklių vieta, bet ne darbo pobūdis (Seppanen ir kt., 2014:610-611).

Statybos srityje, rengiant detalų projekto planą, plačiai naudojama Ganto diagrama. Ganto diagrama yra skirta suteikti teisę gamybos planuotojams valdyti ir optimizuoti gamybos planą. Ganto diagrama išskaidrina operacijų srautą, tampa paprasta reguliuoti gamybos grafiką ir atsižvelgti į medžiagų arba išteklių trūkumus. Tai padeda planuotojams geriau išnaudoti turimus išteklius, sumažinti nebaigtą gamybą ir optimizuoti gamybos užsakymų našumo laiką. Kai kurių mokslininkų nuomone, Ganto diagrama yra viena iš efektyviausių priemonių detaliai projekto planui parengti (Krušinskas ir kt., 2012, p. 26-28). Ganto diagramoje užduotys gali eiti viena po kitos, tai yra nuosekliai (1 pav.) arba, priklausomai nuo darbų organizavimo būdo, lygiagrečiai, kas daro šią 20igram žymiai sudėtingesne (2 pav.)



1 pav. Nuoseklus užduočių vykdymo grafikas, pavaizduotas Ganto diagrama [10]



2 pav. Lygiagretus užduočių vykdymas, pavaizduotas Ganto diagrama [10]

Naudojant nuoseklų užduočių vykdymo būdą, darbai atliekami vienas po kito, tai yra vienu metu vykdoma tik viena užduotis, ir, jai pasibaigus pradedama kita. Šis būdas pasižymi lengviausiu valdymu, jame lengva sekti pakeitimus, į juos reaguoti koreguojant grafiką. Tačiau jis pasižymi maksimalia darbų vykdymo trukme.

Lygiagretus užduočių vykdymas pasižymi ženkliai trumpesne darbų vykdymo trukme, tačiau ypač išauga vienu metu naudojamų išteklių poreikis, sunku suderinti vienu metu vykstančius procesus. Dėl to nukenčia atliekamų darbų kokybė ir išauga kaina. Tokiu būdu suplanuotą procesą yra žymiai sunkiau valdyti.

Statyboje, planuojant užduočių vykdymą, dažniausiai atsižvelgiama į pačių objektų ypatumus ir dalis užduočių planuojama nuosekliai, o dalis- lygiagrečiai, stengiantis sumažinti šių užduočių vykdymo būdų trūkumus.

Visuomeninės paskirties pastato statybos kalendorinio planavimo būdų įtakos statybviets ištekliams tyrimas.

Tyrimo tikslui realizuoti pasirinktas visuomeninės paskirties pastatas, statomas 13175 m² bendro ploto sklype, besiribojančiame su individualių įmonių gamybiniais pastatais. Projektuojamas pastatas yra 2 tarpsnių su mūrine pastato dalimi. Abu tarpsniai yra skirtingi: didžiausias iš jų yra centrinėje pastato dalyje ir siekia 40 m ilgio, mažesnis tarpsnis yra statmenas didžiajam, jo ilgis siekia 24 m. Bendras rėmo aukštis didžiajame tarpsnyje 15,85 m. Mažesniojo rėmo aukštis 7,03 m. Rėmai tarpusavyje jungiami ryšiais, sijomis bei profiliuoto plieno lakštais, išdėstytais išilgine pastato kryptimi. Mūrinės pastato dalies skersinį rėmą sudaro laikančios mūrinės sienos, išmūrytos ant juostinių monolitinių gelžbetonio pamatų su gelžbetonine perdanga.

Planuojant šio objekto statybą, išanalizuoti tokie alternatyvūs statybos planavimo būdai: 1- nuoseklus, kai statybos darbai planuojami atlikti nuosekliai su reikalingais minimaliais ištekliais; 2- mišrus- kai dalis statybos darbų atliekama nuosekliai, o dalis- lygiagrečiai, jei tai leidžia technologiniai ir darbų saugos reikalavimai; 3- mišrus, su daliniais srautais atskiruose procesuose, kai srautais atliekami specialieji ir apdailos darbai.

Nuoseklus statybos planavimo būdas (A1). Jis yra pats paprasčiausias kalendorinio planavimo būdas statybai planuoti. Šio būdo pliusas yra tas, jog statybos aikštelėje visos statybos metu reikalingi tik minimalūs ištekliai, kas, savo ruožtu mažina laikinų išteklių statybvietsėje- laikinų pastatų, sandėlių ir sandėliavimo aikštelių elektros ir vandens poreikį, o tuo pačiu ir statybvietsės įrengimo kainą. Esminis trūkumas- statybos trukmė yra pati ilgiausia, kas dažniausiai netenkina užsakovo ir trukdo rangovui laimėti konkursus. Tačiau jei nėra riboti terminai, rangovui šis būdas yra tikrai priimtinas.

Mišrus statybos planavimo būdas (A2). Šis būdas yra vienas iš dažniausiai naudojamų statybos kalendorinio planavimo būdų, nes tinkamas technologinių procesų išdėstymas laike juos tapdinant, leidžia ženkliai sutrumpinti statybos trukmę. Tačiau, tapdinant atskirus procesus, neišvengiama darbininkų skaičiaus augimo, didesnio medžiagų ir mechanizmų poreikio, kas didina laikinus išteklius statybvietsėje, o tuo pačiu ir statybvietsės įrengimo kainą.

Mišrus, su daliniais srautais atskiruose procesuose būdas (A3). Srautas – tai puiki priemonė statybos trukmės mažinimui planuojant darbus objektuose, kuriuos galima padalinti į keletą maždaug vienodų dalių (barų), kuriose netrukdomai galėtų dirbti viena grandis ar brigada. Brigados ar grandys pasikeičia ne užbaigus darbus objektuose, bet užbaigus darbus baruose. Dirbant srautiniu metodu objektas pastatomas greičiau negu dirbant nuosekliajau, o palyginti su lygiagrečiuoju statybos metodu, išteklių poreikis tam tikrais statybos momentais būna gerokai mažesnis. Tuo pačiu būna mažesnės ir išlaidos statybvietsės įrengimui.

Planuojant analizuojamo objekto statybą ir naudojant kalendoriniam planavimui Ganto diagramas, sudaryti trys kalendoriniai grafikai: A1-planuojant atlikti procesus nuosekliai, A2-planuojant dalį procesų atlikti nuosekliai, o dalį- lygiagrečiai ir A3- planuojant dalį procesų atlikti mišriai ir organizuoti dalinius specialiųjų ir apdailos darbų srautus, kuriuos leidžia objekto specifiška. Sudaryti grafikai skyrėsi planuojama laiko trukme, maksimaliu ir vidutiniu darbininkų skaičiumi, darbų tapdinimo rodikliu. Naudojant kiekvieno sudaryto kalendorinio grafiko rezultatus, pagal atitinkamas metodikas (Medelienė ir kt., 2013: p. 27-44), apskaičiuoti kiekvienu atveju reikalingi ištekliai statybvietsės įrengimui bei rangovo ir užsakovo gaunami ekonominiai efektai (Boguslauskas, 2008). Gauti skaičiavimo rezultatai pateikti 1-oje lentelėje.

1 lentelė

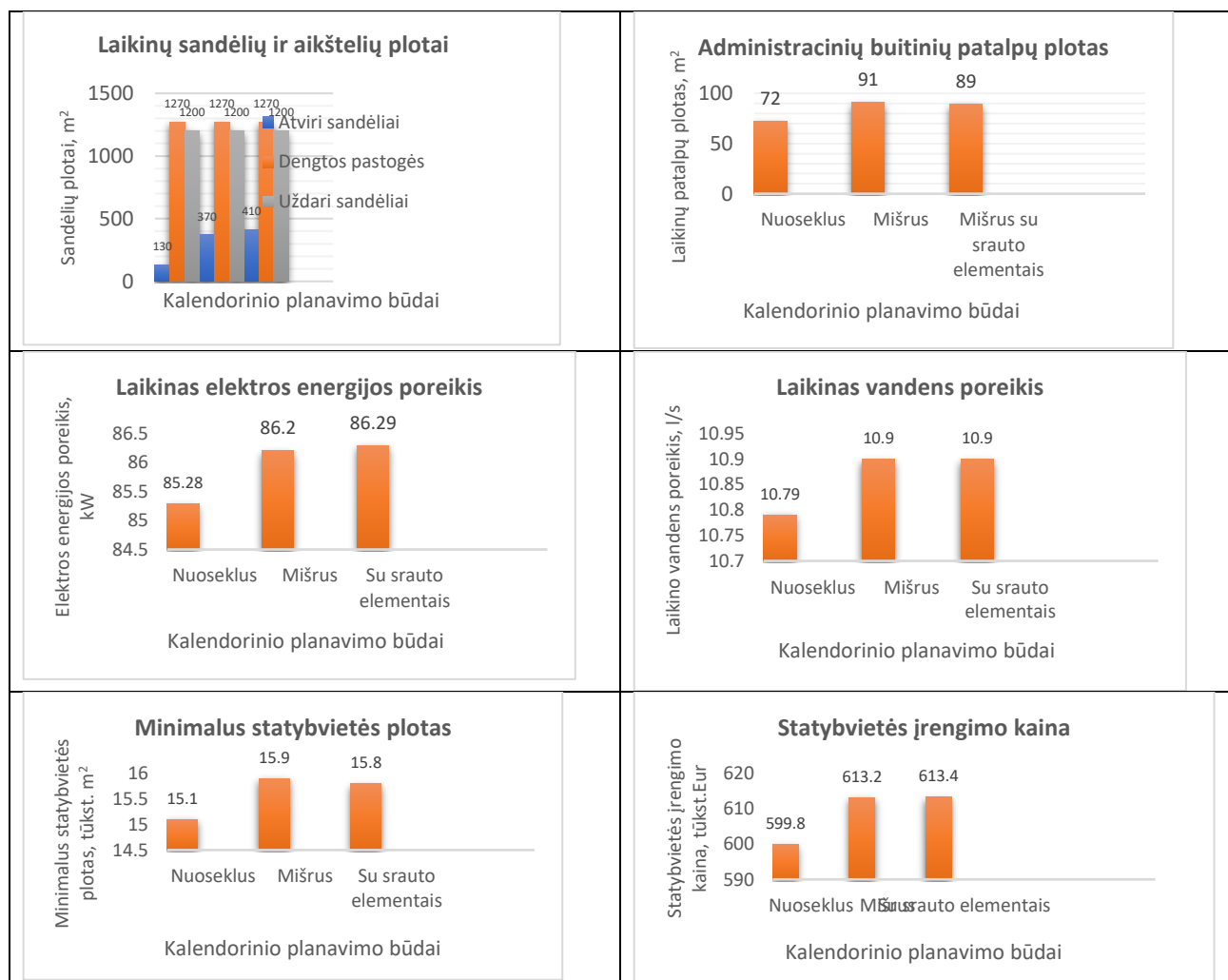
Kalendorinių grafikų rodikliai ir laikini ištekliai statybvietsi įrengti

Eil. Nr.	Rodiklio pavadinimas	Žymėjimas	Nuoseklus planavimas (A1)	Mišrus planavimas (A2)	Mišrus su daliniais srautais (A3)
1	Bendra statybų trukmė, T, (d)	K1	209	152	168
2	Maks. Darbuotojų skaičius N _{max} (vnt.)	K2	30	38	37

Eil. Nr.	Rodiklio pavadinimas	Žymėjimas	Nuoseklus planavimas (A1)	Mišrus planavimas (A2)	Mišrus su daliniais srautais (A3)
3	Atviro sandėlio plotas F ₁ , (m ²)	K3	130	370	410
4	Pastogės plotas F ₂ , (m ²)	K4	1270	1380	1451
5	Uždaro nešildomo sandėlio plotas F ₃ , (m ²)	K5	1200	1314	1427
6	Inž. tech. Darbuotojų skaičius N _{inž.} , (vnt)	-	4	5	5
7	Laikinių pagalbinių patalpų plotas F ₄ , (m ²)	K6	72,00	91,00	89,00
8	Bendras vandens poreikis Z _b , l/s	K7	10,788	10,899	10,885
9	Statybvietės užstatymo tankumas K ₂	K8	0,177	0,186	0,188
10	Bendras elektros energijos poreikis E _b , kW	K9	85,28	86,20	86,29
11	Užsakovo ekonominis efektas, Eur	K10	19553,31	75280,25	59637,60
12	Rangovo ekonominis efektas, Eur	K11	8995,49	34632,63	27436,24
13	Minimalus statybvietės plotas, (m ²)	K12	15065,894	15776,577	15825,421
14	Statybvietės įrengimo kaina, Eur	-	599841,42	613231,99	613370,80
15	Išlaidų statybvietei dalis nuo bendros sąmatos, %	-	8.9	9.1	9.2

Šaltinis: sudaryta autorės

Pagal gautus skaičiavimo rezultatus, sudarytos palyginimo diagramos. Kalendorinio planavimo būdų įtaka statybvietės įrengimo ištekliams pateikta 3 pav.



3 pav. Statybvietės išteklių rodiklių palyginimas, priklausomai nuo kalendorinio planavimo būdo

Šaltinis: sudaryta autorės

Efektyvaus visuomeninės paskirties pastato kalendorinio planavimo būdo nustatymas, taikant lošimų teoriją.

Vertinant statybos technologijos, organizavimo, vadybos sprendinius, taip pat ir sudarytų kalendorinių grafikų efektyvumą, susiduriama su neapibrėžtumo sąlygomis, kai trūksta informacijos apie analizuojamus variantus, santykinį efektyvumo rodiklių reikšmingumą, jų skaitines reikšmes, apskaičiuotas įvairioms išorinėms sąlygoms, kurios yra tikimybinės ir pan. Šiuos uždavinius galima sėkmingai išspręsti, taikant lošimų teoriją (Zavadskas ir kt., 2004: 7-9; Tamošaitienė, 2009: 40-41; Starta, 2019: 43-46; Voolf Murray ir kt., 2012; Antuchevičienė ir kt., 2006; 263-268).

Tokiu būdu išrinkta alternatyva yra pirmas žingsnis, vedantis prie geriausio, įvairių suinteresuotų grupių dialoginiu būdu priimamo sprendimo. Projektinių sprendimų įgyvendinimo efektyvumas priklauso nuo specialisto priimto sprendimo ir pasirinktos strategijos.

Svarbiausia taisyklė apskaičiuojant optimalias strategijas yra minimakso kriterijus. Taip pat žinomos šio kriterijaus atmainos: Savage- Niehaus kriterijus, Hurwicz taisyklė ir kt. Pasirenkant sprendinį konfliktinėse situacijose taikomas Wald, Laplace ir Bayes taisyklės (Zavadskas ir kt., 2004: 15-16)

Atliekant projektinių sprendimų vertinimą pagal šias taisykles, taikomas dviejų asmenų žaidimo su nuline suma teorijos metodas, interpretuojamas kaip žaidimas prieš gamtą. Čia galimi variantai (alternatyvos) nagrinėjami kaip specialisto, priimančio sprendimą, strategijos, o priešininko (gamtos) strategijos yra tikslo funkcijos (kriterijai) (Zavadskas ir kt., 2004: 29-31; Vargas ir kt., 2015: ; Barough ir kt., 2012: 1586-1593; Eissa ir kt., 2021).

Tyrime, nustatant kalendorinio planavimo būdų efektyvumą, pasirinkti Valdo (Wald), Sevidžo (Savage) kriterijai, ir Gurvico (Hurwicz) rizikos faktorius.

Valdo (Wald) taisyklė maksimizuoja garantuotą išlošį. Pagal ją gaunama atsargi strategija, todėl šią taisyklę prasminga taikyti tada, kai reikia priimti sprendimą remiantis įvairiomis nepalankiomis pirmajam lošėjui būklėmis (Zavadskas ir kt., 2004: 32).

Sevidžo (Savage) taisyklė žinoma, kaip mažiausio apgailestavimo ar minimalaus nusivylimo principas. Remiantis šiuo kriterijumi, be tiesioginių sprendimo padarinių, atsižvelgiama ir į antrinius efektus, taip plečiant planavimo horizontą. Tačiau šiam principui poveikį daro ir neoptimali strategija (Zavadskas ir kt., 2004: p.33).

Gurvico (Hurwicz) taisyklė grindžiama blogiausiu ir geriausiu rezultatu. Eilučių minimumo ir maksimumo elementai vienijami į pasvertą vidurkį su parametru λ (Zavadskas ir kt., 2004: 32). Kuo λ didesnis, tuo didesnis yra ir optimizmas. Šiuo atveju atsižvelgiama tik į geriausią ir blogiausią rezultatą, o visos kitos informacijos nepaisoma (Zavadskas ir kt., 2004: 32).

Remiantis algoritmu (4 pav.) ir gautais sudarytų alternatyvių kalendorinių grafikų variantų rodikliais bei apskaičiuotais atitinkamais išteklių statybvietei įrengti atmetant besikoreliuojančius rodiklius (1 lentelė), sudaryta alternatyvių sprendinių pradinių duomenų matrica P (2 lentelė).

2 lentelė

Pradinių duomenų matrica P

Matrica P												
Kriterijai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12
Variantai												
A1	209	30	130	1270	1200	72	10,79	0,177	85,28	19,6	8,99	15,07
A2	152	38	370	1380	1314	91	10,90	0,186	86,20	75,3	34,6	15,78
A3	168	37	410	1451	1427	89	10,85	0,180	86,29	59,6	27,4	15,83
Kriterijų optimalumas	min	min	min	min	min	min	min	max	min	max	max	min
Geriausią reikšmę	152	30	130	1270	1200	72	10,79	0,186	85,28	75,3	37,6	15,07

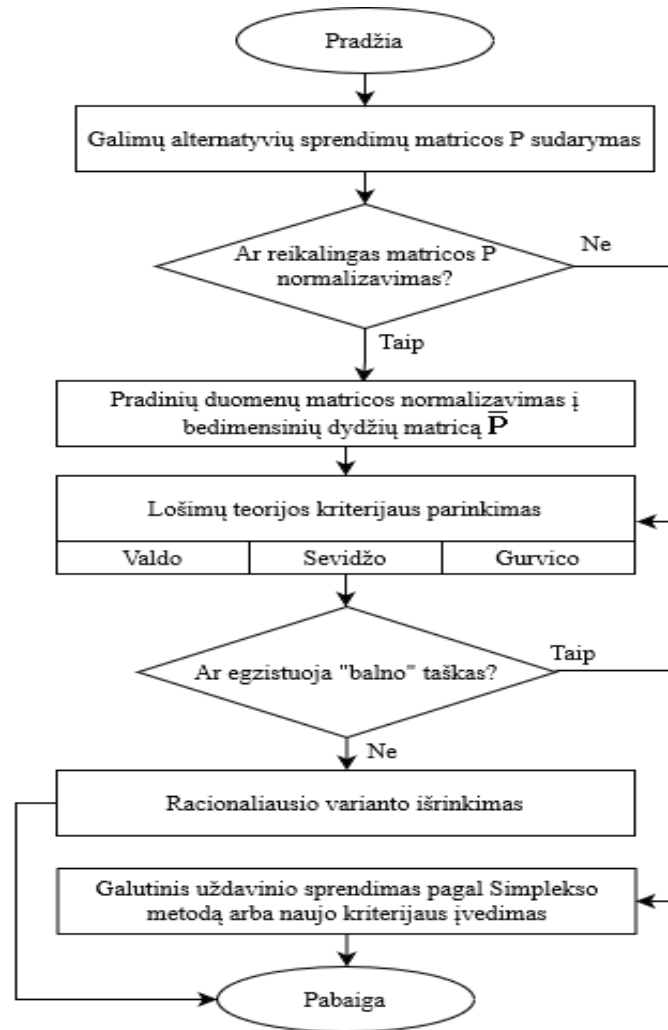
Sudaryta: Autorės

Norint uždaviniui taikyti matricinių lošimų teoriją, reikalingi bedimensiniai dydžiai, atitinkantys tokius reikalavimus: turi išreikšti santykį su optimaliu dydžiu; neturi priklausyti nuo matricos tipo; esant vienodiems procentiniams pokyčiams, turi būti vienodi maksimizavimui ir minimizavimui; optimalios reikšmės turi būti bet kurioje matricos vietoje. Išvardintiems reikalavimams tenkinti siūlomos tokios formulės (Peldschus ir kt., 1997: 42):

$$\text{Minimizuojamiems kriterijams } b_{ij} = \left(\frac{\min a_{ij}}{a_{ij}} \right)^3, \text{ jeigu } \min a_{ij} \text{ palankus} \quad (1)$$

Maksimizuojamiems kriterijams $b_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{\max a_{ij}}\right)^2$, jeigu max a_{ij} palankus (2)

Čia a_{ij} - normalizuojama reikšmė, min a_{ij} – geriausia minimali reikšmė, max a_{ij} - geriausia maksimali reikšmė.



4 pav. Lošimų teorijos taikymo algoritmas [19]

Pagal (1) ir (2) formules atlikto kriterijų normalizavimo skaitinės reikšmės pateiktos 3-čioje lentelėje.

3 lentelė

Normalizuotos kriterijų reikšmės (Matrica \bar{P})

		Matrica \bar{P}											
Kriterijai		K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12
Variantai													
A1		0,385	1	1	1	1	1	1	0,901	1	0,068	0,057	1
A2		1	0,492	0,043	0,779	0,762	0,495	0,970	1	0,968	1	1	0,871
A3		0,741	0,533	0,032	0,671	0,595	0,809	0,984	0,936	0,965	0,626	0,627	0,862

Sudaryta: Autorės

Sekančiame etape nustatomas racionalus kalendorinio planavimo būdo variantas pagal pasirinktą lošimų teorijos kriterijų.

Pagal Valdo kriterijų (maksimalus pelnas) skaičiuojama pagal formulę (3) (Peldschus ir kt., 1997:32):

$$\text{Pagal Valdo kriterijų : } K_u^{(1)} = S_1^* = \left\{ S_{1i} | S_{1i} \in S_1 \cap \left\{ S_{1i_0} | a_{i_0 j_0} = \max_i \min_j a_{ij} \right\} \right\} \quad (3)$$

Kiekvienoje eilutėje (žiūr.3 lentelę) surandamos minimalios reikšmės ir iš jų išrenkama maksimali reikšmė:

$$\begin{bmatrix} 0,057 \\ 0,043 \\ 0,032 \end{bmatrix} \rightarrow \max 0,057; K_u^{(1)} = 0.057$$

Gautas Valdo kriterijus $K_u^{(1)}$ atitinka kalendorinio grafiko variantą A1 (nuoseklus statybos planavimo būdas).

Atliekamas kalendorinio planavimo lyginamų variantų įvertinimas pagal *Sevidžo* kriterijų (minimalūs nuostoliai). Jis išrenka tokią strategiją, kuriai maksimali rizika yra kiek įmanoma mažesnė. Pirmiausiai nustatomos c_{ij} reikšmės pagal formulę (4):

$$c_{ij} = \max u_j - u_{ij}; c_{11} = 1 - 0.385 = 0.615; c_{12} = 1 - 1 = 0 \text{ ir t.t.} \quad (4)$$

Sudaroma nauja matrica \bar{P}_1 (4 lentelė):

4 lentelė

Pertvarkyta normalizuota matrica \bar{P}_1 su c_{ij} reikšmėmis

Matrica \bar{P}_1												
Kriterijai Variantai	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12
A1	0.615	0	0	0	0	0	0	0,10	0	0,94	0,94	0
A2	0	0.51	0.96	0.22	0.24	0.51	0,03	0	0,03	0	0	0,13
A3	0.239	0.47	0.95	0.33	0,39	0,18	0	0,06	0,04	0,36	0,37	0,14

Sudaryta: Autorės

Kiekvienoje eilutėje išrenkamos maksimalios reikšmės, sudaroma maksimalių reikšmių eilutė ir iš jos išrenkama minimali reikšmė: $P_{i \max} = \{0.94; 0.96; 0.95\}$;

$$K_u^{(2)} = \min = 0.94$$

Pagal *Sevidžo* kriterijų efektyviausias kalendorinio planavimo variantas yra tas, kurio reikšmė minimali. Šiuo atveju- tai kalendorinio planavimo būdas A1.

Nustatomas efektyvus kalendorinio planavimo variantas pagal *Gurvico* kriterijų. $K_u^{(3)}$ (Peldschus ir kt., 1997: 32). Užsiduodamas rizikos faktorius $e = 0.6$. Naudojant sudarytos matricos Valdo kriterijui skaičiuoti rezultatus ir formulę (5), pagal kurią skaičiuojamas *Gurvico* rizikos faktorius, nustatome $K_u^{(3)}$ dydžius.

$$\begin{bmatrix} 0,057 \\ 0,043 \\ 0,032 \end{bmatrix} - \text{sudaryta matrica Valdo kriterijui skaičiuoti}$$

$$K_u^{(3)} = e * \min \bar{u}_{ij} + (1 - e) \max \bar{u}_{ij} \quad (5)$$

$$K_1^{(3)} = 0.6 * 0.057 + (1 - 0.6) * 1 = 0.4342$$

$$K_2^{(3)} = 0.6 * 0.043 + (1 - 0.6) * 1 = 0.4258$$

$$K_3^{(3)} = 0.6 * 0.032 + (1 - 0.6) * 1 = 0.4192$$

$$K_u^{(3)} = \max = 0.4342$$

Maksimalus dydis 0.4342. Vadinasi, pagal *Gurvico* rizikos faktorių, kuris grindžiamas geriausiu ir blogiausiu rezultatu (pasvertu vidurkiu), efektyvus kalendorinio planavimo variantas- taip pat A1.

Išvados:

1. Atlikus statybos planavimo metodų analizę nustatyta, kad šiuo metu statybos planavimui plačiausiai taikomi kalendorinio planavimo metodai, naudojant mišraus nuoseklus ir lygiagrečius planavimo būdus, bei juos vaizduojant Ganto diagramomis.

2. Sudarius kalendorinius statybos planavimo grafikus nuosekliai, mišriam ir mišriam su daliniais srautais planavimo būdams nustatyta, kad didžiausias darbo trukmės sumažėjimas gaunamas planuojant darbus mišriu būdu, kas leido sumažinti darbų trukmę 57 dienomis, lyginant su nuosekliau būdu, o mišrus su daliniais srautais būdas trukmę leido sumažinti 41 diena. Maksimalus darbininkų skaičius, lyginant su nuosekliu planavimu, mišraus ir mišraus su daliniais srautais atveju padidėjo atitinkamai aštuoniais ir septiniais darbininkais.

3. Lyginant išlaidas statybvietei įrengti, jos didžiausios 9,2% nuo sąmatinės statybos darbų kainos, reikalingos, kai darbus planuojama vykdyti mišriai su daliniais srautais. Panašus išlaidų rodiklis- 9,1% gautas, organizuojant darbus mišriuoju būdu. Tik darbų organizavimas nuosekliu būdu reikalauja mažiausių- 8,9% išlaidų nuo statybos darbų kainos.

4. Taikant lošimų teoriją ir atlikus sudarytų kalendorinių grafikų efektyvumo tyrimą, gauta, kad visais atvejais efektyviausias yra kalendorinis grafikas, kuris sudarytas, naudojant nuoseklų planavimo būdą. Taikant šį būdą, prognozuojami minimalūs nuostoliai (Sevidžo kriterijus), maksimalus pelnas (Valdo kriterijus) ir blogiausių ir geriausių rezultatų vidurkis (Gurvico taisyklė). Tačiau visais atvejais, naudojant nuoseklų planavimą, statybos trukmė yra pati ilgiausia, kas ne visada tenkina rangovus ir užsakovus.

5. Kalendorinių planavimo būdų analizė ir vertinimas parodė, kad ne visada racionalu rinktis trumpiausio laiko grafikus, nes nuo to, kiek sumažinama statybos trukmė, atvirkščiai priklauso statybvietės išlaidos, kurios gali viršyti norminę 10% sumą nuo sąmatinės statybos darbų kainos ir rangovai privalės ieškoti papildomų išteklių statybvietei įrengti arba tiesiog juos sumažinti nebeprisilaikant norminių reikalavimų.

Literatūra

1. Antuchevičienė J., Turskis Z., Zavadskas. Modelling renewal of construction objects applying methods of the game theory. VILNIUS TECH Journal „Technological and Economic Development of Economy“ ISSN: 2029-4913. 2006, Volume 12, Issue 4, p.263-268.
2. Baldwin, A., Bardoli D. Handbook for Construction Planning and Scheduling. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd. 2014, 432 p. ISBN: 978-0-470-67032-3.
3. Banaitienė N., Banaitis A. Statybos projektų valdymas. Vilnius: Technika, 2012, 217 p. ISBN: 978-609-457-404-7.
4. Barough A., S., Shoubi M., V., Skardi M., J., E.. Application of Game Theory Approach in Solving the Construction Project Conflicts. Procedia. Journal „Social and Behavioral“. ISSN Online 1877-0428. 2012, Volume 58, Pages 1586-1593.
5. Beynon D., Lederman R. Making sense of visual management through affordance theory. Journal Product planning & control, ISSN: 0953-7287. 2017, Volume 28, Pages 142-157.
6. Boguslauskas V. Ekonometrika. Kaunas: Technologija. 2008, 45 p.
7. Eissa R., Eid M., S., Elbeltagi E. Current applications of game theory in construction engineering and management research; A social network analysis approach.- Journal of Construction Engineering and Management, Volume 147, Issue 7, 2021, July [žiūrėta 2022-10-15] Prieiga per internetą: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002085](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002085)
8. Hergunsel, Mehmet F. Benefits of Building Information Modeling For Construction Managers and BIM Based Scheduling. Degree of Master of Science in Civil Engineering. Worchester: Worchester Polytechnic Institute. 2011, Page 95.
9. Jančenkovas G. Spaustuvės Klaipėdoje statybos organizacinių sprendimų vertinimas: magistro baigiamasis darbas: technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T)/ Gintaras Jančenkovas: Kauno technologijos universitetas.- Kaunas, 2016, 102 p.
10. Jurgilevičius K. Daugiabučių gyvenamųjų namų statybos organizacinių sprendimų vertinimas: baigiamasis magistro projektas: technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T)/ Kęstutis Jurgelevičius: Kauno technologijos universitetas.- Kaunas, 2018, 57 p.
11. Krušinskas R., Čiutienė R., Meilienė E., Stankevičius V. Projektų valdymas: pagrindiniai žingsniai nuo inicijavimo iki įgyvendinimo. Mokomoji knyga. KTU: Technologija. 2012, 106 p. e. ISBN 978-609-02-0416-0.
12. Kukenys P. Statybos planavimo metodų efektyvumo tyrimas: baigiamasis magistro projektas: technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T)/ Paulius Kukenys: Kauno technologijos universitetas.-Kaunas, 2018, 60 p.
13. Medelienė V., Juočiušas S., Daukšys M. Statybos organizacinių sprendimų projektavimas. Mokomoji knyga. KTU, Technologija. 2013, 66 p. ISBN 978-609-02-1079-6.
14. Peldschus F., Zavadskas E., K. Matriciniai lošimai statybos technologijoje ir vadyboje. Vilnius: Technika. 1997, 134 p. ISBN 9986-05-332-3.
15. Rodrigues Martinez N. Optimization of Flowline Scheduling vs. Balanced Resources and Task Continuity. Master thesis. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology. 2013, Page 105.
16. Seppanen O., Ballard G., Pesonen S. The combination of Last Planner System and Location-Based Management System. Journal „Lean Construction Journal“. ISSN 1555-1369. 2010, Issue 2010, Page 43-54.
17. Seppanen O., Evinger J., Mouflard Ch. Effects of the location-based management system on production rates and productivity. Journal „Construction Management and Economics“. Print ISSN: 0144-6193, Online ISSN: 1466-433X. „2014, Volume 32, Page 608–624.
18. Starta T. Efektyvios statybos analizė statybos laiko planavimo aspektu: baigiamasis magistro darbas: technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T)/ Tomas Starta: Vilniaus Gedimino technikos universitetas.- Vilnius, 2019, 63 p.
19. Tamošaitienė J. Daugiataktis valdymo sprendimų vertinimas statybos planavimo etape: daktaro disertacija: technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T) / Jolanta Tamošaitienė: Vilniaus Gedimino technikos universitetas.- Vilnius, 2009, 151 p.

20. Vargas A., Boza A., Patel S.,D., Cuenca L., Ortiz A. Risk management in Hierarchicel production planning using inter enterprise architecture [Interaktyvus]. France: Conference Poster: 16 th IFIP Working Conference on Virtual Enterprises, 2015. [Žiūrėta 2022- 05-16]. Prieiga per internetą: <https://openresearch.lsbu.ac.uk/item/875y1>
21. Woolf Murray B. Woolf. CMP Mechanics: The Critical Path Method of Modeling Project Execution Strategy. ICS-Publications „Dominant Project Management Series“. ISBN 978-0-9854091-0-4. Volume 1, 2012.
22. Zavadskas E.,K., Peldschus F., Ustinovičius L., Turskis Z. Lošimų teorija statybos technologijoje ir vadyboje.- VGTU: Technika. 2004, 196 p. ISBN 9986 605 70 00.

ASSESSMENT OF IMPACT OF CALENDAR PLANNING METHODS ON CONSTRUCTION SITE ENGINEERING EQUIPMENT USING GAME THEORY

Summary

Construction planning is a key skill and practice intensive activity in construction management and project administration. Planning construction well is a very difficult task, because construction is a dynamic, multi-process occurrence that can go in any direction at any time or point in the project due to lack of money, insufficient detailing in design solutions, new customer preferences, insufficient quality control and etc. It is particularly difficult to determine rational solutions for work schedules created under conditions of uncertainty and construction site plans that are influenced by them. Here, designers face serious problems regarding the justifications for evaluating these solutions.

The purpose of this study was to analyze alternative solutions for the calendar planning of public purpose object construction and their influence on the setting up costs of the construction site, as well as to perform a multi-criteria evaluation of them, applying game theory methods.

Key words: calendar schedule, consistent planning, parallel planning, construction site, temporary resources, criteria, game theory, effective solution.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Violeta Medelienė

Mokslo laipsnis ir vardas: technologijos mokslų daktarė, docentė

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: inovacijos statybos inžinerijoje

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 61529197, violeta.medeliene@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Violeta Medelienė

Science degree and name: Doctor of Technological Sciences, Associate Professor

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Associate Professor of the Civil Engineering study program in the field of construction engineering

Author 's research interests: Innovations in Civil Engineering

Telephone and e-mail address: +370 6152917, violeta.medeliene@edu.ktk.lt

DETERMINATION OF METAL CORROSION INFLUENCE ON STRUCTURAL PROPERTIES AND PROTECTION AGAINST IT

Jūratė Mockienė

Kaunas University of Applied Engineering Sciences

Abstract. To ensure a long-term and reliable operation of the designed structure during exploitation, all possible factors must be assessed, that may occur during the life span of the structure. One of the aggressive effects on the metal structure and the overall operation of metal structures is corrosion. It is the process of decomposition of metal structures, the cause of which is the chemical and electrochemical impact of the environment on the metal surface, and the consequence is the loss of the exploitation characteristics of the structure. Thus, it can be concluded that this is one of the defects, the elimination and anti-corrosion protection of which should be given a special consideration. The presented article analyses the influence of corrosion on the lattice metal structure-truss and suggests solutions to avoid this harmful process.

Key words. Steel structures, modelling, prestressing, corrosion protection

Introduction

In order to ensure long-term and reliable operation of the designed construction during its exploitation, it is necessary to assess all possible factors that may occur during the entire service life of the structure. Corrosion is one of the aggressive effects on the metal structure and the overall work of metal structures. It is the process of decomposition of metal products, the cause of which is the chemical, electrochemical impact of the environment on the metal surface, and the consequence is the loss of performance characteristics of a product (J. Bhandari et al, 2015; R. Landolfo, 2010). Thus, it can be stated that this is one of the defects, whose elimination and anti-corrosion protection are of utmost importance.

In various forms of construction, especially in aggressive surrounding environments, metal corrosion processes occur very rapidly. Structure corrosion can also be observed in low-aggressive environments. It is insignificant in the initial stage. However, it increases with building exploitation and can even lead to its collapse. Corrosion in structures develops at various rates. It depends on the degree of environment aggressiveness. It can reduce cross-section thickness from 0.05 to 1.6 mm and more per year depending on the operating conditions of a structure (A.Šulčius, 1999; B.Chen et al, 2010).

Metal structures in aggressive environments need to be protected from rust. Particular care should be taken of the structures with a large number of welded compound and overlapped joints. When the steel of an element rusts, so the functions of steel resistance as well as the resistance of the element itself are random non-stationary processes. This means that during exploitation, the value of construction strength is variable, and it is not possible to accurately predict whether the further use of the structure will reliably serve and withstand the designed loads. It can be stated that the more welding seams, the higher the probability of rusting. It is then necessary not only to protect structural steel against corrosion factors but also to take appropriate measures to protect the seams (A. Kudzys et al, 1999; I.A.Chaves et al, 2011).

Materials and methods

Based on literature analysis, it can be claimed that special consideration should be paid to steel load-bearing trusses in terms of corrosion. A metal truss is a bar structure in whose nodes the elements are connected by welding the mesh elements to the bottom and upper chords. This type of load-bearing structure has many metal rods and welding seams. Consequently, it is characteristic of the appearance of a corrosion factor.

One of the rational steel structures is a single steel truss. They are most widely used due to their simplicity and ease of installation. Installation features depend on the choice of the calculation scheme, rigid support units are also possible, it is determined by operating conditions and technological requirements..

All trusses are used under the same operating conditions. It is accepted: II snow district where s_k — 1,56kN/m² and warm roof construction (PAROC thermal insulation materials and Rannila profiled sheet metal decking). Loads are concentrated in nodes over longitudinal UPN 160.

Spatial truss calculation scheme: truss span 24.00 m; trusses are laid every 6.00m. In the calculations, the truss is used in a single opening structure. The height of all trusses is assumed to be equal to 3.00 m. The upper and lower chords of trusses are counted as uncut, and support nodes are counted as one and two ties. The middle truss with the maximum load is calculated. When selecting the truss profiles, the computation program STAAD.Pro was employed, according to the results of which the truss mass, support reactions were determined, and element profiles were selected.

Then the redistribution of the truss stresses is then simulated if one of its nodes is affected by corrosion. The effect of corrosion will be a simulation model, when the hinge turns into a partially hinged and rigid node, and vice versa - if a rigid node turns into a corrosive hinge.

Results and discussions

One of the criteria for assessing the probability of the occurrence of a corrosion phenomenon is mass. The heavier the truss, the more metal is used and the higher the probability of a corrosion factor. Hereinafter, a term ‘weight of corrosive metal’ is used instead of the term ‘mass’. Based on practical calculations, computational schemes of corrosive metal dependence on geometric height of the truss will be compiled. Once schemes determined, it will be possible to assess the risk of corrosion impact on trusses of a certain height and scheme.

Trusses of three different computational schemes are compared, which are usually designed in industrial buildings. These are the trusses with:

Option 1. Parallel chords when the grid consists of struts and diagonals. They are used for low pitched roofs. The stresses are distributed more evenly in both the chords and the grid bars. In such trusses, the metal is realised more economically (Fig.1, (a)).

Option 2. Double slope with lowered chord. The bottom chord of this type of truss is lowered over 0.2 of the truss height, the chord stresses are almost uniform over the entire length of the chords, and the mesh bar stresses are very low. Such trusses are relatively economical (Fig.1, (b)).

Option 3. Parallel chords when the truss is supported by the top chord (Fig.1, (c)).

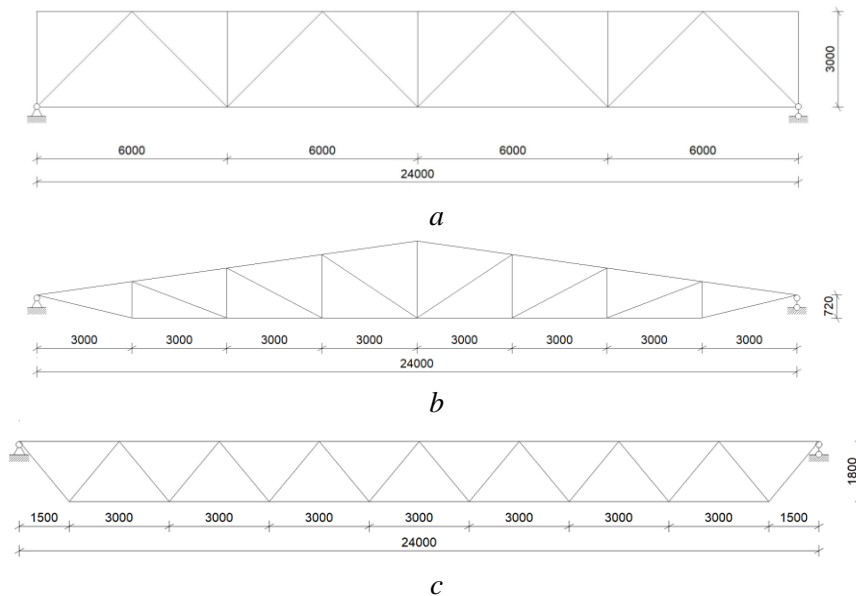


Fig.1. Three different computational schemes of trusses: *a* - Parallel chords when the grid consists of struts and diagonals; *b* - Double slope with lowered chord; *c* - Parallel chords when the truss is supported by the top chord.

Source: Compiled by the author

All trusses are used to cover a span of 24 m, and the height of the trusses varies between 1.8m and 5m, except for the first option. The geometric height of the truss of the first option is calculated up to 3.8 m.

It is assumed that trusses are used to cover the same opening, in the same place and under similar conditions. Trusses use square profile pipes, the profiles and lengths of which are determined according to strength and bending conditions.

Option 1 is calculated up to a height of 4 m as the data may be inaccurate due to excessive data dissemination.

A rather large scatter of data is showed in the curve (Fig. 2, (a)) of option 1. Thus, their use for specific studies would be quite unreliable or the data would require additional calculation with a smaller step of truss height change. The data obtained show that the truss mass decreases to a height of 3.5 meters. Therefore, the most rational way to cover 24-meter spans would be to use trusses that are 3 to 3.5 meters high.

Dependence (Fig. 2, (b)) of option 2 is more reliable as the square deviation of its scatter is close to 1. The most economical truss is obtained when the height reaches the height limit of 4 meters.

The optimal weight (Fig. 2, (c)) of option 3 is obtained when the height is 3.6 - 4.1 m.

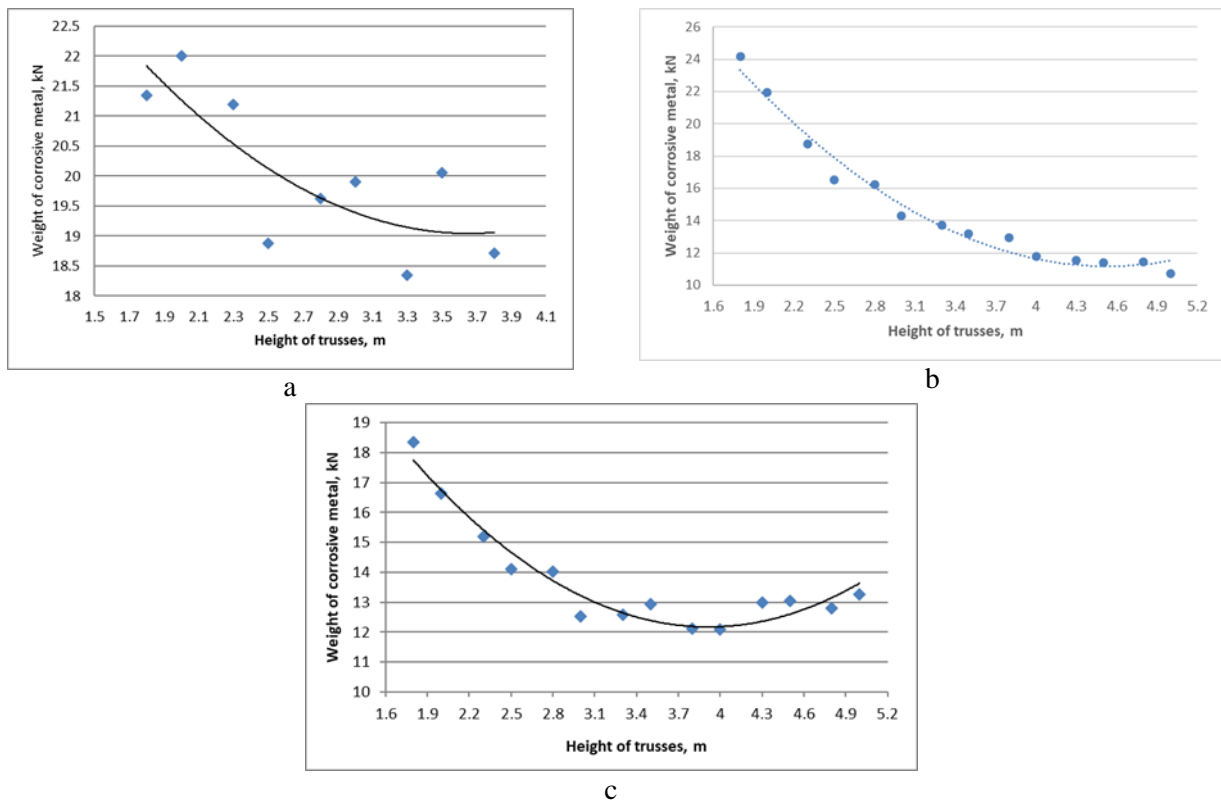


Fig. 2. Height dependence of the weight of 24 m trusses: a - with parallel chords (*opt. 1*); b - of a triangular truss with a lowered bottom chord (*opt.2*); c - of truss with parallel chords (*opt. 3*)
Source: Compiled by the author

Evaluating the obtained results, it can be stated that the optimal truss is the scheme of a triangular truss with a lowered bottom chord of option 2. But this is not an ultimate solution as the options are compared only in terms of the weight of the corrosive metal without considering their slope, or shape.

Reinforcement and stress regulation in structural elements are efficient means for prolonging the normal service life of structures, increasing structure load-bearing capacity under changing working conditions, and preventing accidents. Reinforcement and tension regulation can be performed at any stage of structures' existence. The main way to achieve stress regulation is pre-stressing of structures. (D. Jermoljev et al, 2010; Zh. Zhou et al, 2012; R.Levy, 1992; B.M.Ayyub et al, 1990).

The structures are preliminary deformed in order to obtain stresses of the opposite sign than the loads when they are assembled. When the structure is put into operation, the stresses are added up and some rods produce relatively low stresses. Most trusses are loaded with an external load acting vertically downwards. In this way, the stresses are redistributed so that the lower chord works for tension and the upper chord for compression. Compression is more dangerous for thin rods as they can flex and lose stability. Tensile stresses can be higher. In practice, tension of the lower chord is applied in trusses because then tensile stresses also occur in the upper chord. As a result, the forces are added up after loading and a more efficient version is obtained in comparison with an undeformed structure (D. Jermoljev et al, 2010; Zh. Zhou et al, 2012; R.Levy, 1992; B.M.Ayyub et al, 1990)

One type of 18 m, 24 m and 30 m trusses with parallel chords (Fig.1, (c)) are used for calculations when the trusses are supported by the upper chord.

The prestressing dependences of the trusses of 18 m, 24 m and 30 m on the corroded weight of the truss are calculated. The calculations are performed by a calculation programme estimating the conditions of strength and deflection. Based on the obtained data, the dependences of the truss mass on the truss height are formed. The first version calculates a simple scheme of trusses without prestressing, its profiles according to the bending and strength properties are selected. In the second case, the truss of the same calculation scheme is calculated only with a pre-tensioned bottom chord. The value of prestressing is selected according to the minimum stress in the "rods" of the lower chord. In order to maintain the classical stress distribution in the calculated truss, the prestressing force does not exceed and is slightly less than the inter-node stress of the lower chord ± 0.9 kN. The preliminary pre-compression value is selected so as not to exceed 50% of the maximum stress and no more than the minimum stress value.

As the stresses in the lower chord of 18 m trusses are relatively small, the preliminary pre-compression is determined by the smallest element of the lower chord affected. The curve (Fig. 3, (a)) shows that the greatest effect is obtained in an 18 m truss when the height is 2 m. During this precompression, the difference in mass is as high as 5%. It is also observed that in trusses higher than 3.5 m, the preliminary prestressing starts to work in the opposite direction. It can be seen that after pre-tensioning the bottom chord, the truss curve intersects the curve of the elementary truss. This indicates a critical point when preliminary prestressing becomes ineffective.

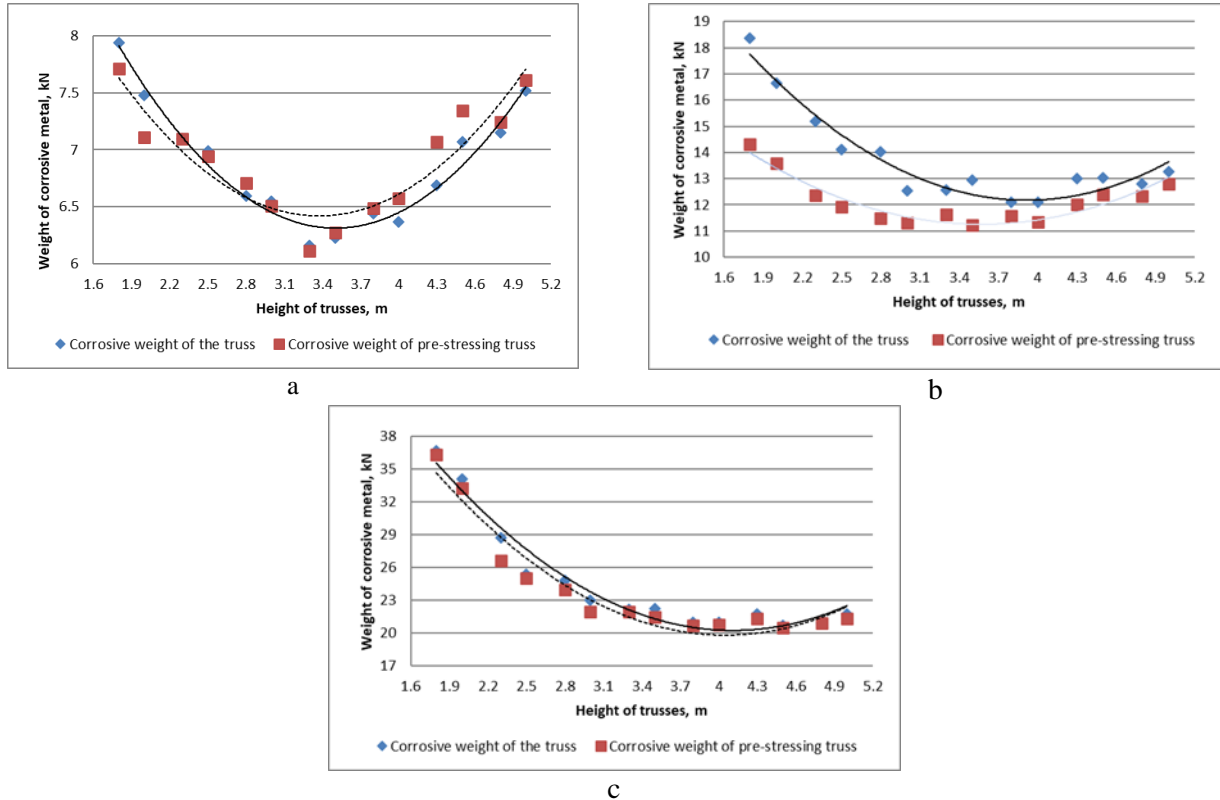


Fig. 3. The effect of pre-stressing: a - of 18 m truss with parallel chords on corrosive weight; b - of 24 m truss with parallel chords on corrosive weight; c - of 30 m truss with parallel chords on corrosive weight.
Source: Compiled by the author

The dependence (Fig. 3, (b)) indicates that preliminary prestressing in this type of 24 m truss is quite beneficial. All versions of preliminary pre-tensioning result in a lighter truss. The greatest benefit is observed at a low height of 1.8-2.8 m.

As the stresses in the bottom chord are high in this type of 30 m truss, the preliminary pre-compression is calculated according to the formula:

$$N_{prestress} = \frac{N_{max}}{2}$$

From the dependence (Fig. 3, (c)) it is observed that in 30 m trusses the preliminary prestressing has only a positive meaning. The maximum benefit is obtained by tensioning a 2.3 m high truss. In this case, the tension has a positive efficiency value, although relatively small. Therefore, in the critical case, the question of whether this solution is useful should be considered.

In today's market, there is a wide range of safety methods for protection of metal structures against corrosion, depending on economic, safety requirements and other technical instructions. (H. Tamura, 2008; V. Korolov et al, 2013; K. Kreislova et al, 2012; N. Damgaard et al, 2010; M. Fenker, 2014). Each of them is selected under certain circumstances to obtain the best possible value of the security criterion. Combinations of control methods are also feasible but, in this case, construction costs are higher. Therefore, it is recommended to choose the most appropriate measures according to the expected operating conditions of the structure, the requirements of construction standards, etc. Many corrosion issues can be addressed at the design stage because the longevity of the structure depends on the correct design solution. Improper construction can lead to the formation of corrosive galvanic elements. In most cases, structural dimensions are determined by strength requirements. In addition, the shape of the structure has a significant impact on the rate of corrosion and, at the same time, its durability. The rate of corrosion depends on many factors, such as section joints, smoothness of structural elements, moisture accumulation, etc.

The correct choice of materials prolongs the service life of the structure quite significantly. Depending on the texture of the aggressive materials in operating conditions and the strength of the required element, it is appropriate to select corresponding materials or alloys. The most common material used in construction in the world is carbon steel. It is a relatively inexpensive material that satisfies the physical properties of a building structure.

Protective coatings are used to insulate metal from aggressive environments and their selection and use depend on the product, operating conditions of the structure and the costs involved.

Reduction of environmental aggression can be achieved by using corrosion retardants. They are chemical materials used to reduce the activity of a corrosive environment in hermetically sealed, relatively small spaces.

The permissible corrosion method may be employed under certain conditions. This is a method where an engineer-designer predicts in advance how much metal the construction will need to withstand the expected weight under certain conditions. As there is always a potential for error, a change in the intended use of the structure, or structure overloading, it is permissible for engineers to increase the reserve coefficient by about 20 percent. Since the reserve is made for mechanical processes, it would be appropriate to accept an additional amount of metal that can corrode during the corresponding service life to maintain a high design reserve coefficient.

One of the ways to protect external metals against corrosion is electrochemical protection. The probability of occurrence of corrosion factor is reduced by using polarization of an external electrical source or by combining the metal to be protected with a metal-protector with a lower electro-negative potential. Shifting the potential toward smaller potential values reduces the dissolution rate of metals quite significantly.

Conclusions

1. The geometric scheme of trusses has a significant influence on the occurrence of the corrosion phenomenon. The higher the truss, the more the corrosive weight of the metal decreases, and the operating costs decrease accordingly. It could be stated that the highest possible trusses should be constructed. However, there are contradictions between technological and architectural and other design stages, which severely restrict the optimum design conditions.

2. Pre-tensioning can be used for trusses of medium openings in order to reduce the weight of the trusses, in case of truss damage or to decrease the cross-sections of the truss elements. Pre-stressing has the greatest effect on 24-meter trusses. It can achieve up to 28% of metal economy. In addition, pre-stressing reduces the corrosion probability or it can facilitate truss operation in critical conditions.

3. Currently, there are many different corrosion prevention measures, the application of which depends directly on economic, safety and technical requirements. In addition to the quality of preventive measures, analogous attention must be paid to the regular performance of detailed design control. To ensure and maintain the long-term operation of the structure, it is necessary not only to select good preventive materials or to design the nodes properly, but also to ensure the quality fulfillment of the protection itself.

References

1. Bhandari, J., Khan, F., Abbassi, R., Garaniya, V., Ojeda, R. Modelling of pitting corrosion in marine and offshore steel structures - A technical review. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 2015, 37: 39-62.
2. Landolfo, R., Cascini, L., Portioli, F. Modeling of Metal Structure Corrosion Damage: A State-of-the-Art Report. *Sustainability* 2010, 2: 2163-2175.
3. Šulčius, A. *Metallų korozija ir sauga*. Kaunas, Technologija, 1999, 282p.
4. Chen, B., Xu, Y.-L., Qu, W. Corrosion damage assessment and monitoring of large steel space structures. *Front. Archit. Civ. Eng. China* 2010, 4(3): 354–369.
5. Kudzys, A., Vaitkevičius, V. *Suvirintų ir besiūlių plieninių konstrukcijų saugos ir ilgaamžiškumo įvertinimas*. Vilnius, Solertija, 1995, 130p.
6. Chaves, I.A., Melchers, R.E. Pitting corrosion in pipeline steel weld zones. *Corrosion Science*, 2011, 53(12): 4026-4032.
7. Jermoljev, D., Machacek, J. Steel structures with prestressed linear and membrane elements. *Steel Structures and Bridges* 2012. *Procedia Engineering* 2012, 40: 171 – 176.
8. Zhou, Zh., Meng, Sh., Wu, J. A whole process optimal design method for prestressed steel structures considering the influence of different pretension schemes. *Advances in Structural Engineering* 2012, 15(12): 2205-2214.
9. Levy, R. Optimal design of prestressed trusses. *Computers and Structures*, 1992, 43(4): 741–744.
10. Ayyub, B.M., Ibrahim, A., Schelling D. Posttensioned trusses: analysis and design. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 1990, 116(6): 1491–1506.
11. Tamura, H. The role of rusts in corrosion and corrosion protection of iron and steel. *Corrosion Science* 2008, 50(7): 1872-1883.

12. Korolov, V., Filatov, Y., Magunova, N., Korolov, P. Management of the quality of corrosion protection structural steel based on corrosion risk level. Journal of Materials Science and Engineering, 2013, 3(11): 740-747.
13. Kreislova, K., Geiplova, H. Evaluation of corrosion protection of steel bridges. Procedia Engineering 2012, 40: 229 – 234.
14. Damgaard, N., Walbridge, S., Hansson, C., Yeung, J. Corrosion protection and assessment of weathering steel highway structures. Journal of Constructional Steel Research, 2010, 66(10):1174-1185
15. Fenker, M., Balzer, M., Kappl, H. Corrosion protection with hard coatings on steel: Past approaches and current research efforts. Surface and Coatings Technology, 2014, 257: 182-205.

METALŲ KOROZIJOS ĮTAKOS KONSTRUKCIJOS SAVYBĖMS NUSTATYMAS IR APSAUGA NUO JOS

Santrauka

Norint užtikrinti projektuojamos konstrukcijos ilgalaikį ir patikimą darbą eksploatacijos metu, reikia įvertinti ir visus galimus veiksnius, kurie gali atsirasti per visą statinio naudojimo laiką. Vienas iš agresyvių poveikių metalo struktūrai ir metalinių konstrukcijų bendram darbui yra korozija. Korozija - tai metalinių konstrukcijų irimo procesas, kurio priežastis yra aplinkos cheminis, elektrocheminis poveikis metalo paviršiui, o pasekmė - konstrukcijos eksploatacinių charakteristikų netekimas. Tad galima daryti išvadą, kad tai vienas iš defektų, kurio likvidacijai ir antikorozinei apsaugai turėtų būti skiriamas ypatingas dėmesys. Teikiamame *straipsnyje* yra analizuojama korozijos įtaka spragotinei metalinei konstrukcijai-santvarai bei siūlomi sprendimo variantai šiam žalingam procesui išvengti.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Plieninės konstrukcijos, modeliavimas, išankstinis įtempimas, apsauga nuo korozijos

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Jūratė Mockienė

Mokslų laipsnis ir vardas: Magistras, lektorė

Darbo vieta ir pozicija: Kauno technikos kolegija, Statybos inžinerijos studijų programa, lektorė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Stiprumas, korozija, pleišėjimas, irimas, efektyvios konstrukcijos.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 68227397, jurate.mockiene@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Jūratė Mockienė

Science degree and name: Master's degree, Lecturer

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Lecturer of Civil Engineering Study Programme

Author's research interests: Strength, corrosion, cracking, destruction, metal, effective design.

Telephone and e-mail address: 8 68227397, jurate.mockiene@edu.ktk.lt

HIBRIDINIO AUTOMOBILIO REGENERACINIO STABDYMO EFEKTYVUMO TYRIMAS VAŽIUOJANT UŽMIESČIO KELIAIS

Darius Juodvalkis, Andrius Dargužis

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Hibridiniai automobiliai tampa vis populiarešni. Juos renkasi žmonės, kuriems aktualu mažesnės degalų sąnaudos ir mažesnė tarša. Hibridinis automobilis, taip pat kaip ir elektromobilis, pasižymi regeneraciniu stabdymu. Šio proceso metu kinetinė energija verčiama elektros energija, kuri naudojama sukurti elektros variklį. Straipsnyje nagrinėjama problema – koku pagreičiu reikia stabdyti hibridinį automobilį, kad būtų regeneruojamas didžiausias energijos kiekis į traukos bateriją.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Hibridinis automobilis, regeneracinis stabdymas, efektyvumas.

Įvadas

Vis didėjantis transporto priemonių skaičius Lietuvoje bei visame pasaulyje ženkliai didina oro taršos kiekį. Didėjanti tarša įtakos turi ne tik žmonių sveikatai, bet ir finansinei būklei. Kuo didesniais taršos parametrais pasižymi automobilis, tuo daugiau tenka sumokėti mokesčių. Nuolat besiplečiantys miestai didina ir valdomų šviesoforais sankryžų kiekį. Kiekvienas automobilio sustojimas prie sankryžos, reiškia dar labiau padidėjusį išmetamų CO₂ dujų kiekį, nei važiuojant nesustojus. Užmiestiuose automobilių sukeliama tarša gali būti ne ką mažesnė nei miestuose. Kiekvieną dieną iš užmiestio į darbą važiuoja tūkstančiai gyventojų. Norint koreguoti išmetamų CO₂ dujų kiekį, reikia iš esmės mažinti transporto priemonių, varomų tik dyzelinu arba benzinu, kiekį. Vienas iš sprendimo būdų, kuris sumažintų išmetamų dujų kiekį ir taupytų degalus, būtų skatinti vairuotojus įsigyti hibridinius automobilius. Dėl hibridinio automobilio elektros variklio bus mažinamas CO₂ kiekis, o regeneracinio stabdymo metu bus taupomi degalai, nes stabdant šilumos energija, kuri tektų stabdžiams, yra perduodama atgal į elektros variklį.

Tradicinėje stabdžių sistemoje stabdžių trinkelės kartu su stabdžių diskais sudaro trinties porą, kuri sulėtina ar sustabdo transporto priemonę. Stabdymo metu atsiranda papildoma trintis tarp rato ir kelio paviršiaus. Ši trintis automobilio kinetinę energiją paverčia šiluma. Elektrinėse bei hibridinėse transporto priemonėse be tradicinio dar galima naudoti ir regeneracinį stabdymą (Ehsani, 2014; Erbacher, 2021, February 4; Lampton, 2009, January 23). Paspaudus stabdžių pedalą, šis stabdymas pasireiškia elektros variklio sukimusi į priešingą pusę, t.y. elektros variklis generuoja neigiamą sukimo momentą ir elgiasi kaip generatorius, todėl transporto priemonė lėtėja. Važiuojant atgal, elektros variklis taip pat veikia kaip generatorius, kuris tiekia elektros energiją į traukos bateriją. Sukaupta energija traukos baterijoje, panaudojama transporto priemonei greitėjant ir kaupiama stabdant arba važiuojant atbulomis.

1. Tyrimo metodai ir įranga

Šiame skyriuje pateikiama natūrinių eksperimentų atlikimo metodika. Nustatomas hibridinio automobilio energijos kiekis regeneruotas į traukos bateriją, stabdant tam tikru pagreičiu. Atliekama stebėseną, pateikiami reikalingi duomenys, norint apskaičiuoti transporto priemonių paros eismo intensyvumą Kaunas-Jonava kelio ruože bei į aplinką išmetamą CO₂ kiekį. Atlikti natūrinius bandymus su automobiliu, naudotos šios priemonės:

1. Oscilografas „Picoscope 3423“;
2. Srovės replės;
3. Dinaminių parametrų matavimo prietaisai „DL1 Data Logger“;
4. Hibridinis automobilis. Eksperimentams atlikti naudotas „Toyota Prius XW50“ automobilis. Šis hibridinis automobilis gali būti varomas benzinu, suskystintomis naftos dujomis bei elektros energija.



1 pav. Bandymams naudotas hibridinis automobilis „Toyota Prius XW50“

Šaltinis: sudaryta autorių

Šio hibridinio automobilio VDV yra 1798 cm³ darbinio tūrio. Taip pat jame yra trifazis sinchroninis elektros variklis. Bandymams naudoto hibridinio automobilio jėginių charakteristikos pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė

„Toyota Prius XW50“ HSD hibridinės jėginės charakteristikos

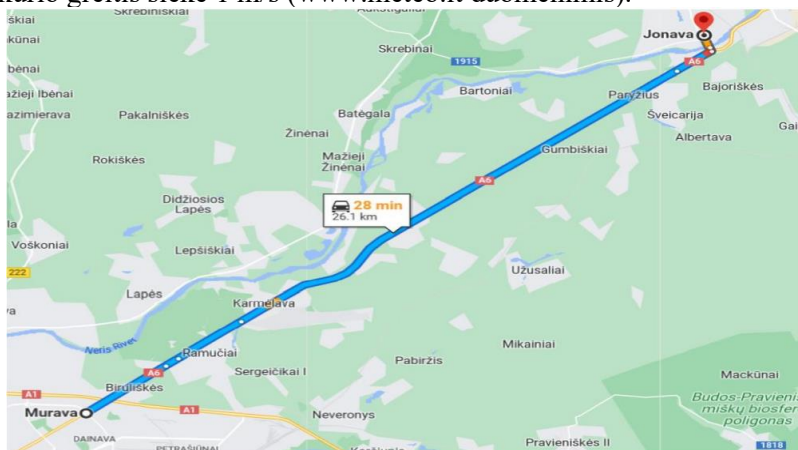
Vidaus degimo variklis	
Darbinis tūris	1798 cm ³
Variklio tipas	4 cilindrai, VVT-i, 16 vožtuvų, DOHC, Atkinsono ciklo 2ZR-FXE
Variklio veleno apsisukimai	1000-6500 aps/min
Maksimali galia	73 kW (98 AG)/ 5200 aps.
Maksimalus sukimo momentas	142 Nm/4000 aps.
Suspaudimo laipsnis	13,0:1
Terminis naudingumo koeficientas	0,38
Elektros varikliai	
MG1 maksimali įtampa	650 V
MG2 tipas	Trijų fazių, sinchroninis, nuolatinio magneto
MG2 sukimo momentas	207 Nm
MG2 galia	60 kW
MG2 maksimali įtampa	650 V (AC)

Šaltinis: [https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Toyota/111218/Toyota-Prius-\(XW50\)-18-Hybrid.html](https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Toyota/111218/Toyota-Prius-(XW50)-18-Hybrid.html)

Oscilografas „Picoscope 3423“ – matuoja į traukos bateriją tekančios srovės stiprį. Srovės replės leidžia tiksliai išmatuoti srovę ir kitus parametrus. Bandymo metu srovės replės yra uždedamos ant įkrovimo/iškrovimo kabelio. Atliekant natūrinius eksperimentus, srovės replės uždedamos ant traukos baterijos įkrovimo/iškrovimo galios kabelio. Bandymų metu fiksuoti hibridinio bei elektrinio automobilio greičius, pagreičius bei kitas dinamines charakteristikas naudotas „DL1 Data Logger“ matavimo prietaisas. Šio prietaiso užfiksuoti rodmenys bus naudojami skaičiavimuose ir duomenų palyginime. Šis prietaisas yra prijungiamas prie 12 V automobilio maitinimo sistemos, bei GPS antenos pritvirtinimas ant automobilio stogo. Antena tvirtinama nuolatinio magneto pagalba. Šio prietaiso pagalba bus gaunami duomenys, kurie bus naudojami tolimesniuose skaičiavimuose, skirtuose rasti hibridinio automobilio regeneruojamą didžiausią energijos kiekį į traukos bateriją stabdant prie šviesoforo, bei kitas technines charakteristikas.

2. Eksperimentų su hibridiniu automobiliu atlikimo eiga

Eksperimentiniai matavimai vyko kelyje A6 Kaunas – Jonava (2 pav.) Atkarpos atstumas yra 26 km. Šiame kelio ruože maksimalus leistinas greitis yra 90 km/h. Tyrimo metu, lauko temperatūra buvo 14 °C, vėjas – pietvakarių krypties, kurio greitis siekė 1 m/s (www.meteo.lt duomenimis).



2 pav. Kelio ruožas Kaunas-Jonava

Šaltinis: sudaryta autorių

Atliekant eksperimentus, matuotas hibridinio automobilio elektros srovės stipris bei dinaminės charakteristikos. Bandymų metu buvo vykdomos šios sąlygos:

- Matavimai fiksuojami kelio kryptimis Kaunas–Jonava ir Jonava–Kaunas;
- Įjungiami matavimo prietaisai ir pradedamas fiksuoti regeneruojamos į traukos bateriją srovės vertės oscilografu „Picoscope 3423“ kartu su prijungtomis srovės replėmis bei hibridinio automobilio dinaminės charakteristikos matavimo prietaisu „DL1 Data Logger“;
- Hibridinis automobilis visais režimais stabdo prie šviesoforo nuo 100 km/h greičio iki 0 km/h;
- Matavimai baigiami kai yra išpildomos išsikeltos eksperimentų sąlygos.

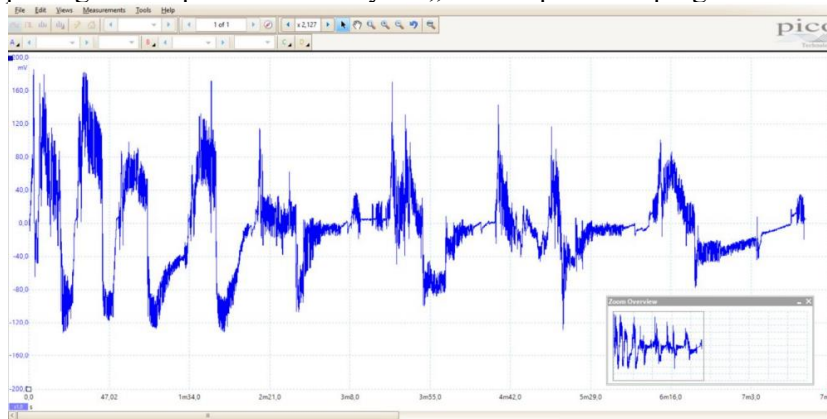
Bandymai atliekami 3 režimais, juos kartojant 4 kartus. Visais atvejais automobilis išibėgėja iki 100 km/h ir stabdo tol kol visiškai sustoja.

Pirmasis bandymas atliekamas Jonava-Kaunas kryptimi. Šis režimas yra agresyvus stabdymas, pilnai nuspaudžiant stabdžių pedalą kol automobilis visiškai sustoja. Toks bandymas atliekamas du kartus.

Antrasis bandymas atliekamas tame pačiame kelyje ir ta pačia kryptimi. Automobiliumi išibėgėjus iki 100 km/h, jis stabdomas vidutiniu intensyvu, spaudžiama maždaug 50 % stabdžių pedalo. Eksperimentas kartojamas du kartus.

Trečiuoju bandymu stabdžių pedalas beveik nespaudžiamas. Automobilis rieda esant įjungtai D pavarai savo eiga, kol visiškai sustoja. Bandymas kartojamas du kartus.

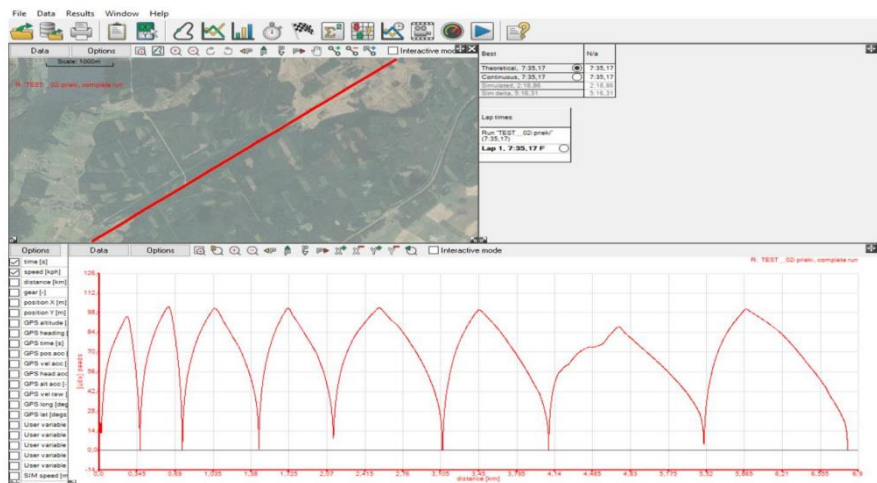
Atlikus stabdymus visais šiais režimais, stabdomos „DL1 Data Logger“ ir oscilografo „PicoScope 3423“ programos ir gauti duomenys išsaugomi kompiuterio atmintyje. Nuotraukoje (3 pav.) pateikti bandymo Jonava-Kaunas kryptimi gauti neapdoroti duomenys iš „PicoScope 3423“ programos.



3 pav. Pirminiai oscilografo duomenys

Šaltinis: sudaryta autorių

Šiame paveiksle vaizduojamos regeneruojamos į traukos bateriją srovės vertės. Čia srovės stipris pateiktas mV, o pagal srovės matavimo replių charakteristiką 1 mV atitinka 1 A srovės stiprį. Kitame paveiksle (4 pav.) rodomi bandymų Jonava-Kaunas kryptimi užfiksuoti „DL1 Data Logger“ duomenys, kurie padės apskaičiuoti automobilio dinamines charakteristikas, pagreičius, greičius bei įveiktą atstumą.



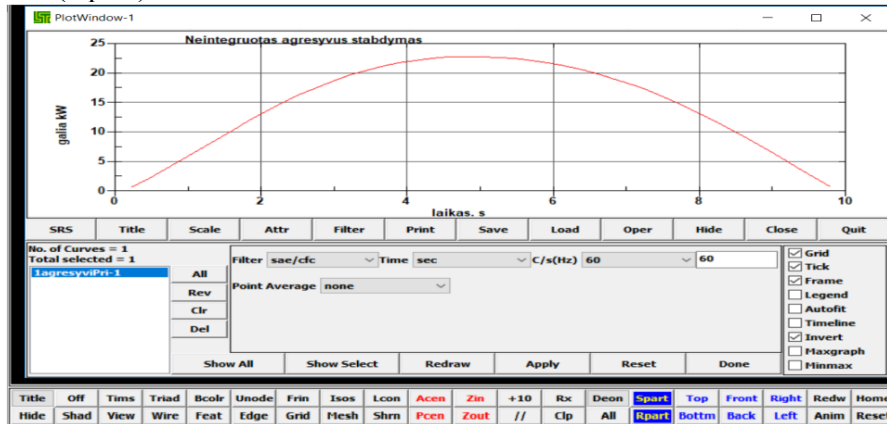
4 pav. „DL1 Data Logger“ pradiniai duomenys

Šaltinis: sudaryta autorių

Tokiu pat principu ir eksperimento eiga bandymai atliekami ir Kaunas-Jonava kryptimi, kad agresyvaus, vidutinio ir pasyvaus stabdymų bandymų suma būtų lygi 12.

3. Į traukos bateriją regeneruojamo kiekio nustatymo ir vidutinio pagreičio skaičiavimo metodika

Regeneruotas energijos kiekis į traukos bateriją nustatomas iš matuoto srovės stiprio rezultatų. Oscilografu „Picoscope 3423“ ir srovės replėmis eksperimentiniu būdu nustatomos srovės stiprio vertės. Norint rasti kiekvieno stabdymo režimo metu regeneruotą energiją, naudota programinė duomenų analizės programa „PrePost“ (5 pav.).



5 pav. Duomenų analizės programa „PrePost“ su sae/cfc filtru ir 60 Hz dažniu

Šaltinis: sudaryta autorių

Visas atvejais naudojamas filtras sae/cfc ir filtravimo dažnis lygus 60 Hz. Visi gauti stabdymo režimų duomenys yra integruojami laike tam, kad būtų nustatomas el. srovės atliktas darbas, t.y. regeneruotos energijos kiekis. Į bateriją tiekama nuolatinė srovė, kuri lygi 207,6 V. Srovės atliktas darbas apskaičiuojamas pagal išraišką:

$$A = \int I(t) \cdot U(t) dt \quad (1)$$

čia: t – laikas iki kurio skaičiuojamas srovės darbas, s; I(t) – srovės stiprio momentinė reikšmė laike, A; U(t) – įtampos momentinė reikšmė laike, N.

Tai U(t) = 207,6 V. Sudauginus gautas srovės stiprio reikšmes su įtampa U = 207,6 V gaunama el. srovės galia, kurią integravus laike nustatomas regeneruojamas energijos kiekis. Vidutinis pagreitis apskaičiuojamas iš greičio pokyčio, kuris yra lygus 100 km/h. 100 km/h atitinka 27,77 m/s². Kiekvieno eksperimentinio stabdymo greičio pokytis visada lygus 100 km/h. Skaičiuojama pagal išvestinę:

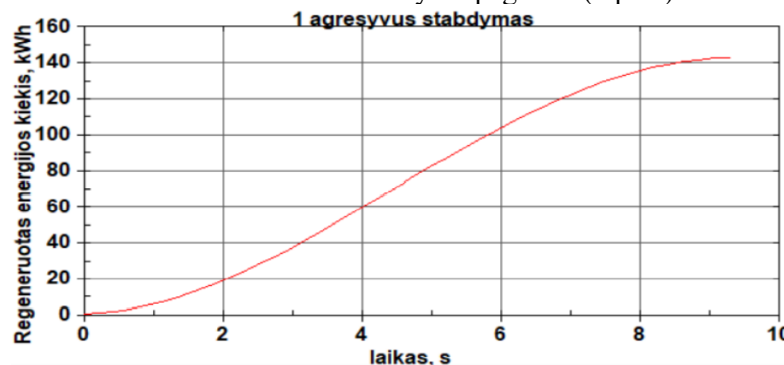
$$a = dv / dt \quad (2)$$

čia: dv – greičio pokytis; dt – laiko pokytis.

4. Tyrimų rezultatai

Regeneruojamo kiekio į traukos bateriją ir vidutinio pagreičio rezultatai.

Regeneruotas energijos kiekis į traukos bateriją nustatomas iš matuoto srovės stiprio rezultatų. Kaip ir minėta, iš viso atlikta 12 bandymų stabdant 3 skirtingais režimais: agresyviu, vidutiniu, lėtu, po 4 kartus. Kiekvienas stabdymas integruojamas ir gaunama koks kiekis kilovatvalandžių (kWh) generuojama laiko priklausomybėje. Iš (2) išvestinės randamas kiekvieno stabdymo pagreitis (6 pav.).



6 pav. 1 agresyvaus stabdymo rezultatai

Šaltinis: sudaryta autorių

Gauti rezultatai parodo, koks kiekis energijos regeneruojamas į traukos bateriją. Gautų bandymų rezultatai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė

Regeneruojamo kiekio ir vidutinio pagreičio gautos reikšmės

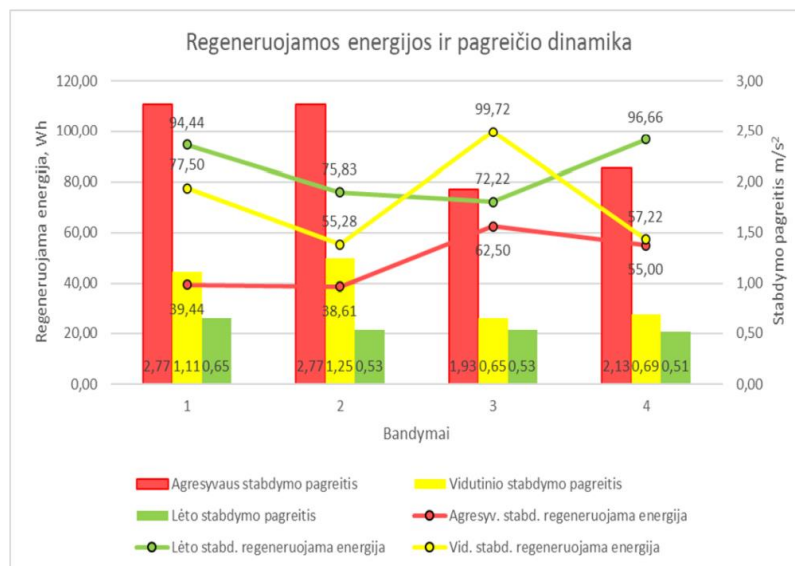
Bandymo Nr.	Agresyvus stabdymas	Vidutinis stabdymas	Lėtas stabdymas
1 bandymas	39,44 Wh	94,44 Wh	77,5 Wh
2 bandymas	38,61 Wh	75,83 Wh	55,28 Wh
3 bandymas	62,5 Wh	72,22 Wh	99,72 Wh
4 bandymas	55 Wh	96,66 Wh	57,22 Wh
Vidurkis:	48,89 Wh	84,78 Wh	72,43 Wh
Vidutinis stabdymo pagreitis			
1 bandymas	2,77 m/s ²	1,11 m/s ²	0,65 m/s ²
2 bandymas	2,77 m/s ²	1,25 m/s ²	0,53 m/s ²
3 bandymas	1,93 m/s ²	0,65 m/s ²	0,53 m/s ²
4 bandymas	2,13 m/s ²	0,69 m/s ²	0,51 m/s ²
Vidurkis:	2,4 m/s	0,92 m/s²	0,55 m/s²

Šaltinis: sudaryta autorių

Gauti rezultatai rodo, jog stabdant vidutiniu intensyvumu yra regeneruojamas didžiausias energijos kiekis į traukos bateriją, o mažiausiai energijos regeneruojama agresyvaus stabdymo metu. Kai stabdoma agresyviai, krovimas į bateriją yra maksimalus, todėl rezultatai gaunami panašūs. Vidutiniame ir lėtame stabdymuose stabdoma pagal krovimo indikatorių, todėl gaunasi nepilnai tikslus stabdymo momentas ir netolygus pagreitis visame stabdymo ruože. Lėtame stabdyme hibridinis automobilis dalį energijos sunaudoja riedėjimui.

Regeneruojamo kiekio į traukos bateriją rezultatų aptarimas.

Atlikti 12 stabdymo bandymų Kaunas-Jonava ir Jonava-Kaunas kelyje parodė, jog esant vidutiniškam stabdymo režimui yra regeneruojamas didžiausias energijos kiekis į traukos bateriją (žr. 9 lentelė.). Vidutinio stabdymo gautas vidurkis yra 84,78 Wh, kai agresyvaus stabdymo vidurkis – 48,89 Wh, o lėto stabdymo – 72,43 Wh. Atitinkamai prie kiekvieno stabdymo režimo vidurkio, apskaičiuotas vidutinis stabdymo pagreitis. Agresyvaus stabdymo vidutinis pagreičio vidurkis – 2,4 m/s², vidutinio – 0,92 m/s², o lėto – 0,55 m/s². Galima teigti, kad būtų regeneruojamas didžiausias energijos kiekis į traukos bateriją, reikia stabdyti 0,92 m/s² pagreičiu (7 pav.).



7 pav. Regeneruojamos energijos į traukos bateriją ir pagreičio dinamika

Šaltinis: sudaryta autorių

Rezultatai nėra visiškai tikslūs, nes vidutiniuose ir lėtuose stabdymuose stabdoma pagal krovimo indikatorių, išlaikant panašiu krovimu. Dėl šios priežasties, keičiasi stabdymo momentas ir atsiranda netolygus stabdymo pagreitis visame stabdymo ruože. Lėtame stabdyme hibridinis automobilis dalį energijos sunaudoja riedėjimui.

Išvados

1. Hibridiniai automobiliai stabdymo metu regeneruoja energiją, taip papildomai pakraudami

baterijas.

2. Regeneruojamos energijos kiekis priklauso nuo stabdymo intensyvumo. Stabdant vidutiniu intensyvumu į traukos bateriją regeneruojamas didžiausias energijos kiekis – 84,78 Wh, kai stabdant agresyviu - 48,89 Wh, o lėtu - 72,43 Wh.

4. Agresyvaus stabdymo atveju gaunamas mažesnis rekuperuojamos energijos kiekis todėl, kad tuo metu didžiausią stabdymo efektą sukuria automobilio stabdžiai.

Literatūra

1. Ehsani, M. (2014). Conventional fuel/hybrid electric vehicles. Alternative Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance, 632–654. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1533/9780857097422.3.632>
2. Erbacher, J. (2021, February 4). Electromobility - Electric vehicle basics, how they work, and how they're powered. Power-And-Beyond.com; Power & Beyond. Prieiga per internetą: https://www.power-and-beyond.com/electromobility--electric-vehicle-basics-how-they-work-and-how-theyre-powered-a-997269/?cmp=go-ta-art-trf-PuB_DSA-
3. Lampton, C. (2009, January 23). How Regenerative Braking Works. Prieiga per internetą: <https://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/regenerative-braking.htm>
4. [https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Toyota/111218/Toyota-Prius-\(XW50\)-18-Hybrid.html](https://www.ultimatespecs.com/car-specs/Toyota/111218/Toyota-Prius-(XW50)-18-Hybrid.html)

INVESTIGATION OF A HYBRID CAR REGENERATIVE BRAKING EFFICIENCY IN SUBURBAN DRIVING CYCLE

Summary

A popular alternative for those who want to drive in a more environmentally friendly and economical way is a hybrid car. A hybrid car, as well as an electric car, has regenerative braking. During this process, the kinetic energy is converted into electrical energy which is used to spin an engine. The paper explains at what acceleration it is necessary to brake a hybrid car in order to regenerate the maximum amount of energy into the traction battery.

12 experimental braking tests were performed in Kaunas-Jonava and Jonava-Kaunas sections. During the experiment, electrical current strength and dynamic characteristics were measured. It was braked in three different braking modes: aggressive, medium, and slow. The obtained results show that when braking the car in the medium braking mode, the highest amount of energy is regenerated into the traction battery and the lowest - is when braking in the aggressive braking mode. The average braking acceleration is calculated for the average of each braking mode.

Key word: Hybrid car, Regenerative Braking, Efficiency.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Darius Juodvalkis.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegija, Inžinerijos mokslų fakulteto 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, docentas

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegija, Inžinerijos mokslų fakulteto 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: doctor, associated professor.

Workplace and position: Kaunas University Of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Automotive Engineering department associated professor

Author's research interests: transport technologies, engineering research methodology.

Telephone and e-mail address: 8 682 14365, darius.juodvalkis@edu.ktk.lt

Author name, surname: Andrius Dargužis.

Science degree and name: doctor, associated professor.

Workplace and position: Kaunas University Of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Automotive Engineering department associated professor

Author's research interests: transport technologies, engineering research methodology.

Telephone and e-mail address: 8 614 77194, andrius.darguzis@edu.ktk.lt

SLĖGINIO UŽDEGIMO VARIKLIO DEGIMO PROCESO SKAITINĖ ANALIZĖ NAUDOJANT ĮVAIRIUS BIODEGALŲ MIŠINIUS IR KEIČIANT EGR

Dovydas Mačiulis, Alfredas Rimkus

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

Apžvelgtos slėginio uždegimo variklio degimo fazės, vertinant jų įtaką variklio energetiniams ir ekologiniams rodikliams. Įvertintos pagrindinės tyrime naudojamų degalų (dyzelino, hidrinto augalinio aliejaus (angl. *Hydrotreated Vegetable Oils* – HVO), HVO mišinių su biobutanoliu) savybės. Atlikti eksperimentiniai tyrimai naudojant įvairius biodegalų mišinius ir keičiant išmetamųjų dujų recirkuliacijos (angl. *Exhaust Gas Recirculation* – EGR) intensyvumą. Remiantis eksperimentiniais rezultatais, naudojant programos „AVL BOOST“ paprogramę „Burn“, atlikta degimo proceso skaitinė analizė. Nustatyti degimo rodiklių skirtumai ir tikėtinos priežastys leidžia geriau suprasti degimo metu vykstančius procesus, kai variklis veikia įvairiais degalais ir keičiamas EGR. Tai leidžia parinkti tinkamiausią degalų mišinį ir EGR siekiant geriausių variklio ekologinių ir energetinių rodiklių.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Slėginio uždegimo variklis, degimo vėlavimo fazė, kinetinė degimo fazė, difuzinė degimo fazė, biobutanolis, išmetamųjų dujų recirkuliacija.

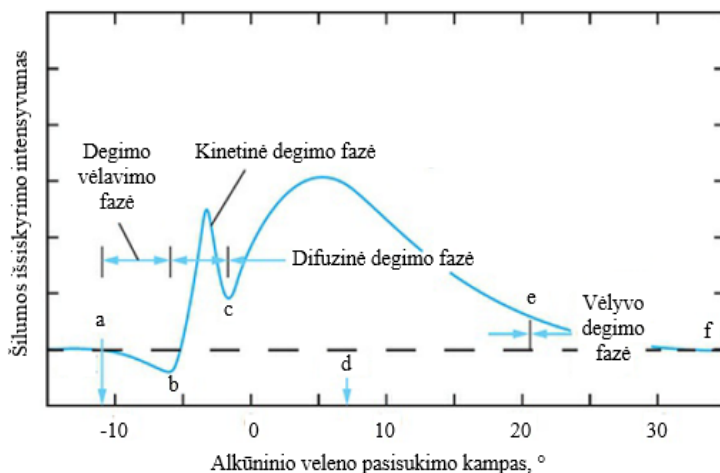
Įvadas

Sparčiai didėjant pasaulyje automobilių skaičiui, susirūpinta dėl aplinkos taršos, nes didžioji dauguma transporto priemonių yra varomos naftos produktais, o šie degdami į aplinką išskiria teršalus bei šiltnamio efektą sukeliančias dujas, spartinančias klimato kaitą. Problema yra ta, kad automobilių išmetamųjų dujų ir kietųjų dalelių emisija labai kenkia žmonių sveikatai.

Valstybių vadovai, aktyviai ragindami visuomenės, 2020 m. gruodžio mėn. Briuselyje patvirtino įsipareigojimą vykdyti ES Žaliąjį kursą, kuris reikalauja, kad iki 2030 m. grynasis ES viduje išmetamo šiltnamio efektą sukeliančiųjų dujų kiekis būtų sumažintas bent 55 % palyginti su 1990 m. Šiuo laikotarpiu transporto sektoriaus išmetamųjų teršalų kiekis sudaro daugiau, kaip 25 % visos taršos (Transportas – Europos aplinkos agentūra, n.d.). Mokslininkai daug dirba tobulindami degalų sudėtį, taip siekdami mažinti taršą. Pradedami gaminti degalai ne tik iš iškastinių žaliavų, bet ir iš atsinaujinančių: bioetanoliai, HVO, biodujos ir kiti.

1. Literatūros apžvalga

Degimo procesas slėginio uždegimo variklyje. Degalų degimo cilindre eiga reikšmingai lemia variklio energetinius ir ekologinius rodiklius. Degimo procesai slėginio ir kibirkštinio uždegimo varikliuose turi skirtumus: degimas kibirkštinio uždegimo variklyje vyksta sklindant liepsnos frontui nuo uždegimo žvakės, o slėginio uždegimo variklyje atskirai dega kiekvienas į degimo kamerą įpurkštų degalų lašelis (Mollenhauer & Tschöke, 2010). 1 pav. pateikiamas tipinio šilumos išsiskyrimo intensyvumo grafikas slėginio uždegimo variklyje.



1 pav. Dyzelinio variklio šilumos išsiskyrimo sudedamosios dalys: a – degalų įpurškimo pradžia (I.Pr.); b – degimo pradžia (Deg.Pr.); c – kinetinės degimo fazės pabaiga; d – degalų įpurškimo pabaiga (I.Pab.); e – difuzinės degimo fazės pabaiga; f – degimo pabaiga

Šaltinis: (Heywood, 2018)

Degimo vėlavimo fazė – (angl. *Ignition delay period*) laikotarpis nuo degalų įpurškimo pradžios (Į.Pr.) iki degalų degimo pradžios (Deg.Pr.). Esant ilgesnei degimo vėlavimo fazei susikaupia daug degalų, kuriems užsidegus intensyviau auga kinetinės degimo fazės metu slėgis ir temperatūra (Heywood, 2018). Vėlavimo fazės trukmę lemia degalų cetaninis skaičius, įpurškimo kokybė, temperatūra ir slėgis cilindre, oro sukuriavimas ir kita (Rakopoulos & Giakoumis, 2009).

Kinetinė degimo fazė – (angl. *Premixed combustion phase*) kurios metu cheminė energija išsiskiria iš degalų, kurie susimaišę su oru per degimo vėlavimo laikotarpį ir degalų, kurių purškimas tęsiamas. Degalų ir oro mišinys, degdamas šioje fazėje, lemia didelį šilumos išsiskyrimo intensyvumą. Šios fazės metu, esant dideliui slėgiui ir temperatūrai, intensyviai formuojasi azoto oksidai (NO_x) (Heywood, 2018).

Difuzinė degimo fazė – (angl. *Mixing - controlled combustion phase*) kurios metu degimo greitis (arba šilumos išsiskyrimo greitis) yra kontroliuojamas pagal degalų purškimo intensyvumą ir laiką. Vyksta degalų įpurškimas, garinimas, degalų garų maišymas su oru. Degimo greitis ir trukmė šioje difuzinės liepsnos fazėje yra daugiausiai kontroliuojamas degalų įpurškimo ir maišymosi su oru procesų. Esant didelei temperatūrai šioje fazėje yra geriau išdeginami suodžiai susidarę degimo metu (Heywood, 2018). Difuzinės degimo fazės metu išsiskyrusi energija lemia cilindre atliktą darbą ir variklio sukurtą sukimo momentą (Reif, 2014).

Vėlyvo degimo fazė – (angl. *Late combustion phase*) kurios metu šiluma išsiskiria mažesniu intensyvumu ir mažėja degimo slėgio banga. Šios fazės metu nedidelė dalis degalų dar yra nesudegusi, dalies degalų energija yra suodžiuose ir degimo produktuose, todėl jie gali užsiliepsnoti. Cilindre esantis slėgis yra pulsuojantis, ir per šį laikotarpį sudegusios dujos maišosi su oru, skatina visapusiškesnę degimą ir mažiau išsiskiria taršių išmetamųjų dujų. Degimas proceso pabaigoje tampa lėtesnis, nes išsiplėtimo takto metu cilindre krinta dujų temperatūra. Ilgai užsitęsęs šiai fazei, sukaupia energija tiesiog išmetama pro vožtuvus bei perduodama į cilindrų sienelės, taip išekvojant įpurškčius degalus veltui, nesukuriant sukimo momento (Heywood, 2018).

Palyginus įvairių tyrimų rezultatus galime teigti, kad HVO palyginus su dyzelinu, turi aukštesnį cetaninį skaičių ir dėl to trumpėja vėlavimo fazė, mažėja degimo intensyvumas kinetinėje degimo fazėje (Puricelli ir kt. 2021; Shepel ir kt. 2021; Rimkus ir kt. 2020; (Rayapureddy et al., 2022). Biobutanolio cetaninis skaičius yra mažesnis už HVO ir gryno dyzelino, tačiau jame yra deguonies, turi mažesnę C/H santykį (Nour ir kt. 2019; Tutak ir kt. 2021; (Goga et al., 2019), todėl šių degalų priedas didina užsiliepsnojimo vėlavimą, tačiau gali intensyviau degti vėlesnėse degimo fazėse, sumažinti dūmingumą. Didinant EGR intensyvumą slopinamas degimas ir tai mažina NO_x emisiją, bet didėja dūmingumas (Rimkus et al., 2021).

Tyrimo tikslas – ištirti įvairius biobutanolio mišinius su HVO, keičiant EGR, siekiant nustatyti prie kokio EGR intensyvumo skirtingi biodegalų mišiniai, nepadidinus dūmingumo, sumažina degimo intensyvumą kinetinėje degimo fazėje ir NO_x emisiją.

2. Tyrimo metodika ir medžiagos

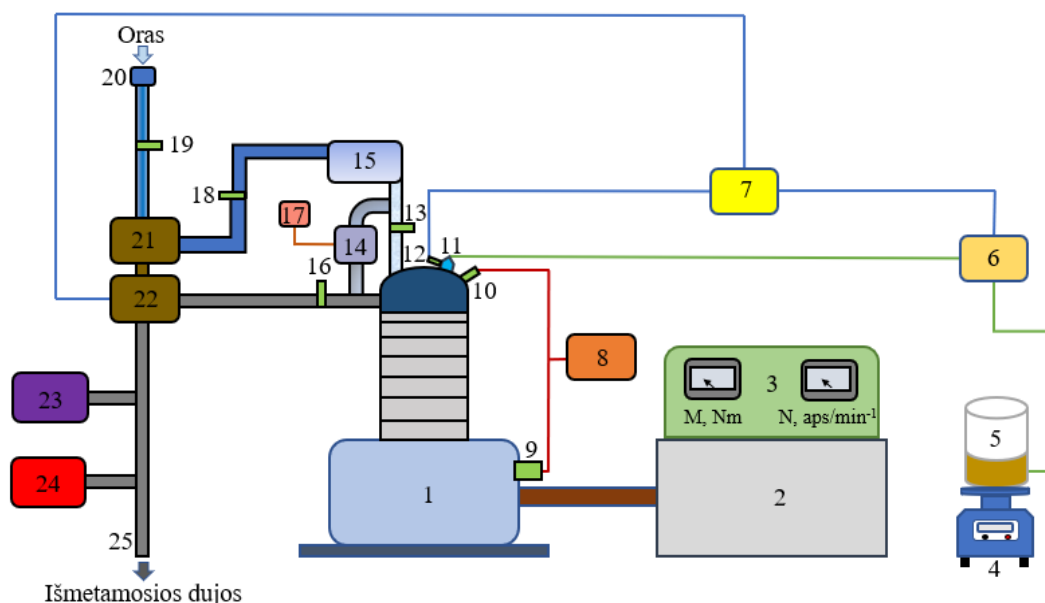
Tyrimo įranga. Bandymai buvo atlikti VILNIUS TECH Transporto inžinerijos ir logistikos laboratorijos Vidaus degimo variklių skyriuje, naudojant 1,9 l darbinio tūrio, tiesioginio įpurškimo, slėginio uždegimo variklį (1 lentelė), turintį turbokompresorių ir aukšto slėgio išmetamųjų dujų recirkuliacijos sistemą (2 pav.). Bandymo metu naudotos įrangos pagrindiniai techniniai duomenys pateikti 2 lentelė.

1 lentelė

Slėginio uždegimo 1,9 l TDI (1Z) variklio pagrindiniai techniniai duomenys

Parametras	Reikšmė
Cilindrų skaičius ir darbo tūris	4 cil. / 1896 cm ³
Nominalus galingumas	66 kW
Maksimalus sukimo momentas	182 Nm (prie $n = 2300 \text{ min}^{-1}$)
Cilindrų skaičius	4
Suspaudimo laipsnis	19,5
Stūmoklio eiga / skersmuo	95,5 mm / 79,5 mm

Šaltinis: (Horsepower/Torque Curve 1991 Audi 80 1.9 TDI (Man. 5) (Model since Mid-Year 1991 for Europe). Detailed Engine Characteristics., n.d.)



2 pav. Bandymo schema, sudedamosios dalys: 1 – variklis; 2 – variklio apkrovos stendas; 3 – variklio greičio ir sukimo momento ir rodikliai; 4 – elektroninės svarstyklės; 5 – degalų bakas; 6 – aukšto slėgio degalų siurblys; 7 – elektroninis valdymo blokas; 8 – variklio sukimo momento ir sukimosi greičio registravimo įranga; 9 – alkūninio veleno padėties jutiklis; 10 – cilindro slėgio jutiklis; 11 – degalų purkštuvai; 12 – purkštuvo adatos jutiklis; 13 – temperatūros jutiklis; 14 – EGR vožtuvas; 15 – tarpinis aušintuvas; 16 – išmetamųjų dujų temperatūros jutiklis; 17 – EGR valdymo moduliatorius; 18 – slėgio jutiklis; 19 – įsiurbiamo oro temperatūros jutiklis; 20 – oro masės matuoklis; 21 – kompresorius; 22 – turbina; 23 – išmetamųjų dujų analizatorius; 24 – dūmų analizatorius; 25 – išmetamųjų dujų vamzdis.

Šaltinis: sudaryta autorių

2 lentelė

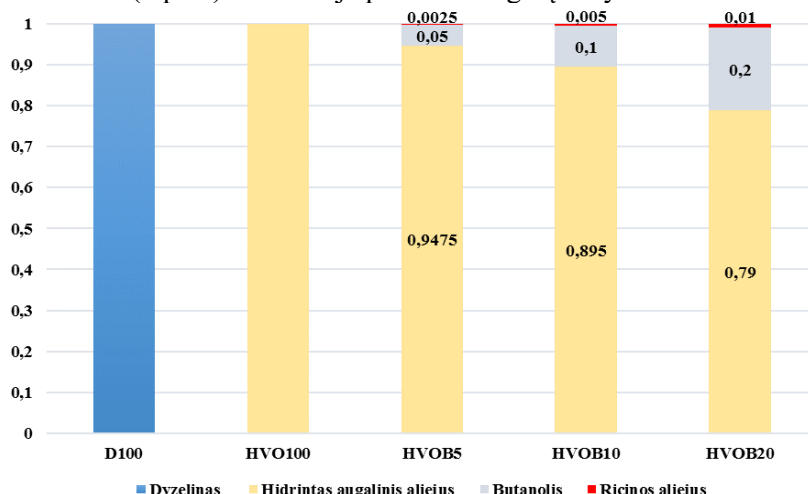
Bandymo metu naudojama įranga ir jos tikslumas

Matavimo įranga	Pavadinimas	Tikslumas
Matuojamas rodiklis	Techninė charakteristika	
Oro masės matuoklis	BOSCH HFM 5	
Temperatūros diapazonas	-40 °C – (+120 °C)	
Matavimo diapazonas	8 – 370 kg/h	≤ 3 %
Variklio apkrovos stendas	KI – 5543	
Maksimali stabdymo galia	185 kW	
Apsisukimų kontroliuojamos ribos	1500 – 3000 min ⁻¹	
Maksimalios išmatuotos apkrovos	440 Nm	± 1,23 Nm
Elektroninės svarstyklės	SK – 5001	
Matavimo ribos	0 – 5000 g	± 0,5 g
Termopora	K – tipo	
Temperatūros matavimo režimas	0 – (+1250 °C)	± 0,5 %
Cilindro slėgio jutiklis	AVL GH13P	
Jautrumas	15,84 ± 0,09 pC/bar	≤ 0,3 %
Slėgio cilindre įrašymo įranga	AVL DITEST DPM 800	
Signalų santykis	1 mV/pC	
Įvesties diapazonas	6000 pC	
Matavimo diapazonas	0 – 200 bar	1 %
Įsiurbiamo oro slėgio matuoklis	DELTA OHM HD 2304.0	
Slėgio jutiklis TP 704-2BAI	1 – 2 bar	± 0,0002 MPa
Diagnostikos prietaisas	VCDS v11.2	
Degalų įpurškimo pradžia	18° alkūninio veleno (AV) prieš viršutinį galinį tašką (PVGT) – 2° AV už viršutinio galinio taško (UVGT)	0,1° AV

Šaltinis: sudaryta autorių

Tiriami degalai. Bandyme buvo naudojamas hidrintas augalinis aliejus (HVO100), grynas iškastinis dyzelinas (D100) ir biobutanolis, kurio į hidrintą augalinį aliejų įmaišyta 5, 10 ir 20 tūrio % (HVOB5,

HVOB10 ir HVOB20). Papildomai į mišinius dėl tepimo savybių buvo įmaišyta 5 % ricinos aliejaus, kuris sudarė 5 % biobutanolio tūrio (3 pav.). 3 lentelėje pateiktos degalų savybės.



3 pav. Tiriamų degalų ir jų mišinių komponentų tūrio dalis 1 litre
Šaltinis: sudaryta autorių

3 lentelė

Tiriamų degalų savybės

Parametras	D100	HVO100	HVOB5	HVOB10	HVOB20
Anglis (C)	86,20	84,55	83,50	82,46	80,40
Vandenilis (H)	13,80	15,45	15,34	15,22	15,00
Deguonis (O)	-	-	1,16	2,31	4,60
C/H santykis	6,25	5,47	5,44	5,42	5,36
Oro masė (kg) reikalinga 1 kg degalų (l_0)	14,79	15,18	14,97	14,76	14,34
Žemutinis degalų šilumingumas MJ/kg	43,10	44,10	43,52	42,94	41,78
Cetatinis skaičius	51	70	67,3	64,6	59,3

Šaltinis: sudaryta autorių

Tyrimo metodika. Eksperimentu buvo siekiama išsiaiškinti, kaip naudojant HVO ir įvairius jo mišinius su biobutanoliumi, kinta variklio energetiniai ir ekologiniai rodikliai, lyginant su iškastiniu dyzelinu keičiant EGR. Ieškotas biodegalų mišinys, kurio rodikliai būtų artimi arba geresni lyginant su iškastiniu dyzelinu. Eksperimentinis tyrimas pirmiausia atliktas varikliui veikiant 2000 min⁻¹ sukimosi greičiu, apkraunant 30, 60, 90 ir 120 Nm sukimo momentu esant išjungtam EGR. Degalų įpurškimo pradžią reguliavo variklio elektroninis valdymo blokas, o rezultatas buvo fiksuojamas. Vėliau tuo pačiu režimu tyrimas pakartotas EGR sistemos pagalba į cilindrą gražinant 10 %, 20 % ir 30 % išmetamųjų dujų masės.

EGR koeficientas nustatomas pagal formulę (Rimkus, 2022):

$$k_{EGR} = \frac{G_{EGR}}{G_{EGR} + G_{oro_EGR}}, \quad (1)$$

čia: G_{EGR} – pro EGR vožtuvą gražinamų deginių masė, kg/min, G_{oro_EGR} – įsiurbiamą oro masė, kai EGR vožtuvas atidarytas, kg/min (matuojama eksperimento metu).

Išmetamųjų dujų recirkuliacijos vožtuvo pralaidumas apytiksliai nustatomas išmatuojant įsiurbimo oro masės sumažėjimą, kai EGR vožtuvas atidarytas (Rimkus, 2022):

$$G_{EGR} = G_{oro} - G_{oro_EGR}, \quad (2)$$

čia: G_{oro} – įsiurbiamą oro masė, kai EGR vožtuvas uždarytas, kg/min (išmatuojama eksperimento metu).

EGR vožtuvas valdomas jį atjungus nuo variklio elektroninio valdymo bloko ir naudojant EGR valdymo moduliatorių, kuris formuoja kintamo užpildos koeficiento valdymo signalą (šis signalas reguliuoja vakuumo, kuris valdo EGR, slėgį). Keičiant EGR, keičiasi įsiurbiamo oro masė G_{oro_EGR} . Reikiamas EGR atidarymas pasiekiamas reguliuojant EGR valdymo slėgį ir nustatant apskaičiuotą įsiurbiamo oro masę:

$$G_{oro_EGR} = G_{oro} - k_{EGR} \cdot G_{oro}. \quad (3)$$

Atliekant eksperimentinius tyrimus pastebėta, kad EGR koeficientui esant 0,3, variklis negalėjo išvystyti 90 ir 120 Nm apkrovos, o esant 30 Nm apkrovai dirbo nestabiliai. Todėl, tolimesniam duomenų analizavimui buvo pasirinkta 60 Nm (vidutinis efektyvusis slėgis 0,4 MPa) variklio apkrova, kuri atitinka miesto režimą kai automobilio važiavimo greitis siekia apie 50 km/h.

Skaitinės analizės metodika. Degalų degimo skaitinė analizė leidžia geriau suprasti degimo metu vykstančius procesus, išsamiau analizuoti rodiklių skirtumų priežastis varikliui veikiant įvairiais degalais. Vienas iš svarbiausių degimo proceso rodiklių yra šilumos išsiskyrimo intensyvumas ($J/^\circ AV$), kuris nustatomas „AVL BOOST“ programa, naudojant „Burn“ paprogramę. Eksperimento metu užfiksuotas slėgis variklio cilindre yra pagrindinis rodiklis apskaičiuojant šilumos išsiskyrimą. Degimo procesą galima suskirstyti į užsiliepsnojimo vėlavimo, kinetinę, difuzinę ir vėlyvojo degimo fazes (Heywood, 2018), matomas šilumos išsiskyrimo grafike (4 pav.). Papildoma informacija apie degimo pradžią, užsiliepsnojimo vėlavimą, degimo trukmę, keičiant degalus, pateikta 4 lentelėje. Šie nustatyti rodikliai reikalingi norint apskaičiuoti šilumos išsiskyrimą naudojant Vibe funkciją (Vibe, 1970):

$$\frac{d_x}{d_\alpha} = \frac{\alpha}{\Delta\alpha_c} \cdot (m+1) \cdot y^m \cdot e^{-a \cdot y^{(m+1)}}, \quad (4)$$

$$dx = \frac{dQ}{Q}, \quad (5)$$

$$y = \frac{\alpha - \alpha_o}{\Delta\alpha_c}, \quad (6)$$

čia: Q – bendras degalų šiluminės energijos kiekis, J; α – alkūninio veleno pasisukimo kampas, $^\circ AV$; α_o – degimo pradžia $^\circ AV$; $\Delta\alpha_c$ – degimo trukmė, $^\circ AV$; m – intensyvumo rodiklis; a – Vibe rodiklis $a = 6,9$.

Vibe funkcijos integralas įvertina sudegusia degalų masės dalį (Vibe, 1970):

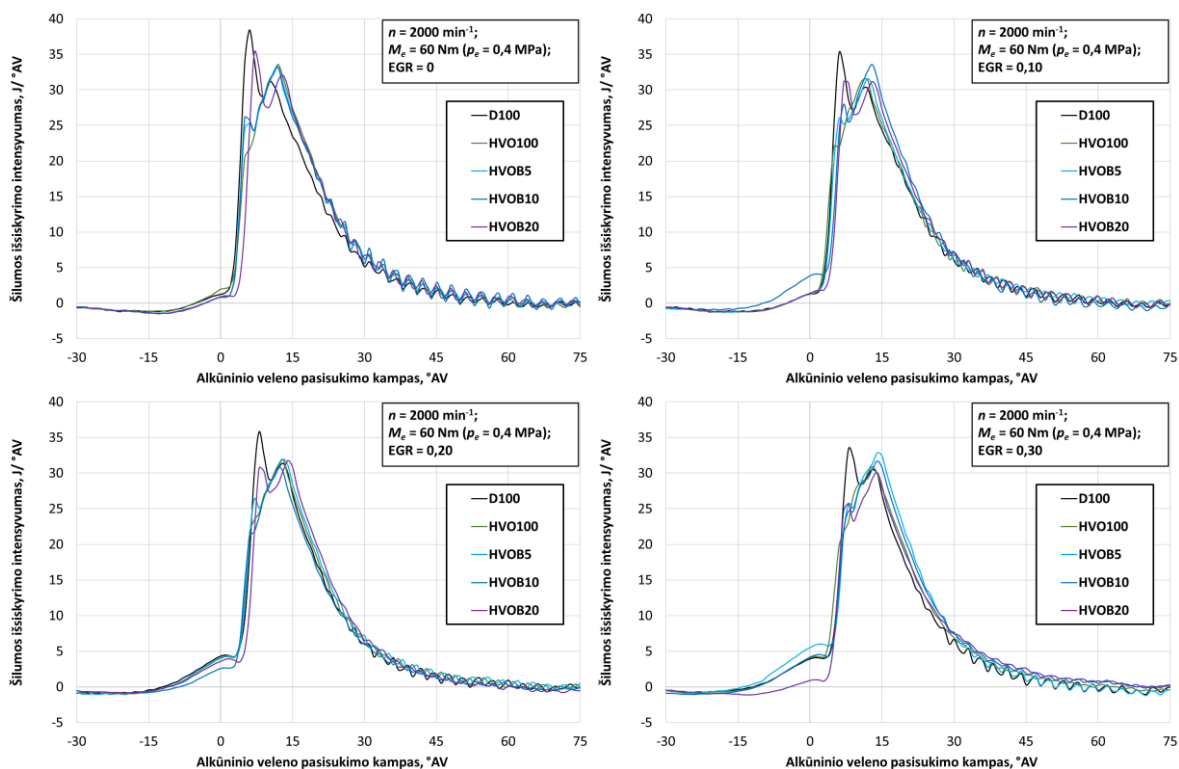
$$x = \int \frac{d_x}{d_\alpha} \cdot d_\alpha = 1 - e^{-a \cdot y^{(m+1)}}, \quad (7)$$

Apskaičiavus šilumos išsiskyrimą nustatomas temperatūros ir slėgio prieaugis cilindre, kurių rezultatai pateikiami tyrimų rezultatų skyriuje.

3. Tyrimo rezultatai ir jų analizė

HVO100 ir be EGR ir naudojant EGR užsiliepsnojimo vėlavimas yra trumpiausias, lyginant su kitais degalais, dėl didžiausio cetaninio skaičiaus. Trumpesnis vėlavimas lemia mažesnę šilumos išsiskyrimo intensyvumą kinetinėje degimo fazėje ($\sim 22 J/^\circ AV$), kas mažina degimo temperatūrą ir NO_x emisiją. Difuzinėje degimo fazėje (kai EGR0) HVO100 pasiekia didžiausią šilumos išsiskyrimo intensyvumą ($\sim 33 J/^\circ AV$), kas geriau išdegina degimo metu susidariusius suodžius. Analogiškose sąlygose D100 kinetinėje degimo fazėje šilumos išsiskyrimo intensyvumas pasiekia aukščiausią reikšmę iš visų tirtų degalų ($\sim 38 J/^\circ AV$), kas lemia didžiausią azoto oksidų emisiją, o difuzinėje degimo fazėje šilumos išsiskyrimas pasiekia $\sim 31 J/^\circ AV$. Biobutanolio priedas HVO degaluose ilgina vėlavimo fazę, ko pasėkoje šilumos išsiskyrimo intensyvumas kinetinėje degimo fazėje yra didesnis nei gryno HVO, bet nepasiekia D100 reikšmės. Difuzinėje degimo fazėje butanolio priedas į HVO turi tendenciją pavėlinti maksimalų šilumos išsiskyrimą, nes dėl sumažėjusio degalų šilumingumo (3 lentelė) reikalingas didesnis degalų kiekis, kuris purškiamas ilgiau.

Didėjant EGR iki 0,3 ir mažėjant degimo intensyvumui mažėja maksimalus šilumos išsiskyrimo intensyvumas kinetinėje degimo fazėje tiek D100 (iki $\sim 33 J/^\circ AV$), tiek HVO100 (iki $\sim 21 J/^\circ AV$) ir tai mažina NO_x emisiją. Maksimalus šilumos išsiskyrimo intensyvumas difuzinėje degimo fazėje mažai kinta, tačiau yra pasiekiamas $\sim 3^\circ AV$ vėliau (esant didesniam degimo tūriui), kas sumažina degimo temperatūrą ir didina dūmingumą (Mačiulis et al., 2022). EGR 0,2 ir 0,3 atveju išryškėja biobutanolio priedo įtaka didinant šilumos išsiskyrimo intensyvumą esant ilgesnei difuzinėje degimo fazei, kas mažina dūmingumą.



4 pav. Šilumos išsiskyrimo intensyvumo priklausomybė nuo alkūninio veleno padėties
Šaltinis: sudaryta autorių

4 lentelė

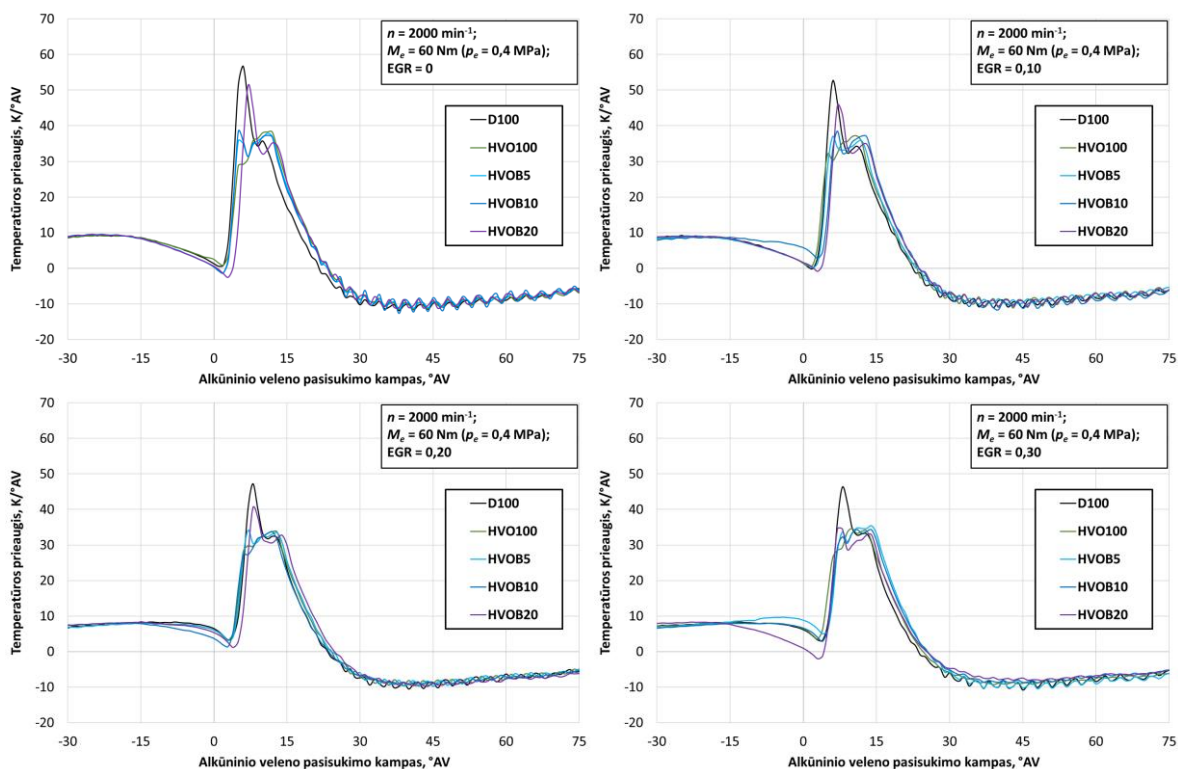
Degimo proceso rodikliai varikliui veikiant įvairiais degalais ir keičiant EGR

EGR	Rodikliai	D100	HVO100	HVOB5	HVOB10	HVOB20
EGR0	Į.Pr., °AV	5,4° AV PVGT	3,8° AV PVGT	3,7° AV PVGT	3,6° AV PVGT	3,2° AV PVGT
	Deg.Pr., °AV	1° AV UVGT	1,6° AV UVGT	1,9° AV UVGT	2° AV UVGT	3° AV UVGT
	Vėlavimas, °AV	6,4° AV	5,4° AV	5,6° AV UVGT	5,6° AV	6,2° AV
EGR0,1	Į.Pr., °AV	5,3° AV PVGT	4,1° AV PVGT	3,8° AV PVGT	3,6° AV PVGT	3,4° AV PVGT
	Deg.Pr., °AV	1,3° AV UVGT	1,3° AV UVGT	1,7° AV UVGT	2,2° AV UVGT	2,8° AV UVGT
	Vėlavimas, °AV	6,6° AV	5,4° AV	5,5° AV	5,8° AV	6,2° AV
EGR0,2	Į.Pr., °AV	5,2° AV PVGT	3,7° AV PVGT	3,8° AV PVGT	3,6° AV PVGT	3,2° AV PVGT
	Deg.Pr., °AV	2,6° AV UVGT	2,5° AV UVGT	2,7° AV UVGT	3,3° AV UVGT	3,8° AV UVGT
	Vėlavimas, °AV	7,8° AV	6,2° AV	6,5° AV	6,9° AV	7,0° AV
EGR0,3	Į.Pr., °AV	5,3° AV PVGT	3,6° AV PVGT	3,3° AV PVGT	3,2° AV PVGT	3,4° AV PVGT
	Deg.Pr., °AV	2,8° AV UVGT	3,1° AV UVGT	3,6° AV UVGT	3,8° AV UVGT	3,7° AV UVGT
	Vėlavimas, °AV	8,1° AV UVGT	6,7° AV UVGT	6,9° AV UVGT	7,0° AV UVGT	7,1° AV UVGT

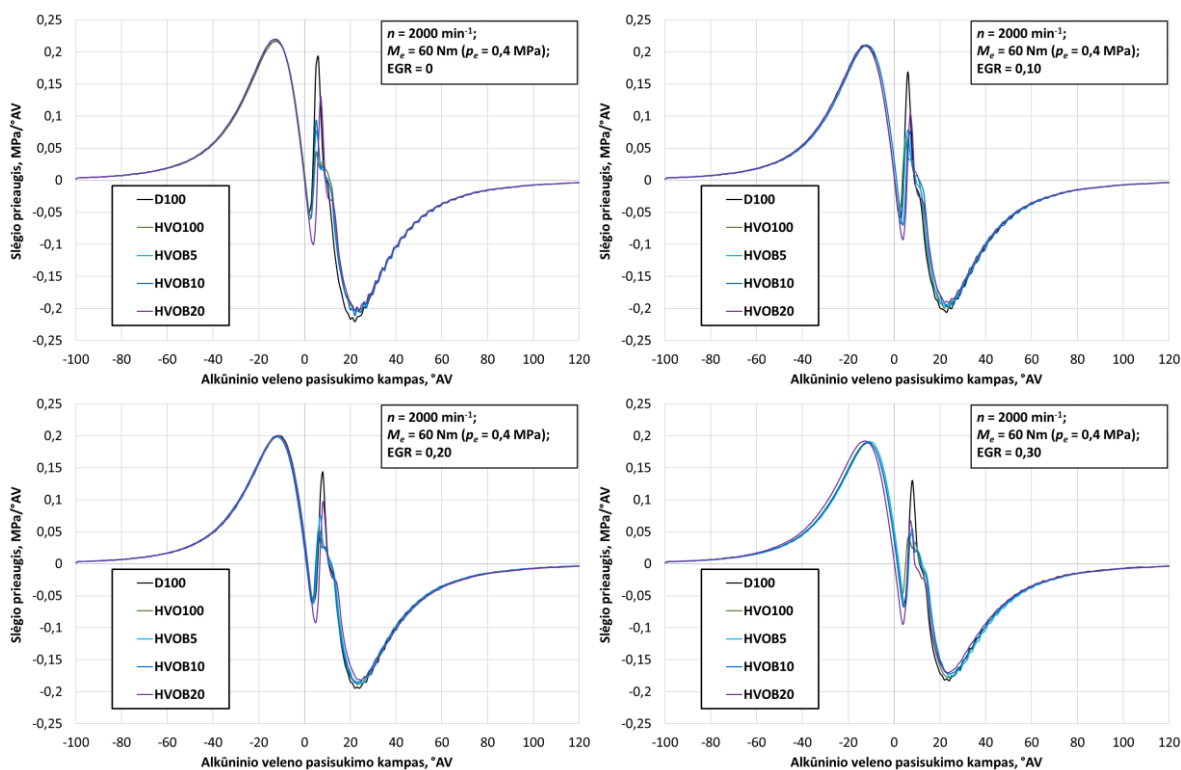
Šaltinis: sudaryta autorių

Lemiantys temperatūros pokyčio cilindre faktoriai yra degimo šilumos išsiskyrimas ir tūrio pokytis. Intensyvus degimo temperatūros prieaugis padidina stūmoklio ir degimo kameros terminį apkrovimą. Didžiausias maksimalus temperatūros prieaugis, kai EGR uždarytas pasiekiamas naudojant D100 degalus kinetinėje degimo fazėje (iki ~ 57 K/°AV), o mažiausias – naudojant HVO100 vėlesnėje difuzinėje degimo fazėje (iki ~ 38 K/°AV). Biobutanolio priedas didina temperatūros prieaugį kinetinėje degimo fazėje, tačiau degalų HVOB20 temperatūros augimas lieka mažesnis lyginant su D100 (5 pav.). Didėjant EGR, mažėja temperatūros prieaugis visų tirtų degalų rūšių ir tai mažina NO_x emisiją. Esant EGR 0,2 ir 0,3 ypač reikšmingai mažėja temperatūros prieaugis degalams, kuriuos naudojant temperatūra intensyviai augo kinetinėje degimo fazėje. Šiuo atveju degalams D100 maksimalus temperatūros prieaugis sumažėjo iki ~ 47 K/°AV, tačiau naudojant degalus HVO100 maksimalus temperatūros prieaugis sumažėjo mažiau (iki ~ 34 K/°AV). EGR0,2 atveju didinat biobutanolio koncentraciją nepastebimas reikšmingas temperatūros prieaugio didėjimas, tačiau matomas vėlyvesnis temperatūros prieaugis difuzinės fazės metu, kuris leidžia geriau išdeginti kietąsias daleles ir sumažinti dūmingumą. Taršos matavimo tyrimai rodo, kad varikliui veikiant degalų mišiniu HVOB20, kai EGR0,2, dūmingumas išauga neženkliai, o NO_x koncentracijos sumažėjimas yra reikšmingas (~ 38 %).

EGR0,2 atveju, biobutanolio koncentraciją didinant nu 5 % iki 20 %, variklio efektyvusis naudingumo koeficientas gerėja, nors lieka ~ 2,5% mažesnis lyginant su D100, kai EGR0. (Mačiulis et al., 2022).



5 pav. Temperatūros prieaugio priklausomybė nuo alkūninio veleno padėties
Šaltinis: sudaryta autorių

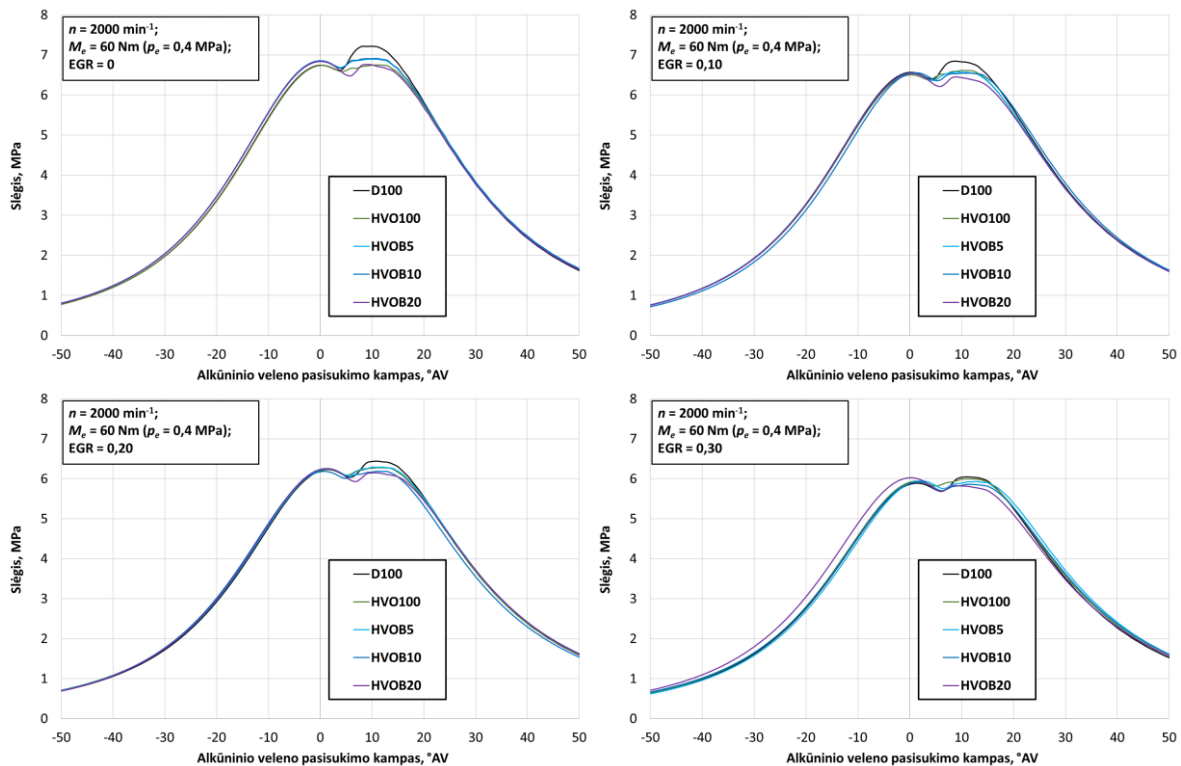


6 pav. Slėgio prieaugio priklausomybė nuo alkūninio veleno padėties
Šaltinis: sudaryta autorių

Slėgio prieaugis variklio cilindre daugiausia priklauso nuo tūrio virš stūmoklio ir temperatūros pokyčio. Intensyvus slėgio prieaugis sukelia didesnes alkūninio mechanizmo apkrovas ir triukšmą. Didžiausias slėgio prieaugis pasiekiamas kinetinėje degimo fazėje, stūmokliui esant netoli už VGT (6 pav.). Esant išjungtam

EGR, maksimalus slėgio prieaugis varikliui veikiant degalais D100 siekia $\sim 0,19 \text{ MPa}/^\circ\text{AV}$, o didinant iki EGR0,3 sumažėja degimo intensyvumas ir slėgio prieaugis sumažėja iki $\sim 0,13 \text{ MPa}/^\circ\text{AV}$. HVO100 atveju, kai EGR0 slėgio prieaugis yra žymiai mažesnis – tik $\sim 0,04 \text{ MPa}/^\circ\text{AV}$, o padidinus EGR iki 0,3 slėgio prieaugis kinta nereikšmingai. Didinant biobutanolio koncentraciją mišinyje su HVO EGR0 atveju maksimalus slėgio prieaugis didėja, bet nepasiekia D100 lygio. Didėjant EGR iki 0,3, stebima mažėjanti slėgio prieaugio tendencija HVO ir biobutanolio mišiniams. Pvz. degalams HVOB20 kai EGR0 maksimalus slėgio prieaugis siekė $\sim 0,13 \text{ MPa}/^\circ\text{AV}$ (analogiškai kaip D100 esant EGR0,3), o pasiekus EGR0,2 – $\sim 1,0 \text{ MPa}/^\circ\text{AV}$, EGR0,3 – $\sim 0,07 \text{ MPa}/^\circ\text{AV}$.

Slėgis variklio cilindre (7 pav.) priklauso nuo kompresijos slėgio ir slėgio prieaugio degimo metu. Tai lemia, kad, esant pastoviam variklio apkrovimui ($M_e = 60 \text{ Nm}$), kai EGR0 didžiausias slėgis pasiekiamas varikliui veikiant D100 degalais ($\sim 7,2 \text{ MPa}$ prie $\sim 8^\circ\text{AV}$ UVGT). Naudojant HVO100 maksimalus degimo slėgis yra mažesnis ir pasiekiamas vėliau ($\sim 6,8 \text{ MPa}$ prie $\sim 12^\circ\text{AV}$ UVGT). 5 % ir 10 % biobutanolio priedas padidina ir paankstina maksimalų degimo slėgį iki $\sim 6,9 \text{ MPa}$ prie $\sim 10^\circ\text{AV}$ UVGT, tačiau HVOB20 atveju slėgis vėl krenta iki $\sim 6,8 \text{ MPa}$, nes degimas prasideda vėliau.



7 pav. Slėgio priklausomybė nuo alkūninio veleno padėties

Šaltinis: sudaryta autorių

Didinant EGR nuo 0 iki 0,3 dėl grąžinamų karštų deginių kompresijos slėgis sumažėja nuo $\sim 6,9 \text{ MPa}$ iki $5,9...6,0 \text{ MPa}$ ir tai įtakoja mažesnę degimo slėgį. EGR0,3 atveju ir D100 ir HVO100 degalų maksimalus degimo slėgis pakyla iki $\sim 6,0 \text{ MPa}$ prie $\sim 11^\circ\text{AV}$ UVGT. Didinant EGR intensyvumą iki 0,3 ir didinant biobutanolio koncentraciją mišinyje su HVO iki 20 % maksimalus degimo slėgis palaipsniui mažėja iki $\sim 5,8 \text{ MPa}$, nes degalai užsidega vėliau ir dega esant didesniai degimo tūriui.

Išvados

Slėginio uždegimo varikliui veikiant vidutine apkrova ir dyzeliną pakeitus HVO ir biobutanolio mišiniais bei keičiant EGR intensyvumą, gauti degimo proceso skaitinės analizės rezultatai, kurie pateikti apibendrinančiose išvadose:

1. Aukštesnis HVO ir biobutanolio mišinių cetaninis skaičius ir trumpesnė užsiliepsnojimo vėlavimo fazė leidžia sumažinti šilumos išsiskyrimo intensyvumą, temperatūros ir slėgio prieaugį kinetinėje degimo fazėje ir tai mažina NO_x emisijas bei alkūninio mechanizmo mechaninį ir šiluminį apkrovimą.
2. Didėjant biobutanolio koncentracijai mišinyje su HVO didėja degimo intensyvumas difuzinėje degimo fazėje, kas geriau išdegina kietąsias daleles ir mažina dūmingumą. Ilgesnė vėlyvo degimo trukmė mažina variklio šiluminį efektyvumą.

3. Didinant EGR intensyvumą degimas slopinamas ir tai mažina NO_x emisijas bet dėl žemesnės degimo temperatūros difuzinėje fazėje dūmingumas bus didinamas. Naudojant EGR ir pritaikius optimalią biobutanolio koncentraciją augantį dūmingumą galima sumažinti, nes biobutanolis turi mažesnę C/H santykį bei jo sudėtyje yra deguonies, kuris gerina degimą.

4. Kompleksiškai vertinant eksperimentinį ir degimo proceso skaitinio modeliavimo tyrimą nustatyta, kad analizuojamam variklio veikimo režimui (sukimosi greitis 2000 min^{-1} , apkrova 60 Nm – vidutinis efektyvusis slėgis $0,4 \text{ MPa}$) naudojant biodegalų mišinį HVOB20, kai $\text{EGR}_{0,2}$, NO_x koncentracija sumažinama reikšmingai ($\sim 38\%$), o dūmingumas išauga nežymiai lyginant su D100, kai EGR išjungtas. Šiuo atveju variklio energetinis efektyvumas yra $\sim 2,5\%$ mažesnis.

Literatūra

1. Goga, G., Chauhan, B. S., Mahla, S. K., & Cho, H. M. (2019). Performance and emission characteristics of diesel engine fueled with rice bran biodiesel and n-butanol. *Energy Reports*, 5, 78–83. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2018.12.002>.
2. Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals* (Second edition). McGraw-Hill Education.
3. *Horsepower/Torque Curve 1991 Audi 80 1.9 TDI (man. 5) (model since mid-year 1991 for Europe)*. Detailed engine characteristics. (n.d.). Retrieved December 31, 2022, from https://www.automobile-catalog.com/curve/1991/236630/audi_80_1_9_tdi.html#gsc.tab=0.
4. Mačiulis, D., Rimkus, A., & Matijošius, J. (2022). Slėginio uždegimo variklio rodiklių analizė naudojant įvairių biodegalų mišinius ir keičiant išmetamųjų dujų recirkuliacijos intensyvumą. *Technologijos ir menas*, 13, 10–16.
5. Mollenhauer, K., & Tschöke, H. (Eds.). (2010). *Handbook of diesel engines: With 86 tables*. Springer.
6. Nour, M., Attia, A. M. A., & Nada, S. A. (2019). Combustion, performance and emission analysis of diesel engine fuelled by higher alcohols (butanol, octanol and heptanol)/diesel blends. *Energy Conversion and Management*, 185, 313–329. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.105>.
7. Puricelli, S., Cardellini, G., Casadei, S., Faedo, D., van den Oever, A. E. M., & Grosso, M. (2021). A review on biofuels for light-duty vehicles in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110398. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110398>.
8. Rakopoulos, C. D., & Giakoumis, E. G. (2009). *Diesel Engine Transient Operation: Principles of Operation and Simulation Analysis*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-375-4>.
9. Rayapureddy, S. M., Matijošius, J., Rimkus, A., Caban, J., & Słowik, T. (2022). Comparative Study of Combustion, Performance and Emission Characteristics of Hydrotreated Vegetable Oil–Biobutanol Fuel Blends and Diesel Fuel on a CI Engine. *Sustainability*, 14(12), 7324. <https://doi.org/10.3390/su14127324>.
10. Reif, K. (Ed.). (2014). *Diesel Engine Management: Systems and Components* (2014th edition). Springer.
11. Rimkus, A., Stravinskas, S., & Matijošius, J. (2020). Comparative Study on the Energetic and Ecologic Parameters of Dual Fuels (Diesel–NG and HVO–Biogas) and Conventional Diesel Fuel in a CI Engine. *Applied Sciences*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/app10010359>.
12. Rimkus, A., Vīpartas, T., Matijošius, J., Stravinskas, S., & Kriaučiūnas, D. (2021). Study of Indicators of CI Engine Running on Conventional Diesel and Chicken Fat Mixtures Changing EGR. *Applied Sciences*, 11(4), 1411. <https://doi.org/10.3390/app11041411>.
13. Shepel, O., Matijošius, J., Rimkus, A., Duda, K., & Mikulski, M. (2021). Research of Parameters of a Compression Ignition Engine Using Various Fuel Mixtures of Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) and Fatty Acid Esters (FAE). *Energies*, 14(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/en14113077>.
14. Transportas — Europos aplinkos agentūra. (n.d.). [Puslapis]. Retrieved December 29, 2021, from <https://www.eea.europa.eu/lt/themes/transport/intro>.
15. Tutak, W., Jamrozik, A., & Grab-Rogaliński, K. (2021). The Effect of RME-1-Butanol Blends on Combustion, Performance and Emission of a Direct Injection Diesel Engine. *Energies*, 14(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/en14102941>.
16. Vibe, I. I. (1970). *Brennverlauf und Kreisprozeß von Verbrennungsmotoren*. Verlag Technik, Berlin.

Padėka. Straipsnyje atlikti tyrimo rezultatai gauti naudojant AVL BOOST vidaus degimo variklių modeliavimo programą, įsigyta pasirašius bendradarbiavimo sutartį tarp AVL Advanced Simulation Technologies ir VGTU Transporto inžinerijos fakulteto.

NUMERICAL ANALYSIS OF THE COMBUSTION PROCESS OF A COMPRESSION IGNITION ENGINE USING DIFFERENT BIOFUEL BLENDS AND CHANGING EGR

Summary

The combustion phases of a compression ignition engine are reviewed, assessing their impact on the engine's energetic and ecological indicators. The main properties of the fuels used in the study (diesel, hydrotreated vegetable oils – HVO, HVO mixtures with biobutanol) were evaluated. Experimental studies were carried out using various biofuel mixtures

and changing the intensity of Exhaust Gas Recirculation – EGR. Based on the experimental results, a numerical analysis of the combustion process was performed using the „Burn“ subroutine of the „AVL BOOST“ program. Identified differences in combustion rates and probable causes provide a better understanding of combustion processes when the engine is run on different fuels and EGR is changed. This allows you to choose the most suitable fuel mixture and EGR to achieve the best ecological and energy performance of the engine.

Key words. Compression ignition engine, ignition delay period, premixed combustion phase, mixing – controlled combustion phase, biobutanol, exhaust gas recirculation.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Dovydas Mačiulis.

Mokslo laipsnis ir vardas: studentas, magistrantas.

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

Telefonas ir el. pašto adresas: +37068319202, dovydasmaciulis@stud.vilniustech.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Alfredas Rimkus.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.

Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Automobilių inžinerijos katedros docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Vidaus degimo varikliai, transporto ekologija, alternatyvioji energetika.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 61571161, alfredas.rimkus@vgtu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Dovydas Mačiulis.

Science degree and name: student, postgraduate.

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University, Transport Engineering faculty, Automobile Engineering department department master student.

Author's research interests: Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.

Telephone and e-mail address: +37068319202, dovydasmaciulis@stud.vilniustech.lt

Author name, surname: Alfredas Rimkus.

Science degree and name: associated professor.

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

Author's research interests: Internal combustion engines, transport ecology, alternative energy.

Telephone and e-mail address: +370 61571161, alfredas.rimkus@vgtu.lt

TEPALŲ IR DEGALŲ TRIBOLOGINIŲ TYRIMŲ APŽVALGA

Audrius Čereška^{1,2}

¹Vilniaus Gedimino technikos universitetas (VILNIUS TECH), ²Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

Anotacija

Visas mašinas darbo metu veikia įvairūs veiksniai. Trintis - tai viena iš žalingiausių veiksnių. Dėl trinties vyksta dilimas, pagrindinė dilimo priežastis blogas tepimas. Tepimo kokybė priklauso nuo naudojamų tepalų ir degalų kokybės. Tepalų paskirtis ne tik gerai tepti, bet ir aušinti mechanizmų elementus. Degalų paskirtis ne tik gerai degti, bet ir gerai tepti. Šiame darbe pateikta: tepalų ir degalų rūšys, savybės ir taikymo galimybės. Pateiktos tepalų ir degalų tribologinių savybių tyrimų mašinų konstrukcijos ir aprašyti veikimo principai bei jų taikymo galimybės. Darbo pabaigoje parengtos apibendrintos išvados.

Reikšminiai žodžiai: tepalas, degalai, dyzelinas, benzinas, trintis, tribologija, trinties koeficientas.

Įvadas

Visų mašinų ir mechanizmų darbo sąlygos labai sunkios ir kintančios. Jų mechanizmus veikia dideli slėgiai, greičiai, trintis, temperatūra, kartais agresyvi aplinka.

Trintis yra viena iš svarbiausių šiuolaikinių problemų, nes dėl trinties vyksta mašinų ir mechanizmų dilimas. Dėl dilimo mažėja vidaus degimo variklio galia, degraduoja konstrukcija, didėja kuro sąnaudos ir t.t. Trinties problemų sprendimas užtikrina žymų ekonominį efektą, kartais net ir labai daug sumažina išlaidas.

Tribologija – mokslas, tiriantis dviejų besiliečiančių ir santykinai judančių kūnų paviršių (triboelementų) savybes, ypač trintį, medžiagų susidėvėjimą ir tepimo poveikį. Jos užduotis – rasti tinkamas priemones, kurios maksimaliai mažina trintį ir nusidėvėjimą. Šios priemonės apima medžiagų parinkimą, paviršiaus apsaugą nuo susidėvėjimo ir tepimą (Tribologija, 2016).

Pagrindinė tepalo funkcija yra atskirti vienus kito atžvilgiu judančius paviršius nuo tarpusavio kontakto. Tačiau, paprastai tepalo plėvelė negali išlaikyti šių paviršių visiškai atskirtų vienas nuo kito. Tai ypač aktualu mechanizmo paleidimo metu, kadangi tada vyksta ribinis tepimas.

Kiekvienas pirkdamas automobilį tikisi, kad jis tarnaus kuo ilgiau ir nekels problemų. Tam užtikrinti yra svarbu naudoti tinkamus tepalus ir degalus, kurie gali prailginti variklio mazgų eksploatacijos laiką bei užtikrinti sklandų visos variklio sistemos veikimą.

Viena iš kelių degalų funkcijų variklio įpurškimo įrangos komponentų tepimas. Įpurškimo sistemos elementai tepami tik degalais, naudojamais variklio darbui (Gil ir kt., 2019). Degalai, tokie kaip biodegalai, aliejai ir pan., nekenksmingi aplinkai, tačiau nežinoma ar jie nekenkia automobilių mazgams bei visai degimo sistemai. Gerinant degalų savybes, siekiant ekologiškumo, galimas kitų savybių, tokių kaip tepimas, pablogėjimas. Taip pat, dėl atšiauraus žiemos klimato Lietuvoje, žiemos metu degalams reikalingi priedai tam, kad jie nesikristalizuotų nuo šalčio, o tai irgi gali lemti degalų tribologinių savybių blogėjimą. Kokybės reikalavimų neatitinkantys degalai dažnai sukelia didelių problemų vidaus degimo variklių mazgams, skatina greitesnę besitrinančių dalių dilimą ir nesklاندų variklio darbą. Dėl šios priežasties reikalingi tyrimai, kuriais būtų galima kontroliuoti tepalų ir degalų atitikimą keliamiems reikalavimams.

Iš įvairių tyrimų rezultatų aišku, kad ilgalaikės mašinos gali būti sukurtos tik sėkmingai išsprendus teorines ir praktines trinties, dilimo ir tepimo problemas t. y., tribologines problemas.

Vienas iš trinties nuostolių mažinimo ir mašinų darbo resursų didinimo būdų yra naudoti gerus tepimo savybes užtikrinančius tepalus ir degalus.

Šiame darbe apžvelgti tepalai ir degalai jų savybės nustatymo priemonės.

1. Tepimo esmė

Tepimas – tai tepalo naudojimas siekiant sumažinti trintį tarp paviršių, kurie liečiasi ir juda vienas kito atžvilgiu (trinties paviršiai). Yra įvairių judančių mašinos dalių: riedėjimo, slydimo guolių, kreiptuvų, krumpliaračių, cilindų, strypų, sankabų, jėgos perdavimo grandinių, alkūninių velenų, vožtuvų keltuvų ir plieninių trosų ir t.t. Be trinties ir jos žalingų pasekmių mažinimo, tepalas pašalina šilumą ir daleles, atsirandančias dėl medžiagų susidėvėjimo, taip pat apsaugo nuo pašalinių dalelių patekimo tarp trinties paviršių. Tepimas, kai vyksta skysta trintis, yra geriausias, nes tada tarp trinties paviršių, tekant tepalui, susidaro ištisinė plėvelė (hidrodinaminis tepimas). Norint užtikrinti hidrodinaminį tepimą, esant didesniam slydimo greičiui, reikia mažesnio klampumo tepalo, tačiau padidėjus apkrovai tepalas turi būti klampesnis. Mašinų dalys, kuriose neįmanoma pasiekti hidrodinaminio tepimo, tepamos labai klampiais tepalais (Tribologija, 2016).

2. Tepalai

Tepalai – tai specifinių fizinių ir cheminių savybių turinčios cheminės medžiagos, naudojamos tepimui ir tai viena svarbiausių priemonių, padedančių sklandžiai veikti mechanizmams. Jie veikia mažindami trintį tarp slydimo paviršių, kurie santykinai juda esant apkrovai. Tepalai ne tik padeda mažinti mašinų dalių nusidėvėjimą bet ir aušina, sandarina, nuplauna dilimo produktus, apsaugo nuo korozijos ir nuosėdų. Gyvūniniai ir augaliniai aliejai kaip pirmieji tepalai buvo naudojami maždaug prieš šimtą metų, kol naftos pramonė į rinką pristatė tepalus, gautus iš sunkiųjų naftos frakcijų. Šiandien supratimas apie būtinybę saugoti aplinką ir sveikatą turi įtakos ir visų tipų tepalų gamybai, kad į juos būtų įtrauktos sveikatai ir aplinkai nekenksmingos sudedamosios dalys (Tribologija, 2016).

Tepalai parenkami taip, kad atitiktų besitrinančių detalių darbo sąlygas. Kadangi tos sąlygos labai įvairios, gaminamų tepalų asortimentas didelis.

Pagal agregatinę būseną tepalai būna: skysti, pusiau kieti ir kietieji (Jučas, 1992: 256).

Tepalai pagal žaliavos rūšį skirstomi į mineralinius, organinius, pusiau sintetinius ir sintetinius (Jučas, 1992: 256).

Priklausomai nuo aplinkos temperatūros tepalai skirstomi į sezoninius ir visa sezoninius. Atskirą grupę sudaro šiauriniuose rajonuose naudojami tepalai.

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

Taip pat tepalai klasifikuojami pagal klampumą ir eksploatacines savybes. Kiekvienoje šalyje gaminami tepalai skirtingai skirstomi pagal klampumą ir eksploatacines savybes.

Pagal bazinių komponentų rūšį varikliniai tepalai būna: mineraliniai, pusiau sintetiniai ir sintetiniai (Baltėnas ir kt., 1998: 414).

Mineraliniai tepalai gaminami iš naftos. Tai dažniausiai naudojami tepalai. Sintetiniai tepalai gaunami sintezės būdu. Jie pasižymi geromis eksploatacinėmis savybėmis ir ateityje visai pakeisti naftinius tepalus.

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

Pagal paskirtį priedai būna: antioksidaciniai, plaunantieji, disperguojantieji, dilimo, skiriamieji, antifrikciniai, klampuminiai, depresiniai, antikoroziniai, apsauginiai, putiniai.

Į automobilių variklių tepalus įmaišomi priedai skirstomi į įvažinėjimo, eksploatacinius ir atstatomuosius.

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

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

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

Didinant mašinų ir mechanizmų ilgaamžiškumą bei ilginant laikotarpį tarp tepalų keitimo, svarbų vaidmenį vaidina tepimo proceso kokybė (Mickėvičius ir kt., 2019: 977-981).

Tačiau dažnai yra nesutariama dėl sintetinių tepalų tribologinių savybių ir ar tikslinga dėti į juos priedų. Dauguma tyrinėtojų sprendžia efektyvių tepalų kūrimo problemas ir mažai dėmesio skiria priedų naudojimui.

Dideli trinties nuostoliai dėl tepalo temperatūros pokyčių. Kadangi kylant temperatūrai tepalo klampa mažėja jis išspaudžiamas iš darbinio paviršiaus. Tuomet priartėjama prie kritinės tepalo sluoksnio ribos, kuri reikalinga normaliam trinties poros darbui. Be to keičiantis tepalo temperatūrai keičiasi jo vidinė struktūra. Kuo mažiau ir tolygiau kyla tepalo temperatūra tuo tepalas ilgaamžiškesnis ir užtikrinamas geresnis tepimas (Vekteris ir kt., 2013: 56-60).

2.1. Tepalų savybės

Šiandien yra įvairiausių rūšių tepalų, kiekviena jų yra pritaikyta tam tikriems agregatams, tačiau jų charakteristikos skiriasi. Alyvų grupės gali būti apibūdinamos įvertinus tam tikrus jų parametrus: tankį, klampą, klampumo indeksą, pliūpsnio, užsisėgimo, stingimo temperatūras, šarminį rezervą, žemutinę pumpavimo temperatūrą.

Tankis – tai medžiagų masės kiekis tūrio vienetu. Alyvos tankio matavimo vienetai žymimi kg/m^3 . Esant + 15 °C arba + 20 °C temperatūrai, tepalų tankis svyruoja nuo 700 iki 900 kg/m^3 . Šis rodiklis priklauso nuo bazinės tepalo kokybės, tirštumo ir priedų (Baltėnas ir kt., 1998: 414).

Klampumas – tai tepalo vidinės trinties rodiklis. Pirmiausia, tepalo klampumas yra tepimo charakteristika, nuo jos priklauso tepimo kokybė, tepalo pasklidimas tarp trinties paviršių, jų dilimas. Klampumas yra pati svarbiausia tepalo charakteristika. Jos matavimo vienetai – cSt (centistoksas) = mm^2/c (SI sistema) arba cP (centipuzas) = mPas (CGS sistema). Šalia bet kokio klampumo vieneto privalo būti nurodyta

jos temperatūra. Didėjant temperatūrai, visų rūšių tepalų klampumas labai mažėja. Įprastos variklio tepalo SAE 10W klampumas esant -20 °C temperatūrai gali siekti 2000 cP, tačiau temperatūrai pakilus iki 100 °C, tepalo klampumas yra 5,2 cSt (Baltėnas ir kt., 1998: 414).

Klampumo indeksas – tai rodiklis, skirtas tepalos klampos priklausomybės nuo temperatūros nustatymui. Didėjant klampos indeksui tepalas tampa mažiau priklausomas nuo temperatūros pokyčio. Sezoninės variklių tepalo klampumo indeksas yra apie 95 - 100, visa sezoninės – daugiau kaip 200 (Baltėnas ir kt., 1998: 414).

Pliūpsnio temperatūra – tai žemiausia temperatūra, kurioje kaitinamo naftos produkto garai su oru sudaro tokį mišinį, kad šis, priartinus prie jo atvirą ugnį, plyksteli ir vėl užgęsta (Baltėnas ir kt., 1998: 414).

Užsidegimo temperatūrai – tai temperatūra, kuriai esant dujos, garuojančios iš pašildyto atvirame tiglyje skysčio, priartinus atvirą liepsną dega ne trumpiau 5 sekundžių. Užsidegimo temperatūra yra 10 – 50°C didesnė už pliūpsnio temperatūrą (Jučas, 1992: 256).

Temperatūrai krentant, tepalas stingsta. Esant tam tikrai temperatūrai, tepalas, veikiamas savo pačio svorio, nustoja tekėti. Tokia temperatūra vadinama stingimo temperatūra. Stingimo temperatūra iš esmės priklauso nuo tepalo klampumo ir jos cheminės struktūros. Parafininiai tepalai stingsta dėl jų sudėtyje esančio vaško, iš kurio susidaro kristalai. Kuo labiau stingsta tepalas, tuo didesni darosi kristalai. Galiausiai jie susiformuoja tepalo tinkle, kuris trukdo tepalui tekėti (Jučas, 1992: 256).

Varikliui dirbant, į tepalą patenka rūgščių junginių. Šie junginiai susidaro degant kurui. Norint išvengti metalinių detalių korozijos, juos būtina neutralizuoti. Šiuo tikslu į tepalą dedama priedų, sudarančių šarminį rezervą. Šarminio rezervu dydis išreiškiamas bendru šarminiu skaičiumi (TBN) (Jučas, 1992: 256).

Žemutinė temperatūra – tai žemiausia temperatūra, kuriai esant tepalas gali būti perpumpuojamas (Baltėnas ir kt., 1998: 414).

3. Degalai ir jų savybės

Degalai – skystos arba dujinės būsenos kuro rūšis, naudojama vidaus degimo ir kitokiuose varikliuose, kurio energija panaudojama judėjimui sukurti. Laivų variklių kuras vadinamas kuru, bet ne degalais. Išimtis yra nedideli laivai, naudojantys karbiuratorinius ar dyzelinius variklius, tokių variklių kuras lietuviškai vadinamas degalais. Pvz., kai kurie antrojo pasaulinio karo laikų torpedų kateriai naudojo aviacinius variklius ir aviacinį benzina.

Viena iš variklio degalų funkcijų yra variklio įpurškimo įrangos komponentų tepimas. Įpurškimo sistemos elementai tepami tik degalais, naudojamais variklio darbui (Gil ir kt., 2019). Degalai, tokie kaip biodegalai, aliejai ir pan., yra nekenksmingi aplinkai, tačiau neaišku ar jie nekenkia automobilių mazgams bei visai degimo sistemai. Vis dėlto, gerinant degalų savybes, siekiant ekologiško, galimas kitų savybių, tokių kaip tepimas, blogėjimas. Taip pat, dėl atšiaurus žiemos klimato Lietuvoje, žiemos metu degalams reikalingi priedai tam, kad jie nesikristalizuotų nuo šalčio, o tai irgi gali lemti degalų tribologinių savybių blogėjimą.

Pastaruojų metu nustatomi griežtesni reikalavimai degalų gamybos srityje. Siekiant mažinti SO₂ (sieros dioksido) išmetamą emisiją į aplinką iš degalų yra šalinama siera (Noman ir kt., 2019). Norint pašalinti sierą iš dyzelinių degalų, jie hidrinami. Nustatyta, kad hidrinimo procesas be sieros pašalina ir poliarizuotus degalų komponentus, kurie yra būtini degalų tepimui užtikrinti. Dėl nepakankamo degalų tepimo, pradėjus naudoti dyzelinius degalus, kuriuose nėra sieros, iškilo greito degalų tiekimo sistemos nusidėvėjimo problema. Tam, kad būtų pratęstas sistemos eksploatacijos laikas, į degalus pradėta dėti tepimą gerinančius priedus.

Degalų rūšys: benzinas, dyzelinas.

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

Dar labai iš lėto populiarėjančios, tačiau didelį susidomėjimą turinčios, degalų rūšys yra: biodegalai (benzino analogas): biodyzelinas, bioetanolis, bio tepalas ir augalinis aliejus.

Specifinių degalų rūšys: reaktyviniai degalai, aviacinis benzinas, laivų kuras.

3.1. Benzinas

Benzinas - bespalvis kuras, pagrinde gaminamas iš naftos (distiliacijos būdu), kartais benzinas dar gaminamas ir iš kieto kuro tokio kaip: durpės, mediena, akmens anglis, degieji skalūnai. Taip pat rečiau, bet pasitaiko, kad benzinas gaminamas iš dujų. Benzinas labai garuoja ir žaibiškai užsiliepsnoja. Į markes benzinas skirstomas pagal oktanių skaičių. Oktaniniais skaičiais yra apibrėžiamos benzino savybės sudegti variklyje,

kitaip sakant, šis skaičius nusako benzino antideetonacines savybes. Benzino sudėtyje yra benzenas ir sierra. Sieros junginiai teršia aplinką, todėl jų leistinas kiekis degaluose yra mažinamas.

Reaktyviniai degalai – naftos distiliatas, aviacinių turbinų degalai.

Benzinas skirstomas į automobilinį, aviacinį ir dujų benzina.

Automobilinis benzinas – benzinas su priedais (pvz., antideetonaciniais) arba be jų, skirtas automobilių, stacionariems ir kitiems kibirkštinio uždegimo varikliams (išskyrus aviacinius).

Aviacinis benzinas – benzinas aviaciniams kibirkštinio uždegimo (benzininiams) varikliams. Distiliuoti žemoje temperatūroje (nuo 30 °C iki 180 °C).

Dujų benzinas – išskiriamas iš gamtinių dujų atrenkant reikiamos distiliacijos temperatūros komponentus. Dujų kokybė apibrėžiama atsižvelgiant į oktano skaičių. Priimta oktano norma yra 92-93 punktai. Nuo sudėtyje esančio propano priklauso degalų kokybė, kuo didesnė propano procentinė dalis dujose tuo dujų sąnaudos yra mažesnės, žiemą variklis pasileidžia lengviau, o variklis tarnauja ilgiau.

3.2. Dyzelinas

Dyzelinas - tai skirtingų angliavandenilių mišinys, kuris distiliuojant žalią naftą yra gaminamas taip, kad būtų tinkamas naudoti kaip kuras. Dyzelinas yra naudojamas tik dyzeliniuose varikliuose. Šie degalai skirstomi į tris rūšis: žieminių, pereinamąjį ir vasarinį. Kai kurios dyzelinų rūšys yra visiškai ekologiškos ir jų naudojimas vietoj benzino mažina sieros emisiją išmetamosiose dujose. Nors įprastai dyzelinas yra išgaunamas iš naftos, tačiau šiais laikais dyzelinu vadinamas ir iš kitokių žaliavų gaminamas/išgaunamas kuras. Dyzelinas gaminamas iš aliejų, gamtinių dujų (bet kokių dujinių angliavandenių) ar bet kokios augalinės žaliavos, tiesiog biomasė arba dujos verčiamos į skystį.

Biodegalai – degalai, kuriuos visus ar didelę dalį sudaro iš organizmų (paprastai augalų) išgautos medžiagos (aliejus, etanolis ir kt.). **Biodyzelinas** tai dyzelinis kuras naudojamas dyzeliniuose varikliuose tik skirtingai nei įprastas dyzelinas, biodyzelinas išgaunamas ne iš žalios naftos (ją distiliuojant), o iš aliejų. Norint gauti biodyzeliną aliejus reikia chemiškai modifikuoti.

Biodegalai priskiriami atsinaujinančios energijos šaltinių grupei. Kaip ir biodegalai atsinaujina ir tokie energijos šaltiniai kaip biokuras, hidroenergija, bangų energija, potvynių energija, geoterminė energija, vėjo bei saulės energija. Jei dyzelinas gali būti naudojamas tik dyzeliniuose varikliuose, tai biodegalai čia turi pranašumą, nes gali būti naudojami dyzeliniams, vidaus degimo, Stirlingo ir kituose varikliuose. Biodegalai skirstomi į pirmos, antros, trečios ir ketvirtos kartos biodegalus. **Pirmos kartos biodegalams** gaminti naudojamos maistinių augalų žaliavos, **antros kartos biodegalams** gaminti naudojama biomasė turinti lignoceliuliozės. **Trečios kartos biodegalų** gamintojai tobulina žaliavas, mėgina išvesti aliejingesnes augalų veisles. **Ketvirtos kartos biodegalai** gaminami iš genetiškai modifikuotų augalų žaliavų (Sekmen ir kt., 2010: 151-157).

Bioetanolis - laikomas viena taupiausių ir švaresnių (aplinkai draugiškiausių) degalų rūšių. Didžiąją dalį bioetanolio sudėties sudaro 85 % pačio gryno bioetanolio, o likusius 15 % sudaro benzinas. Kodėl ši augalinės kilmės degalų rūšis, kurios gamybai naudojamos tokios augalinės kilmės žaliavos kaip rapsai, kviečiai, kvietrugiai ir rugiai. Jau iš pavadinimo galima pasakyti, kad ši degalų rūšis tai – paprasčiausias spiritas, etilo alkoholis. Bioetanolio kaina yra beveik trečdaliu mažesnė nei kitų degalų rūšių. Bioetanoliumi gaminti naudojamos tokios žaliavos kaip cukrus, krakmolai, aliejus, o kartais bioetanolis gaminamas ir iš komunalinių atliekų.

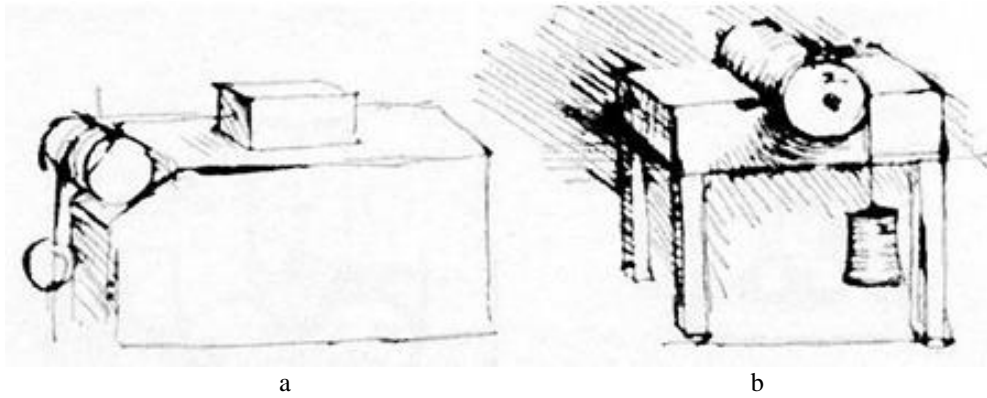
Augalinis aliejus šiuo metu naudojamas tik varikliuose, kurie yra perdirbti.

4. Tribologiniai tyrimai ir įranga

Tribologija – tarpdisciplininė, nes remiasi pagrindinėmis mechanikos inžinerijos disciplinomis (mechanika, skysčių mechanika, medžiagų mokslu), metalurgija, chemija ir fizika. Pagrindinės jos taikymo sritys – mechaninės konstrukcijos (krumpliaračiai, guoliai, slankiosios dalys), medžiagos (keramika, polimerai, metalai), medžiagų apdirbimas (aušinimo skysčiai ir tepimas, įrankių medžiagos, lengvai apdirbtos medžiagos) ir tepimas (tepalai, priedai) (Tribologija, 2016).

4.1. Tribologiniai tyrimai

Pirmasis XV a. tribologinius tyrimus atliko Leonardas da Vinčis. Leonardas da Vinčis – italų renesanso tapytojas, architektas, poetas, skulptorius, muzikantas, meno teoretikas, inžinierius, išradėjas, filosofas. Leonardo da Vinčis suprato, kad dinaminiuose mechanizmuose tarp elementų vyksta trintis, o kur trintis - ten ir dilimas. Šioms problemoms tirti jis suprojektavo pirmuosius tribologinių tyrimų standus. Leonardo da Vinčis tribologinių tyrimų standų piešiniai pateikti 1 pav.



1 pav. Leonardo da Vinčio tribologinių tyrimų stendo piešinys (Wikipedia).
a - trintis tarp tiesių paviršių, b - trintis tarp išgaubtų paviršių

Naftos pagrindu gaminamų tepalų ir degalų verslas prasidėjo maždaug 19 amžiaus viduryje. Nuo to laiko tepalai ir degalai bei jiems išgauti naudojami procesai patobulėjo. Šiais laikais tepalais ir degalais prekiaujančių įmonių yra labai daug, produkcijos pasirinkimas taip pat yra labai didelis. Tepalų ir degalų pirkėjas dažniausiai renkasi pigiausią ar gerai žinomo gamintojo produkciją, tačiau nėra tikras ar tepalai ir degalai atitinka standartus, kuriuos nurodo gamintojai. Norint patvirtinti skelbiamas savybes turi būti atliekami tribologiniai tyrimai. Vieni mokslininkai tiria tepalų savybes be priedų (Matijošius, 2017: 81-89; Peric ir kt., 2014: 646-664), kiti tiria savybes tepalų pagerintų įvairiais priedais (Alqahtani ir kt., 2022: 137; Čereška, 2017: 27-29; Sun ir kt., 2013: 2183-2186; Vekteris, ir kt., 2000: 297-301; Vekteris ir kt., 2002: 67-72; Wang ir kt., 2011: 284-286). Atliekami tyrimai ir vertinant įvairias darbo sąlygas (Wahlström, 2019: 1-4).

Nors ir nemažai mokslininkų dirba tribologinių tyrimų srityje, tačiau atliekama nepakankamai tyrimų, kad būtų galima pagrįstai vertinti rinkoje naudojamų tepalų ar degalų kokybę.

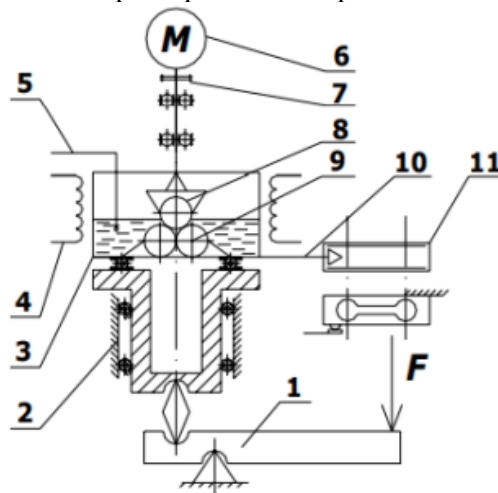
Įvairiuose mechanizmuose naudojamų tepalų ir degalų kokybės tyrimai gali užtikrinti, kad eksploatuojami mechanizmai tinkamai tarnaus ilgą laiką.

4.2. Tribologinių tyrimų įranga

Tribologiniams tyrimams atlikti reikalingi tribologinių tyrimų stendai. Yra įvairių konstrukcijų tribologinių tyrimų stendų.

Keturių rutuliukų tribologinių tyrimų mašina yra dažnai naudojama priemonė tepalų bei priedų tribologinėms savybėms tirti. Pirmasis keturių rutuliukų tyrimo stendas sukurtas įmonėje „Shell“ 1940 m.

Keturių rutuliukų tribologinių tyrimų metodu imituojama 16 apkrovų, kurios tenka mašinos mazgams. Pagal gautus rezultatus galima spręsti, ar tiriamas tepalas/degalai mažina trintį. Keturių rutuliukų tribologinis tyrimas vyksta esant dideliame spaudimui (trinčiai tarp paviršių), todėl šiuo metodu tiriant tepalus/degalus galima nustatyti tepalo/degalų savybę mažinti trintį veikiant didelėmis apkrovomis (Suresh ir kt., 2017: 11218-11228). Keturių rutuliukų tyrimo mašinos principinė schema pavaizduota 2 pav.

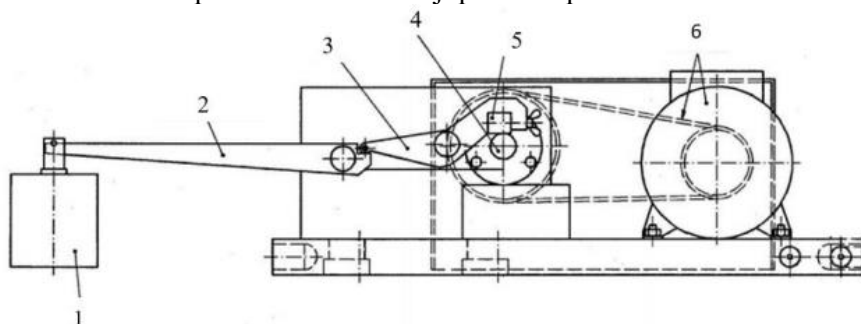


2. pav. Keturių rutuliukų tyrimo mašinos principinė schema: 1 – apkrovos perkėlimo svirtis; 2 – vertikalus centrinis guolis; 3 – tepalo mėginio talpa; 4 – tepalo kaitinimo elementas; 5 – termopora; 6 – elektros variklis; 7 – sankaba; 8 – viršutinis sukamasis rutuliukas; 9 – įtvirtini, nejudantys rutuliukai; 10 – sukimo momento perdavimo svirtis; 11 – jėgos matuoklis (Ren ir kt., 1994: 59-64).

Naudojant šią tyrimų mašiną galima nustatyti, kaip kinta tepalo ar degalų savybės eksploatacijos metu. Pradžioje šis tyrimų standas turėjo tik keletą standartizuotų tyrimų metodų. Per daugelį metų specialūs standartai buvo sukurti daugeliui pramonės šakų, kurios rėmėsi šiais standartais. Vokietijos standartizacijos organizacija DIN apsibrėžė standartu, kurį suskirstė į penkias dalis, visais tyrimo atvejais buvo naudojamas tas pats tyrimo greitis. Jungtinių Amerikos valstijų standartizacijos organizacija ASTM apsibrėžė keturiais bandymo standartais. Tyrimo metuose buvo naudojamas skirtingas ketvirtojo rutuliuko sukimosi greitis. Tarptautinė standartizacijos organizacija ISO apsibrėžė vienu tyrimo standartu. (Rigo ir kt., 2018: 35-46).

Timkeno tepalų ir degalų tyrimo standas suprojektuotas ir pagamintas įmonėje „Timken. Tuo metu įrenginys buvo naudojamas tepimo medžiagų apkrovos įvertinimui. Lyginant su kitais mechanizmais, kurie buvo naudojami tepalų/degalų tribologiniams tyrimams atlikti, šis išsiskyrė greit ir tiksliai gaunamais rezultatais. Šis tepalų tyrimo metodas dažnai naudojamas tepalų ir degalų gamybos pramonėje, kur reikalingas greitas ir tikslus tepalo/degalų kokybės įvertinimas.

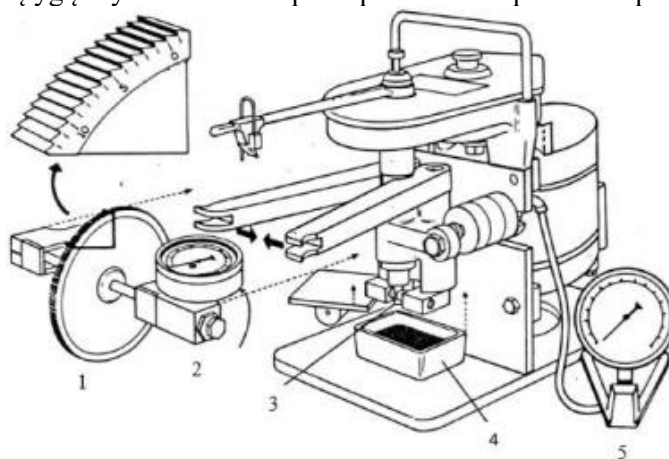
Principinė Timkeno mašinos schema pavaizduota 3 pav. Tyrimo mašiną sudaro: apkrova 1, kuri per svirtis 2 ir 3, perduodama trinties porai 4 ir 5. Varomoji pavara 6 perduoda sukimo momentą žiedui 4.



3 pav. Principinė Timkeno tribologinių tyrimų mašinos schema: 1 – apkrova 2 – pirmoji apkrovos svirtis; 3 – antroji apkrovos svirtis; 4, 5 – trinties pora; 6 – pavara (Timken).

Timken mašinoje tribologiniams tyrimams naudojamas rutulinis guolis. Kad guolis neriedėtų užvirinamas. Tada guolio žiedas sukasi kartu su velenu. Trinties guolis veikiamas cilindro formos bandinio pagaminto iš chromo lydinio plieno AISI E52100. Naudojamas bandinys kaladėlė.

Falex bandymo mašina gali būti naudojama įvairių tepalų bei degalų įvertinimui, kai bandiniai veikiami nuo 100 N iki 400 N apkrova. Bandymo mašina atitinka ASTM D, ASTM D bandymo standartus. Įrenginį sudaro plieninis velenėlis ir du V formos išpjovą turintys plieniniai spaustuvėliai. Elektros variklis suka velenėlį kuris prispaudžiamas plieniniais V formos išpjovą turinčiais spaustuvėliais. Taip prispaustas velenėlis sudaro keturių linijų kontakto zoną. Trinties mechanizmas panardinamas į tiriamo skysčio vonelę, temperatūra joje keičiama priklausomai nuo tyrimo sąlygų. Tyrimo mašinos principinė schema pateikta 4 pav.



4. pav. Falex tepalo tyrimo mašina: 1 – apkrovos skriemulys; 2 – apkrovos matuoklis; 3 – trinties pora; 4 – tepalo vonelė; 5 – sukimo momento matuoklis; 6 – V formos išpjovos ritinėliai; 7 – plieninio ritinėlio kaištis; 8 – plieninis velenėlis (Falex Pin & Vee Block Machine Overview).

Apkrova veikianti plieninį velenėlį gali būti pastovi, arba nuosekliai didinama vienodais intervalais. Tyrimo metu skaitmenine įranga yra matuojama trinties jėga, nusidėvėjimas. Iš gautų rezultatų galima nustatyti tepalo antifrikcines bei trinties slopinimo savybes (Falex Pin & Vee Block Machine Overview).

Almen - Wieland tepalų/degalų tyrimo metodas ir jo metu naudojama įranga yra labai panaši į Falex

tyrimą. Šiuose metoduose skiriasi tik naudojami velenėlio spaustukai. Jie yra pusinio cilindro formos, o medžiaga, naudojama jų gamybai yra tokia pat, kaip ir velenėlio. Trinties poroje dėl velenėlio ir prispaudimo įrangos tarpusavio padėties atsiranda plokštuminis dilimas. Apkrova tyrimo metu gali būti nuo 100 N iki 20 kN.

Išvados

Šiuolaikinė tepalų ir degalų pramonė išvystyta labai plačiai, tačiau ne visa gaminama produkcija atitinka reikalavimus. Siekiant patvirtinti gamintojo pateiktą informaciją apie produktą arba kuriant naują tepalų ar degalų rūšį, atliekami tribologiniai tyrimai. Tribologiniai tyrimai atliekami taikant įvairių konstrukcijų tribologines mašinas. Tribologinės mašinos skiriasi pagal trinties poros elementų formą ir keičiamas eksperimento sąlygas. Pagal bandinių formą gali būti tiesūs arba gaubti paviršiai, o pagal sąlygas kintanti apkrova ir slydimo ar riedėjimo trintis. Kuo daugiau tribologinių tyrimų bus atlikta tuo labiau bus tobulinami tepalai ir degalai.

Literatūra

1. Alqahtani, B.; Hoziefa, W.; Moneam, H. M. A.; Hamoud, M.; Salunkhe, S.; Elshalakany, A. B.; Mottaleb, M. A.; Davim, L. P. Tribological Performance and Rheological Properties of Engine Oil with Graphene Nano-Additives. *Lubricants*, 2022, 10, 137.
2. Baltėnas, R.; Sologubas, R.; Sologubas, L. Automobilių degalai ir tepalai. 1998, 414 p.
3. Čereška, A. Priedų įtakos tepalų darbinėms charakteristikoms tyrimai. *Technologijos ir menas: tyrimai ir aktualijos*, 2017, 8, 27-29.
4. Falex Pin & Vee Block Machine Overview. [2022-12-12]. Prieiga per internetą <http://www.falex.com/wp-content/uploads/2016/12/FalexPinVeeBlock.pdf>.
5. Gil, L.; Pieniak, D.; Kozłowski, E.; Selech, J. Impact of Selected Biofuels and Diesel as Lubricants on the Statistical Distribution and Course of Sliding Friction Coefficients for the Kinematic Pair 100cr6-100cr6. *Tribologia*, 2019, 288 (6), 17-2.
6. Jučas, P. Degalai ir tepalai. Vilnius. Mokslas, 1992. 256 p.
7. Matijošius, J.; Čereška, A. Chimotologiniai transporto priemonių variklių alyvų tyrimai. *Inžinerinės ir edukacinės technologijos*, 2017, 2, 81-89.
8. Mickevičius, T.; Slavinskas, S.; Labeckas, G. Impact of Aviation Fuel on Durability of Diesel Common Rail Injection System. Conference: 18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, 2019, 22, 977-981.
9. Noman, M.; Ahmad, H.; Razzaq, A.; Ahsan, M. M.; Waqas Kahlid, H. W.; Hussain, M.; Asif, R. M.; Abubakar, M. Experimental Investigation of Diesel Engine Emissions Fueled with Binary and Ternary Blends of Diesel, Biodiesel, and Ethanol. *International Journal of Renewable Energy Research*, 2019, 9 (4), 2064-2072.
10. Peric, S.; Nedic, B.; Trifkovic, D.; Antunovic, R. Experimental Research of the Physicochemical and Tribological Properties of Engine oils. *Journal of the Balkantribological Association*, 2014, 20 (4), 646-664.
11. Ren, T.; Xue, Q.; Wang, H. A Study of S-(1H-benzotriazol-1-yl) Methyl N, N-Dialkyldithiocarbamates as Novel Multifunctional Oil Additives. *Wear*, 1994, 172 (1), 59-64.
12. Rigo, J.; Kovačócy, P. Problems with Tribological Testings of Marketable Oils Using Laboratory Model Test Rigs. *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology*, 2018, 26 (42), 35-46.
13. Sekmen, P.; Önem, E. An Improvement of Diesel Fuel with Biodiesel Addition. *Technology*, 2010, 13 (3), 151-157.
14. Sun, Jr.; Li, Cs.; Tang, H.; Hao, Md. Preparation and Tribological Properties Research of NbSe₂ Nanowires as Additive in Lubricating Oil. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2013, 42 (10), 2183-2186.
15. Suresh, R.; Prasanna Kumar M.; Basavarajappa, S.; Kiran, T. S.; Yeole, M.; Katare N. Numerical Simulation & Experimental Study of Wear Depth and Contact Pressure Distribution of Aluminum MMC Pin on Disc Tribometr. *Materials Today: Proceedings*, 2017, 4 (10), 11218-11228.
16. Timken. [2022-12-05]. Prieiga per internetą: <https://www.timken.com/timken-world/tribology-the-science-behind-everything-we-do/>.
17. Tribologija. Hrvatska enciklopedija. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, hr, 2016.
18. Wahlström, J. A pin-on-disc Tribometer Study of Friction at Low Contact Pressures and Sliding Speeds For a Disc Brake Material Combination. *Results in Engineering*, 2019, 4, 1-4.
19. Vekteris, V.; Mokšin, V. Cholesterinių skystųjų kristalų įtaka mineralinės variklinės alyvos tribologinėms charakteristikoms. *Transportas*. 2000, 6, 297-301.
20. Vekteris, V.; Mokshin, V. Use of the Liquid Crystals to Improve Tribological Properties of Mineral Lubricants. Part I: Friction Coefficient, *Mechanika*, 2002, 6 (38), 67-72.
21. Wang, P.; Lv, J.; Wang, L.; Ma, Q.; Zhu, X. Research on Tribological Properties of Serpentine Particles as Lubricating Oil Additives. *Advanced materials research*. 2011, 284-286, 1001-1005.
22. Wikipedia. [2022-10-12]. Prieiga per internetą: https://lt.wikipedia.org/wiki/Tribologija#/media/Vaidas:Tribometre_Vinci_1.jpg.

REVIEW OF TRIBOLOGICAL RESEARCHES OF OIL AND FUEL

Summary

All machines are affected by various factors during operation. Friction is one of the most damaging factors. Friction causes wear. The main cause of wear is poor oil. Oil quality depends on the quality of oil and fuel used. The purpose of oil is not only to lubricate well, but also to cool mechanism elements. The purpose of fuel is not only to burn well, but also to lubricate well. This paper presents: types of oils and fuels, properties and application possibilities. Designs of machines for testing the tribological properties of oils and fuels are presented and their working principles are described. At the end of the work, summarized conclusions are drawn up.

Key words: oil, fuel, diesel, gasoline, friction, tribology, coefficient of friction.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Audrius, Čereška

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, profesorius

Darbo vietą ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto (VILNIUS TECH), 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@vilniustech.lt

A COVER LETTER OF AUTHOR

Author name, surname: Audrius, Čereška

Science degree and name: doctor, professor

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University (VILNIUS TECH), Faculty of Mechanics, 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@vilniustech.lt

E – DEGALAI: PAGRINDINIAI ASPEKTAI

Rūta Tumėnienė

Vilnius tech

Anotacija

Straipsnyje apžvelgiami pagrindiniai e – degalų aspektai per tesinio reguliavimo prizmę, analizuojami moksliniai šaltiniai ir juose išskiriamos e – degalų rūšys, palyginamos savybės pagal šiltnamio efektą sukeliančių dujų išskyrimą į atmosferą, energijos poreikio analizė, metinių sąnaudų detalizavimas ir priklausymas nuo atsinaujinančių elektros energijos kainų. Mokslinės literatūros analizės metu gauti duomenys leidžia daryti išvadą, kad trūksta politinės valios paspartinti e – degalų realizavimą ir sukurti jų patrauklumą rinkoje. Taip pat, dėl technologinių resursų deficito nėra sugeneruojamas pakankamas kiekis atsinaujinančios elektros energijos, kuris užtikrintų ir įtakotų e – degalų gamybą bei kaštų sumažėjimą.

Reikšminiai žodžiai: E- degalai, reglamentavimas, sąnaudos, šiltnamio efektas, tarša.

Įvadas

Kasmet pasaulyje augant pramonės apimtims ir vartojimui pasaulio valstybės atkreipia dėmesį į viso to sukeltą taršą, kuri turi didelę įtaką šiltnamio efekto formavimuisi. Vienu pagrindinių uždavinių tapo CO₂ išskyrimo į aplinką pažabojimas ir mažinimas. Todėl naujausiomis technologijomis grįstas e – degalų gamybos potencialas tapo itin aktualiu.

E – degalų perspektyvos įžvelgiamos kaip visiško iškastinio kuro atsisakymo galimybė. Šių degalų gamybai naudojamas CO₂ surenkamas kaip šalutinis produktas iš kitų gamybinių procesų arba absorbuojamas iš oro (Ballal, 2023: 2), ko pasekoje mažinamas CO₂ kiekis atmosferoje ir kontroliuojamas šiltnamio efektas. Taip pat, aktualus technologinis pranašumas lyginant su elektra varomomis transporto priemonėmis. Nereikia technologinių variklių pakeitimų ar baterijų, nes e – degalai pritaikomi dabartiniams naudojamiems varikliams. Dar vienas e – degalų privalumas, kad juos galima taikyti kaip ekologišką kurą vykdant ilgo nuotolio transportavimo paslaugas, ką būtų sudėtinga, o dažnu atveju ir neįmanoma daryti pasitelkiant, tarkim, tik elektros energiją (Ueckerdt, 2021: 384).

Laboratorijose kuriami e – degalai gali būti naudojami tiek smulkiąjam, tiek ir stambiajam, komerciniam transportui. Patogu naudoti ten, kur susiduriama su elektrifikavimo sunkumais ir nėra galimybių plačiai naudoti elektros energijos transporto ar pramonės sektoriuose (Papanikolaou, 2022, 1194). Šie degalai lengvai pritaikomi ir panaudojami chemijos pramonėje, šiluminėse jėgainėse sugeneruojant ir aprūpinant pastatus šiluma, žaliosios naftos perdirbimo įmonėse (Viscardi, 2021: 113).

Straipsnyje apžvelgiamas teisinis e – degalų reglamentavimas, gilinamasi kokios yra galimos e – degalų rūšys ir kokiomis savybėmis jos pasižymi, atkreipiant dėmesį į aplinką išskiriamo CO₂ kiekį, galimus kainos svyravimus ir energijos suvartojimo rodiklius.

Teisinis reglamentavimas

Paryžiuje 2015 metais vykusioje Jungtinių Tautų bendrojoje klimato kaitos konferencijos šalių 21 – oje konferencijoje priimta teisiškai privaloma tarptautinė sutartis dėl klimato kaitos. Numatytas siekis iki 2050 metų sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių išmetamųjų dujų kiekį bent 50%. Daugiausia žadantis būdas pasiekti išsikeltus tikslus yra įžvelgimas kuriant netaršius degalus iš atsinaujinančių energijos šaltinių (Lindstad, 2021: 1).

Iki 2018 metų, kol nepasirodė Europos Parlamento ir Tarybos antroji direktyva dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją, nebuvo identifikuojami degalai, kurių gamyboje naudojama atsinaujinanti elektra yra konvertuojama elektrolitinio vandenilio pagalba į įvairius dujinius ar skystus degalus (e – degalai). Anksčiau šie degalai nebuvo numatomi kaip alternatyvus variantas mažinant CO₂ kiekį transporto sektoriuje (Skov, 2022: 2).

Europos Komisija 2020 metais išleido vandenilio panaudojimo strategijos planą, kuriuo skelbiama, kad vandenilis turi tapti neatsiejamas Europos Sąjungos integruotos energetikos sistemos dalimi ir iki 2030 metų Europos Sąjungoje bus pagaminama iki 10 mln. tonų atsinaujinančio H₂. Tais pačiais metais Europos Sąjungos Komisija priėmė energetikos sistemų integravimo strategiją kurioje pabrėžiamas švaraus kuro vaidmuo ten, kur elektrifikavimas yra sudėtingas kuriant išmaniają energetikos sistemą. Ši strategija yra svarus žingsnis, nes ji paliečia e-degalų idėją sudaryti sąlygas tarpsektorinei integracijai ir kartu pasiūlyti reikiamas dekarbonizavimo galimybes transporto sektoriuje (Tiwari, 2023: 2).

Specialių tikslų ir gairių įvedimas e – degalams į dekarbonizacijos strategiją yra būtinas, kad šie degalai būtų įvedami į rinką, nors jų kaina yra 3 – 6 kartus didesnė lyginant su iškastinio kuro alternatyvomis rinkoje (Skov, 2022: 6). Vis dėlto susirūpinimą kelia tai, kad direktyvose ir strategijose naudojama neutrali formulė

e-degalų atžvilgiu, sudaro sąlygas transporto priemonėms naudojant suskystintas gamtines dujas pasiekti kai kuriuos keliamus Europos Komisijos tikslus. Tačiau įvedant teisingus reguliavimo modelius galima sumažinti kainų skirtumą tarp e- degalų ir iškastinio kuro. Pavyzdžiui nustatant mokesčius, pagrįstus degalų anglies dioksido išskyrimo į aplinką intensyvumui. Tokiu būdu būtų branginamas iškastinis kuras, o subsidijuojami ekologiški alternatyvieji degalai būtų atpiginti.

E – degalų rūšys

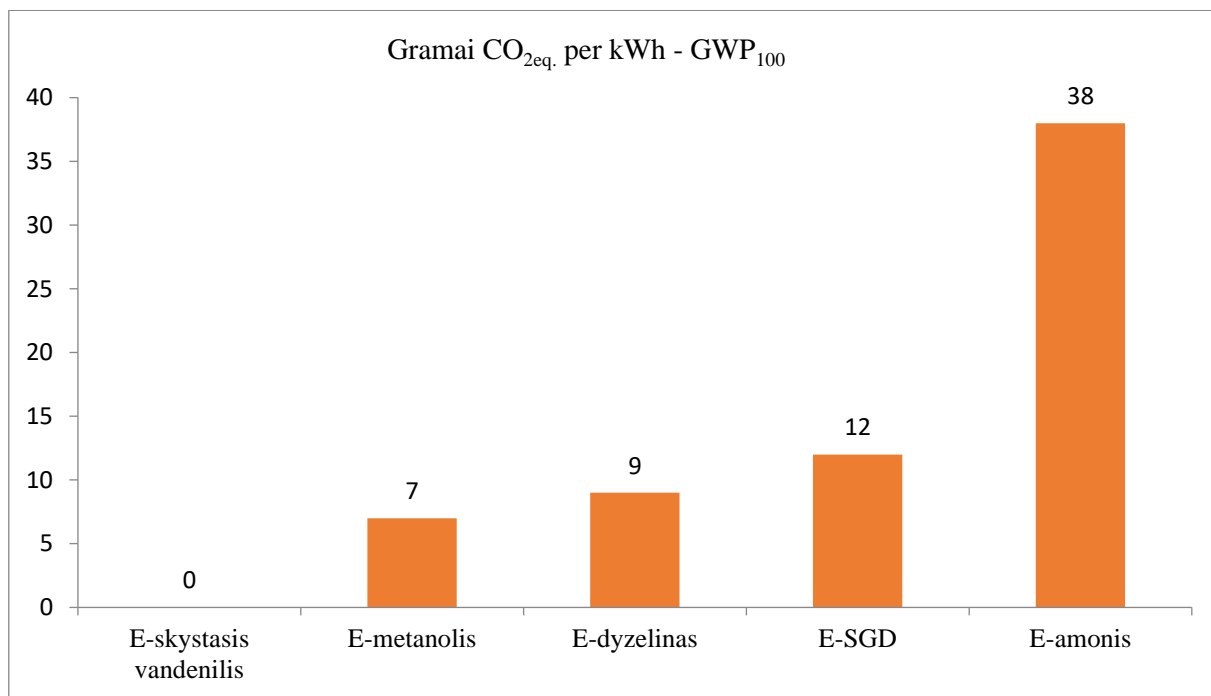
Šiandieninė ekologinė situacija ir sparčiai naudojami iškastinio kuro rezervai verčia ieškoti alternatyvių degalų rūšių. Laboratorijose yra kuriami sintetiniai degalai, kuriems keliami aukšti dekarbonizacijos reikalavimai. Mokslinėje literatūroje išskiriamos ir šiame straipsnyje nagrinėjamos šios sintetinių degalų rūšys: e – skystasis vandenilis, e – metanolis, e – dyzelinas, e – SGD, e – amoniakas (Ausfelder, 2020: 22).

Angliavandeniliniai e – degalai yra dujiniai arba skystieji degalai, gaminami iš vandenilio ir iš oro išskirtos anglies naudojant atsinaujinančią elektros energiją. Jie yra lengvai suderinami ir gali būti maišomi su įprastais degalais (Lindstad, 2021: 6). Tai reiškia, kad e – dyzelinas yra suderinamas ir gali būti maišomas su įprastiniu dyzeliu, o e – SGD suderinamas su įprastinėmis SGD. Taip pat, šiems e – degalams nereikia kurti naujos infrastruktūros, kadangi jau egzistuojanti yra tinkama naudojimui.

E – degalų pagrindinių savybių palyginimas

Toliau bus analizuojami anksčiau minėtieji e – degalai ir palyginamos jų savybės. Analizė atliekama trim pagrindiniais aspektais: energijos suvartojimas, šiltnamio dujų išskyrimas į aplinką ir kuro bei variklio sistemos kaina.

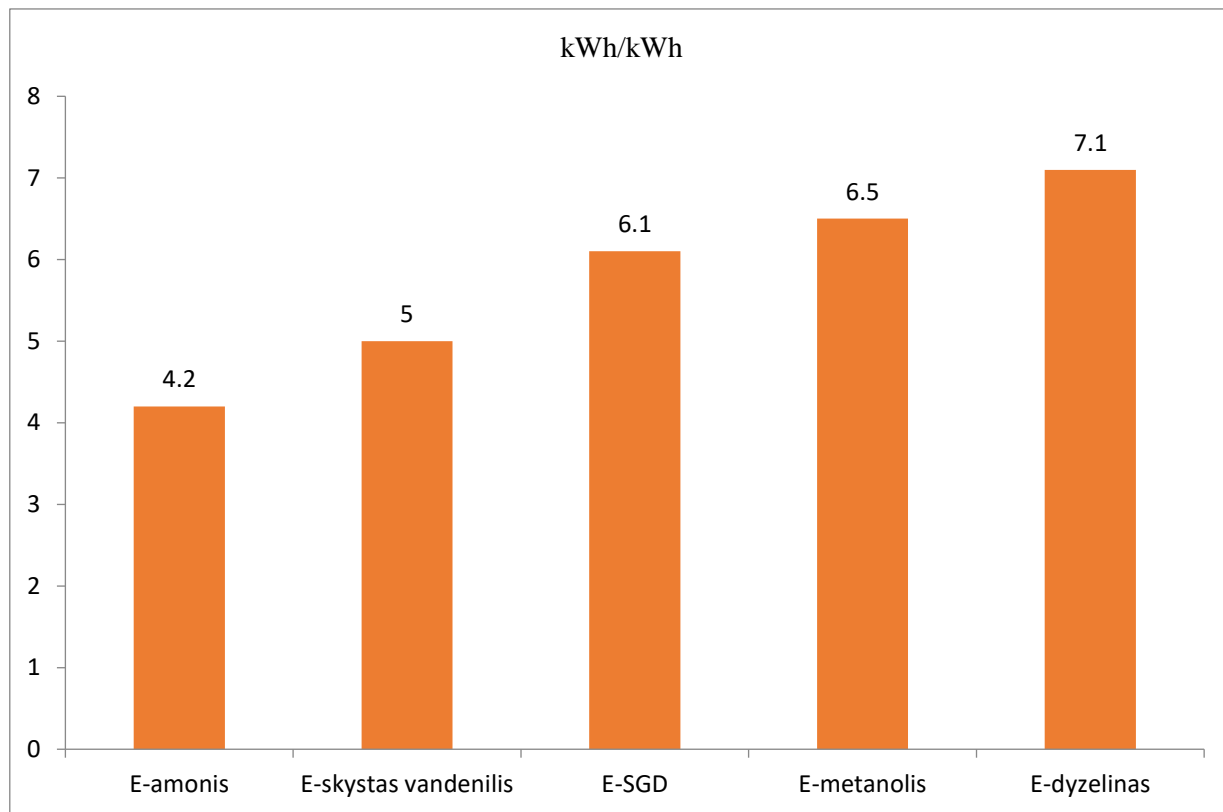
Pirmiausia apžvelgiant šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimą, remiantis atlikta analize Well-to-Wake ir TTW (Lindstad, 2021: 7) yra gaunami išeigos duomenys kWh varomajai jėgai. Analizė parodė, kad e – skystojo vandenilio degalai yra visiškai neišskiriantys taršos ko pasekoje šių degalų naudojimas būtų pirmas pasirinkimas siekiant suvaldyti šiltnamio efektą, jei būtų atsižvelgiama tik į taršos kiekio išskyrimą į atmosferą. Antroje vietoje pagal mažiausią taršą būtų e – metanolio degalai, kurie yra mažiau taršūs ir sudaro 7 punktus, lyginant su e-dyzelinu, kurio taršumas siekia 9 punktus. Toliau pagal išskiriamos taršos į atmosferą kiekį yra e – SGD sudarančios 12 puktų. Labiausiai taršūs iš apžvelgiamų e – degalų rūšių yra e – amoniako degalai, kurių tarša siekia 38 punktus. Jeigu remtis tik šios apžvelgiamos analizės duomenimis, e – skystojo vandenilio degalai būtų labiausiai pageidaujami naudoti vietoj iškastinio kuro.



1 pav. TTW šiltnamio efektą sukeliančios dujos (CH₄+N₂O)
Šaltinis: sudaryta autorės

Toliau apžvelgiami literatūroje (Lindstad, 2021: 7) pateikiami tyrimo duomenys remiantis WTW analize [pdf6, 7psl] ir nurodomas sunaudojamos energijos kiekis sukurti vienam energijos vienetui

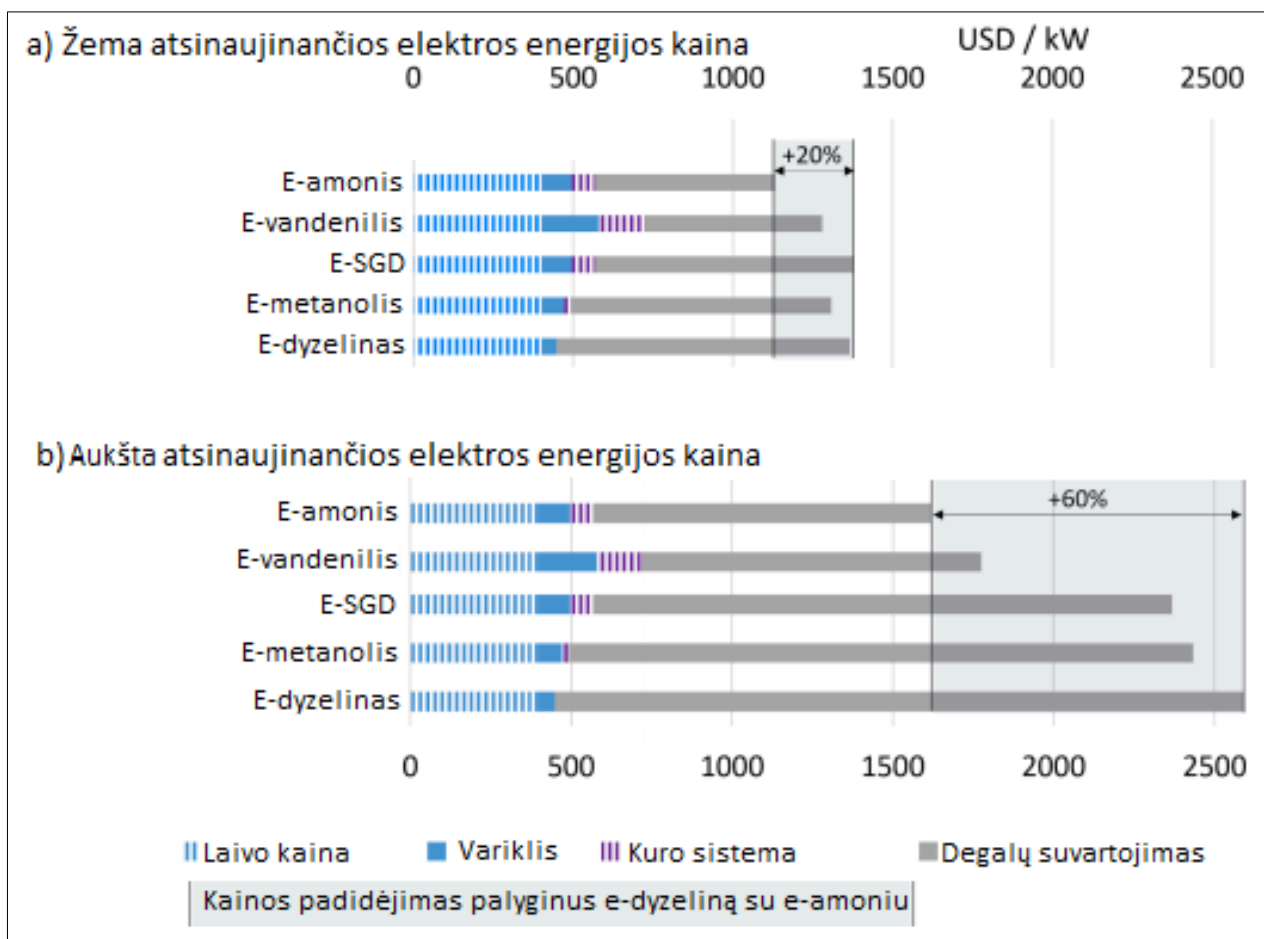
propeleriuose. E – amoniako degalai sunaudoja 4,2 kWh ir tai yra mažiausias rodiklis iš apžvelgiamų e – degalų rūšių. Daugiausiai energijos sukurti vienam energijos vienetui propeleriuose sunaudoja e – dyzelinas ir tai sudaro net 69% didesnes energijos sąnaudas lyginant su e – amoniaku, ir atitinkamai tai yra 7,1 kWh. e – metanolio energijos sunaudojimo sąnaudos yra 6,5 kWh, o e – SGD 6,1 kWh. e – skystasis vandeniliui reikalingos energijos sąnaudos sudaro 5 kWh ir yra didesnės 19% lyginant su mažiausias energijos sąnaudas sukuriančiais e – amoniako degalais. Atlikta duomenų apžvalga atskleidžia, kad e – degalų energijos poreikis tam, kad sukurtų 1 kWh energijos propeleriuose yra didelis ir dėl technologinės specifikos sudaro dideles sąnaudas, ko rezultate e – degalų patrauklumas sumažėja.



2 pav. WTW - energijos poreikis kWh sukūrimui propeleriuose

Šaltinis: sudaryta autorės

Jau išskyrėme ir palyginome e – degalų rūšis pagal šiltnamio efektą sukeliančių dujų išskyrimo ir elektros energijos kiekio sunaudojimą sukuriant kWh propeleriuose, rodiklius. Dabar apžvelgsime kokios gali būti metinės išlaidos USD per 1 kW esant žemoms ir aukštomis atsinaujinančios elektros energijos kainų perspektyvoms (3 pav.). Kadangi nagrinėjamas šaltinis (Lindstad, 2021: 8) išsamiau detalizuoja e – degalų panaudojimą laivyboje, todėl pateiktame paveikslėlyje mėlynais vertikaliais brūkšneliais yra nurodoma laivo kainos dalis. Tačiau tai esminio skirtumo kainų apžvalgai neturi, kadangi nepriklausomai nuo galimai norimos panaudoti e – degalų rūšies, laivo kaina yra taikoma ta pati ir nekinta tyrimo metu. Žemiau pateiktame paveikslėlyje mėlynai nuspelvinta kainos sandaros dalis žymi išlaidas varikliui. Toliau matomi violetinės spalvos vertikalūs brūkšneliai žymi kuro sistemos sąnaudas. Pilkai spalva žymimos kuro sąnaudos. Pilkai nuspelvinta zona rodanti procentinį sąnaudų skirtumą tarp pigiausiai atsieinančios degalų rūšies lyginant su brangiausia rūšimi, konkrečiu atveju lyginant e – amoniako degalus su e – dyzelinu. Pagal pateiktus duomenis paveikslėlyje galima daryti išvadą, kad atsinaujinančios elektros energijos kainos didėjimas didina galutinių metinių sąnaudų skirtumą tarp skirtingų e – degalų. Remiantis 3 pav. a dalimi pastebime, kad e-SGD ir e-dyzelino galutinės kainos yra labai panašios ir už e – amoniako degalų vartojimo sąnaudas 20% didesnės. Tačiau padidėjus atsinaujinančios elektros energijos kainai e- SGD galutinė kaina taip greitai nekyla kaip e – dyzelino ir netgi tampa mažesnė už e – metanolio metines sąnaudas. Tuo tarpu e – dyzelino metinės sąnaudos, lyginant su e – amoniako sąnaudomis, yra didesnės 60%.



3 pav. Metinės išlaidos 1 kW lyginant su žemomis ir aukštomis atsinaujinančios elektros energijos kainomis
Šaltinis: sudaryta autorės

Pagal pateiktus ir aptartus duomenis galima daryti bendrą išvadą, kad e – amoniako degalai yra priimtinesni sąnaudų ir energetinio efektyvumo fone. Tačiau ši e – degalų rūšis iš visų aptartų (e – skystas vandenilis, e – SGD, e – metanolis, e – dyzelinas) yra taršiausia ir daugiausiai į aplinką paskleidžia šalutinio galutinio produkto. Todėl negalime vienareikšmiškai teigti, kad e – amoniako degalai yra priimtinausia alternatyva. Rekomenduotina atlikti papildomas studijas apie e – degalus gilinantis į jų gamybos technologijas ir išskirti bei palyginti daugiau e – degalų specifinių savybių.

Išvados

1. Europos Sąjungos šalys narės ieško efektyvių būdų gerinti ekologinei situacijai siekiant sumažinti CO₂ kiekį atmosferoje. Priimamos direktyvos įpareigojančios ieškoti technologinių sprendimų mažinant taršą pramonės ir transporto sektoriuose ir skatina atsinaujinančių elektros energijos šaltinių plėtojimą. To pasekoje yra siekiama, kad e- degalai taptų patrauklia alternatyva iškastinio kuro fone ir būtų naudojami masiškai.

2. Įžvelgiamos teisinio reglamentavimo spragos, kai yra paliekamos neaiškios ir nesukonkretintos įstatymų ir direktyvų formuluotės, ko pasekoje iškastinio kuro produktai nėra eliminuojami iš ateities rinkų. Trūksta e – degalų gamybos ir vartojimo skatinimo priemonių numatymo ir įgyvendinimo strategijos.

3. Trūkumas atsinaujinančios elektros energijos stabdo e – degalų gamybos procesus, o jų kaštus stipriai padidina. Todėl tai yra rimta kliūtis masinei gamybai ir degalų įvedimui į rinką, kas stabdo ir ekologijos siekių įgyvendinimą.

4. Laboratorijose kuriami e – degalai yra daug žadanti iškastinio kuro alternatyva, tačiau susiduriama su nevienareikšmišku vertinimu palyginus e – degalų savybes. E – amoniako degalai priimtini kainos ir energetinio efektyvumo aspektais, tačiau praranda pranašumą dėl šalutinių produktų išmetimo į atmosferą, yra taršesni lyginant su kitomis e- degalų rūšimis.

5. Papildomos studijos padėtų išanalizavus daugiau e – degalų savybių išskirti priimtinausius vartojimui degalus.

Literatūra

1. F. Ausfelder, K. Wagemann. Power – to – Fuels: E – fuels as an important option for a climate – friendly mobility of the future.
2. V. Ballal, O. Cavalett, F. Cherubini, M. D. B. Watanabe. Climate change impacts of e – fuels for aviation in Europe under present – day conditions and future policy scenarios. 2023.
3. E. Lindstad, B. Lagemann, A. Rialland, G. M. Gamlem, A. Valland. Reduction of maritime GHG emissions and potential role of E – fuels. 2021.
4. G. Papanikolaou, G. Centi, S. Perahoner, P. Lanzafame. Transporting catalysis of produce e –fuels: Prospects and gaps. 2022.
5. R. Skov, N. Schneider. Incentive structures for power – to – X and e – fuel pathways for transport in EU and member states. 2022.
6. R. Tiwari, R. Mishra, A. Choubey, S. Kumar, A. E. Atabani, I. A. Budruddin, T. M. Y.Khan. Environmental and economic issues for renewable production of bio – jet fuel: A global prospective. 2022.
7. F. Ueckerdt, C. Bauer, A. Dirnaichner, J. Everall, R. Sacchi, G. Luderer. Potential and risks of hydrogen – based e – fuels in climate change mitigation. 2021.
8. R. Viscardi, C. Bassano, G. Nigliaccio, P. Deiana. The potential of E – fuels as future fuels. 2021.

E – FUEL: MAIN ASPECTS

Summary

The article reviews the main aspects of e – fuel through the prism of legal regulation and goals of EU institutions, analyzes scientific sources and distinguishes e – fuel types, compares properties according to the emission of Greenhouse gases into atmosphere, energy demand analysis, details of annual costs and dependence on renewable electricity prices. The data obtained during the analyzes of the scientific literature lead to the conclusion that there is a lack of political will to speed up the realization of e – fuels and create their attractiveness in the market. Also, due to the deficit of technological resources, a sufficient amount of renewable electricity is not generated, which would ensure and influence e – fuel production and cost reduction.

Key words: E-fuels, regulation, costs, greenhouse effect, pollution.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Rūta Tumėnienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: Transporto inžinerins ekonomikos ir vadybos magistro laipsnis

Darbo vieta ir pozicija: Vilnius tech.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: transportoas, ekologija transporte, alternatyvūs degalai

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 656 85568, rutamaz@hotmail.com

A COVER LETTER OF AUTHOR

Author name, surname: Rūta Tumėnienė.

Science degree and name: Master degree in transport engineering economics and management

Workplace and position: Vilnius tech University

Author's research interests: transport, transport ecology, alternative fuel

Telephone and e-mail address: 8 656 85568, rutamaz@hotmail.com

BIODUJŲ PANAUDOJIMO KOGENERACINĖJE JĖGAINĖJE TYRIMAS

Dalius Kalisinskas

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Biodujos yra vienos iš svarbiausių atsinaujinančių energijos išteklių, kurių gamyba ir panaudojimas prisideda prie Europos Sąjungos ir nacionalinės politikos atsinaujinančios energetikos tikslų. Pateikiama technologija biodujų gavybai iš dumblo, kuris susidaro iš miesto nuotekų valymo įrenginių. Išsiskyrusios biodujos yra deginamos kogeneracinėje jėgainėje ir išgaunama elektros energija. Biodujos yra vandens sulfido, kuriuo yra užteršiama alyva, veikia neigiamai vidaus degimo variklį. Atliktas tyrimas alyvos kokybei nustatyti.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. Biodujos, energetiniai ištekliai, alyva, jėgainė.

Įvadas

Kiekvienais metais pasaulyje didėja energetinių išteklių sunaudojimas. Apie 80 procentų pasaulio energetinių poreikių tenkinama, naudojant naftą, gamtines dujas, akmens anglį (Our World in Data 2020), šie ištekliai nuolat brangsta. Deginant iškastinį kurą, išsiskiria didelis šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis. Atsižvelgiant į šiuos aspektus, tiek visame pasaulyje, tiek Europoje vis didesnis dėmesys yra skiriamas atsinaujinančių energijos išteklių naudojimui. Vienas iš būdų naudoti biomasę yra biodujų gamyba iš žemės ūkio atliekų.

Straipsnyje pateikiama biodujų gamyba iš dumblo. Išgautos biodujos yra deginamos kogeneracinėje jėgainėje. Deginant biomasę kogeneracinėje jėgainėje problema yra ta, kad alyva užteršiama sieros junginiais. Tyrimo metodika alyvos kokybės įvertinimas.

Straipsnio tikslas: Nustatyti biodujų įtaką alyvos kokybei, kogeneracinėje jėgainėje.

Uždaviniai:

1. Įvertinti biodujų panaudojimą Lietuvoje.
2. Išanalizuoti biodujų gamybos technologiją iš dumblo.
3. Atlikti alyvos kokybės tyrimą.

Lietuvoje biodujų panaudojimas

Biodujų gamybos technologija Lietuvos energetikoje buvo pradėta vystyti 1994 metais, kai buvo pradėta biodujas gaminti iš spirito žlaugtų (šalutinis produktas gaminant spiritą) (Dzenajavičienė at al., 2020).

Dažniausiai biodujos naudojamos kogeneracijai, gaminant šilumą ir elektrą. Pagaminta šiluma ir elektra naudojamos biomasės įmonių reikmėms, elektros perteklius gali būti parduodamas į elektros tinklus, šiluma naudojama aplinkinių pastatų šildymui.

Biodujos gali būti naudojamos transporto sektoriuje, tačiau būtina jas išvalyti nuo anglies dioksido, sieros vandenilio ir drėgmės. Nėra standartizuotų reikalavimų biodujų, naudojamų automobilių varikliuose, kokybei. Biodujų panaudojimas transporto sektoriuje reikalauja ne tik jų išvalymo, bet jos turi būti suspaudžiamos į aukšto slėgio transporto priemonių talpas. Tam reikalinga papildoma įranga, skirta dujų suspaudimui ir aukšto slėgio talpų užpildymui (Savickas at al., 1997).

Biodujų elektrinės veiklą Lietuvoje pradėjo dar 2003 metais, jų laikotarpis naudingam eksploatavimui sudaro nuo 15 iki 20 metų. Norint išlaikyti esamus pajėgumus, būtina modernizuoti 14 biodujų elektrinių (bendra įrengtoji galia sudaro 14,886 MW).

Nagrinėjant biomasę naudojančias elektrines, jų eksploatavimo laikotarpis gali sudaryti apie 15 metų. Atsižvelgiant į tai, kad pirmosios tokį kurą naudojančios elektrinės pradėtos statyti 2007 metais ir norint išlaikyti jau esamus pajėgumus, reikia atnaujinti 9 elektrines (bendra įrengtoji galia šiuo metu sudaro 73,46 MW). Biodujų jėgainės technologinė schema ir struktūra gali priklausyti nuo keleto veiksnių, t. y. naudojamos žaliavos, tiekimo būdų, jėgainių dydžio, technologinio proceso parametrų (Dzenajavičienė et al., 2020).

Biodujų gamybos technologinis procesas

Biodujos – tai dujos, kurios susidaro, mikroorganizmams skaidant organines medžiagas anaerobinėmis sąlygomis. Anaerobinio organinių medžiagų skaidymo proceso metu susidariusių biodujų pagrindiniai komponentai yra metanas CH₄ (55-70 proc.), anglies dvideginis CO₂ (27-44 proc.), sieros vandenilis H₂S (iki 3 proc.) ir vandenilis H₂ (iki 1 proc.), o kitų dujų kaip anglies monoksidas, azoto, etano, propano, ir butano stebimi tik pėdsakai. Pagrindinis komponentas yra metanas. Nuo jo kiekio priklauso biodujų šiluminė vertė.

Straipsnyje pateikiama biodujų gamyba iš dumblo, kuris susidaro iš miesto nuotekų valymo įrenginių. Biologiniame reaktoriuje (pūdytuve) yra gaminamos biodujos. Reaktorių sudaro šešios lygiagrečios linijos.

Kiekvieną liniją sudaro atskiros zonos: anaerobinė, denitrifikavimo, nitrifikavimo ir antrinis nusodintuvas. Visos zonos tarpusavyje sujungtos vamzdynais arba sienelėmis susisiekiančių indų principu. Kiekvienoje zonoje vyksta skirtingi procesai.

Į anaerobinę zoną atiteka nuotekos iš paskirstymo kameros ir denitrifikuotas dumblas iš denitrifikavimo zonos. Joje vyksta fosforo pašalinimas iš nuotekų t. y. defosforacijos procesas. Šioje zonoje jaučiamas deguonies deficitas. Dumblo mišinys pastoviai maišomas.

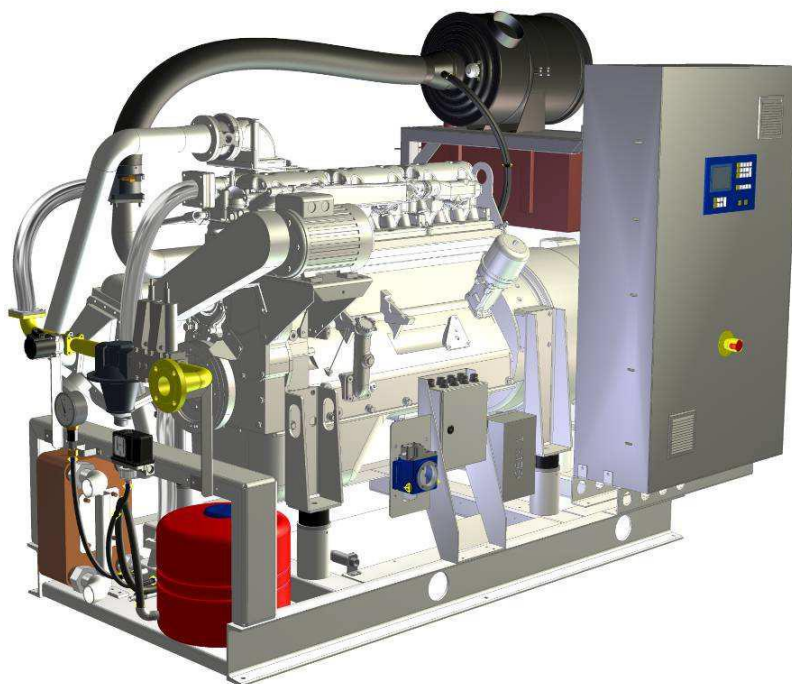
Į denitrifikavimo zoną atiteka dumblas iš anaerobinės zonos, nitrifikuotas dumblas iš antrinio nusodintuvo ir nitrifikuotas dumblas iš nitrifikacijos zonos. Joje vyksta denitrifikavimo procesas – nitratinio NO_3 azoto virtimas į nitritinį NO_2 , toliau į N_2 , denitrifikuojančių bakterijų poveikyje vyksta azoto atskyrimas ir dujų pavidalu išskiriamas į atmosferą. Dumblo mišinys pastoviai maišomas.

Į nitrifikavimo zoną atiteka dumblas iš denitrifikavimo zonos, tai aeruojama aktyvavimo zona, kurioje vyksta amonio azoto NH_4 oksidavimo procesas į nitritinį NO_2 , toliau į nitratinį NO_3 . Šis procesas vyksta esant smulkiaburbuliniai aeracijai ir pastoviam maišymui. Šioje zonoje dumblas pūdomas. Pūdyimo metu iš dumblo skiriasi biodujos. Temperatūra reaktoriaus viduje $+35 - +37^\circ\text{C}$. Temperatūrai pasiekti naudojamas šilumokaitis. Dumblo pūdytuvuose pagaminamų biodujų kiekis $58,4\text{m}^3/\text{h}$, šių pagamintų biodujų pakanka kogeneratoriuje pagaminti 125kWh elektros energijos per valandą.

Pūdytuvuose pagamintos biodujos yra kaupiamos saugykloje. Iš saugyklos biodujos yra tiekiamos į kogeneratorių, kuriame jos yra deginamos ir išgaunama elektros energija. Prieš patenkant į kogeneratorių biodujos pašildomos ir valomos nuo vandenilio sulfido nusierinimo įrenginyje iki $0,02$ proc. H_2S reikšmės. Biodujose esantis vandenilio sulfidas pažeidžia dujinius variklius. Todėl biodujos yra valomos su angliniu filtru. Aktyvuota anglis sulaiko vandenilio sulfidą. Aktyvuotos anglies filtro tarnavimo laikas priklauso nuo vandenilio sulfido koncentracijos biodujose.

Kogeneracinė jėgainė

Biodujos deginamos kogeneracinėje jėgainėje. Jėgainės modelis yra TODOM Cento 120, t. y. vidutinio dydžio įrenginys priskiriamas dujiniais vidaus degimo varikliams (1 pav.). Variklis yra sujungtas su generatoriaus bloku. Taip pat įrenginyje yra maitinimo, valdymo skirstytuvas, aušinimo sistema, išmetimo sistema.



1 pav. Kogeneracinė jėgainė

Šaltinis: TEDOM

Pagrindiniai techniniai duomenys:

Vardinė elektros galia 125 kW .

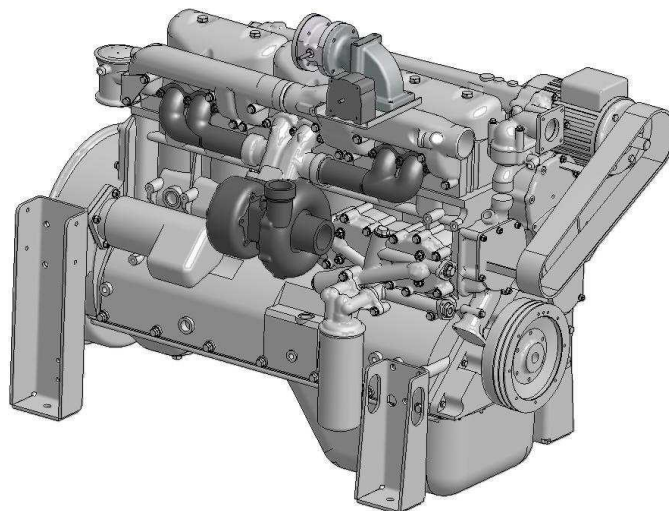
Maksimali šiluminė galia 176 kW .

Bendra galia 347 kW .

Elektrinis efektyvumas $36,0$ proc.

Terminis efektyvumas 50,6 proc.
 Bendras efektyvumas (kuro sunaudojimas) 86,6 proc.
 Dujų sąnaudos esant 100% galiai 53,0 m³/val.
 Dujų sąnaudos esant 75% galiai 43,1 m³/val.
 Dujų sąnaudos esant 50% galiai 32,3 m³/val.

Kogeneracinėje jėgainėje yra vidaus degimo variklis (2 pav.), kurio markė yra TB 130 G5V TX 86. Variklio techniniai duomenys: cilindrų skaičius 6, išdėstymas linijinis, darbinis tūris 11946 cm³, suspaudimo laipsnis 11:1, apsisukimų 1500 min⁻¹, alyvos sąnaudos normalios/maksimalios. 0,3/0,5 g/kWh maks., variklio galia 132,3 kW



2 pav. Vidaus degimo variklis
 Šaltinis: TEDOM

Dirbant jėgainei, dėl naudojamo biokuro padidėja alyvos klampumas. Padidėjęs alyvos klampumas gali įtakoti komponentų aušinimo procesą ir apriboti alyvos srautą, sukeldamas alyvos trūkumą ir detalių susidėvimą. Klampumo padidėjimą gali įtakoti šie veiksniai: didelis nuosėdų kiekis, aukšta oksidacija, apnašos, suodžių kiekio padidėjimas, dėl prasto biodujų sudegimo, per ilgą variklio darbo laiką.

Variklyje naudojamos alyvos markė yra Mobil Pegasus 605. Pagal gamintojos rekomendacijas alyva variklyje turi būti keičiama kas 750 darbo valandų. Varikliui yra sudarytas pagal išdirbtų valandų gedimų algoritmas. Pastebėta, kad variklyje esančios detalės susidėvi greičiau.

1 lentelė

Alyvos savybės

Alyvos markė	Mobil Pegasus 605	
Alyvos savybės	Nauja	Atidirbusi
Rūgštingumas pH	4,5	2,33
Oksidacija (A/cm)	20	21
TAN (mg KOH/g)	8,7	3,54
Nitratai (A/cm)	20	18
Klampumas (mm ² /s)	13,3	16,7
TBN (mg KOH/g)	7,1	1,3

Lentelėje 1 yra pateikta naujos alyvos duomenys ir atidirbusios alyvos duomenys. Atliktas alyvos kokybės tyrimas ir gauti rezultatai rodo (1 lentelė), kad alyvos būklė yra prastos sudėties, t. y. padidėjęs rūgštingumas iki 2,33 pH, nuo jo gali atsirasti variklio korozija. Alyva yra užteršta azoto oksidais, dėl to gali prasidėti lako nuosėdų susidarymas ant variklio sienelių ir ant stūmoklių sijonų. Veiksniai įtakojantys azoto oksidų susidarymą yra: per žema alyvos temperatūra, netinkama karterio ventiliacija, per ilgą alyvos eksploatavimo laiką, netinkamas oro ir kuro santykis. Taip pat yra padidėjusi alyvos oksidacija t. y. cheminis alyvos skilimas aukštoje temperatūroje. Klampumas padidėjęs iki 16,7 mm²/s, tai blogina variklio tepimą. Kad variklis nesugestų ilgesnį laiką priimtas alyvos intervalų laiko trumpinimas, t.y alyva keičiama kas 600 darbo valandų.

Išvados

1. Lietuvoje daugiausia biodujų yra sunaudojama elektros energijai išgauti.
2. Biodujos išgautos iš dumblo, turi iki 3 proc. vandenilio sulfido, todėl prieš naudojimą turi būti pašalintas vandenilio sulfidas.
3. Atlikus atidirbtos alyvos tyrimą, nustatyta priemaišų padidėjimas, todėl alyva turi būti keičiama kas 600 darbo valandų.

Literatūra

1. Botta E., An experimental approach to climate finance: the impact of auction design and policy uncertainty on renewable energy equity costs in Europe [interaktyvus]. Energy Policy: Elsevier Science, 2019 [žiūrėta 2022-09-10]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect-com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/S0301421519304185>
2. Dzenajavičienė, Eugenija F., Nerijus Pedišius, Romualdas Škėma. Darni bioenergetika. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas, 2011 [žiūrėta 2022-10-15]. Prieiga per internetą: http://www.lei.lt/img/up/File/atvir/bioenerlt/index_files/Biodujos_bros-SVVVV.pdf
3. Europos Komisija (2020). Lietuvos respublikos nacionalinis energetikos ir klimato srities veiksmų planas 2021-2030 m. [žiūrėta 2022-10-12]. Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/lt_final_necp_main_lt.pdf
4. Europos Parlamentas ir Taryba. Dėl skatinimo naudoti atsinaujinančiųjų išteklių energiją, 2018 m. gruodžio 11 d. Direktyva Nr. (ES) 2018/2001. (2018) [žiūrėta 2022-10-01]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.euro-pa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=E>
5. Lietuvos respublikos energetikos ministerija. Atsinaujinančiųjų energijos išteklių dalis skirtinguose sektoriuose [žiūrėta 2022-10-01]. Prieiga per internetą: <https://enmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys-3/atsinaujinantys-energijos-istekliai/statistika>.
6. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija. Nacionalinė energetinės nepriklausomybės strategija [žiūrėta 2022-10-02]. Prieiga per internetą: http://enmin.lrv.lt/uploads/enmin/documents/files/Nacionaline%20energetines%20nepriklausomybes%20strategija_2018_LT.pdf
7. Our World in Data (2020). Atsinaujinančioji energija. [žiūrėta 2022-10-15]. Prieiga per internetą: <https://ourworldindata.org/energy#all-charts-preview> Our World in Data
8. Savickas J., Vrubliauskas S. Biodujų gamybos ir panaudojimo galimybės Lietuvoje. Vilnius: Energetikos agentūra, 1997.
9. Sveklaitė L., Stasiukynas A. Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo elektros energetikoje skatinimo priemonių modeliavimas MRU Viešoji politika ir administravimas 2014 [žiūrėta 2022-10-20]. Prieiga per internetą: https://www.mruni.eu/upload/iblock/2ee/6_Sveklaite_Stasiukynas.pdf1.

STUDY OF THE USE OF BIOGAS IN A COGENERATION POWER PLANT

Summary

Biogas is one of the most important renewable energy resources, the production and use of which contributes to the renewable energy goals of the European Union and national policies. The technology for biogas production from sludge, which is generated from urban sewage treatment plants, is presented. The released biogas is burned in a kegger plant and electricity is produced. Biogas contains hydrogen sulphide, which contaminates the oil and has a negative effect on the internal combustion engine. A study was carried out to determine the quality of the oil. The results of the study show that when using biogas, the oil must be changed more often, that is, every 600 working hours.

Key word: Biogas, Energy Resources, Oil, Power Plant.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Dalius Kalisinskas

Mokslų laipsnis ir vardas: magistras.

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Autotransporto elektronikos studijų programos lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: transporto technologijos, inžinerinių tyrimų metodologija.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 681 77017, dalius.kalisinskas@edu.ktk.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@edu.ktk.lt

ELEKTRIKOJE NAUDOJAMŲ AUŠINIMO RADIATORIŲ SU KAIŠČIAIS AUŠINIMO EFEKTYVUMO TYRIMAS: SKAITMENINIS MODELIAVIMAS

Laurynas Samuolis, Vadim Mokšin

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

Straipsnyje skaitmeniniais metodais tiriami elektronikos komponentų aušinimui naudojami kaištiniai aušinimo radiatoriai bei jų testavimo standas, skirtas darbinėmis sąlygomis imituoti. Naudojant programinę įrangą COMSOL Multiphysics® atlikta 2-jų radiatorių konstrukcijų šilumos laidumo analizė. Palyginamas konstrukcijų aušinimo efektyvumas pagal paviršiaus ir iš vėjo tunelio išeinančio oro srauto temperatūras.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. aušinimo radiatorius, elektronikos komponentai, šilumos laidumas, temperatūra, aušinimo efektyvumas.

Įvadas

Elektronikos komponentams, išskiriantiems šilumą, būtinas aušinimas. Aušinimo radiatorius reikalingas, kai komponento paviršiaus plotas pernelyg mažas, o pačių komponentų šilumos išsisklaidymo galimybės nepakankamos temperatūrai reguliuoti. Per daugelį metų radiatoriai pasirodė esą perspektyvūs šilumos valdymo prietaisai. Radiatorių efektyvumo didinimo tikslas yra sumažinti šiluminę varžą tuo pačiu metu sumažinant gamybos ir eksploatacijos išlaidas ir išlaikant kokybės reikalavimus. Didėjant elektroninių komponentų ir sistemų sudėtingumui bei mažėjant jų dydžiui, aušinimas inžinieriams kelia vis daugiau problemų. Dabartiniai komponentai, tokie kaip mikroprocesoriai, standūs diskai, atminties moduliai, įtampos keitikliai ir kiti, turi išsklaidyti šilumą iki kelių šimtų vatų kvadratiniam centimetre. Elektrotechnikos komponentams įskaitant kondensatorius, induktorius ir puslaidininkinius įtaisus, kurie naudojami maitinimo keitikliuose, gamintojai nustato ribinę darbinę temperatūrą. Nustatyta, kad elektroninių komponentų tarnavimo laikas sutrumpėja beveik dvigubai jei didžiausia darbinė temperatūra pakyla 10°C (Amoako, Doom, 2018; Tarvydas et al., 2013). Todėl mokslininkai ir inžinieriai plėtoja naujus efektyvius būdus didelės temperatūros problemoms spręsti. Prailgintų paviršių (pelekų) naudojimas laikomas vienu iš efektyviausių būdų įvairių aušinimo radiatorių šilumos išsklaidymui didinti. Pagal geometriją aušinimo radiatorių pelekai būna dviejų tipų: plokšteliniai pelekai einantys per visą radiatoriaus pagrindą ir kaištiniai pelekai, išdėstyti per visą pagrindą arba išdėlioti jame tam tikru raštu. Šilumai šalinti iš elektroninių prietaisų plačiausiai naudojami plokščių pelekų radiatoriai dėl jų privalumų, tokių kaip paprasta konstrukcija, technologiškumas apdirbant ir sąlyginai maža kaina (Ismail et al., 2008).

Pagrindiniai veiksniai, į kuriuos reikia atsižvelgti projektuojant radiatorius, yra didelis šilumos perdavimo greitis, mažas slėgio kritimas ir paprasta konstrukcija (Mohan, Govindarajan, 2011). Remiantis Amoako (2018), pagrindiniai veiksniai, turintys įtakos aušinimo radiatorių efektyvumui, yra tokie:

- oro greitis;
- medžiaga;
- išorinių paviršių apdirbimas;
- pelekų geometrija.

Aušinimo radiatorių svoris taip pat yra labai svarbus rodiklis. Paprastai prietaisai, kuriuose yra įmontuoti radiatoriai turi griežtai nustatytas svorio ribas. Dėl šios priežasties aušinimo radiatorių parametru optimizavimas atsiduria inžinierių dėmesio centre tobulinant elektronikos prietaisus. Optimizavus parametrus sumažėja ir radiatorių gamybos išlaidos.

Kepekci ir Asma (2020) atliko tyrimą, kuriuo siekė nustatyti aušinimo efektyvumo ir savikainos atžvilgiu optimalią radiatoriaus pelekų geometriją bei medžiagą. Naudodami COMSOL Multiphysics® programinę įrangą jie ištyrė penkis skirtingus aušinimo radiatorių pelekų tipus pagamintus iš 13 skirtingų medžiagų (sidabro, vario, aukso, aliuminio, berilio, volframo, magnio, nikelio, ličio, titano ir kt.). Modeliuojant, aplinkos ir centrinio procesoriaus temperatūra buvo laikoma 25°C ir 80°C, atitinkamai, o ventiliatoriaus užtikrinamas oro greitis buvo 7,5 m/s. Suprojektuotoje sistemoje kiekvienas pelekas buvo 0,02 m ilgio ir 0,002 m storio. Tyrimas parodė, kad geriausiai iš visų parinktų medžiagų aušina sidabras, kurio išsklaidoma galia siekė 37,33 W, o prasčiausiai aušina titanas (28,67 W). Tačiau savikainos atžvilgiu aliuminis ir aliuminio lydiniai buvo pranašesni už kitas medžiagas.

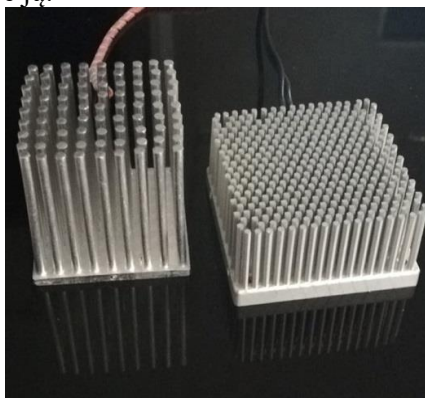
Pelekų efektyvumas gali būti didinamas keičiant geometrinių parametru santykį, pavyzdžiui, juos pastorinant arba patrupinant, taip pat naudojant laidesnę medžiagą, pavyzdžiui, varį vietoje aliuminio. Khudheyer ir Hasan (2015) taikydami skaitmeninio modeliavimo COMSOL Multiphysics® programinę įrangą

analizavo skirtingus pelekų modelius keičiant šilumos srauto reikšmes. Buvo pasirinkti penki pelekų modeliai: ištisiniai pelekai, dviejų segmentų pelekai, keturių segmentų pelekai, įstriži pelekai ir V formos pelekai. Autoriai nustatė, kad aušinimo radiatorius su keturių segmentų pelekais užtikrino didžiausią temperatūrų skirtumą tarp jo pagrindo ir aplinkos, o radiatorius su dviejų segmentų pelekais – mažiausią. Autoriai modeliavo 300 mm ilgio, 18 mm aukščio pelekų eilę ir keitė tarpus tarp jų, pasiekdami optimalų 10 mm atstumą. Naudodami kitą konfigūraciją, kai pelekų aukštis buvo 18 mm, o atstumas tarp jų – 5 mm, buvo pastebėta, kad esant pastoviam šilumos srautui, šilumos perdavimo koeficientas pasiekė mažiausią vertę, kai pelekai buvo 500 mm ilgio. Kita analizuota savybė – radiatoriaus pagrindo storis, kuris turėjo įtakos šilumos perdavimo koeficientui. Pastarasis pasiekė mažiausią reikšmę, kai pagrindo storis buvo 9 mm, pelekų aukštis – 18 mm, o atstumas tarp pelekų – 5 mm (Khudheyer, Hasan, 2015).

Tarvydas et al. (2013) atliko terminį aušinimo radiatoriaus modeliavimą oro kanale naudojant baigtinių elementų analizės programinę įrangą COMSOL Multiphysics®. Aušinimo radiatoriaus, dirbančio su aušinimo ventiliatoriumi skaitmeniniam modeliavimui buvo pasirinkta apvalių kaiščių radiatoriaus konstrukcija, pagaminta iš aliuminio. Aušinimo radiatorius buvo patalpintas stačiakampio skerspjūvio oro kanalo viduje, kuriame buvo imituotas oro įsiurbimas elektroniniams komponentams aušinti. Oro kanalo matmenys ir aušinimo radiatoriaus išdėstymo koordinatės x , y , z buvo keičiamos geometrinio modelio kūrimo etape. Atliktas tyrimas parodė, kad sukurtas aušinimo radiatoriaus, montuojamo oro kanale modelis gali būti naudojamas aušinimo efektyvumui įvertinti. Sukurta modeliavimo metodika leidžia modeliuoti skirtingų konstrukcijų radiatorius. Sprendimo laikas yra susijęs su baigtinių elementų tinklo mazgų skaičiumi eksponentiniu dėsnium. Todėl norint sutrumpinti skaičiavimo laiką, labai svarbu sukurti optimalų geometrinį modelį ir pasirinkti optimalaus tankio baigtinių elementų tinklą (Tarvydas et al., 2013).

Ismail et al. (2008) palygino keturis skirtingus aušinimo radiatorių tipus: Pentium III, Pentium IV, AMD Athlon ir AMD Duron procesorių radiatorius. Skaitmeniniam modeliavimui buvo naudojama CFD (Computational Fluid Dynamics) programinė įranga, o gauti modeliavimo rezultatai buvo lyginami su eksperimento rezultatais. Tyrimo metu nustatyta, kad didėjant atstumui tarp pelekų, radiatoriaus aušinimo efektyvumas didėja. Taip pat buvo nustatyta, kad didesnis paviršiaus plotas ir atitinkamas pelekų tankis didina įtaiso našumą. Apibendrinant buvo nustatyta, kad Pentium IV procesoriaus aušinimo radiatorius užtikrina didžiausią efektyvumą lyginant su Pentium III, AMD Athlon ir Duron procesorių radiatoriais.

Vienas iš būdų sumažinti radiatoriaus svorį yra sudaryti kanalus radiatoriaus pelekuose. Kai kuriais atvejais tai leidžia ne tik sumažinti svorį, bet ir valdyti oro srautų kryptis tam, kad jie geriau perduotų šilumą. Sam Sukumar et al. (2013) ištyrė ištisinių stačiakampių pelekų, keturių segmentų stačiakampių pelekų, ištisinių stačiakampių pelekų su skylutėmis ir keturių segmentų stačiakampių pelekų su skylutėmis aušinimo efektyvumą. Remiantis gautais rezultatais nustatyta, kad keturių segmentų stačiakampių plokštelių pelekai veikia efektyviau su skylutėmis, negu be jų.



1 pav. Aušinimo radiatoriai
Šaltinis: sudaryta autorių

Tyrimo objektas ir skaitmeninio modeliavimo metodika

Tiriami dviejų tipų kaištiniai aušinimo radiatoriai (1 pav.). Aušinimo radiatorių parametrai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė

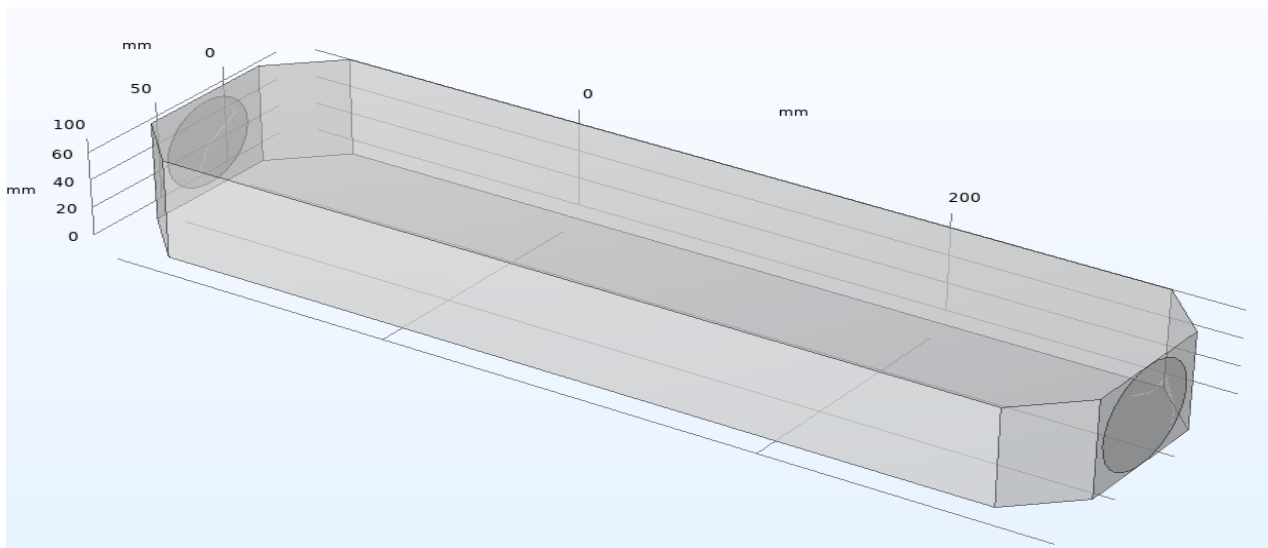
Aušinimo radiatorių parametrai

	I bandinys (1 pav., kairėje)	II bandinys (1 pav., dešinėje)
Gabaritiniai matmenys, mm (ilgis×plotis×aukštis)	50×50×50	60×60×30
Pado storis, mm	3,5	6,5
Kaiščių matmenys, mm	Ø2×46,5	Ø1,2×23,5

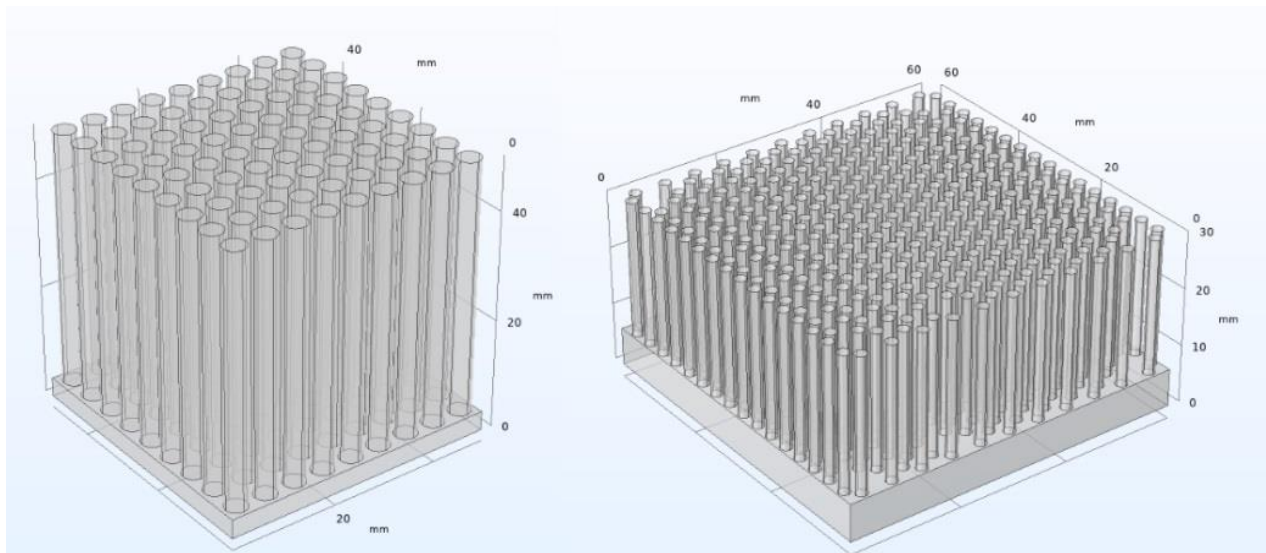
	I bandinys (1 pav., kairėje)	II bandinys (1 pav., dešinėje)
Kaiščių skaičius	81	362
Skylė termistoriui, mm	Ø1,5×16	Ø1,5×16
Svoris, g	97	127

Aušinimo radiatorių šilumos laidumo skaičiavimams ir aušinimo efektyvumo tyrimui buvo naudojamas Comsol Multiphysics® programų paketas. Ši programinė įranga skirta modeliuoti ir imituoti bet kokią fizikinę sistemą, sujungiant kelis fizikinius modulius vienu metu, pavyzdžiui, optikos, mechanikos, chemijos, šilumos ar skysčio srauto modulius. Prieš atliekant skaičiavimus, sumodeliuojamas kūnas ar sistema, toliau ji skaidoma baigtiniais elementais, įvertinami medžiagų parametrai, konstrukciniai elementai ir tikslios detalių geometrijos. Programos Comsol Multiphysics® daugiafunkcionalumas sudaro galimybę sumodeliuoti supaprastintą vėjo tunelio modelį, pavaizduotą 2 pav.

Radiatorių, pavaizduotų 1 pav., 3D modeliai pateikti 3 pav.



2 pav. Vėjo tunelio modelio geometrija Comsol Multiphysics® terpėje
Šaltinis: sudaryta autorių



3 pav. 3D radiatorių modeliai
Šaltinis: sudaryta autorių

Skaičiavimams atlikti reikia apibrėžti naudojamas medžiagas. Jų fizines mechanines savybes rekomenduoja programinė įranga, tačiau esant poreikiui juos galima koreguoti. Skaitmeninio modeliavimo metu sistemą sudaro du elementai: vėjo tunelis (oras) ir aušinimo radiatorius (aliuminis). Siekiant padidinti aušinimo radiatorių efektyvumą jų medžiaga taip pat buvo keičiama į varį. Aliuminio ir vario charakteristikos pateiktos 2 lentelėje.

Medžiagų charakteristikos

Parametras	Aliuminis	Varis
Tankis, kg/m ³	2700	8960
Šilumos laidumo koeficientas, W/mK	238	400
Paviršiaus emisijos koeficientas	0,9	
Pradinė temperatūra, °C	23	

Oro srauto greitis nustatomas pagal aušinimo ventiliatoriaus technines charakteristikas. Kaitinimo elemento galią nurodo gamintojas, o aplinkos temperatūrą pritaikoma visam modeliui ir atskirai nurodytoms dalims. Kraštinės sąlygos pateiktos 4 pav.

P0_heat	50[W]	50 W	Kaitinimo elemento galia
Q0_fan	0.4[m ³ /min]	0.0066667 m ³ /s	Ventiliatoriaus oro srautas
V0_outlet	1.8[m/s]	1.8 m/s	Išėjimo greitis

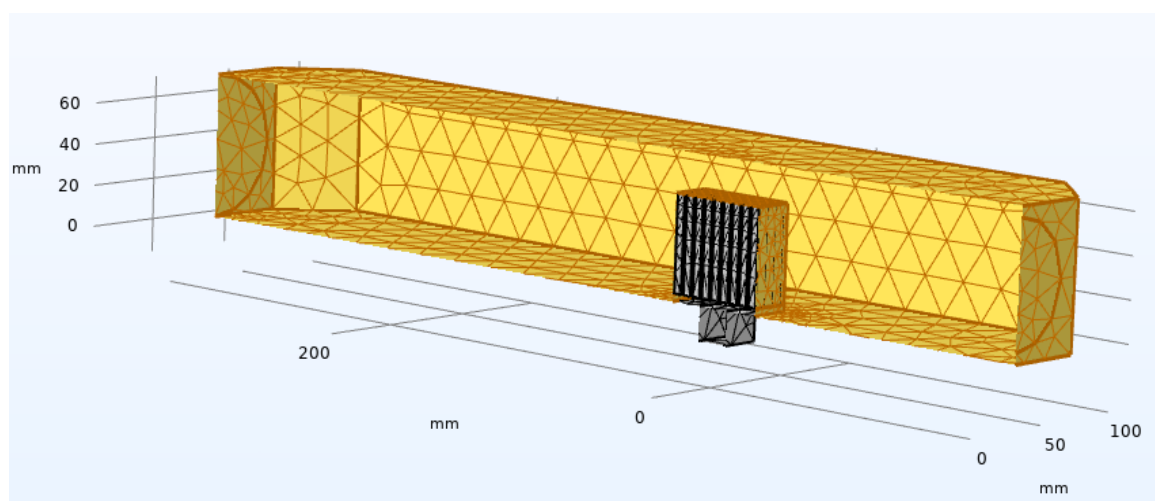
4 pav. Kraštinės sąlygos skaitmeniniam modeliavimui

Šaltinis: sudaryta autorių

Skaičiavimai atliekami modelį suskaidžius baigtiniais elementais ir sudarant šių elementų tinklą. Abiejų radiatorių tinklelio duomenys pateikti 3 lentelėje. Sudarytas I bandinyje (1 pav., kairėje) baigtinių elementų tinklelis pavaizduotas 5 pav.

Baigtinių elementų tinklelio parametrai

Parametras	I bandinys (1 pav., kairėje)	II bandinys (1 pav., dešinėje)
Tinklelio taškų kokybė	0,46	0,5
Linijinių elementų skaičius	8368	18983
Mazgų skaičius	33209	83672
Dominuojančių elementų skaičius	38429	93428

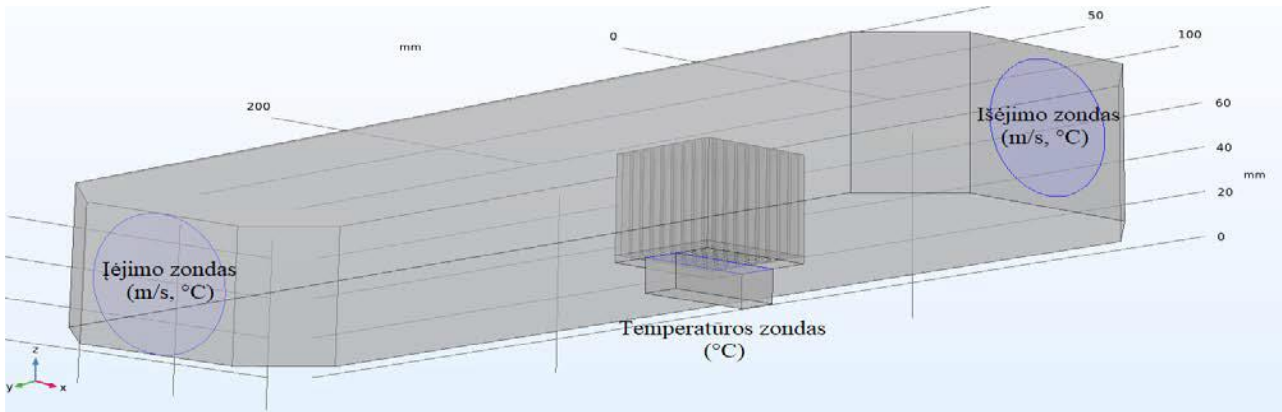


5 pav. Vėjo tunelio ir jame patalpinto radiatoriaus modelis su baigtinių elementų tinkleliu

Šaltinis: sudaryta autorių

Apskaičiuojama radiatoriaus paviršiaus ir išeinančio iš tunelio oro srauto temperatūra, tam pasirenkami paviršiai, kurie atlieka zondų funkcijas ir kuriuose matuojama vidutinė norimo parametro vertė nurodytais laiko intervalais (1 min). Zondų išsidėstymas parodytas 6 pav.

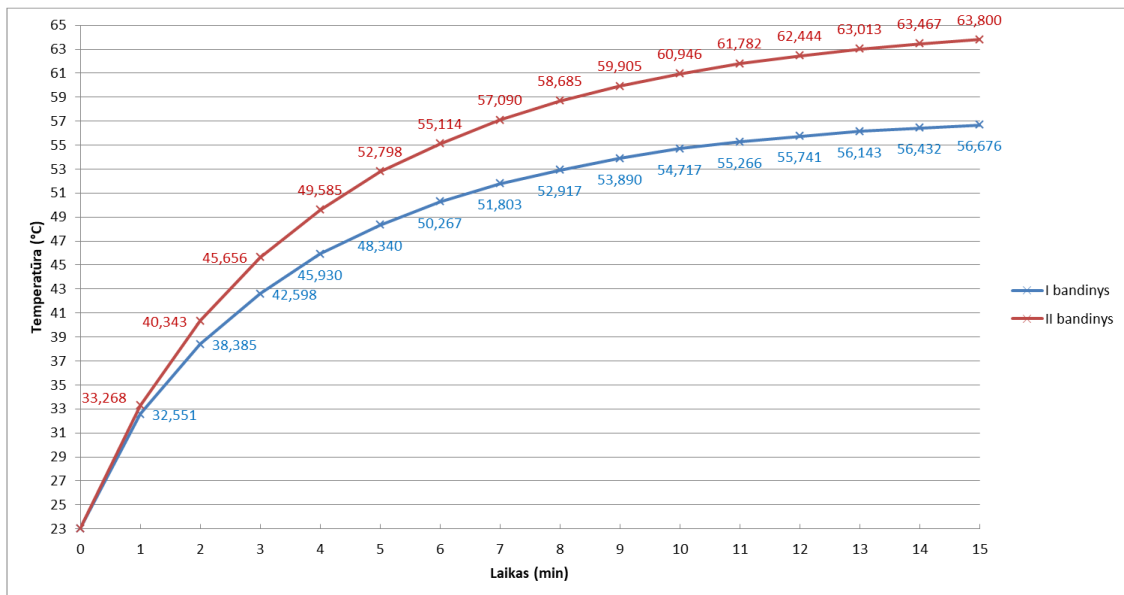
Modeliavimui pasirinktas jungtinis (konjuguotas) šilumos perdavimo modeliavimo metodas. Šis metodas leidžia kombinuoti šilumos perdavimą kietose kūnuose ir skysčiuose. Pasirenkamas nuo laiko priklausomas (angl. time-dependant) uždavinys. Nustatomi modelio paviršiai, kuriems galioja apibrėžtos kraštinės sąlygos.



6 pav. Zondų išsidėstymas modelyje
Šaltinis: sudaryta autorių

Skaitmeninių tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

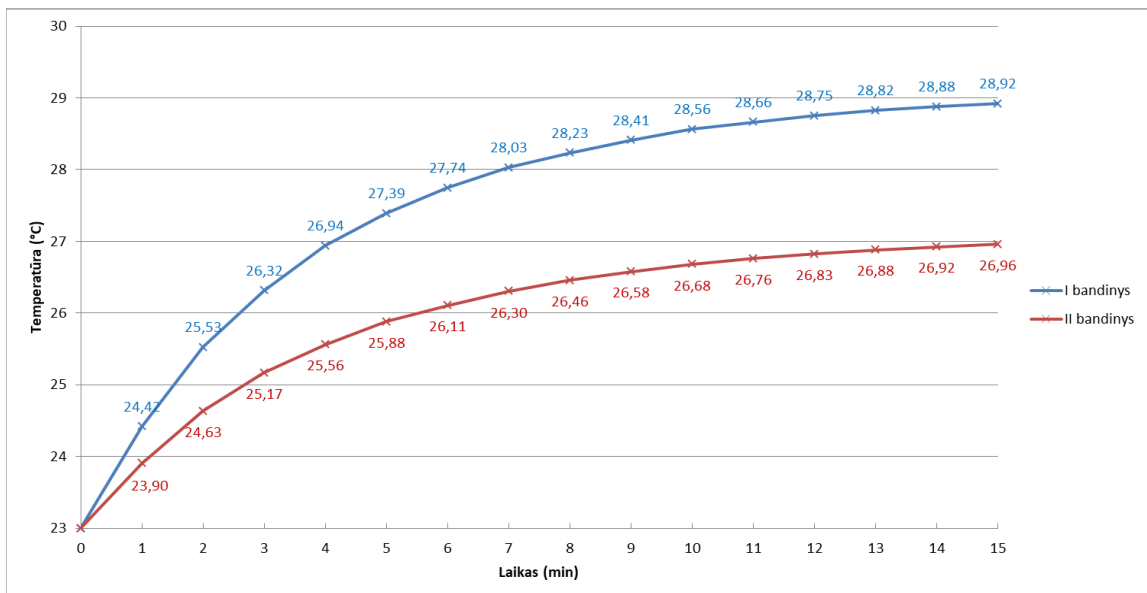
Sistemos šilumos laidumui įvertinti naudojamos radiatoriaus paviršiaus (6 pav.) ir išėjimo oro srauto vidutinės temperatūros. Atlikus aliuminio radiatorių skaitmeninį modeliavimą gauti vidutinių paviršiaus ir oro srauto temperatūrų kitimo laike grafikai pavaizduoti 7 ir 8 pav.



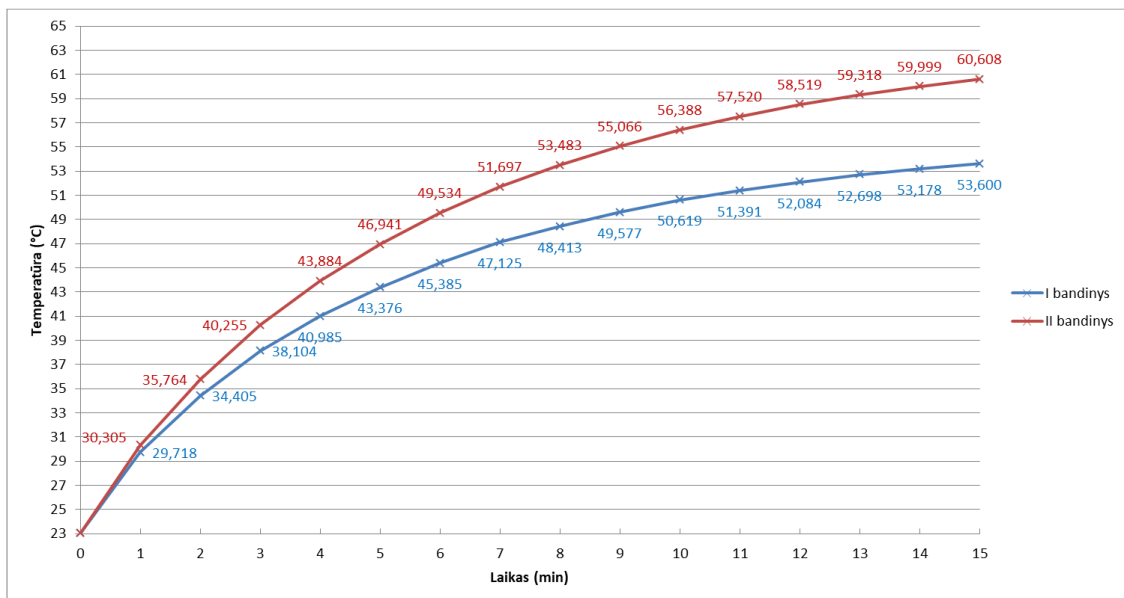
7 pav. Aliuminio radiatorių paviršiaus vidutinės temperatūros priklausomybės nuo laiko grafikas
Šaltinis: sudaryta autorių

7 pav. Galima matyti, kad I radiatoriaus bandinio (1 pav., kairėje) paviršiaus vidutinė temperatūra po 15 minučių pasiekia didžiausią 56,676°C reikšmę, o II radiatoriaus bandinyje (1 pav., dešinėje) ši temperatūra sudaro 63,800°C. Nustatyta, kad I bandinys yra 11,2% efektyvesnis už II išskleidant šilumą nuo kaitinamo elemento. Vidutinė išėjimo srauto temperatūra (8 pav.) skaičiuojama oro tunelio išėjimo angoje (6 pav.) po 15 minučių siekė 28,92°C I bandinio atveju, o II bandinio atveju ji siekė tik 26,96°C, tai rodo, kad I bandinys pagamintas iš aliuminio geriau išsklaido šilumą.

Aušinimo radiatoriaus efektyvumui didinti atliktas tos pačios geometrijos bandinių, tačiau pagamintų iš vario, skaitmeninis modeliavimas. Vidutinės radiatoriaus paviršiaus temperatūros kitimo laike grafikai vario radiatoriams parodyti 9 pav., o išėjimo oro srauto vidutinės temperatūros kitimo laike grafikai pateikti 10 pav.



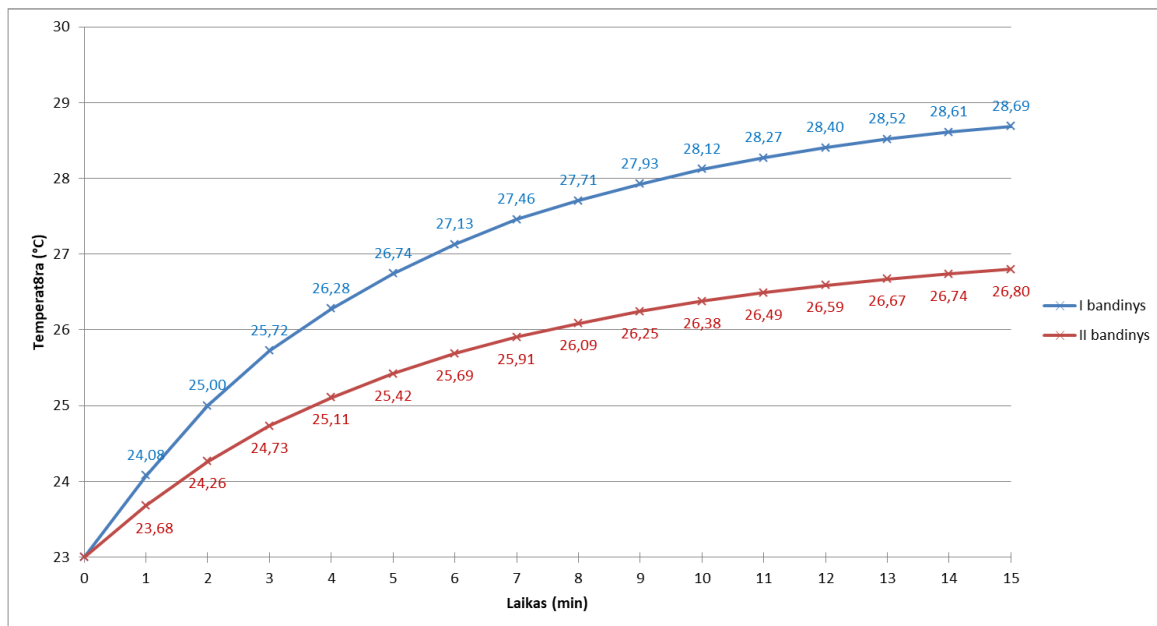
8 pav. Vidutinės išėjimo oro srauto temperatūros priklausomybės nuo laiko grafikai gauti atveju kai naudojami aliuminio radiatoriai
Šaltinis: sudaryta autorių



9 pav. Varinių radiatorių paviršiaus vidutinės temperatūros priklausomybės nuo laiko grafikas
Šaltinis: sudaryta autorių

9 pav. Matome, kad vidutinė I radiatoriaus bandinio (1 pav., kairėje) paviršiaus temperatūra po 15 minučių pasiekė didžiausią 53,600°C reikšmę, o II bandinyje (1 pav., dešinėje) ši temperatūra buvo 60,608°C. Nustatyta, kad varinis I tipo radiatoriaus bandinys yra 11,6% efektyvesnis už II bandinį išskaidant šilumą nuo kaitinamo elemento. Kai buvo naudojamas I bandinys, vidutinė išėjimo srauto temperatūra (10 pav.) skaičiuojama oro tunelio išėjimo angoje siekė 28,69°C, o kai buvo naudojamas II bandinys ji sudarė 26,80°C, todėl galima teigti, kad I bandinys pagamintas iš vario geriau išsklaido šilumą.

Lyginant aliuminio ir varinio aušinimo radiatorių efektyvumą apskaičiuotas 5,4% paviršiaus temperatūros sumažėjimas pirmajame ir 5% antrajame bandinyje kai naudojamas varis. Išeinančio oro srauto temperatūra mažėjo nežymiai – mažiau 1% abiem atvejais.



10 pav. Vidutinės išėjimo oro srauto temperatūros priklausomybės nuo laiko grafikai gauti atvejui kai naudojami variniai radiatoriai
Šaltinis: sudaryta autorių

Išvados

Skaitmeninio modeliavimo metu nustatyta, kad aušinimo radiatorius turintis daugiau kaiščių (362 vnt.) ir didesnę masę (127 g) neefektyviai išsklaido šilumą, o mažiau kaiščių (81 vnt.) turintis ir lengvesnis (97 g) radiatorius sumažina paviršiaus temperatūrą apie 11–12%. Atsižvelgus į gautus rezultatus rekomenduojama į sistemą montuoti I tipo aušinimo radiatorių, kuris šalina ir išsklaido šilumą efektyviau.

Tęsiant tyrimus šia tema, siūloma padidinti skaičiavimo intervalo trukmę, imituoti sudėtingesnes aplinkos sąlygas ir įterpti papildomus aktyvaus aušinimo elementus, tokius kaip papildomas ventiliatorius, aušinimas nanofliuidais ar termoelektrinis aušinimas.

Literatūra

1. Amoako, A.A. 2018. Optimization of Heat Sinks in a Range of Configurations. Master's Thesis. Brookings: South Dakota State University.
2. Amoako, A.A., Doom, J.J. 2018. Optimization of heat sinks in a range of configurations. 2018 Joint Thermophysics and Heat Transfer Conference, June 25–29, 2018 Atlanta, Georgia.
3. Ismail, M.A., Abdullah, M.Z., Mujeebu, M.A. 2008. A CFD-based experimental analysis on the effect of free stream cooling on the performance of micro processor heat sinks. International Communications in Heat and Mass Transfer, 35(6), 771–778.
4. Kepekci, H., Asma, A. 2020. Comparative analysis of heat sink performance using different materials. American Journal of Engineering Research, 9(4), 204–210.
5. Khudheyer, A.F., Hasan, Z.H. 2015. Effect of the fins configuration on natural convection heat transfer experimentally and numerically. International Journal of Energy and Environment, 6(6), 607–628.
6. Mohan, R., Govindarajan, P. 2011. Experimental and CFD analysis of heat sinks with base plate for CPU cooling. Journal of Mechanical Science and Technology, 25(8), 2003–2012.
7. Sam Sukumar, R., Sriharsha, G., Bala Arun, S., Dilip Kumar, P., Sanyasi Naidu, Ch. 2013. Modelling and analysis of heat sink with rectangular fins having through holes. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), 3(2), 1557–1561.
8. Tarvydas, P., Noreika, A., Staliulionis, Z. 2013. Analysis of Heat Sink Modelling Performance. Elektronika ir Elektrotechnika, 19(3), 43–46.

RESEARCH INTO THE COOLING EFFICIENCY OF PIN-FIN HEAT SINKS USED IN ELECTRONICS: NUMERICAL SIMULATION

Summary

In the article, pin-fin heat sinks used for cooling electronic components and their test stand used to simulate working conditions are investigated using numerical methods. Thermal conductivity analysis of 2 heat sink structures was

performed using COMSOL Multiphysics® software. The cooling efficiency of the heat sinks was compared based on the temperatures of the surface and air at a wind tunnel's outlet.

Keywords: heat sink, electronic components, thermal conductivity, temperature, cooling efficiency.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Laurynas Samuolis

Mokslų laipsnis ir vardas: inžinerijos mokslų bakalauras

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos fakulteto, Mechanikos ir medžiagų inžinerijos katedros magistrantas

Autoriaus mokslinių interesų sritys: skaičiuojamoji skysčių dinamika

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 5 2370594, laurynas.samuolis@stud.vilniustech.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Vadim Mokšin

Mokslų laipsnis ir vardas: daktaras, profesorius

Darbo vieta 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@vilniustech.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Laurynas Samuolis

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: computational fluid dynamics (CFD)

Telephone and e-mail address: 8 5 2370594, laurynas.samuolis@stud.vilniustech.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@vilniustech.lt

SPAUSDINTO MONTAŽO PLOKŠČIŲ TAKELIŲ REMONTO VERTINIMAS

Artūras Aleksynas, Julius Šaltanis

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Straipsnyje pateikta metodika, kaip aptikti, įprastomis technologijomis (vizualinė apžiūra, vaizdo padidinimo įranga, mechaninio poveikio bandymai) nepastebimus, spausdinto montažo plokščių takelių (toliau SMP) remonto defektus. Atlikta takelių remonto defektų galimų priežasčių analizė.

Reikšminiai žodžiai: SMP takeliai, SMP remontas, IPC standartai.

Įvadas

Atsižvelgiant į pasauliniu mastu pripažįstamo standarto IPC¹-7711/7721 nuostatas, SMP takeliai, esant poreikiui, gali būti remontuojami, o takelių remonto darbus gali atlikti tik šios srities sertifikuoti specialistai. Takelių remontas turi būti atliktas taip, kad nepablogėtų suremontuotų takelių techninės charakteristikos. Šio tyrimo metu buvo atlikta trisdešimt šešių SMP takelių remonto kokybinė analizė, iš jų šešiose buvo nustatyti takelių remonto defektai, kurie nebuvo pastebėti įprastomis diagnostinėmis priemonėmis.

Tyrimo objektas – SMP takelių remontas.

Tyrimo tikslas – įvertinti SMP takelių kokybę po atlikto jų remonto.

Tyrimo uždaviniai:

1. Identifikuoti suremontuotų SMP takelių defektus.
2. Nustatyti galimas suremontuotų SMP takelių defektų priežastis.

Tyrimo metodai: praktiniai eksperimentai, duomenų analizė.

SMP takelių remonto seka ir pagrindiniai reikalavimai

SMP takelių remonto kokybinei analizei pasirinktos plokštės, kuriose takeliai buvo suremontuoti, taikant folijos ruošinio, epoksidinių klijų (Foil Jumper, Epoxy Method) metodą. Tai vienas iš taikomų metodų, kai reikia pakeisti pažeistus arba trūkstantus SMP takelius. Taikant šį metodą, takeliai remontuojami tokia seka [1]:

- Pažeistas takelis išjaunamas specialiai tam pritaikytu peiliuku ir pašalinamas;
- Likę nepažeisto takelio galai, nuvalomi iki vario aštrių peiliuku ir valikliu atidengiant ilgį didesnę nei per du takelio pločius;
- Iš specialaus folijos ruošinių rinkinio, skirto takelių remontui, pasirenkamas reikiamo pločio ir ilgio ruošinys;
- Naudojant medinius strypelius, ruošinys išlankstomas pagal pašalinto takelio trajektoriją. Esant staigių posūkių formavimo poreikiui, folijos ruošinys gali būti perlenkiamas;
- Naudojant lipnią juostą, suformuota takelio atkarpa laikinai priklijuojama pašalinto takelio vietoje. Suformuotas ruošinys turi persidengti su remontuojamu takeliu ne mažiau nei per du remontuojamo takelio pločius abejuose galuose;
- Naudojant rankines litavimo priemones, suformuotas ruošinys prilituojamas prie remontuojamo takelio paruoštų galų;
- Pašalinama ruošinio fiksavimui naudota lipni juosta ir suremontuoto takelio sritis kruopščiai nuvaloma bei įsitikinus, kad suremontuota takelio dalis gerai prigludusi prie SMP paviršiaus, padengiama epoksidiniais klijais. Tam, kad SMP ir suremontuotos srities spalva būtų kuo panašesnė, į epoksidinius klijus įmaišoma specialaus spalvos pigmento;
- Naudojant vaizdo didinimo priemones atliekama sujungimo persidengimo ir epoksidinių klijų tekstūros bei spalvos patikra. Jei būtina, taip pat atliekami ir elektriniai bandymai.

Eksperimentui naudota įranga, eksperimento atlikimo sąlygos ir eiga

SMP suremontuotų takelių atkarpų remonto kokybei įvertinti pasirinktas termovizinis metodas. Šio metodo privalumas tas, jog galima identifikuoti suremontuoto takelio sritis, kuriose remonto laidininko varža yra padidėjusi arba skerspjūvis, lyginant su originaliu takeliu, yra mažesnis. Bandymas atliekamas originalia ir suremontuota takelio atkarpa praleidžiant tos pačios vertės elektros srovę. Jei suremontuotoje

¹ The Global Association for Electronics Manufacturing. <https://www.ipc.org/>

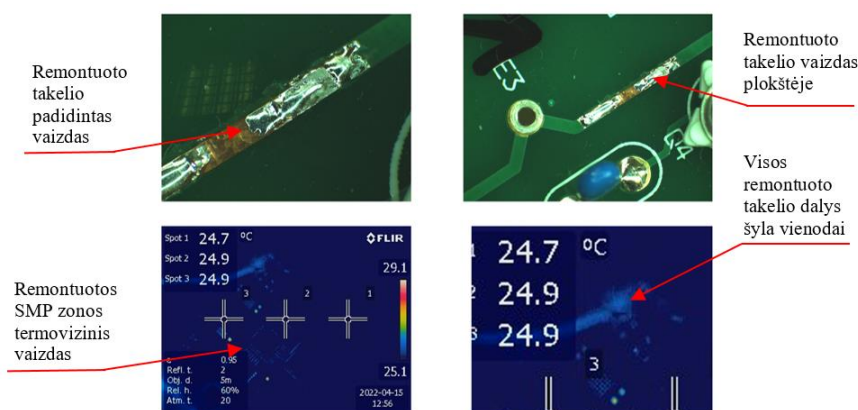
takelio dalyje pastebima aukštesnė temperatūra, nei originalaus takelio dalyje, vadinasi suremontuota sritis neatitinka keliamų reikalavimų (suremontuotas takelis negali pabloginti SMP takelių charakteristikų).

Ekspperimentiniam tyrimui atlikti naudota įranga ir jos paskirtis:

1. Termovizorius E60bx FLIR, SMP takelių temperatūrai išmatuoti;
2. Maitinimo šaltinis DP832 RIGOL, srovei per SMP takelius sugeneruoti;
3. Mikroskopas 3.0 MP Moticam, galimų SMP takelių remonto defektų vizualinei apžiūrai.

SMP P/N: PCB015 REV A, spausdinto montažo plokštės, su kuriomis buvo atliktas eksperimentas, siekiant nustatyti galimus takelių remonto defektus. Imtis - 36 vnt. Svarbus faktorius, kad tyrimui naudotos SMP buvo remontuotos mokantis remonto procedūrų, siekiant įgyti sertifikuoto IPC specialisto pažymėjimą, dėl ko klaidų tikimybė galėjo būti didesnė nei atliekant profesionalų takelių remontą.

Atliekant eksperimentą, per suremontuoto takelio atkarpą (atkarpa parenkama taip, kad ją sudarytų originali ir remontuota takelio dalis) praleidžiama elektros srovė, kurios stiprumas parenkamas taip, kad tiriama takelio atkarpa pradėtų šilti. Tiriama takelio temperatūra matuojama termovizoriumi. Siekiant eliminuoti pašalinius trikdžius (šviesos atspindžius), SMP takelių temperatūros matavimai atliekami uždaroje erdvėje į kurią nepatenka šviesa. Jei visos takelio dalys šyla vienodai (1 pav.) arba originalaus takelio atkarpos temperatūra yra aukštesnė nei remontuoto takelio atkarpos, daroma prielaida, kad takelio remontas atliktas kokybiškai.



1 pav. Kokybiško takelių remonto pavyzdys

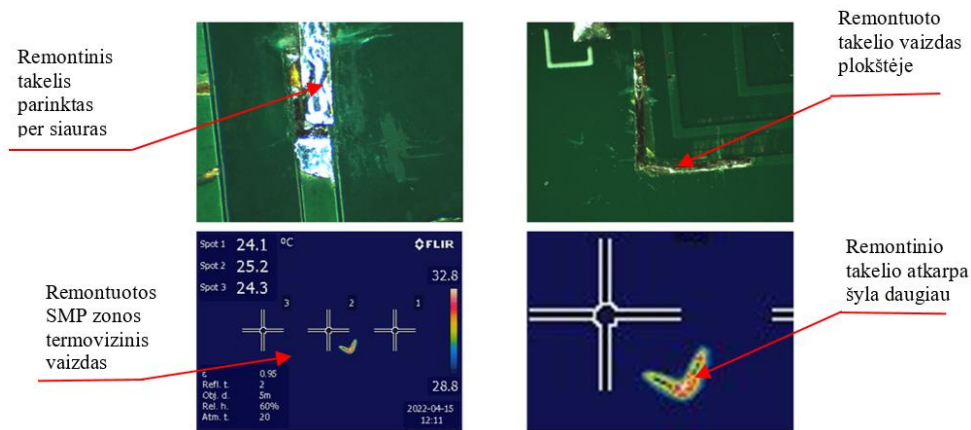
Šaltinis: sudaryta autorių

Jei remontuoto takelio atkarpoje stebima aukštesnė temperatūra nei originalaus takelio atkarpoje, daroma prielaida, kad aukštesnės temperatūros zonoje gali būti remonto defektas. Tokiu būdu atlikus eksperimentus su trisdešimt šešiomis SMP, šešiose iš jų buvo pastebėta aukštesnė temperatūra remontuotose takelių atkarpose.

Tikėtinos takelių remonto defektų priežastys, nustatytos eksperimento metu

Tikėtinioms remontuotų takelių defektų priežastims nustatyti, taikytas padidinto vaizdo apžiūros metodas (apžiūra mikroskopu). Iš šešių SMP takelių remonto defektų atvejų nustatytos keturios skirtingos takelių remonto defektų tikėtinos priežastys:

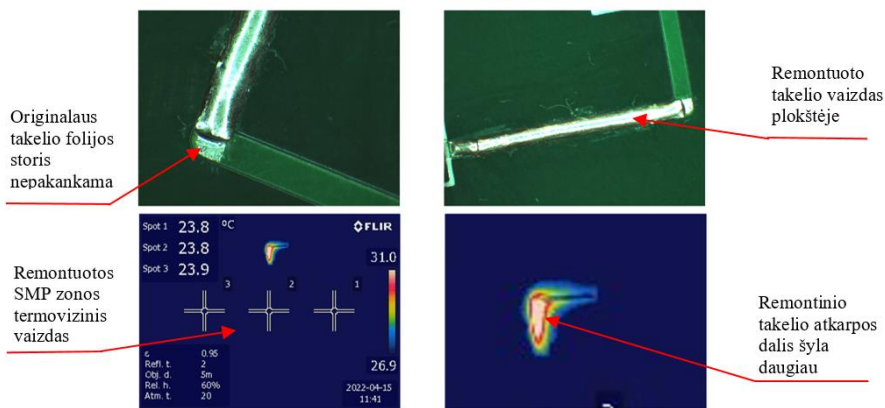
1. *Remontui skirtas ruošinys parinktas per siauras* (2 pav.). Pagal šią priežastį eksperimento metu nustatyti du defekto atvejai. Suremontuotų takelių apžiūra per mikroskopą neleido tiksliai identifikuoti defekto, kadangi remontinio takelio pločio skirtumas, lyginant su originaliu takeliu, yra labai nežymus. Atlikus termovizinius matavimus, buvo nustatyta, kad ir nežymus originalaus ir remontinio takelių pločio skirtumas turi reikšmingos įtakos elektros srovės pralaidumui. Termovizinis vaizdas įrodo, kad remontinio takelio atkarpa šyla daugiau, vadinasi šios atkarpos, lyginant su originalia takelio atkarpa, parametrai elektriniu požiūriu yra blogesni. Vadovaujantis IPC-7711/7721 standartu tai turi būti traktuojama kaip defektas. Išdidintoje originalaus ir remontinio takelių sulitavimo vietoje taip pat galima pastebėti nežymų takelių prasilenkimą, kas dar labiau sumažina remontinio takelio naudingą plotą. Tikėtina, kad šie abu faktoriai (per siauras remontinis takelis ir takelių prasilenkimas jų sulitavimo vietoje) ir įtakoja blogesnį remontinio takelio atkarpos pralaidumą elektros srovei.



2 pav. Parinktas per siauras remontinis takelis

Šaltinis: sudaryta autorių

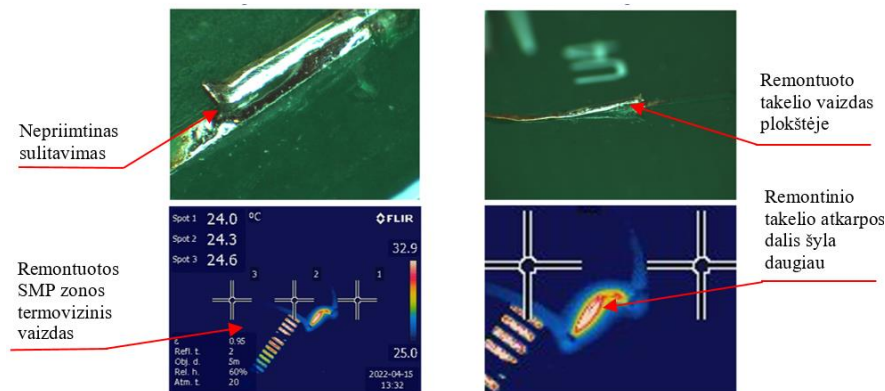
2. *Originalaus takelio folijos storis yra nepakankamas*, kadangi valymo metu pašalintas ženklus takelio folijos vario sluoksniu (3 pav.). Pagal šią priežastį eksperimento metu nustatytas vienas defekto atvejis. Suremontuoto takelio apžiūra per mikroskopą neleidžia identifikuoti jokių defekto požymių. Originalaus ir remontinio takelių sulitavimo vieta vizualiai atrodo nepriekaištingai, tačiau atlikus temperatūros matavimus šioje zonoje matoma aukštesnė temperatūra takelių sulitavimo vietoje. Kadangi vizualiai bei taikant mechanines priemones (buvo bandoma takelius atskirti specialiu peiliuku) defekto priežasties nustatyti nebuvo įmanoma, todėl daroma loginė prielaida, kad labiausiai tikėtina defekto priežastis – nepakankamas originalaus takelio storis (tikėtina takelis buvo pernelyg suplonintas nuo jo šalinant laką).



3 pav. Originalaus takelio folijos storis nepakankamas

Šaltinis: sudaryta autorių

3. *Nepriimtinas originalaus ir remontinio takelių jungiamasis sulitavimas* (4 pav.). Pagal šią priežastį eksperimento metu nustatyti du defekto atvejai.



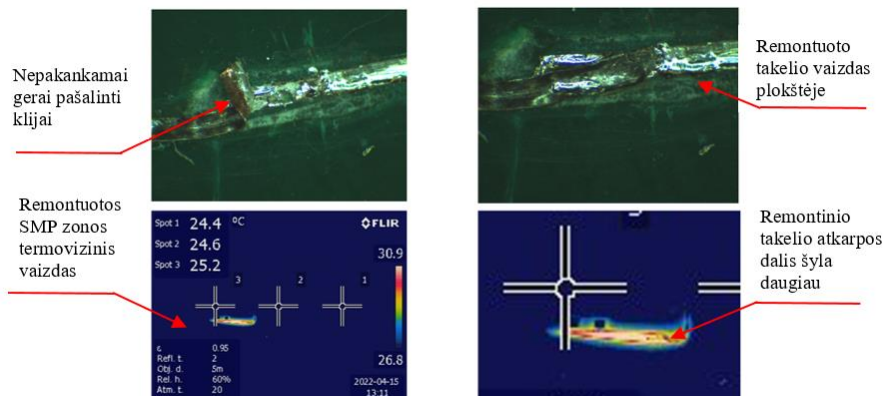
4 pav. Nepriimtinas originalaus ir remontinio takelių sulitavimas

Šaltinis: sudaryta autorių

Sulituotų originalaus ir remontinio takelių padidinto vaizdo pirminės apžiūros metu nebuvo pastebėta trūkumų, dėl kurių takelio remontą reikėtų laikyti nepriimtiniu, tačiau, atlikus remonto srities temperatūros

matavimą termovizoriumi, pastebima aukštesnė temperatūra takelių sulitavimo vietoje. Atlikus takelių atskyrimo peiliu bandymą, paaiškėjo, kad lydvietė nepakankamai kokybiška („šaltas“ litavimas), nes dalis remonto takelio atsiskyrė nuo originalaus jų sulitavimo vietoje.

4. *Nepakankamai gerai pašalinti klizai nuo remontui skirto takelio* (5 pav.). Pagal šią priežastį eksperimento metu nustatytas vienas defekto atvejis.



5 pav. Nepakankamai gerai pašalinti klizai

Šaltinis: sudaryta autorių

Kaip ir nepakankamai kokybiško remonto ir originalaus takelių sulitavimo atveju taip ir šiuo, padidinto vaizdo apžiūros metu, defektų pastebėta nebuvo, tačiau termovizinis vaizdas parodė, kad takelių sujungimas yra nekokybiškas nes šyla daugiau nei kitos suremontuoto takelio sritys. Atlikus takelių atskyrimo peiliu bandymą, po remonto takeliu buvo pastebėti klizų likučiai, kas, tikėtina, ir turėjo įtakos nekokybiškam takelių sulitavimui.

Išvados ir rekomendacijos

1. Eksperimentinių tyrimų metu buvo identifikuoti šeši takelių remonto defektai iš trisdešimt šešių pasirinktų remonto atvejų. Tai sudaro 16,7 proc. nuo visų analizuotų remonto atvejų. Priimant, kad SMP takelių remontas dažniausiai atliekamas labai svarbios paskirties (pagal IPC klasifikaciją antros ir trečios klasės) elektronikos gaminiams, remonto defektai iš principo yra netoleruoti. Gautas rezultatas rodo, kad reikėtų atidesnio suremontuotų takelių tikrinimo įprastomis priemonėmis (vizualinė apžiūra, vaizdo padidrinimo įrangos naudojimas, mechaninio poveikio bandymai), kadangi pakartotinai atlikus takelių apžiūrą (ypač pritaikius mechaninio poveikio bandymą) buvo identifikuotos defektų priežastys.

2. Termovizinio bandymo metu galima nustatyti takelių remonto defekto faktą, tačiau šis bandymas neleidžia nustatyti tikrosios remonto defekto priežasties. Nustačius defekto faktą, būtina iš naujo analizuoti defekto priežastis įprastomis priemonėmis. Iš tyrimo metu nustatytų keturių skirtingų priežasčių (remontui skirtas trumpiklis parinktas per siauras; originalaus takelio folijos storis yra nepakankamas; nepriimtinas originalaus ir remonto takelių jungiamasis sulitavimas; nepakankamai gerai pašalinti klizai nuo remontui skirtu takeliu), atlikus detalesnę apžiūrą, trys defektų priežastys buvo identifikuotos įprastomis priemonėmis. Tikėtiną defektą „Originalaus takelio folijos storis yra nepakankamas“ įprastomis priemonėmis nustatyti sudėtinga arba netgi neįmanoma, nes jokių defektų rodančių požymių pastebėti nepavyko. Tokio pobūdžio defektai reikalauja išsamesnių tyrimų. Apibendrinant galima teigti, kad termovizinis SMP takelių remonto defektų nustatymo būdas leidžia išaiškinti „užslėptus“ defektus ir taip prevenciškai užkirsti kelią defektuotų gaminių patekimui į rinką.

Atsižvelgiant į tyrimo rezultatus, SMP takelių remonto darbai rekomenduojami kaip įmanoma atidžiau tikrinti takelių remonto sritį įprastomis priemonėmis, o elektronikos gaminių gamintojams siūloma apsvaistyti termovizinių testų kūrimo galimybes.

Literatūra

1. Rework, Modification and Repair of Electronic Assemblies. IPC-4411/7721. Revision C. Conductor Repair, Foil Jumper, Epoxy Method. No 4.2.1. IPC, Bannockburn, Illinois, USA. 2017.
2. 4.2.1 Conductor Repair, Foil Jumper, Epoxy Method. Circuit Technology Center, Inc. [interaktyvus]. [žūrėta 2022-11-29]. Prieiga per internetą: <https://www.circuitrework.com/guides/4-2-1.html>
3. Technical Data. FLIR. [interaktyvus]. [žūrėta 2022-12-08]. Prieiga per internetą: <https://datasheet.octopart.com/FLIR-E60BX-FLIR-datasheet-17801328.pdf>
4. *Acceptability of Electronics Assemblies*. IPC-A-610. Revision H. IPC, Bannockburn, Illinois, USA. 2020.

5. Generic Standard on Printed Board Design. IPC-2221. Revision B. IPC. [interaktyvus]. [žūrėta 2022-12-08]. Prieiga per internetą: <https://www.ipc.org/TOC/IPC-2221B.pdf>
6. The Global Association for Electronics Manufacturing. <https://www.ipc.org/>

EVALUATION OF REPAIR OF PRINTED ASSEMBLY PLATE TRACKS

Summary

The methodology presented in the article is how to detect defects, that are invisible to conventional technologies (visual inspection, image enlargement equipment, mechanical impact tests), in the repair of printed circuit board traces. An analysis of possible causes of PCB trace repair defects is carried out.

Key words: PCB traces, PCB repair, IPC standards.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Artūras Aleksynas.

Mokslo laipsnis ir vardas: lektorius

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegija, studijų programos „Elektronikos technika“ lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: technologinių procesų valdymas.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 676 26285, arturas.aleksynas@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Julius Šaltanis.

Mokslo laipsnis ir vardas: lektorius

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegija, studijų programos „Elektronikos technika“ lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: elektronikos technologijos, gamybos technologijos.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 677 53822, julius.saltanis@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Artūras Aleksynas.

Science degree and name: lecturer.

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, lecturer of Electronic engineering study programme.

Author's research interests: process control.

Telephone and e-mail address: 8 676 26285, arturas.aleksynas@edu.ktk.lt

Author name, surname: Julius Šaltanis.

Science degree and name: lecturer.

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, lecturer of Electronic engineering study programme.

Author's research interests: electronics technologies, manufacturing technologies.

Telephone and e-mail address: 8 677 53822, julius.saltanis@edu.ktk.lt

INVESTIGATION OF LOADS IN THE COMPANY'S CABLE NETWORK WITH DIGITAL OSCILLOSCOPE

Gediminas Daukšys

Kaunas University of Applied Engineering Sciences

Abstract

Overcurrent and current harmonics of various sizes occur in the network when devices are often switched on and off, speed control drives.

Installed power of the researched company is 1000 kW. It is powered through 10/0,4 kV substations, using a bus circuit with a two-sided power supply. Part of the receivers are powered by four-core cables, part by five-core cables.

Computer program NextView4 was used to record the current, BNC Connector ZU37BBI and current clamps - Chauvin arnoux Y7N. 6 main cables were tested. Parameters of the recording: 1 ms period, 1 kHz frequency, time – 6-7 days.

The results show that 17 percent of the cables are overloaded.

Keywords: Grid, Load, Current Transformer, Overcurrent, Cable.

Introduction

In industrial companies, electricity is supplied only by three-phase alternating current. In most companies, power receivers are AC three-phase and single-phase currents (for lighting). There are five types (up to 1 kV) of alternating three-phase electrical network diagrams [7]: IT, TT, TN-S, TN-C, TN-C-S systems.

Depending on the size of the company and the installed capacity, typically the company receives energy directly from the 10 kV network. Enterprises are divided according to the reliability of electrical energy supply [3]: Categories I, II, III. Electrical consumers can be divided into groups according to the operating mode. This distribution makes it easier to determine the loads.

The aim - to determine and evaluate the loads of arterial cable lines.

The object - the company's cable power network of 0,4 kV voltage.

Tasks:

1. Evaluate the structure and elements of the existing network;
2. Make the analysis of the work scheme;
3. To evaluate cables and their loads using demand and graphic load methods coefficients.

There are three operating modes [5]:

1. Long-term mode (long-running mechanisms, fans, production lines, conveyors);
2. Short-term mode (auxiliary mechanisms, valves);
3. Repeating short-term mode (Crane mechanisms, welding equipment).

Consumers are classified according to the similarity of the technological process into:

1. General industrial equipment (compressors, conveyors, fans. Categories I or II, $\cos \varphi = 0,85$);
2. Production mechanisms (main receivers of an industrial enterprise, Category II, $\cos \varphi = 0,85$);
3. Electric technological equipment (welding, electrothermal, induction equipment, power factor varies from 0,05 to 0,9);
4. Electric lighting devices (single-phase load receivers, up to 2 kW, asymmetry up to 5-10%, $\cos \varphi = 0.95$).

General industrial equipment often operates in a repetitive mode, characterized by variable loads, load spikes [6]. When designing the company's electricity supply and distribution system, it is very important to determine the expected electrical loads accurately. The choice of system cabling, the cost of installing the system, power losses and operating costs depend on how accurately they will determine the load. Electricity consumer depends on the load of individual receivers in the workshops and the company. When designing and operating electrical networks, the main load indicators are: active power P, reactive power Q, current I.

The following electrical load values are used to calculate the company's power supply systems [2]:

1. Average loads (to determine the design load);
2. Electric spikes (for selection of protective devices).

Nominal current (I_n), maximum current (I_{max}) or calculated current (I_{sk}) can be used for selecting company cables. They are all found by the nominal power of the receiver, which is known.

Overcurrent and current harmonics of various sizes occur in the network when devices are often switched on and off, speed control drives or non-linear receivers. They can be set up in a built-in, working

network, or to the receiver if the network is not completed. Overcurrents are caused by loads which, in terms of duration, occur in [1]:

1. Long-term loads of various durations (10, 15, 30, 60 min.);
2. Short-term loads (0,01-2 s).

If a company wants to reconstruct production lines and increase the capacity passing through a cable line, it is necessary to estimate the actual existing loads on that line and determine the capacity utilization factor of the line. The problem - What method is the best to evaluate the calculating loads of the cables, when we have the load current graphic.

1. The electrical network of investigation

The installed power of our researched company is 1000 kW. The company started working in 2002. Since then, the cable network almost not changed, although the devices have been renovated. It works in three shifts. The companies job profile – is baking and distribution of various flour products to Lithuania, Latvia and Estonia. The company is powered through 10/0,4 kV substations, using a bus circuit with two-sided power supply (Fig. 1).

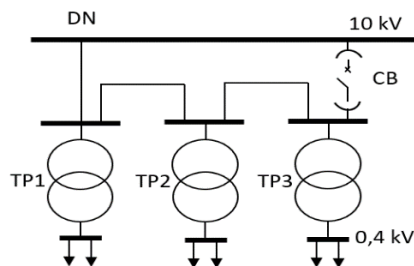


Fig. 1. The scheme of energy supply to company. DN - distribution network, CB – circuit breaker, TP – substation 10/0,4 kV

This scheme has a greater reliability than the radial scheme. The company has the second category, according to the reliability of electricity supply. Therefore, energy must be supplied from two independent power sources [3]. Net Neutral - Directly grounded. In the company, part of the receivers are powered by four-core cables and part by five-core cables. The TN-C-S system is used (Fig. 2).

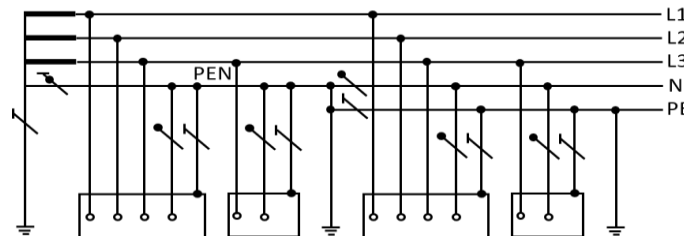


Fig. 2. The scheme of energy supply of 0,4 kV grid

2. Electrical scheme and equipment

There are two cable power boxes KAS-1 and KAS-2 were investigated. They feed 2 workshops. In the box KAS-1 load was tested in 5 cables: „Compressor“, „KAS-1 Supply“, „KAS-1 Exit“, „Frozen equipment“, „Production department“ and KAS-2 in one " KAS-2 Supply" (Fig. 3).

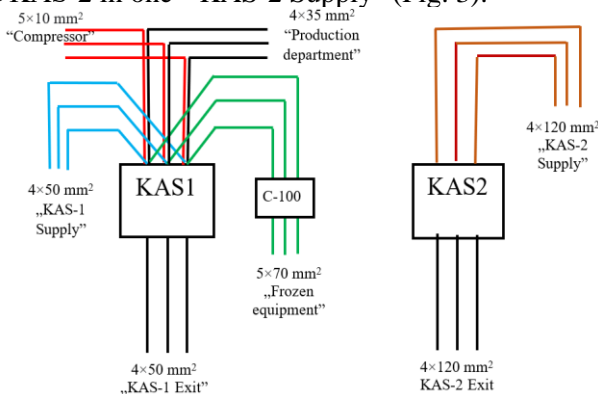


Fig. 3. The scheme of cables connection

Computer program NextView4 is used to record the current. This program is used like digital oscilloscope. It performs graphic image analysis, statistical calculations. The signals from the sensors, the measuring devices are transmitted to the program via the external analog signal receiving board BNC Connector ZU37BB1. The board has 16 coaxial (BNC) connections (Fig. 4).

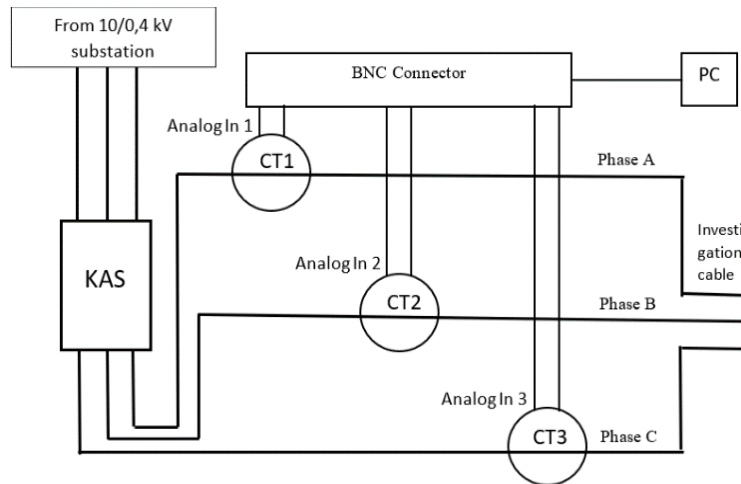


Fig. 4. Load in the cable measurement set-up: KAS – power distribution box; CT - current measuring nippers, PC - computer with data processing software.

We can set the start and end times of a recording, the duration of the recording and the frequency of the recorded parameters with program NextView4. Measurements are made with current clamps - Chauvin arnoux Y7N. The object under investigation is show in fig. 5. Technical parameters of the clamps:

- Nippers hoop diameter: 33mm
- Current measurement range: 0 ... 500A
- Measurement frequency up to 1 Ghz
- Output signal: 1mV AC / 1A AC (0,5 A to 500 A).

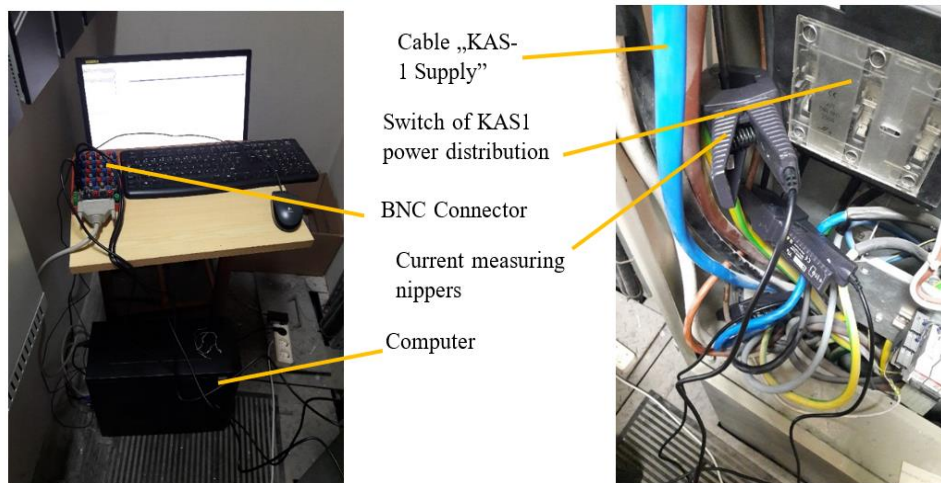


Fig. 5. The object under investigation: power distribution switch, cables and investigation equipment

3. Results

The duration of recording loads of cable „Compressor“, was 5 days, 10 hours and 30 min. (Fig. 6). All three phases were recorded for analyses. Recording period - 1 ms, frequency - 1 kHz. Maximum load of current $I_{max} = 40$ A. Parameters of the cable: 5×10 mm², $I_{n\ cable} = 80$ A. The demand factor $K_{pa} = 0,875$, because overcurrents are not longer than 4 min. [4]. I_{inst} – the installed load on cable ($I_{inst} = 40$ A).

$$I_{sk} = K_{pa} \cdot I_{inst} \tag{1}$$

$$I_{sk\ 1} = 35\ A,$$

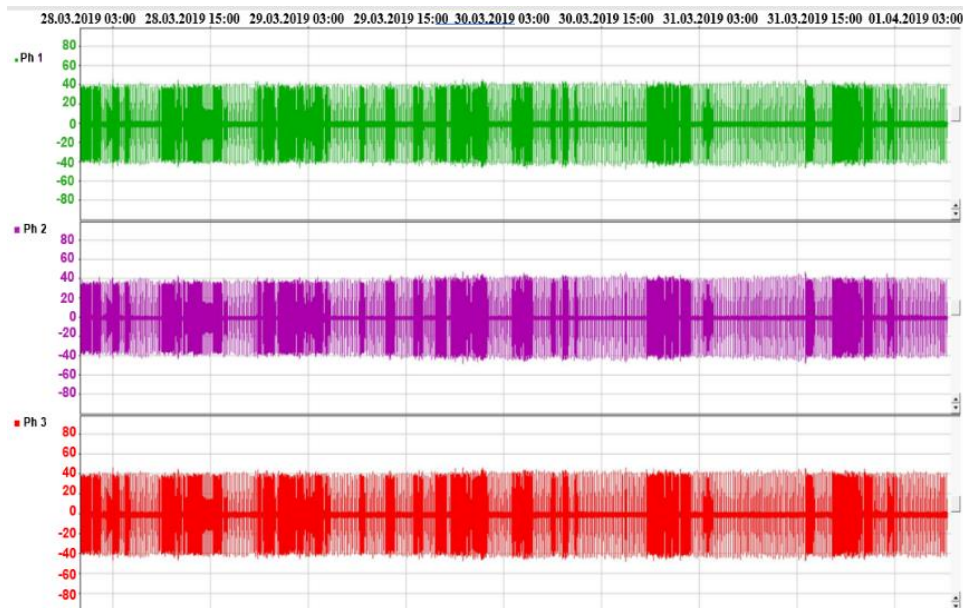


Fig. 6. The load of cable “Compressor”, record duration 5 days, 10 hours, 30 min.

$$K_{cl} = \frac{I_{sk}}{I_{n\ cable}} \quad (2)$$

here: K_{cl} - the coefficient of cable load; I_{sk} – the biggest load in cable; $I_{n\ cable}$ – the load of cable 5×10 mm²

$$K_{cl\ 1} = \frac{I_{sk\ 1}}{I_{n\ cable}} = \frac{35}{80} = 0,438$$

The cable by demand factor method uses 44 % its capacity. Most overcurrents are very short. Their duration is 1 ms (fig. 7). Second method – graphic load method [8].

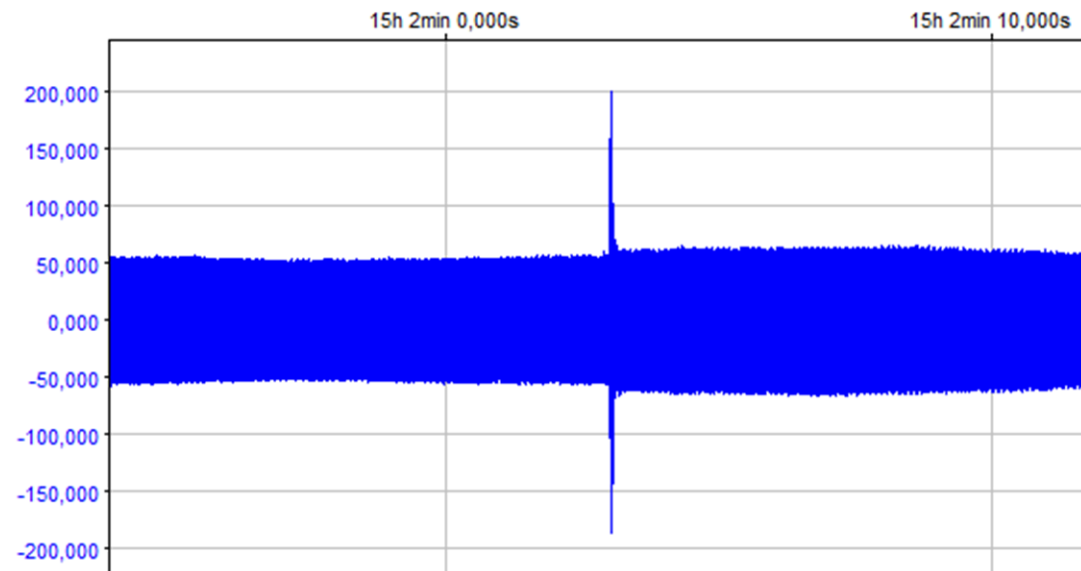


Fig. 7. Overcurrent in the load graphic

From figure 6 we can find the coefficient of current usage:

$$K_{ni} = \frac{I_{aver}}{I_{inst}} = \frac{\sum_i^n k_{ni} \cdot i_n}{\sum_i^n i_n} \quad (3)$$

here: I_{aver} – the average current of cable load fig. 6; I_{inst} – the installed load on cable ($I_{inst} = 40\ A$)

$$K_{ni} = \frac{\sum_i^n k_{ni} \cdot i_n}{\sum_i^n i_n} = \frac{18}{40} = 0,45$$

$$I_{sk2} = K_{ni} \cdot K_{mi} \cdot I_{inst} \quad (4)$$

here: K_{mi} – the coefficient of maximum ($K_{mi} = 0,99$) [8]

$$I_{sk2} = K_{ni} \cdot K_{mi} \cdot I_{inst} = 17,82A$$

$$K_{cl2} = \frac{I_{sk2}}{I_{n\ cable}} = \frac{17,82}{40} = 0,223$$

The cable by graphic load method uses 22 % its capacity.

The cable „Production department“ Fixed $I_{max} = 210$ A. Existing cable 4×35 mm² with $I_n = 170$ A. Demand factor $K_{pa} = 0,875$. $I_{inst} = 150$ A, $I_{sk1} = 131,25$ [4]. Load record duration of the cable - 7 days, 1 hour. and 40 min. (Fig. 7).

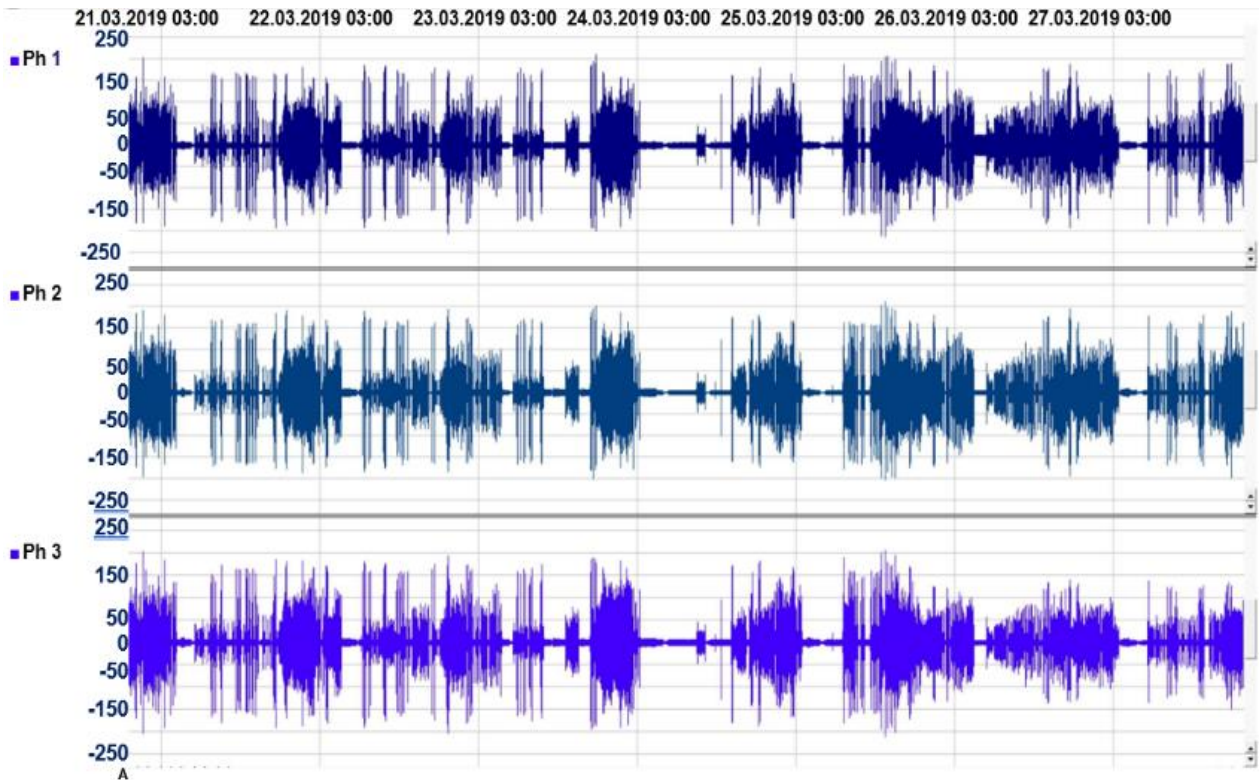


Fig. 8. The load of cable “Production department”, duration of record 7 days, 1 hours, 40 min.

Load is symmetrical, cable power using factor:

$$K_{cl1} = \frac{I_{sk1}}{I_{n\ cable}} = \frac{131,25}{170} = 0,77$$

The cable by demand factor method uses 77 % its capacity.

From fig.8 $I_{aver} = 45,33$ A, the installed power of cable $I_{inst} = 150$ A.

$$K_{ni} = \frac{\sum_i^n k_{ni} \cdot i_n}{\sum_i^n i_n} = \frac{45,33}{150} = 0,302$$

$$I_{sk2} = K_{ni} \cdot K_{mi} \cdot I_{inst} = 44,88A$$

$$K_{cl2} = \frac{I_{sk2}}{I_{n\ cable}} = \frac{44,88}{170} = 0,264$$

The cable by graphic load method uses 26 % its capacity.

The duration of recording loads of cable “KAS-1 exit” is 7 days. Recording period 1 ms, frequency 1 kHz (fig. 9).

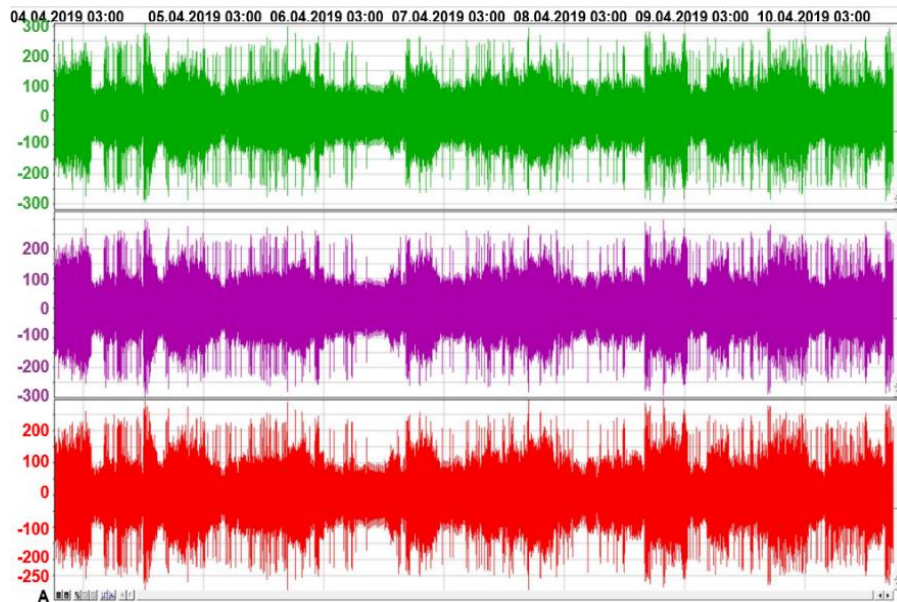


Fig. 9. The load of cable “KAS-1 exit”, duration of record 7 days

Fixed $I_{max} = 300$ A. Existing cable 4×50 mm² with $I_n = 215$ A. The installed power of cable: $I_{inst} = 250$ A. Demand factor $K_{pa} = 0,875$, $I_{sk1} = 218,75$ A [4]. Load is symmetrical, cable power using factor:

$$K_{cl1} = \frac{I_{sk1}}{I_{n\ cable}} = \frac{218,75}{215} = 1,02$$

The cable by demand factor method is reloaded 2%.

From fig.9 $I_{aver} = 155,66$ A, the installed power of cable: $I_{inst} = 250$ A.

$$K_{ni} = \frac{\sum_i^n k_{ni} \cdot i_n}{\sum_i^n i_n} = \frac{155,66}{250} = 0,62$$

$$I_{sk2} = K_{ni} \cdot K_{mi} \cdot I_{inst} = 153,45$$
 A

$$K_{cl2} = \frac{I_{sk2}}{I_{n\ cable}} = \frac{154,1}{215} = 0,716$$

The duration of recording loads of cable “Frozen equipment” - 7 days 2 hours. Recording period 1 ms, frequency 1 kHz. Maximum load 300 A. The cable was load just 2 days, because frozen equipment working automatically and was disconnect 5 days (fig. 10).

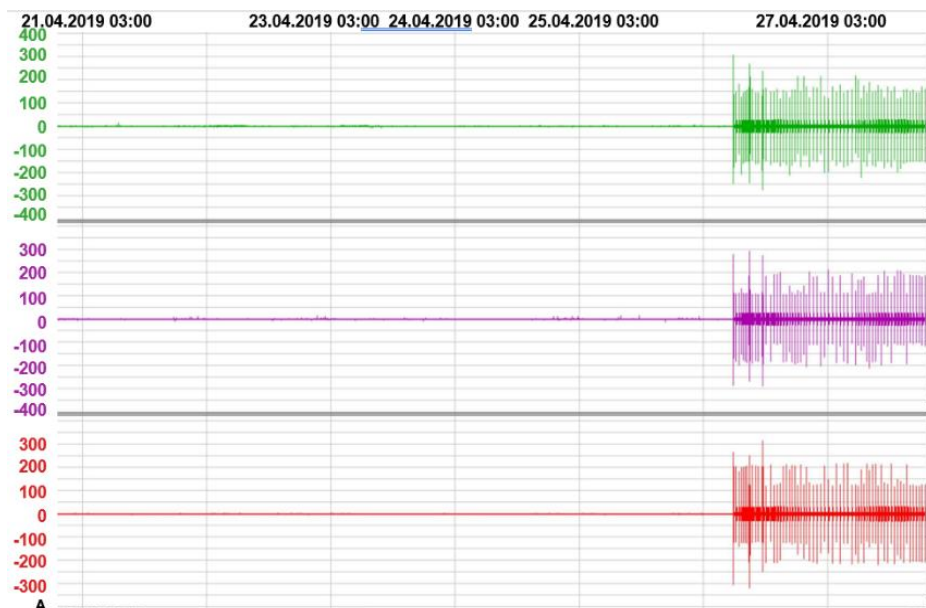


Fig. 10. The load of cable “Frozen equipment”, duration of record 7 days, 2 hours

Existing cable $5 \times 70 \text{ mm}^2$ with $I_n = 270 \text{ A}$. The installed power of cable $I_{inst} = 200 \text{ A}$. Demand factor $K_{pa} = 0,875$, $I_{sk1} = 175 \text{ A}$ [4]. Load symmetrical, cable power using factor:

$$K_{cl1} = \frac{I_{sk1}}{I_{n \text{ cable}}} = \frac{175}{270} = 0,648$$

From fig.10 $I_{aver} = 75,25 \text{ A}$, the installed power of cable $I_{inst} = 200 \text{ A}$.

$$K_{ni} = \frac{\sum_i^n k_{ni} \cdot i_n}{\sum_i^n i_n} = \frac{75,55}{200} = 0,38$$

$$I_{sk2} = K_{ni} \cdot K_{mi} \cdot I_{inst} = 0,648 \cdot 0,99 \cdot 200 = 75,45 \text{ A}$$

$$K_{cl2} = \frac{I_{sk2}}{I_{n \text{ cable}}} = \frac{74,45}{270} = 0,275$$

The cable by graphic load method uses 28 % its capacity.

The duration of recording loads of cable “KAS-1 supply” - 4 days 20 h. and 30 min. Fixed $I_{max} = 200 \text{ A}$. Existing cable $4 \times 50 \text{ mm}^2$ with $I_n = 215 \text{ A}$ (fig. 11). The installed power of cable $I_{inst} = 120 \text{ A}$.

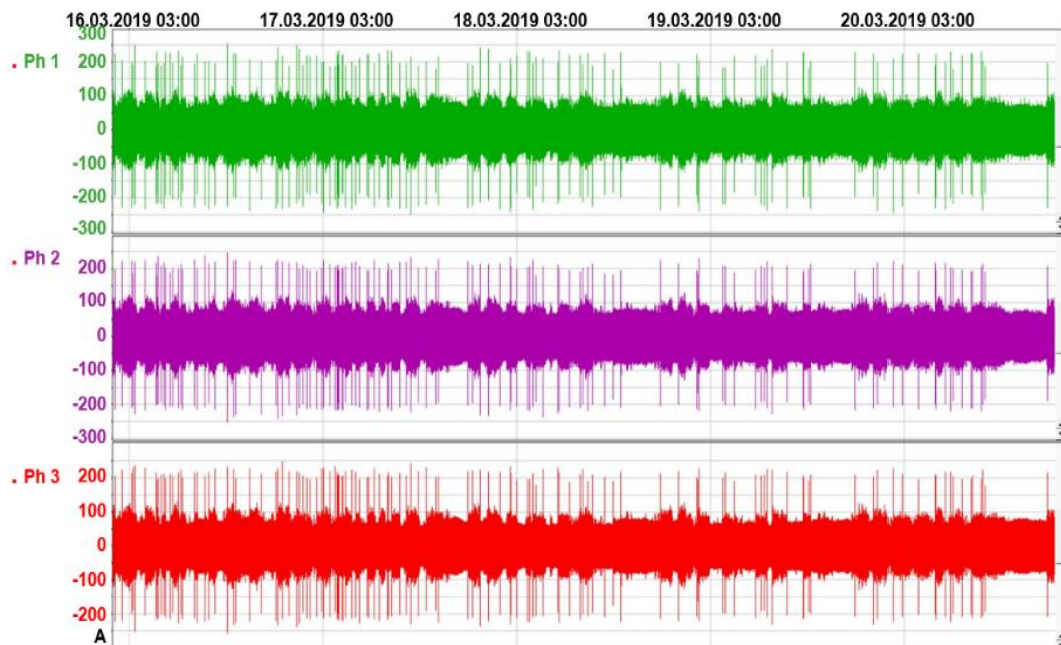


Fig. 11. The load of cable “KAS-1 supply”, duration of record 4 days, 20 hours, 30 min

Demand factor $K_{pa} = 0,875$, $I_{sk1} = 105 \text{ A}$ [4]. Load symmetrical, cable power using factor:

$$K_{cl1} = \frac{I_{sk1}}{I_n} = \frac{105}{215} = 0,488$$

The cable uses 48,8 % its capacity.

From fig.11 $I_{aver} = 115,23 \text{ A}$, the installed power of cable $I_{inst} = 120 \text{ A}$.

$$K_{ni} = \frac{\sum_i^n k_{ni} \cdot i_n}{\sum_i^n i_n} = \frac{115,23}{120} = 0,96$$

$$I_{sk2} = K_{ni} \cdot K_{mi} \cdot I_{inst} = 114,08 \text{ A}$$

$$K_{cl2} = \frac{I_{sk2}}{I_{n \text{ cable}}} = \frac{114,08}{215} = 0,53$$

The cable by graphic load method uses 53 % its capacity.

The duration of recording of cable “KAS-2 supply” is 6 days, 11 hours, 50 min. Recording period - 1 ms, frequency - 1 kHz. Maximum load current 500 A. Existing cable $4 \times 120 \text{ mm}^2$ $I_n = 385 \text{ A}$ (fig. 12). The installed power of cable $I_{inst} = 420 \text{ A}$.

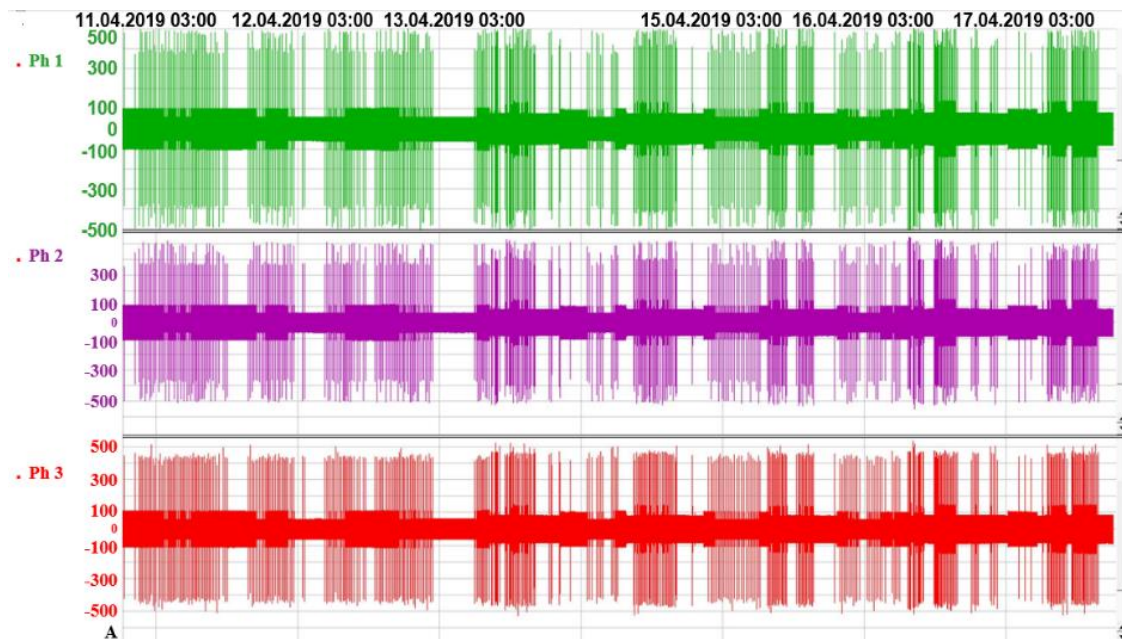


Fig. 12. The load of cable “KAS-2 supply”, duration of record 6 days, 11 hours, 50 min.

Demand factor $K_{pa} = 0,875$, $I_{sk1} = 367,5$ A. The load is symmetrical, the cable power using factor:

$$K_{cl1} = \frac{I_{sk1}}{I_n} = \frac{367,5}{385} = 0,95$$

The cable uses 95 % its capacity.

From fig.12 $I_{aver} = 251,13$ A, the installed power of cable $I_{inst} = 420$ A.

$$K_{ni} = \frac{\sum_i^n k_{ni} \cdot i_n}{\sum_i^n i_n} = \frac{251,13}{420} = 0,6$$

$$I_{sk2} = K_{ni} \cdot K_{mi} \cdot I_{inst} = 249,48A$$

$$K_{cl2} = \frac{I_{sk2}}{I_{n\ cable}} = \frac{249,48}{385} = 0,646$$

The cable by graphic load method uses 64,6 % its capacity.

4. Conclusions

1. Using demand factor method, the load in the 83,33 % of cables not over then cable limit and 16,67 % of cables are overloaded.
2. Using graphic load method all cables are not overloaded. The average load of cables 44,2 %.
3. Graphic load method helps to optimize load detection. Especially when there is a visual load graph where you can see the durations of the loads. The demand factor method in this investigation was less accuracy;
4. As the problem of overloads are very common among factories. There are evidence that cross-section of almost 16,67 % cables, in similar factories, are too small after 20 years of exploitation.

Recommendations: The cable „KAS-1 Exit“ recommends change from 4×50 mm² to 4×75 mm².

References

1. Djokic, S.Z., Munshi S.M. and Cresswell C.E. (2008). The influence of overcurrent and undervoltage protection settings on ASD sensitivity to voltage sags and short interruptions. In: *4th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2008)*. York, UK, 2-4 April 2008. DOI: 10.1049/cp:20080497.
2. Drabatiukas, A., Lubys, M. and Miliūnė, R. (2020). *Elektriko vadovas*. Vilnius: UAB Super namai.
3. Sekmokas A. (2010). *Elektros energijos tiekimo ir naudojimo taisyklės*. Vilnius: LR Energetikos ministerija.
4. Sekmokas A. (2012). *Elektros įrenginių įrengimo bendrosios taisyklės*. Vilnius: LR Energetikos ministerija.
5. Sivokobylenko, V.F., Nikiforov, A.P., Burlaka, V.V. and Podnebennaya, S.K. (2015). Analysis of the 0,4 kV smart grid islanding prevention method. In: *Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations*. 2015(2), 26-34.

6. Wannous, K. and Toman, P. (2016). The effects of harmonics on overcurrent relays. In: *17th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*. Prague, May 2016. DOI: 10.1109/EPE.2016.7521794.
7. Zhang, M., Qin P., Chen Y., Jia H., Wang Z. and Deng W. (2021). Study on the Detection Method of Leakage in TN-C Area of Low-voltage Distribution Network. In: *International Conference on Power System Technology (POWERCON)*. Haikou, December 2021. DOI: 10.1109/POWERCON53785.2021.9697410.
8. Šatas J. (2003). Įmonių elektros įrenginiai ir tinklai. Klaipėda: Klaipėdos universitetas.

APKROVŲ TYRIMAS SKAITMENINIU OSCILOSKOPU ĮMONĖS KABELINIAME TINKLE

Santrauka

Tinkle atsiranda įvairaus dydžio viršsrovių ir srovės harmonikų, kai dažnai įjungiami ir išjungiami įrenginiai, dažnio keitikliai ar nelininiai imtuvai. Jie gali būti nustatyti veikiančiame tinkle arba imtuve.

Jei įmonė nori rekonstruoti gamybos linijas ir padidinti pralaidumą kabeliniame tinkle, būtina įvertinti esamas faktines apkrovas toje linijoje ir nustatyti linijos panaudojimo koeficientą. Pramonės įmonėse elektra tiekama tik trifaze kintama srove. Elektros vartotojus galima suskirstyti į grupes pagal darbo režimą. Šis paskirstymas leidžia lengviau nustatyti apkrovas. Tirtos įmonės instaliuota galia 1000 kW. Jis maitinamas per 10/0,4 kV pastotes, naudojant magistralines linijas ir dvipusį maitinimą. Dalis imtuvų maitinami keturių gyslų kabeliais, dalis – penkių gyslų kabeliais.

Srovei įrašyti buvo naudojama kompiuterinė programa NextView4, BNC jungtis ZU37BBI ir srovės matavimo replės – Chauvin arnoux Y7N. Buvo išbandyti 6 pagrindiniai kabeliai. Įrašymo parametrai: periodas – 1 ms, dažnis – 1 kHz, laikas – 6-7 dienos.

Rezultatai rodo, kad apie 17 procentų kabelių yra perkrauti.

Raktiniai žodžiai: Elektros tinklas, apkrova, srovės transformatorius, viršsrovis, kabelis.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Gediminas Daukšys.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.

Darbo vieta ir pozicija: Kauno technikos kolegija, Elektros energetikos studijų programos vadovas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: elektros inžinerija, energetika ir termoinžinerija, matavimų inžinerija.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 68659120 gediminas.dauksys@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Gediminas Daukšys.

Science degree and name: associated professor.

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Head of the Electric Energy Study Program.

Author's research interests: Electrical Engineering, Energy and Thermal Engineering, Measurement Engineering.

Telephone and e-mail address: +370 68659120 gediminas.dauksys@edu.ktk.lt

STATIŠKAI NEIŠSPRENDŽIAMOS SIJOS SKAIČIAVIMO BŪDŲ APŽVALGA

Jurijus Tretjakovas¹, Svetlana Toropovienė²

¹Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, ²Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

Anotacija.

Statybos inžinerijoje dažnai privalu sijoms pridėti papildomas atramas, o mechanikos, transporto ar aviacijos srityse velenams sumontuoti papildomus atraminius guolius. Tokiu būdu pakeičiame sistemos statinio neišsprendžiamumo laipsnį ir gauname statiška neišsprendžiamą lenkiamą sistemą. Tarpatramio mažinimas arba konsolės įtvirtinimas mažina sistemos deformacijas ir didina standumą ir patikimumą. Tačiau atramų didinimas didina atraminių reakcijų skaičių, todėl sudaromos papildomos deformacijų suderinamumo lygtys, dar vadinamos kanoninėmis lygtimis, ir šių lygčių sprendiniai leidžia sužinoti visų atramų reakcijų jėgų ir atraminių momentų reikšmes.

Suderinamumo lygtys sprendžiamos įvairiais būdais. Straipsnyje aprašomas būdų taikymas konkrečios sijos atveju, pateikiami būdų privalumai ir trūkumai.

Reikšminiai žodžiai: statiška neišsprendžiama sistema, suderinamumo lygtis, statinio neišsprendžiamumo laipsnis.

Įvadas

Daug inžinerijoje konstrukcijų ar mechanizmų elementų sistemų yra statiška neišsprendžiamos. Joms pusiausvyros lygčių nepakanka rasti atramų reakcijų jėgoms ar momentams. Šios sistemos yra standesnės, dažniausiai stipresnės ir visuomet patikimesnės [1-3]. Netgi vienai atramai nustojus funkcionuoti, sistemos konstrukcijos elementas dar turi pakankamą kiekį ryšių funkcionuoti. Tačiau statiška neišsprendžiamos sistemos turi ir neigiamų ypatybių: jose gali atsirasti nepageidaujamo temperatūrinių ar montažinių deformacijų [3-5].

Statiškai neišsprendžiamoms sijoms skaičiuoti yra įvairių teoremų, metodų ir būdų [5-6]: Kastiljano ir Moro teoremos, jėgų metodas, poslinkių metodas, grafoanalitinis būdas ir kt. Pastaraisiais dešimtmečiais populiarūs tapo baigtinių elementų metodas [7] ir kompiuterinių programų naudojimas [8].

Sprendžiant statiška neišsprendžiamą siją reikia išspręsti deformacijų suderinamumo sąlygų lygtį, kuri lenkiamose sistemose dar vadinama kanonine lygtimi ir užrašoma taip:

$$\delta + \Delta = 0 \quad (1)$$

čia Δ - pagrindinės sistemos poslinkis perteklinio ryšio kryptimi; δ - pagrindinės sistemos poslinkis perteklinio ryšio kryptimi nuo ryšio reakcijos: ryšio reakcijos jėgos F_R arba ryšio reakcijos momento M_R .

Apskaičiavę poslinkius bet kuriuo metodu ir išsprendus suderinamumo lygtį, galime rasti tikrąją ryšio reakcijos jėgą arba tikrąjį ryšio reakcijos momentą pridėtus prie perteklinio ryšio.

Temos aktualumas grindžiamas tuo, kad konstruktoriui, atliekančiam statiška neišsprendžiamų sistemų skaičiavimus, būna keblu pasirinkti skaičiavimo metodą. O ir pasirinkus vieną metodą, kartais tenka kitu metodu atsakymą patvirtinti arba paneigti.

Tyrimo objektas yra vieną kartą statiška neišsprendžiama lenkiama sistema.

Darbo tikslas – įvairiais metodais išspręsti statiška neišsprendžiamos lenkiamos sistemos deformacijų suderinamumo lygtį.

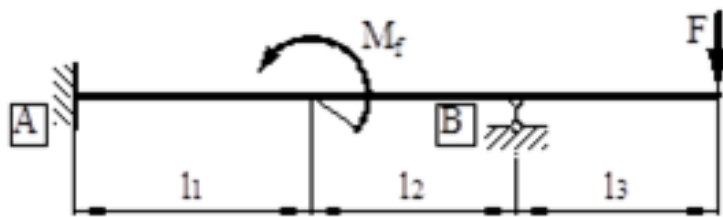
Šiam tikslui pasiekti buvo iškelti tokie *uždaviniai*:

1. Sukurti statiška neišsprendžiamos lenkiamos sistemos skaičiuojamąjį modelį;
2. Skaičiuoti poslinkius grafoanalitiškai ir taikant tipines formules superpozicijos principu.
3. Gauti lenkiamos sistemos lenkimo momentų diagramą naudojant kompiuterinę programą ar komercinę programą.
4. Palyginti skaičiavimų rezultatus.

Tyrimo metodika Statiškai neišsprendžiamos sistemos deformacijų darnos lygties poslinkiai skaičiuojami grafoanalitiniu, analitiniu, skaitiniu metodais ir naudojant komercinę programą (6).

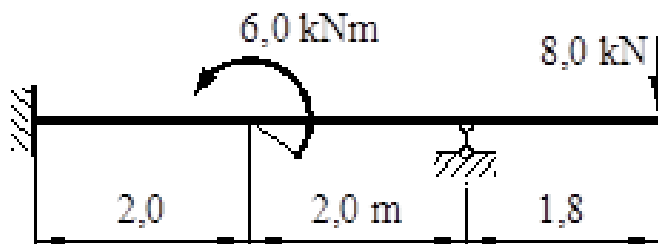
Statiškai neišsprendžiamos sistemos skaičiuojamoji schema

Analizei pasirinkta standžiai įtvirtinta atramoje A trijų ruožų (ilgiai l_1 , l_2 ir l_3) sija (1 pav.) su paslankiu lankstu B ir konsole dešinėje. Sija apkrauta koncentruota jėga F ir koncentruotu momentu M_f .



1 pav. Statiškai neišsprendžiamos sistemos pradinis modelis

Sijos skaičiuojamoji schema generuojama pasirenkant parametrų reikšmes: ilgis $l_1=l_2=2,00$ m, $l_3=1,80$ m, jėga $F=8,0$ kN ir koncentruotas momentas $M_f=6,0$ kNm.

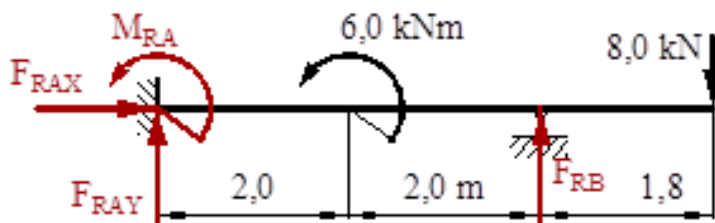


2 pav. Sijos skaičiuojamoji schema

Nagrinėjamu atveju tariame, kad sijos skerspjūvio plotas ir sijos medžiaga yra pastovi per visą ilgį (Atkočiūnas ir Nagevičius, 2004, Čižas, 2011), todėl standis laikomas pastoviu dydžiu, t.y. $E \cdot I_x = const$.

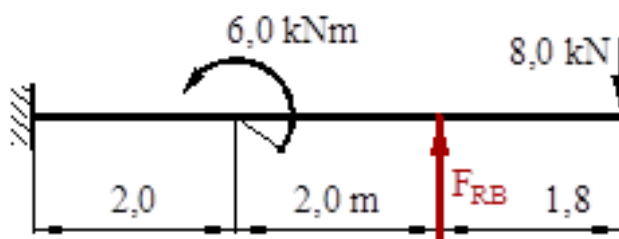
Pagrindinės statiškai išsprendžiamos sistemos variantai

Pagrindinės sistemą galima pasirinkti atpalaiduojant statiškai neišsprendžiamos sistemos (3 pav.) vieną bet kurią atraminę reakciją. Pasirenkame keletą skaičiavimo variantų.



3 pav. Statiškai neišsprendžiamos sistemos atramų reakcijos

Pirmasis. Atpalaiduoti galima paslankų lankstą B pridėdant atramos reakcijos jėgą F_{RB} ir gaunant statiškai išsprendžiamą gembinę siją (4 pav.).

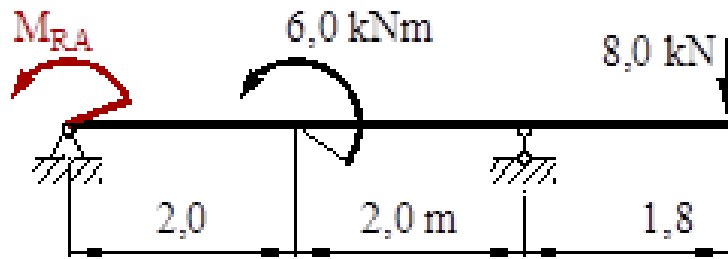


4 pav. Pagrindinės sistemos 1-asis variantas

Deformacijų suderinamumo lygtis yra atramos B įlinkių suma lygi nuliui:

$$v'_B + v_B = 0 \tag{2}$$

Antrasis. Šalinti atramos reakcijos momentą standžiame įtvirtinime pakeičiant standų įtvirtinimą nepaslankiu lankstu. (5 pav.). Tokiu atveju vietoj pašalinto atraminio ryšio pridedame koncentruotą momentą M_{RA} .



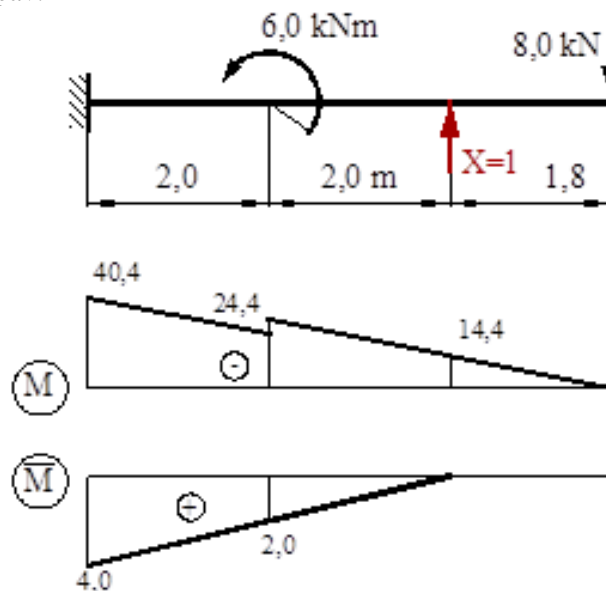
5 pav. Pagrindinės sistemos 2-asis variantas

Tokiu būdu gaunama statiškai išsprendžiama dviatramė sija su konsole dešinėje. Jos deformacijų suderinamumo lygtis bus išreiškiama kaip deviacijos atramoje A prilyginamas nuliui.

$$\varphi'_A + \varphi_A = 0 \quad (3)$$

Pirmojo varianto pagrindinės sistemos sprendimas grafoanalitiniu metodu

Šio metodo esmė yra ta, kad atramos reakcijos jėga keičiama vienetine jėga $F = 1$. Sudaromos gembinės sijos lenkimo momentų nuo tikrosios apkrovos ir lenkimo momentų nuo vienatinės jėgos diagramos. Diagramos pavaizduotos 6 pav.



6 pav. Lenkimo momentų diagramos

Skaičiuojami deformacijų suderinamumo lygties nariai:

Pagrindinės sistemos įlinkis:

$$v_B = \left[\frac{1}{2} \cdot (-14,4) \cdot 2,0 \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 2,0 \right) \right] + \left[\frac{1}{2} \cdot (-24,4) \cdot 2,0 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 2,0 \right) \right] + \left[\frac{1}{2} \cdot (-24,4) \cdot 2,0 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 2,0 + \frac{1}{3} \cdot 4,0 \right) \right] + \left[\frac{1}{2} \cdot (-40,4) \cdot 2,0 \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot 2,0 + \frac{2}{3} \cdot 4,0 \right) \right] = -250;$$

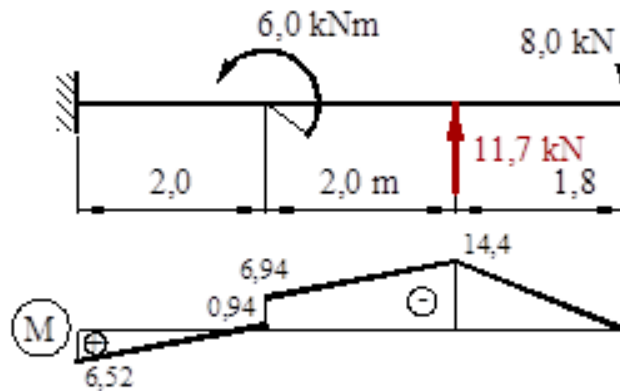
Sistemos poslinkis nuo vienatinės jėgos:

$$v'_B = \left[\frac{1}{2} \cdot 4,0 \cdot 4,0 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 4,0 \right) \right] = 11,73$$

Suderinamumo lygties sprendinys:

$$X = \frac{250}{21,3} = 11,7 \text{ kNm.}$$

Vadinasi atramos B reakcijos jėga $F_{RB} = 11,7$ kNm ir žinant ją galima apskaičiuoti statškai neišsprendžiamos sijos lenkimo momentus pjūvio metodu.

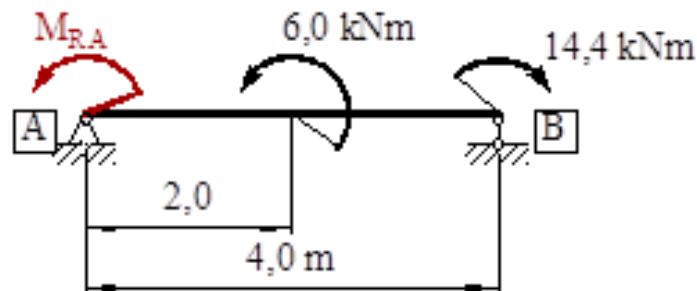


7 pav. Statškai neišsprendžiamos sistemos lenkimo momentų diagramos

Apskaičiuotus lenkimo momentus sudaroma jų diagrama (7 pav.).

Antrojo varianto pagrindinės sistemos sprendimas analitiniu metodu

Skaičiuojant šiuo metodu naudojamas superpozicijos principas deviacijoms ties atrama A išreikšti (8 pav.). Juk standusis įtvirtinimas A (1 pav.) skerspjūvio posūkio kampo neturi, todėl deviacijos φ'_A nuo atraminio momento ir deviacijos φ_A nuo apkrovos suma prilyginama nuliui.



8 pav. Pagrindinės sistemos 2-asis variantas

Šioms deviacijoms rasti modifikuojame siją (8 pav.) pridėdami koncentruotą momentą nuo jėgos ties atrama B ir taikome analitines poslinkių skaičiavimo formules:

Pagrindinės sistemos deviacija:

$$\varphi_A = \frac{1}{E \cdot I_x} \cdot \left(\frac{-6,0 \cdot (3 \cdot 2,0^2 - 4,0^2)}{6 \cdot 4,0} - \frac{14,4 \cdot 4,0}{6} \right) = \frac{-8,60}{E \cdot I_x}$$

Deviacija nuo atraminio momento:

$$\varphi'_A = \frac{-M_{RA} \cdot 4,0}{3 \cdot E \cdot I_x} = \frac{-1,33 \cdot M_{RA}}{E \cdot I_x}$$

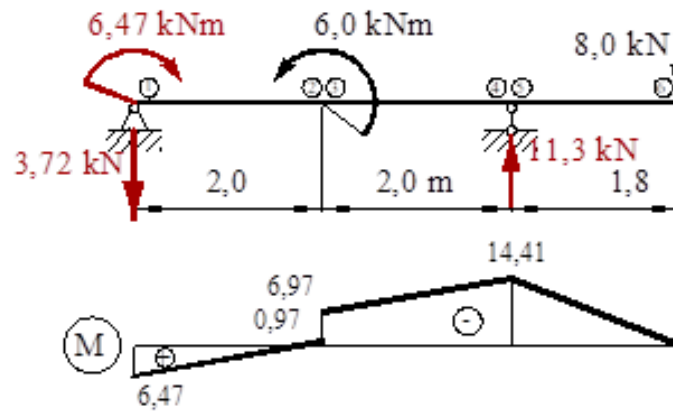
Lygties (3) išraiška su tikrosiomis reikšmėmis:

$$\frac{-1,33 \cdot M_{RA}}{E \cdot I_x} + \frac{-8,60}{E \cdot I_x} = 0.$$

ir sprendinys

$$M_{RA} = \frac{-8,60}{1,33} = -6,47 \text{ kNm}.$$

Skaičiuojame statškai išsprendžiamos sijos atramų reakcijų jėgas ir lenkimo momentus



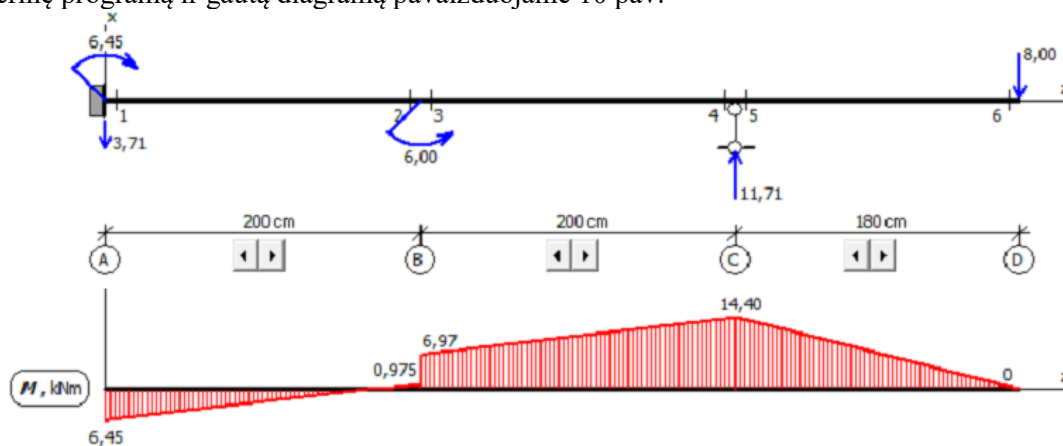
9 pav. Lenkimo momentų diagrama

Apskaičiuavus lenkimo momentus sudaroma jų diagrama (9 pav.).

Kompiuterinės programos naudojimas

Klasikinius skaičiavimo metodus pakeičia kompiuteriniai metodai: baigtinių elementų, baigtinių skirtumų ir kt. [7], komercinės programos [8], edukacinės kompiuterinės programos [6].

Naudojame įrašoms skaičiuoti skirtą programą *Elektroninio medžiagų mechaniko vadovėlio* [6] kompiuterinę programą ir gautą diagramą pavaizduojame 10 pav.



10 pav. Diagrama gauta skaičiuojamąja programa

Rezultatai

Pateikiame 1 lentelėje grafoanalitiniu, analitiniu ir skaitiniu metodais gautų lenkimo momentų pjūviuose nuo 1 iki 6 (9 pav.) reikšmes.

1 lentelė

Paklaidos

Pjūvis	Grafoanalitinis	Analitinis	Skaitinis	Paklaida, %
1	6,52	6,47	6,45	0
2	0,94	0,97	0,975	0,08
3	6,94	6,97	6,97	0,40
4	14,40	14,41	14,40	-
5	14,40	14,41	14,40	-
6	0	0	0	0,17

Maksimali paklaida yra pirmojo pjūvio lenkimo momentuose ir sudaro 1,07 %.

Apibendrinimai ir išvados

Darbe atlikus vieną kartą statiškai neišsprendžiamos sistemos analizę dviem variantais įvairiais skaičiavimo būdais, daromos tokios išvados:

1. Skaičiuojamasis statiškai neišsprendžiamos sistemos modelis turi du pagrindinius variantus;
2. Skaičiavimas grafoanalitiniu metodu reikalauja daugiausia resursų ir yra sudėtingiausias. Tačiau šiuo metodu sprendžiama bet kokios ilgio geometrijos sistema.

3. Naudojant analitinį metodą pasitelkiamas superpozicijos principas. Metodas reikalauja mažiau resursų, tačiau gali kilti sunkumai su tipinių formulių naudojimu.

4. Skaičiuojamoji edukacinė kompiuterinė programa pateikia rezultatą akimirksniu. Gautas rezultatas sudaro 1,07 % paklaidą lyginant su grafoanalitinio metodo rezultatu ir 0,31 % paklaidą lyginant su analitinio skaičiavimo rezultatu. Praktikoje šios skaičiavimo paklaidos jokios įtakos įrašų nustatymui neuri, todėl skaičiuotojas gali naudoti bet kurį būdą.

Literatūra

1. Atkočiūnas, J., Nagevičius, J. *Tamprumo teorijos pagrindai*. Vilnius: Technika, 2004.
2. Čižas, A. *Medžiagų atsparumas. Konstrukcijų elementų mechanika*. Vilnius: Technika, 1993.
3. Budynas–Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, Eighth Edition, 2008.
4. Birger, I.A., Mavliutov, R.R., *Mechanics of materials, (in Russian), Moscow, 1986*.
5. Hibbeler, R.C. *Mechanics of materials*. Prentice Hall, 2011.
6. Vislavičius, K. *et al. Medžiagų atsparumo elektroninis vadovėlis*. Vilnius, 2008 m.
7. Zienkiewicz O.C. ir R.L. TAYLOR *The Finite Element Method. The Basis. Vol. 1. Fifth edition*, Butterworth Heinemann, Oxford, 2000.
8. www.matrix-software.com/

REVIEW OF THE CALCULATION METHODS FOR A STATICALLY INDETERMINATE BEAM

Summary

In civil engineering, it is often necessary to add additional supports to the beams and to install additional support bearings for the shafts in mechanical, transport or aviation fields. In this way we change the degree of static indeterminacy of the system and obtain a statically indeterminate bending system. Decreasing the distance between supports or additional support for console, reduces system's deformations and increases stiffness and reliability. However, increasing the supports, the number of support reactions increases as well, so additional deformation compatibility equations, also called as canonical equations, are developed, and the solutions of these equations allow to find the values of the forces and support moments of all support reactions.

Compatibility equations are solved by applying different methods. The paper describes the application of the methods in the case of a specific beam, presents the advantages and disadvantages of the methods.

Key words: statically indeterminate structure, compatibility equation, degree of static indeterminacy

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Jurijus Tretjakovas.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: Vilnius Gedimino technikos universiteto Statybos fakulteto Taikomosios mechanikos katedros docentas. Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos Technikos fakulteto Mechanikos inžinerijos katedros docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: netiesinė mechanika, stiprumo mechanika, irimo mechanika. **Telefonas ir el. pašto adresas:** 8 68621859 jurijus.tretjakovas@vilniustech.lt, j.tretjakovas@vtdko.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Svetlana Toropovienė

Mokslo laipsnis ir vardas: lektorė

Darbo vieta ir pozicija: VTDK Technikos fakulteto Mechanikos inžinerijos katedros lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Filologija, anglistika, filologija inžinerijoje

Telefonas ir el. pašto adresas: +37067410954, s.toropoviene@vtdko.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Jurijus Tretjakovas

Science degree and name: doctor, associated professor.

Workplace and position: Vilnius Gediminas technical university Faculty of Civil engineering Department of Applied Sciences associated professor.

Vilnius College of Technologies and Design Technical faculty Department of Mechanical engineering, associated professor.

Author's research interests: nonlinear mechanics, strength of materials, fracture mechanics,

Telephone and e-mail address: +370 68621859 jurijus.tretjakovas@vilniustech.lt, j.tretjakovas@vtdko.lt

Author name, surname: Svetlana Toropovienė

Science degree and name: lector

Workplace and position: VTDK Technical faculty Department of Mechanical engineering, lector

Author's research interests: philology, English philology, philology in engineering.

Telephone and e-mail address: +37067410954, s.toropoviene@vtdko.lt

POTYRIŲ VIETOVĖS VIRTUALIOJE APLINKOJE

Gintaras Kučinskas, Jurga Kučinskienė

Klaipėdos valstybinė kolegija

Anotacija

Straipsnyje pateikiama informacija apie potyrių vietovių realizavimo galimybes virtualioje aplinkoje. Žmonės lankosi įvairiose vietovėse norėdami pajusti, pamatyti, patirti įvairius išpūdžius. Ne visada įmanoma nuvykti į norimas vietas, bet technologinė pažanga jau leidžia tai patirti ir namuose – virtualiai. Potyrių vietovių gali būti įvairių, kuriose projektuojami potyriai ir tenkinamas žmonių poreikis hedonistinei aplinkai: pramogų centrai, koncertų salės, mokslo centrai, ligoninių teritorijos, viešbučiai ir kt. VR technologijos taikymas paprastai neapsieina be VR akinių, padedančių atsidurti skaitmeninėje aplinkoje. Per regą, klausą ir kitas jusles sužadinančius efektus žmogus perkeliamas į virtualųjį pasaulį, kuriame gali judėti, matyti, jau net ir užuosti, paliesti. VR ateitis priklauso nuo patrauklaus turinio, kuris priverčia žiūrovus reaguoti ir pasinerti į save kitame pasaulyje. Miestų, išpūdingų pastatų, muziejų, kultūros paveldo objektų perkėlimas į virtualią realybę suteikia galimybę juos tyrinėti. Jau galime ne tik grožėtis įvairių šalių vaizdais, aplankyti pramogų parkus, bet ir apsilankyti muziejuose, viešbučiuose, bažnyčiose ir kt.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: virtuali realybė (VR), potyrių vietovės, interaktyvūs įrenginiai.

Įvadas

Pastaruosius 20 metų pasaulyje vertinamas potyris, parduodamas ir perkamas ne automobilis ar knyga, o Potyrio ekonomikos (*Experience economy*) produktai (paslaugos) – malonumas vairuoti, skaityti. Pagal Pine ir Gilmore (1999) šitie socialiniai pokyčiai suteikė svarbias strategines galimybes firmoms, kurios siekė sustiprinti konkurencinę padėtį rinkoje. Potyrių ekonomikos esmė – pakelti produkto vietą rinkoje (Gillmore et al., 1999). Produkto pasisekimas priklauso nuo teigiamų potyrių. Stabilumas ir vienarūšiškumas keitėsi, keičiasi ir keisis. Vakarų visuomenėje žmogus pradėjo matyti save kaip individualią asmenybę, kuri savo gyvenimą gali kontroliuoti. Vartotojai virto asmenimis, kurie ieško (siekia) psichologinio apsisprendimo, kuriems reikšminga patirtis (potyriai). Žmogaus protas pradėjo kurti istorijas (Gillmore et al., 1999). Potyrių ekonomikos išsivystymas priklauso nuo prabangos, gyvenimo kokybės, laisvalaikio ir demografijos rodiklių, o potyrių ekonomika vystosi ten, kur susidaro šios sąlygos (Nilsen, 2009; Nogueira Kamel et al., 2008).

Pastaruosius dešimt metų potyrių ekonomika vystosi ne tik realiame, bet ir virtualiame pasaulyje. Potyrių produktai yra prabangos produktai bei skirti malonumui. Tai daugiausia produktai susiję su laisvalaikio paslaugomis – kultūros, turizmo, sveikatingumo produktai, kai kurie atsiranda iš kūrybiškų pramonės šakų. Kas priskiriama potyrių produktams skiriasi priklausomai nuo vietos ir nuo laiko bei priklauso nuo socioekonominės situacijos. Potyrių produktai dažnai įtraukia įvairias istorijas, o šios įtraukia vartotoją (Gillmore et al., 1999; van Doorn, 2006). Potyrių produktai skiriasi priklausomai nuo jų vartojimo vietos ir gamybos. Kai kurie produktai gali būti naudojami daugelio, kitiems produktams reikalinga tam tikra vieta. Tokie produktai nurodo, kad juos reikia aplankyti, norint patirti (*attendance based*) (Gillmore et al., 1999). Tik dabar jau galima aplankyti ir virtualiai.

Virtualioji realybė (VR) įgyja vis didesnę reikšmę mokslo, švietimo ir pramogų srityse. Pagrindinė VR savybė yra buvimo, „būties“ patyrimas, galimybė sukurti buvimo jausmą, būties jausmą arba veikiantis tam tikroje vietoje, net jei fiziškai žmogus yra kitoje vietoje (Schwind, Knierim, Haas, & Henze, 2019).

Tačiau pagrįstai kyla klausimas, ar virtuali aplinka jau tenkina vartotojų lūkesčius, kokios paslaugos (potyriai) galimi virtualioje aplinkoje, ar jie yra identiški realiems, o gal sukuriama kitokia pridėtinė vertė?

Tyrimo objektas – potyriai virtualioje aplinkoje.

Tyrimo tikslas – įvertinti virtualios aplinkos panaudojimo galimybes kuriant potyrių vietoves.

Tyrimo metodai: atlikta sisteminė literatūros analizė bei virtualios įrangos bei produktų apžvalga, įvertinant jų tinkamumą potyrių vietovių kūrimui bei „lankymui“.

Potyrių formavimo veiksniai

Potyrių produktų kūrimas priklauso nuo siekiamų potyrių. Kai kurie produktai gali būti įrengiami visur, tačiau kai kuriems reikia išskirtinės vietos (kultūros paveldo objektai, lankomos vietos, viešbutis). Patirtis (patyrimas) – tai sukauptos ir savaip interpretuotos informacijos visuma, sąlygojanti vartotojo elgesį (Urbanskienė et al., 2000). Patirtis labai svarbi žmogaus savybė, ji yra patikimesnė ir labiau vertinama nei draugų nuomonė ar reklama. Patirtis vertinama per du matmenis (Urbanskienė et al., 2000). Pirmas – kliento dalyvavimas, kuris gali būti pasyvus arba aktyvus. Pasyviai dalyvaudamas klientas nieko neveikia, tik stebi, ar klauso. Aktyviai dalyvaudamas klientas žaidžia pasirinkdamas vaidmenis ir tokiu būdu įgyja dar daugiau patirties. Potyrių ekonomikoje labai svarbi temos patirtis (žinojimas). Tai yra jums įėjus į Walt Disney pasaulio teminį parką, Starbucks kavinę, jūs galite ją identifikuoti atsiremdami į savo patirtį, žinias. Taip pat labai svarbu

– suteikiami įspūdžiai. Kad sukurtų reikiamus įspūdžius, kompanijos įveda ženklus, kuriuos visi atpažįsta iš savo patirties. Potyriai formuojami įtraukiant visus penkis pojūčius. Sensoriniai stimulatoriai, kurie lydi patirtį, turi palaikyti ir padidinti jos temą. Kuo daugiau pojūčių, kuriuos patirtis patraukia, tuo efektyvesnis ir labiau atsimenamas potyris.

Žmogus pažįsta aplinką per pojūčius: *regėjimą, klausą, uosnę, skonį ir lytėjimą: regėjimu* mes suvokiame 80 proc. aplinkos. Kitus pojūčius įtraukiame papildomai, kai negalime gerai matyti; *kvapas* sukelia emocijas, padeda prisiminti, sužadinti alkį, padeda atsipalaiduoti; *skonis* neatsiejamas nuo kvapo; *garsas* svarbus įrankis pardavėjų rankose; *prisilietimas* perduoda jausmus. Kaip šis pojūčių aparatas bus panaudotas, priklauso nuo smegenų veiklos.

„Potyrių projektavimo pramonė“ (*experience design industry*) vystosi gana sparčiai. Lietuvoje formuojamos nuotykinės erdvės ar vieno potyrio parkai. Tačiau žmonės nori kuo daugiau patirti vienoje vietoje ir nerasdami jų čia vyksta į kitas šalis, COVID-19 atveju, negalėdami išvykti, ieškojo šių sprendimų interneto platybėse.

Potyrių vietovės gali būti įvairios (1 lentelė). Dažniausiai potyrių vietovė įsivaizduojama kaip teminis parkas, tačiau tokių vietovių, kuriose projektuojami potyriai ir tenkinamas žmonių poreikis hedonistinei aplinkai, gali būti įvairių (Tuch et al., 2008). Potyrių vietovių kūrimo stengiamasi įtraukti visus penkis žmogaus sensorinius pojūčius. Virtualioje aplinkoje vienus jutiklius galima panaudoti daugiau nei kitus. Pagal patirtinio mokymosi teoriją (*kai patyrimą galima prilyginti naujam, nepažįstamam ir neiprastam išgyvenimui*), išskiriamas ciklas, kuris naudoja keturis skirtingus mokymosi būdus: *konkreto patyrimo, reflektivaus stebėjimo, abstrakčios konceptualizacijos ir aktyvaus eksperimentavimo* (Fromm, Radianti, Wehking, Stieglitz, Majchrzak, & vom Brocke, 2021). Fromm su bendraautorais (2021) nagrinėja klausimą, ar virtuali realybė leidžia naudotis tik konkreto patyrimo būdu, ar dabartinė technologija jau suteikia unikalias galimybes naudoti ir likusius tris mokymosi režimus. Tyrimo metu nustatyta, kad virtualios realybės programos gali būti sukurtos taip, jog būtų galima naudoti kiekvieną patirtinio mokymosi būdą: *konkretų patyrimą; reflektivaus stebėjimą, abstraktų konceptualizavimą ir aktyvų eksperimentavimą*. Virtualios realybės ir dirbtinio intelekto derinys suteikia unikalių galimybių leidžiančių sukurti holistinį patirtinio mokymosi ciklą (Fromm, Radianti, Wehking, Stieglitz, Majchrzak, & vom Brocke, 2021).

Virtualios realybės (VR) galimybės

VR terminas turi dvi reikšmes. Tai gali reikšti technologiją, kuri leidžia vartotojui patirti virtualų pasaulį, nesvarbu, ar jie naudojami išmaniuoju telefonu, ar aukščiausios klasės sistema, tokia kaip HTC Vive. Panirimas į virtualų pasaulį taip pat gali remtis vartotojų patirtimi ir noru jaustis investavus į juos supantį pasaulį (Wiederhold, 2018). Vaizdai įtraukia, garsas yra įtikinamas, o istorija suspaudžia žiūrovų širdis, nesvarbu, ar jie girdi ausinėse, ar mato darbalaukyje.

Virtualaus turinio atvaizdavimui reikalinga papildoma techninė įranga – virtualios realybės šalmuose ar VR akinių ekranuose formuojamas vaizdas atsižvelgiant į žiūrovo galvos padėtį ir judėjimą. Anthes su bendraautorais (2016) straipsnyje „Virtualios realybės technologijų pažanga“ siūlo įrangą grupuoti į informacijos išvedimo ir informacijos įvedimo sistemas bei pateikė išsamią tuometinių įrenginių apžvalgą. Siūloni skirstymo kriterijai diskutuoti: techniškai kiekvienas VR įrenginys yra universalus – įveda informaciją apie šalmo judesius ir padėtį ir išveda virtualios kameros vaizdą; šiandieninė įranga gerokai lenkia 2016 metų parametrus. Todėl siūloma *įrangą, reikalingą išgauti VR potyrius*, skirstyti į grupes pagal tris kriterijus: *mobilumas, šalmo ir manipuliatorių padėties nustatymo būdas, realizacija*. Pagal *mobilumą* gali būti:

- Įranga prijungta prie kompiuterio kabeliu arba belaidžiu ryšiu. Tokio tipo sistema (pavyzdžiui HTC Vive, ar Oculus Rift ir panašios) paprastai turi didelės skiriamosios gebos atvaizdavimo sistemą, kas mažiau vargina akis ir leidžia žiūrovui lengviau įsijausti į virtualią aplinką.

Privalumai – pasiekiamos visos kompiuterio grafines plokštės atvaizdavimo galimybės. Taip pat (prijungimo laidu atveju) nėra atskiro maitinimo šaltinio, kuris ribotų nepertraukiamo veikimo laiką.

Trūkumai – prijungimo belaidžiu ryšiu atveju – reikalingas užtikrintas ryšys ir santykinai „švarus eteris“. Taip pat trūkumas, būdingas visiems belaidžio ryšio įrenginiams – ribota maitinimo šaltinio talpa, kas riboja nepertraukiamo naudojimo laiką. Laidinio prijungimo atveju – santykinai mažas mobilumas, nepatogumas dėl besipainiojančio kabelio.

- Įranga nepriklausoma nuo stacionaraus kompiuterio (kartais gamintojai siūlo papildomą galimybę jungtis prie kompiuterio). Tokios sistemos (pavyzdžiui Oculus Quest 2) dirba autonomiškai, šalme sumontuotas visas kompiuteris, atliekantis ne tik galvos padėties nustatymo, bet ir programų saugojimo ir paleidimo funkcijas. Paprastai tokios sistemos jungiasi prie išorinio tinklo belaidžiu ryšiu, dažnos naudoja Android operacinę sistemą.

Privalumai – įrangos naudojimui neprivalomas išorinis kompiuteris. Visa sistema sumontuota viename korpuse, naudotojai gali būti labai mobilūs. Nėra nepatogių laidų, jungiančių su kompiuteriu. Taip pat vertinant finansinių resursų poreikį, autonominė sistema kainuoja pigiau, negu sistema prijungta prie kompiuterio (įskaičiuojant ir kompiuterio kainą).

Trūkumai – įrangos veikimą (programų ir turinio saugojimą, programėlių paleidimą ir turinio atvaizdavimą) užtikrina vienas šalme sumontuotas specializuotas kompiuteris. Atsižvelgiant į maitinimo šaltinio talpos ribojimus bei šalme sumontuoto kompiuterio skaičiuojamosios galios ribojimus, galima teigti, kad tokių sistemų galimybės yra mažesnės, lyginant su sistemomis prijungtomis prie kompiuterio.

Pagal *šalmo ir manipuliatorių padėties nustatymo būdą* gali būti:

- Sistemos, naudojančios papildomus modulius („stotis“) tikslesniam padėties nustatymui. Tokios sistemos (pavyzdžiui HTC Vive) naudoja papildomą įrangą tikslesniam šalmo ir manipuliatorių padėties nustatymui erdvėje. Paprastai papildoma įranga turi „matyti“ visą planuojamą judėjimo plotą.

Privalumai – sistemos veikia tiksliau, negu sistemos be papildomos įrangos.

Trūkumai – papildomos įrangos naudojimas ženkliai sumažina naudotojų mobilumą. Taip pat visa sistema sudaryta iš daugiau komponentų, kas mažina visos sistemos patikimumą. Kai kurios sistemos (pavyzdžiui minėtoji HTC Vive) papildomuose moduluose naudoja judančius elementus (variklius IR lazerių skeneriams), o tai mažina sistemos ilgaamžiškumą.

- Sistemos, naudojančios vidinius sprendimus (giroskopai, akcelerometrai, magnetometrai, aplinkos vaizdo analizė). Tokioms sistemoms (pavyzdžiui Oculus Rift ar Oculus Quest 2) šalmo padėties nustatymui nereikia papildomų išorinių įrenginių.

Privalumai – paprastesnė įrengimo ir naudojimo atžvilgiu sistema. Galima naudoti kelias sistemas arti viena kitos.

Trūkumai – santykinai blogesnis padėties nustatymas (reikia daugiau skaičiuojamosios galios). Tiesa, pastaruoju metu, išstobulėjus techninei įrangai ir sukūrus efektyvesnes programines priemones, tokios sistemos šalmo ir manipuliatorių padėties nustatyme praktiškai neatsilieka nuo sistemų su papildoma įranga.

Pagal *realizaciją* gali būti:

- Siaurai specializuotos sistemos (pavyzdžiui Owatch sistemos, naudojančios DEEPOON E3 VR šalmsus, ar VR kaukės, kurios leidžia pajusti kvapus, šilumą, drėgmę, vėją ir vibraciją Virtualioji realybė – nuo tikrovės pojūčius imituojančių veido kaukių iki kelionių per magiškus portalus, 2020). Tokios sistemos kuriamos kaip VR parkų įranga, įtraukiant papildomus sprendimus, veikiančius motoriką (judesiai), lytėjimą (šiltas ar šaltas vėjas, vandens purslai), kvapus ir kita. Per sensorinius pojūčius žmogus perkeliamas į virtualųjį pasaulį, (1 pav.).



1 pav. Įranga sensorinių pojūčių įjungimui

Šaltinis: VR experiences, 2022

Privalumai – sistemų pagrindu santykinai nedidelėje erdvėje galima kurti pramogų VR parkus. Leidžia pajungti daugiau pojūčių (ne vien regėjimą ir klausą).

Trūkumai – be įprastinių pramogų parkų įrangai būdingų trūkumų, būtų galima išskirti kelis papildomus. Visų pirma, VR įranga yra naudojama individualiai, todėl gana sudėtinga VR šalmų parametrus pritaikyti dideliame sraute įvairių lankytojų. Taip pat, ši įranga santykinai lengvai pažeidžiama.

- Universalios VR sistemos (tokios, kaip HP Reverb G2, Meta Quest 2 ar HTC Vive Pro 2). Sistemos skirtos individualiam virtualios realybės suvokimui.

Privalumai – pigesnės ir universalesnės sistemos, lyginant su specializuotomis. Paprastai naudoja programinius sprendimus, leidžiančius atvaizduoti ir naujai sukurtą turinį.

Trūkumai – nepadengia visų pojūčių, dėl ko naudotojai gali būti sudėtingiau įsijausti į virtualią aplinką.

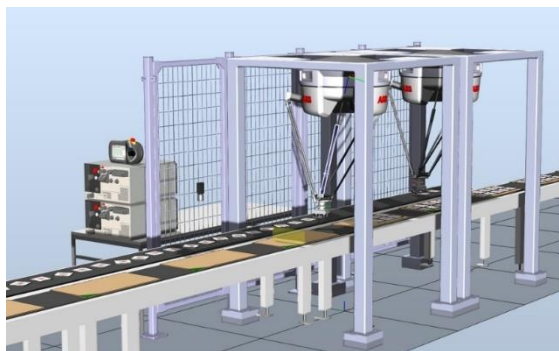
• Pagalbinės priemonės (rėmeliai, dėžutės, programiniai sprendimai), leidžiantys išgauti virtualios realybės pojūtį, naudojant mobiliuosius įrenginius (telefonus, planšetes). Tokios priemonės (pavyzdžiui Google Cardbox) leidžia išgauti virtualios realybės pojūtį, naudojant mobilųjį telefoną. Tiesa, tokiu atveju, dėl priemonių paprastumo, VR efektas dažnai būna nepakankamas, norint visiškai įsijausti į virtualią aplinką. Atskirais atvejais (naudojant ausines, pasirenkant tinkamą skaitmeninį turinį, naudojant dėvimas ant kūno garso sistemas) galima pagerinti įsijautimą.

Privalumai – labai paprastas ir nebrangus sprendimas, prieinamas praktiškai kiekvienam mobilaus telefono turėtojui. Minėtos Google Carbox įrangos kaina varijuoja nuo 8€ iki 30€. Taip pat verta paminėti, kad tokiai įrangai nereikia maitinimo ar prijungimų prie įrangos.

Trūkumai – atvaizdavimo kokybė priklauso nuo turimo mobilaus telefono atvaizdavimo kokybės. Stebėtojo padėties ir žvilgsnio krypties nustatymas vyksta naudojant telefono jutiklius (akselerometrą, magnetometrą, GPS imtuvą ir kitus) ir telefono skaičiuojamąją galią. Akivaizdu, kad lėtesnis procesorius ne visada geba susidoroti su skaičiavimais, o kiek senesni jutikliai ne visuomet veikia korektiškai – dėl to virtualios realybės atvaizdavimas tokiose aparatuose gali būti problematiškas. Prie trūkumų taip pat reikėtų pridurti telefonų programinės įrangos ribojimus – VR aplinka pasiekama kaip telefono operacinėje sistemoje paleidžiama programėlė. Akivaizdu, kad telefone galima naudoti tik tai operacinei sistemai skirtas programėles.

Virtualios realybės turinį būtų galima skirstyti į tris kategorijas:

• *Interaktyvus turinys*. Tai dažniausiai programinėmis priemonėmis sukurta skaitmeninė aplinka, kurioje talpinamas naudotojas. Tokioje aplinkoje galima ne tik matyti ar girdėti, bet ir vienaip ar kitaip veikti ją. Interaktyvi aplinka gali būti akivaizdžiai dirbtina, siekiant pabrėžti virtualaus objekto specifines savybes (2 pav.). Kitais atvejais kuriama kaip galima realistiškesnė, lengvai įtraukianti aplinka, pavyzdžiui, įrankio Unreal Engine 5 pagalba kuriama viduramžių miesto aplinka (3 pav.).



2 pav. Dirbtina aplinka
Šaltinis: ABB Robot Studio, 2022



3 pav. Realistinė aplinka
Šaltinis: Unreal Engine 5, 2022

Svarbiausias šios kategorijos skiriamasis bruožas – galimybė interaktyviai sąveikauti su aplinka. Tai nėra tiesiogiai jutimus veikiantis faktorius, bet leidžia lengviau įsijausti į VR aplinką. Dar viena svarbi aplinkybė yra tai, kad teoriškai bet koks skaitmeninis turinys, kurį galima atvaizduoti ekrane, taip pat galėtų būti atvaizduojamas virtualioje realybėje. Deja, bet dauguma skaitmeninių produktų yra nekintamai pritaikyti atvaizduoti plokščiaame ekrane (jų atvaizdavimo „kamera“ yra nekintamai nustatyta kaip kryptinė).

Ši kategorija taip pat apima ir „papildytos virtualios realybės“ sprendimus – kuomet 360 laipsnių foto ar video fone atvaizduojamas sukurtas skaitmeninis turinys.

• *Neinteraktyvus turinys*. Į šią kategoriją patenka 360° filmuota ir fotografuota medžiaga. Šiuo atveju įsijautimui į virtualią aplinką įtaką turi keletas faktorių:

1. Video ar foto kokybė. Kuo geresnė kokybė, tuo mažiau pastebima, kad kuriama aplinka yra „netikra“.
2. Video kadrų dažnis. Jei jis nepakankamas (pvz. 25 kadrai per sekundę), vartotojas gali jausti mirgėjimą, kas trukdys įsijausti į VR aplinką.
3. Stereo vaizdas. Jei vaizdas toks pats abejoms akims, tuomet nesijaučia aplinkos „gylio“.

Idealiu atveju, siekiant geriausio įsijautimo į virtualią aplinką, siūloma naudoti stereo 360 laipsnių kamerą su ne mažesniu, kaip 50 kadrų dažniu ir 2K (geriau – 4K) skiriamąja geba.

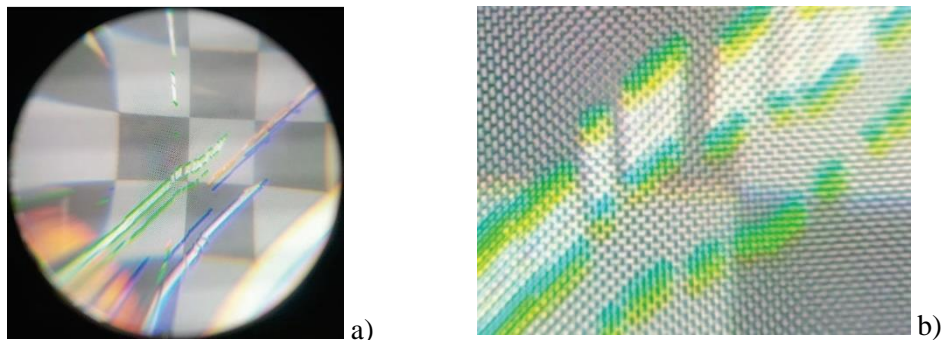
• *Pseudo interaktyvus turinys*. Tai dažniausiai 360 foto ar video serija, sujungta tarpusavyje „perėjimo tuneliais“. Akivaizdžiausias tokios realizacijos pavyzdys – Google Street View paslauga.

Kuriamo vaizdo realistiškumas. Virtualios realybės potyrių kokybė didžiąja dalimi priklauso nuo įrangos kuriamo vaizdo kokybės. Paprastai vaizdo atkūrimo įrangos konstrukcija nėra labai sudėtinga:

kiekvienai akiai skiriamas atskiras ekranas arba bendro ekrano segmentas (generuojant atskirus vaizdus kiekvienai akiai išgaunamas stereo efektas – vaizdo gylis), prieš kiekvieną ekraną montuojama optinė sistema (vienas ar keletas fokusuojančių lęšių), visa tai montuojama korpuse, kuris pasirinktu būdu tvirtinamas ant stebėtojo galvos. Įrangos gamintojai siekia tobulinti vaizdo kokybę, mažinti įrangos svorį ir gerinti „buvimo“ pojūtį. Tam įtakos turi keletas veiksnių (Anthes, García-Hernández, Wiedemann and Kranzlmüller, 2016):

- *Ekranų parametrai.* Visų pirma – ekrano skiriamoji geba. Pavyzdžiui HTC Vive 3 Focus įrangos kiekvienos akies ekranas gali atkurti iki 2448x2448 taškų. Kuo didesnė skiriamoji geba, tuo natūralesnis VR vaizdas. Taip pat svarbus parametras – maksimalus kadrų dažnis (minėtojo HTC Vive 3 Focus – 90 kadrų per sekundę). Kuo didesnis kadrų dažnis, tuo stabilesnis ir natūralesnis VR vaizdas. Ekranų technologija (LCD, AMOLED) tiesiogiai įtakos pojūčiams nedaro, tačiau technologijos ribojimai gali įtakoti gaminio parametrus (pavyzdžiui AMOLED ekranai turi didesnę delsą, todėl tokie ekranai dirba mažesniu kadrų dažniu. Kita vertus, LCD ekranams reikalinga nuolatinė pašviesa, o AMOLED ekranai šiuo atveju yra ekonomiškесni ir išskiriantys mažiau šilumos).

- *Lęšiai.* Kadangi VR sistemose paprastai naudojamas vienas lęšis kiekvienai akiai, vaizdo pakraščiuose atsiranda iškraipymai, kurie blogina VR pojūčius, o atskirais atvejais visiškai neleidžia naudotis įranga (sukelia diskomfortą ar pykinimą). Vaizdo fokusavimui naudojami fresnelio ar asferiniai lęšiai. Skirtingai negu „įprasti“ sferos at cilindro formos lęšiai, šie leidžia tiek sumažinti gaminio svorį, tiek išvengti dalies vaizdo fokusavimo iškraipymų (4 pav.).



4 pav. Vaizdo iškraipymai Oculus Rift DT2. a) bendras vaizdas, b) išdidintas centro vaizdas
Šaltinis: Anthes, García-Hernández, Wiedemann and Kranzlmüller, 2016

Ypatingai svarbus faktorius yra pritaikymo pagal individualų naudotoją galimybė. Akivaizdu, kad naudotojai skiriasi tiek pagal fizinius parametrus (*galvos dydis, atstumas tarp akių, regėjimo parametrai, spalvų suvokimas*), tiek pagal suvokimą (*VR erdvės poveikis, individualūs poreikiai vaizdo parametrams*). Paprastai gamintojai numato keletą reguliuojamų parametrų (*dažniausiai – tvirtinimo ant galvos dydis, atstumas tarp akių, kartais – atstumas iki veido*). Naudotojams su sutrikusiu regėjimu paprastai siūloma arba naudoti VR įrangą kartu su asmeniniais akiniais, arba numatoma nedidelė fokusavimo korekcija kiekvienai akiai. Tokie sprendimai leidžia nesunkiai adaptuoti individualią VR įrangą, tačiau beveik nepanaudojami komerciniuose VR modeliuose.

Virtualios realybės (VR) tinkamumas potyrių vietovėms kurti

Apžvelgus potyrių kūrimo procesus virtualiuose pasauliuose (Reinhard, Dervin, 2012) pastebėta, kad įsitraukimo (buvimo) funkcija yra stipriai priklausoma nuo vartotojo suvokimo ir ketinimų. Visų pirma vartotojai negali jaustis visapusiškai įsitraukę, jei negali prisijungti prie istorijos. Užmezgus tą ryšį, riba tarp tikrovės ir vaizduotės susipina. Žiūrovai jaučiasi arčiau veikėjų, skatinama empatija ir panaudojamas visas VR pokyčių mechanizmo potencialas (Reinhard, Dervin, 2012). Šiuo atveju įsitraukimo (buvimo) svarba nėra pagrįsta aukščiausios klasės technologija. Greičiau tai kyla iš vartotojų emocijų lūkesčių į tai, kas vyksta prieš juos.

Realizuotų potyrių vietovių produktų VR yra nemažai. Jau galima aplankyti VR parkus, keliauti, gauti gydomąsias paslaugas ir pan. (1 lentelė).

Siekiant sudominti žmones, paskatinti juos virtualioje realybėje pamatyti vietovę aplankyti realiai, kuriamos VR kelionės. Žmogui, negalinčiam to padaryti realybėje, tokia kelionė gali būti labai svarbi. Norint, kad keliautojas sugrįžtų, reikia, kad jo lauktų naujas nuotykis, įdomi interaktyvi veikla, kiti virtualūs keliautojai ar dar kas nors, ką gali pasiūlyti kūrėjai (Virtualioji realybė – nuo tikrovės pojūčius imituojančių veido kaukių iki kelionių per magiškus portalus, 2020).

Potyrių vietovių pritaikymo VR galimybės

<i>Potyrių vietovės</i>	<i>Interaktyvi VR</i>	<i>Neinteraktyvi VR</i>
<i>Viešos erdvės</i>		
Pramogų centrai	[5], [6]	[5], [6]
Parduotuvių centrai	[1], [4]	[2], [3]
Įvairios paskirties urbanizuoti centrai	[7], [8], [9], [10]	[11]
Viešbučiai		[12], [13]
Svečių namai	[14]	[14], [15]
Žaidimų centrai	[16]	-
Sporto parkai	[17], [18]	-
Koncertų salės	[19]	[20]
<i>Edukacinės erdvės</i>		
Muziejai	[21]	[21], [26]
Paveldo vietovės	-	[22], [23]
Mokslo centrai	[24]	[24]
Gamtinės vietos	-	[25]
Gamyklų turai	-	[27]
Studentų miesteliai	-	[28]
<i>Kitos erdvės</i>		
Bibliotekos	[29]	[29]
Bažnyčios teritorija	[30]	[31]
Ligoninių vaikų skyriai	[32], [33]	[33]
Gydomieji sodai	-	[34]
Vėžio gydymo centrai	[35]	[35]
Senjorų centrai	[36]	[36]
Gyvenamieji rajonai	[37]	[37]
Dienos priežiūros centrai	-	[38]

Pastaba. Lentelėje pateikiami pavyzdžiai realizuotų vietovių - numeris rodo šaltinį literatūros sąrašė.

Kelionių pramonės dalyviai tapo vienais pirmųjų, suskubusių pasinaudoti VR technologijos teikiamais pranašumais. Kelionių verslą plėtojančios įmonės puikiai žino, kad jų klientams aktualiausi – išpūdžiai, o ne gaminiai arba produktai, todėl virtualioji realybė buvo pripažinta idealia reklamavimo priemone. VR leidžia suvokti, kuo tiksliau įsivaizduoti, ko galima tikėtis iš kelionės, tokiu būdu išvengiant nepagrįstų lūkesčių. Nemažai viešbučių, kelionių agentūrų savo internetines svetaines papildė VR komponentais, leidžiančiais klientams susipažinti su skaitmenine viešbučio kambario versija ar net pasižvalgyti po netoliese esantį turistų traukos objektą. VR technologijų taikymas kelionių pramonėje eksperimentuojant su VR akiniais ir randant sėkmingus sprendimus auga. Dauguma Europos šalių (ir ne tik) siūlo interaktyvius pasivaikščiojimus kalnuose, o pavyzdžiui, Londone ir Niujorke siūlomos virtualios kelionės po atviras miestų parkų erdves. Lietuvoje VR industrija taip pat yra aktyvi – jau galime pamatyti ir Lietuvos miestų panoramas 360°, apsilankyti muziejuose ar prekybos centruose, virtualiai pasivaikščioti parkuose ir aikštėse.

Technologinės virtualios realybės naujovės pakeitė pramogų parkų kraštovaizdį. Pramogų parkai įtraukia VR į esamas pramogas ir kuria atskirus VR atrakcionus. Tradiciniai pramogų parkai investuoja milijonus dolerių į VR technologiją, kad skatintų lankomumą, o kitos organizacijos investuoja milijardus dolerių, kad sukurtų tam skirtus VR pramogų parkus.

VR pramogų parkuose ir atrakcionuose naudojama virtualios realybės technologija, kad turistams būtų suteikta unikali ir jaudinanti patirtis; kuri skiriasi nuo ankstesnių pramogų parko atrakcionų. VR technologijos integravimas į esamus lankytinus objektus pasirodė esąs pigesnis būdas pramogų parkams privilioti išpūdžių ieškančius asmenis apsilankyti jų vietose. Tačiau kiti pramogų parkai nusprendė įdiegti VR technologiją kaip atskirus atrakcionus. Nors dauguma pramogų parkų naudoja VR technologiją esamiems pasivažinėjimams ar atskiriems potyriams, tačiau jau sparčiai vystomi VR pramogų parkai – nuo nedidelių uždarų erdvių (4 pav.) iki VR atrakcionų parkų.



4 pav. VR pramogų parkas
Šaltinis: VR experiences, 2022



5 pav. VR Star pramogų parkas Kinijoje
Šaltinis: The Oriental Science Fiction Valley, 2018

VR pramogų parkas Dubajuje yra didžiausias pasaulyje ir suteikia daugybę interaktyvių VR patirčių. Parkas bendradarbiauja su Amerikos televizijos ir filmų kompanijomis, kad lankytojams pateiktų firminių VR pramogų, tokių kaip „The Walking Dead Outbreak“ ir „John Wick Chronicles“. 2018 metais Kinija atidarė vieną pirmųjų VR pramogų parkų pasaulyje. Jis vadinamas VR Star pramogų parku ir yra Guidžou provincijoje (5 pav.). Parke įrengta daugiau nei 40 atrakcionų, skirtų VR, nuo atskirų atrakcionų iki tradicinių pasivažinėjimų teminiame parke su VR įtraukimu.

Potyrių vietovių kūrimas virtualioje aplinkoje tampa kasdienybe. Jau galime ne tik grožėtis įvairių šalių vaizdais, aplankyti pramogų parkus, bet ir apsilankyti muziejuose, viešbučiuose, bažnyčiose ir kt. Miestų, kultūros paveldo objektų, kraštovaizdžio objektų, muziejų perkėlimas į virtualią realybę suteikia galimybę juos detaliau tyrinėti, atlikti veiksmus, kurie tikrovėje negalimi (paimti į rankas retą vertybę ir apžiūrėti iš visų pusių, atsisėsti į istorinės asmenybės krėslą arba pasivaikščioti tau nepasiekiamoje vietoje).

VR skatina vartotojus kurti ir įkūnyti virtualius „avatarus“. Šie leidžia pasijausti kitokiais, neprisiriant prie realaus judesio kitoje erdvėje. Virtualūs personažai gali padėti medicinos studentams įvaldyti empatijos bendravimo įgūdžius, kurie vėliau gali sustiprinti pacientų pasitikėjimą, padidinti pacientų pasitenkinimą ir paklusnumą VR mokymai gali padėti ir nepatyrusiems mokytojams ugdyti empatiją daugiakultūriškumo atžvilgiu. VR potyrių pramonė susiduria su kliūtimi, kad reikia kurti malonų turinį, kuris turi būti ir įtraukiantis bei skatinantis priimti šią priemonę tarp vartotojų. Galbūt raktas į abi problemas yra pripažinimas, kad vartotojai nėra pasyvūs VR turinio vartotojai. Atvirksčiai, jie atneša savo mintis, poreikius ir emocijas į pasaulius, kuriuose gyvena. Sėkmingų istorijų koncepcijos iššūkis kviečia vartotojus įsitraukti į pasakojimą, atskirti vartotoją nuo jo fizinio pasaulio ir mesti juos į kitą. Tai ne tik VR galia – tai viso pasakojimo galia (Reinhard, Dervin, 2012).

Virtuali realybė dalies potyrių negali perteikti, bet tuo pačiu gali sukurti ir naujų, kurių negauname realioje tikrovėje.

Išvados

1. Potyrių produktų kūrimas priklauso nuo siekiamų potyrių, o kuriant potyrių vietas įtraukiami visi penki sensoriniai pojūčiai. Sensoriniai stimulatoriai turi palaikyti ir padidinti jos temą. Kuo daugiau pojūčių, kuriuos patirtis patraukia, tuo efektyvesnis ir labiau atsimenamas potyris. Potyrių kūrimas realioje vietoje bei virtualioje gali būti ir panašus, ir labai skirtingas, nes vienu atveju galima daugiau išnaudoti vienus pojūčius, o kitais – kitus, ar sukurti holistinį patirtinio mokymosi ciklą.

2. Virtuali realybė – technologija, kurios atvaizdavimo kokybė darosi vis labiau įtraukianti, tinkamai išnaudojant visus penkis sensorinius pojūčius. Vertinant virtualios realybės galimybes potyrių vietovių kūrimui, nustatyta, kad įtakos turi *VR įranga*, reikalingą išgauti VR potyrius, *VR turinys* bei *kuriamo vaizdo realistiškumas*. Pramoginėse potyrių vietovių kūrimo srityse pranašesnė interaktyvi VR, nes žmonės nori įsijausti keisdami aplinką. Pažintinėse srityse pranašesnė neinteraktyvi VR, suteikianti galimybę pajusti kito žmogaus potyrius.

3. Potyrių vietovių kūrimas virtualioje aplinkoje tampa ne tik kasdienybe, bet keičiantis technologijoms, keičiasi ir galimų erdvių įgyvendinimo technikos, platesnio pojūčių spektro pajungimas: grožėjimasis įvairiais kraštovaizdžiais, kritimo pojūčių išgyvenimas atrakcionuose, apsilankymas muziejuose, ar net jau neegzistuojančiose vietovėse ir kt.

Literatūra

1. ABB robot studio (2022). Prieiga per: <https://www.automate.org/news/abb-robotstudio-picking-powerpac-simplifies-the-design-and-programming-of-complex-robotic-pick-and-pack-systems>
2. Anthes, C., García-Hernández, R. J., Wiedemann M. and Kranzlmüller, D. (2016). State of the art of virtual reality technology, IEEE Aerospace Conference, 2016, pp. 1-19, doi: 10.1109/AERO.2016.7500674.
3. Fromm, J., Radianti, J., Wehking, C., Stieglitz, S., Majchrzak, T. A., & vom Brocke, J. (2021). More than experience?-On the unique opportunities of virtual reality to afford a holistic experiential learning cycle. The Internet and higher education, 50, 100804.
4. Gilmore, J., Pine, J. (1999). The Experience Economy: Work is Theatre and every Business a Stage. Paris, Harvar Business School Press.
5. Nilsen, B.T. (2009). The ,experience industry‘ – concepts and contexts. RSA Annual conference 2009, Understanding and Shaping Regions: Spatial, social and economic futures 6th – 8th April 2009, Leuven, Belgium
6. Nogueira Kamel, J.A., Menezes Melo, A., Magalhães Lopes de Souza, B., Botelho Lima, J.M., de Mendonça Lopes, P.H. (2008). Experience economy. IV CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO Responsabilidade Socioambiental das Organizações Brasileiras Niteroi, RJ, Brasil, 31 de julho, 01 e 02 de agosto de 2008.
7. Reinhard CD, Dervin B. (2012). Comparing situated sense making processes in virtual worlds. Convergence: The International Journal of Research into New Media Technologies 2012; 18:27–48.
8. Schwind, V., Knierim, P., Haas, N., & Henze, N. (2019). Using Presence Questionnaires in Virtual Reality. Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '19. doi:10.1145/3290605.3300590
9. Sherman, W. , R., Craig, A., B. (2018). Chapter 10 - Virtual Reality: Past, Present, Future, Editor(s): William R. Sherman, Alan B. Craig, In The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics, Understanding Virtual Reality (Second Edition), Morgan Kaufmann, 780-821.
10. The Oriental Science Fiction Valley /CGTN Photo (2018). Prieiga per https://news.cgtn.com/news/3d3d674e7767544d77457a6333566d54/share_p.html
11. Tuch, L., Mayer, J. (editors) (2008). Architecture and placemaking.
12. Unreal Engine 5 (2022). Prieiga per: <https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/product/medieval-street-pack/questions>
13. Urbanskienė, R., Clotey, B., Jakštys, J. (2000). Vartotojų elgsena. KTU.
14. van Doorn, M. (2006). An Inside Story on the Experience Economy. Philips Research
15. Virtualioji realybė – nuo tikrovės pojūčius imituojančių veido kaukių iki kelionių per magiškus portalus (2020). Prieiga internete: <https://ktu.edu/news/virtualioji-realybe-nuo-tikroves-pojucius-imituojanciu-veido-kaukiu-iki-kelioniu-per-magiskus-portalus/>
16. VR experiences (2022). Prieiga per: <https://www.planetvr.net/vr-experiences/>
17. VR teminiai parkai (2022). Prieiga per: <https://www.moviepower-vr.com/VR-Theme-Park.html>
18. Wiederhold, B. K. (2018). The Next Level of Virtual Reality Isn't Technology—It's Storytelling. Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, 21(11), 671–671. doi:10.1089/cyber.2018.29129.bkw

VR pavyzdžių šaltiniai

- [1] <https://www.a2vr.co/vr-advertising-and-marketing>
- [2] <https://www.a2vr.co/visual-navigation>
- [3] <https://www.a2vr.co/interactive-physical-reality>
- [4] <https://www.a2vr.co/customizable-virtual-reality>
- [5] <https://www.owatchvrpark.com/>
- [6] <https://www.moviepower-vr.com/>
- [7] <https://webpages.tuni.fi/gamification/2020/08/27/vrban-an-overview-of-vr-urban-spaces/>
- [8] <https://blog.dormakaba.com/how-virtual-reality-is-set-to-revolutionize-urban-living/>
- [9] <https://www.sheffield.ac.uk/usp/news/using-virtual-reality-build-inclusive-urban-spaces>
- [10] [https://www.scriptiebank.be/sites/default/files/thesis/2019-09/VanDessel-Anke_Masterproef%20\(incl%20kaft\).pdf](https://www.scriptiebank.be/sites/default/files/thesis/2019-09/VanDessel-Anke_Masterproef%20(incl%20kaft).pdf)
- [11] <https://www.youvisit.com/virtual-reality-360-experience?facebook=1>
- [12] <https://www.revfine.com/vr-hotel-tour/>
- [13] <http://www.shangri-la.com/vr/en/index.htm>
- [14] <https://virtual-reality.co.za/our-work/virtual-tour-of-a-guest-house/>
- [15] <https://www.youvisit.com/tour/110453/128850>
- [16] <https://www.losvirtuality.com/>
- [17] <https://www.badgersportspark.com/>
- [18] <https://sportsfacilities.com/ways-utilize-virtual-reality-sports-facility/>
- [19] https://www.nexr-technologies.com/show/?gclid=Cj0KCQjw48OaBhDWARIsAMd966DR5Dad05cexgOCUGKxoBLSzGtUrh11tkwupexEceS9bV6y1fhmyyAaAuNNEALw_wcB#
- [20] <https://veer.tv/blog/top-7-vr-ambisonic-classical-music-concerts/>
- [21] <https://www.museumnext.com/article/how-museums-are-using-virtual-reality/>

- [22] <https://www.museumnext.com/article/how-virtual-reality-is-bringing-historical-sites-to-life/>
 [23] <https://amt-lab.org/blog/2021/10/vr-and-cultural-heritage-recreation>
 [24] <https://www.virtualsciencecenter.org/>
 [25] <https://www.gamersdecide.com/articles/best-vr-nature-experiences>
 [26] <https://jasoren.com/vr-in-museums/>
 [27] <https://www.virtually-anywhere.com/factory-virtual-tours/>
 [28] <https://thecampusvr.com/>
 [29] <https://library.hccc.edu/technology/VR>
 [30] <https://medium.com/faithtech/exploring-the-church-in-virtual-reality-44d002617970>
 [31] <https://www.vrchurch.org/>
 [32] <https://vrscout.com/news/hospital-metaverse-building-a-childrens-health-center-in-vr/>
 [33] <https://www.chla.org/virtual-reality-pediatrics>
 [34] https://www.virtually-anywhere.net/tours/ah/white/vtour/index.html?startscene=scene_Healing_Garden
 [35] <https://www.curetoday.com/view/transforming-reality-using-virtual-reality-to-treat-patients-with-cancer>
 [36] <https://www.rendever.com/>
 [37] <https://archvirtual.com/architectural-visualization-demo/>
 [38] <https://lookbeforeyoubook.tours/virtual-tours-for-preschools/>

EXPERIENCE AREAS IN VIRTUAL REALITY

Summary

The article provides information about the possibilities of realization of experience areas in a virtual environment. People visit different places in order to feel, see and experience various impressions. It is not always possible to go to the desired places, but technological progress already allows you to experience it at home - virtually. The article discusses the possibilities of visiting different areas of experiences using virtual reality. Experience design locations can vary. We usually think of a theme park when we talk about experiences, but there can be a variety of places that design experiences and satisfy people's need for a hedonistic environment: entertainment centres, concert halls, science centres, hospital grounds, hotels, etc. The application of VR technology is usually not complete without VR glasses that help you find yourself in a digital environment. Through visual, auditory, and other sensory-stimulating effects, a person is transferred to a virtual world where he can move, see, even smell, and touch. The future of VR depends on engaging content that makes viewers respond and immerse themselves in another world. Transferring cities, impressive buildings, museums, cultural heritage objects to virtual reality provides an opportunity to explore them. Creating experiential locations in virtual environments is becoming commonplace. We can now not only admire the views of various countries, visit amusement parks, but also visit museums, hotels, churches, etc. Virtual reality cannot convey some experiences, but at the same time it can create new ones that we do not get in real reality.

Key words: virtual reality (VR), experience areas, interactive devices

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Gintaras Kučinskas.

Mokslo laipsnis ir vardas: lektorius

Darbo vietą ir pozicija: VšĮ Klaipėdos valstybinės kolegijos, Technologijų fakulteto Inžinerijos ir informatikos katedros lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: informatikos inžinerija, 3D technologijos.

Telefonas ir el. pašto adresas: g.kucinskas@kvk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Jurga Kučinskienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vietą ir pozicija: 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: Gintaras Kučinskas.

Science degree and name: lecturer.

Workplace and position: Klaipėda State University of Applied Sciences, Technology faculty, Department of Engineering and Informatics, lecturer.

Author's research interests: informatics engineering, 3D technologies.

Telephone and e-mail address: g.kucinskas@kvk.lt

Author name, surname: Jurga Kučinskienė.

Science degree and name: doctor, associated professor.

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

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

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

BENDRUOMENINIUS PROJEKTUS RENGIANČIŲ STUDENTŲ VERTYBIŲ TYRIMAS

Airida Tylienė

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

Anotacija

Straipsnyje aptariami žvalgomojo kiekybinio tyrimo, kaip kompleksinio bendruomeninius projektus rengiančių studentų tyriminių kompetencijų tyrimo, rezultatai 2016–2021 m. Apžvelgiamos inžinerijos studijų krypties studentams svarbiausios, mažiau svarbios ir nesvarbios vertybės, kurios kartu su žiniomis, įgūdžiais ir gebėjimais daro tiesioginę įtaką studentų tyriminių kompetencijų plėtojimui, inicijuojant, rengiant ir įgyvendinant bendruomeninius projektus. Įvardintos studentų nuomone realiuose pavyzdžiuose fiksuojamos vertybės.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: vertybės, tyriminės kompetencijos, bendruomeniniai projektai.

Įvadas

Atsižvelgiant į tai, kad Pramonė 4.0 ir ją papildanti Pramonė 5.0, pabrėžianti mokslinių tyrimų ir inovacijų svarbą pereinant prie tvarios, į žmones orientuotos pramonės, daro akivaizdžią įtaką ne tik pačiai pramonei, politikai ar kultūrai, bet ir visuomenei, žmogus ir jo kompetencijos tampa ne ką mažiau svarbiu šios sistemos elementu ir vienu didžiausių šiuolaikinės švietimo sistemos siekinių. Būtent naujų kompetencijų ugdymas tobulėjant technologijoms sudaro prielaidas ir galimybes sieti turimas patirtis su naujomis formomis įgyjamomis žiniomis. Vienos tokių – studentų tyriminės kompetencijos², kurių formavimui ir plėtojimui, įskaitant vertybių³ ir jų nuostatų ugdymą, nemenkai dėmesio skiriama studijas reglamentuojančiuose dokumentuose ir programose bei kituose juos papildančiuose dokumentuose: nuo *Lietuvos Respublikos švietimo įstatymo* (1991, su pakeitimais), *Lietuvos Respublikos mokslo ir studijų įstatymo* (2009, su pakeitimais), *Bolonijos proceso dokumentų* ir *Dublino aprašų* (2004) iki *Lietuvos mokslo ir inovacijų politikos kaitos gairių* (2016), *Nacionalinės darnaus vystymosi strategijos* (2003, su pakeitimais), *Valstybinės švietimo 2013–2022 metų strategijos* (2013), *2020 m. Europos strategijos* (2010), *Lietuvos pažangos strategijos „Lietuva 2030“* (2012), *Mokymosi visą gyvenimą užtikrinimo strategijos* (2008) ir *Valstybinės studijų, mokslinių tyrimų ir eksperimentinės (socialinės, kultūrinės) plėtros 2013–2020 metų plėtros programos* (2012), *Europos Sąjungos mokslinių tyrimų ir inovacijų finansavimo programos „Horizontas 2020“* ir daugelio kitų. Aukštųjų mokyklų absolventų kompetencijų atitikimas rinkos poreikiams⁴ bei tyriminių kompetencijų plėtojimo poreikis, stiprinant mokslininkų ir visuomeninių organizacijų bendradarbiavimą įsitraukiant į bendrą mokslinę tiriamąją veiklą, Europos aukštojo mokslo (EHEA) poreikių kontekste akivaizdus (2020 m. Europos strategija, 2010; Lietuvos pažangos strategija „Lietuva 2030“, 2012, Bendrieji gebėjimai kintančiame..., 2009; Pukelis, 2009; Svarbiausi Bolonijos proceso dokumentai, 2013; Valstybinė studijų, mokslinių..., 2012) – nuo 2005 m. patvirtinus *Mokslo ir technologijų populiarinimo Lietuvoje strategiją*, siekiama įtraukti visuomenę į mokslo ir technologijų kūrimą, atlikta švietimo įstaigų ir verslo ar bendruomenių bendradarbiavimo tyrimų⁵ (Užsienio šalių..., 2016). Atliepiant šį tikslą, nuo 2016 m. Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijoje, dalyvaujant Europos Sąjungos mokslinių tyrimų ir inovacijų programos „Horizontas 2020“ finansuojamame projekte „Atsakingų tyrimų ir inovacijų stiprinimas aukštajame moksle per studijų programas“, į studijų procesą integruojami įvairaus lygmens bendruomeniniai projektai (Mokslo dirbtuvės, Atsakingos inovacijos, Tarpdisciplininis projektas ir pan.). Tai projektai, kurių metu pasitelkdami atsakingus tyrimus ar inovacijas studentai kartu su pilietinės visuomenės organizacijomis sprendžia visuomenei aktualias problemas. Specifinis bendruomeninių projektų kontekstas ir pobūdis skatina studentus tobulinti ir plėtoti tyrimines kompetencijas bei įvertinti savo, kaip tyrėjų, veiksmų ir rezultatų vertę realiame kontekste (Tylienė, 2021).

Kompetencijos, taip pat ir tyriminės, jungia žinias, gebėjimus, įgūdžius bei vertybines nuostatas. Pastarosios itin svarbios globalizuotoje visuomenėje vykstant įvairioms, įskaitant ir pačių vertybių, transformacijoms ir kaitai – būtent nuo turimų vertybių ir vertybinių nuostatų priklauso kokias veiklas ar projektus studentas vykdys ir kiek tai asmeniškai jam bus prasminga (Martišauskienė, 2009). Šiuolaikinėje visuomenėje keičiantis bendroms vertybių sistemoms, kinta ir pavienių vertybių turinio ribos, formuojasi

² „Tyriminės kompetencijos sąvoka vartojama kaip bendruomeniniams tyrimams atlikti reikalingų kompetencijų visuma, neišvengiamai persipinanti su bendrosiomis, asmeninėmis, socialinėmis, dalykinėmis kompetencijomis <...>“. (Tylienė, 2021).

³ „Vertybės – tai specifinės mus supančio pasaulio objektų ir reikšmių charakteristikos, turinčios teigiamą reikšmę <...> visuomenei“ (Vertybė, 2022).

⁴ „Kompetencijos, svarbios ateities darbuotojui 2030 m.: kritinis mąstymas, kompleksinis problemų sprendimas, kūrybiškumas, kognityvus lankstumas, gebėjimas derėtis, orientavimasis į paslaugas, sprendimų priėmimas, emocinis intelektas, bendradarbiavimas, žmoniškųjų išteklių vadyba (The 10 skills..., 2016; Top Skills Engineers..., 2020; Transformative competencies for 2030, 2019)“ (Tylienė, 2021).

⁵ Pvz., nevyriausybių organizacijų ir bendruomenių tyrimas Lietuvoje dėl bendrų taikomųjų mokslinių tyrimų ir visuomenei aktualių problemų sprendimo (CSO, 2019).

skirtingos tos pačios vertybės sampratos ir raiškos bei svarbos formos. Atsižvelgiant į tai, studentų vertybių tyrimai vis labiau tampa reikšmingi ir aktualūs, ypač siekiant išanalizuoti vertybių įtaką rengiamų bei įgyvendinamų bendruomeninių projektų ir tyrimų turiniui ir tematiniam spektrui. Studentų vertybių plėtojant tyrimines kompetencijas aukštojoje mokykloje tyrimo aktualumas reikšmingas: studentų vertybės daro tiesioginę įtaką pasirenkamų bendruomeninių projektų tematikai, plėtotei bei rezultatų kokybei. Tačiau įvairių šaltinių, dokumentų, atliktų tyrimų bei ataskaitų analizė rodo, kad ne tik tyriminių kompetencijų tyrimų lauke, bet ir studentų vertybių, darančių tiesioginę įtaką formuojant tyrimines kompetencijas, analitikoje vis dar daug neištirtų klausimų ir probleminių aspektų. Kompetencijų tyrimuose dažniausiai telkiamas dėmesys į akivaizdžius trinarus kompetencijų dėmenis (žinias, gebėjimus, įgūdžius), nesiekiant išsiaiškinti jų sąsajų su vidinėmis asmens nuostatomis ir vertybėmis. Atliekami vertybių, vertybinių nuostatų bei orientacijų tyrimai paprastai apima aspektus, kai tiriamos ir analizuojamos mokinių, mokytojų vertybinės nuostatos, jų ugdymas bei reikšmingos prielaidos vertybinių nuostatų formavimui ir plėtotei pertvarkant mokymo ir įvairaus ugdymo programas ar kuriant metodikas. Pastebėta, kad aukštajame moksle didžioji dalis tyrimų atliekama socialinių, humanitarinių ir pan. mokslų srityse ir tai vykdoma ne visuminiu mastu, o nagrinėjamos tik tam tikros, pavyzdžiui, socialinės ar dorovinės (moralinės), vertybės. Taigi, vienas aktualiausių tyrinėtinių probleminių klausimų – kokių vertybinių pagrindų aukštajame moksle bendruomeniniuose projektuose plėtojamos inžinerijos studijų krypties studentų tyriminės kompetencijos.

Tyrimo objektas – bendruomeniniuose projektuose dalyvaujančių studentų vertybės plėtojant tyrimines kompetencijas.

Tyrimo tikslas – nustatyti kokios vertybės įtakoja bendruomeniniuose projektuose dalyvaujančių inžinerijos studijų krypties studentų tyriminių kompetencijų plėtotę.

Uždaviniai: 1. Išskirti inžinerijos studijų krypties studentų nuomone svarbiausias, mažiausiai svarbias ir nesvarbias vertybes; 2. Apžvelgti studentams svarbiausias vertybių grupes; 3. Apibūdinti tyrime dalyvavusių studentų vertybines išvalgas realiuose pavyzdžiuose.

Tyrimo metodika: žvalgomasis kiekybinis tyrimas, turinio analizė (bendruomeniniuose tyrimuose dalyvaujančių inžinerijos studijų krypties studentų nuomonės analizė pagal iš anksto parengtą tyrimo instrumentą – korteles).

Tyrimo eiga, rezultatai ir jų interpretacija

Tyrimas atliktas 2016–2021 metais Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos Statybos fakultete, laikantis pagrindinių tyrimo etikos principų. Tyrimo metodika parengta 2016 m. grupės tyrėjų, koordinavusių studentų projektus, kurių metu spręsti įvairioms bendruomenėms ir organizacijoms aktualūs visuomeniniai ir socialiniai klausimai. Tyrėjų grupei rengiant studentų vertybių tyrimo metodiką, atsižvelgta į įgyvendinamų studentų projektų organizavimo specifiką, planuojamus vykdyti naujus bendruomeninius projektus ir tyrimus, asmeninę tyriminę patirtį organizuojant ir vykdant bendruomeninius tyrimus, gautas išvalgas iki šio tyrimo pradžios. Vertybių tyrimas, kaip reikšmingas vykdant bendruomeninius projektus ir tyrimus, traktuotas kaip žvalgomas tyrimas, kompleksinė studentų tyriminių kompetencijų tyrimo dalis.

Tyrimui atlikti naudojamos dviejų tipų kortelės su 15 pagrindinių vertybių, pagal L. Jovaišą priskiriamų prigimtinių (veiklumas, savarankiškumas, kūrybingumas, parama ir pagalba, laisvė), praktinių (profesionalumas), ekonominių (iniciatyvumas, laiko taupumas), socialinių (pripažinimas, teisingumas, atjauta, pakantumas) ir dvasinių (gėris, grožis, pagarba gamtai) vertybių grupėms (Aramavičiūtė, 2005, p. 21). Į korteles neįtrauktos egzistencinės, psichinės ir kultūrinės vertybės dėl įgyvendinamų bei planuojamų studentų bendruomeninių projektų specifikos, vertybių reikšmingumo projekto inicijavimo, planavimo, įgyvendinimo iki stebėsenos ir kontrolės, užbaigimo ir rezultatų viešinimo etape arba dėl kitų tyrėjų grupės narių vykdomų tyrimų, kurių metu atskirai analizuojamos (ar tyrimo pradžioje numatyta analizuoti) šių grupių vertybės ar su jomis susijusios kompetencijos (pvz., studentų tyriminės kompetencijos⁶).

Dviejų tipų kortelės (tyrimo instrumentas) studentams pateiktos užpildyti auditorijoje, prieš pradėdant inicijuoti ir planuoti projektus. Siekiant išvengti kryptingos refleksijos, kortelės pateiktos kiekvienam studentui atskirai, antroji kortelė tik užpildžius pirmąją. Atitinkamai 2020–2021 m. – auditorijoje, o įvedus karantiną dėl Covid-19 pandemijos, nuotoliniu būdu per prijungtines formas (angl. *on-line*), leidžiančias užtikrinti respondentų anonimiškumą. Kortelėms užpildyti skirtas neribotas laikas. Visi respondentai korteles užpildė pilnai, jos grąžintos nesugadintos (grįžtamumas 100 proc.).

Inžinerijos krypties studentų vertybėms nustatyti prieš pradėdant inicijuoti, planuoti ir įgyvendinti bendruomeninius projektus ir tyrimus, sudaryta tikslinė tyrimo imtis (reprezentatyvi, N=181): tyrime dalyvavo 181 studentas, 2016-2021 m. VTDK Statybos fakultete su komanda rengęs Socialinių, Mokslo dirbtuvių,

⁶ Studentų tyriminių kompetencijų tyrimas (Tylienė, 2021).

Atsakingų inovacijų projektus. Žvalgomajame vertybių tyrime dalyvavo II-III nuolatinių ir III-IV iššestinių studijų kurse pagal studijų programas „Statyba“ (68,51 proc. visų dalyvavusių studentų), „Statinių inžinerinės sistemos“ (17,68 proc. visų dalyvavusių studentų) bei „Geodezija ir kadastras“ (13,81 proc. visų dalyvavusių studentų) studijavę studentai. Studentų amžiaus vidurkis – 34 metai (min=21, max=46), mokymosi svartinis vidurkis – 8,07. Tyrime dalyvavo 8,28 proc. moterų ir 91,72 proc. vyrų.

Kiekvienoje akademinėje studentų grupėje tyrimo pradžioje pateikta trumpa informacija apie tyrimą, informuota apie kortelių pildymo eiliškumą ir supažindinta su kortelių pildymo instrukcija. Siekiant tyrimo metu nustatyti asmeninę kiekvieno studento nuomonę, tikslingai vertybės ar jų skirstymas į grupes papildomai aptartas ir detalizuotas nebuvo. Toliau kiekybinis tyrimas vykdytas 2 etapais: pirmiausia kiekvienas studentas pateiktoje kortelėje su 15 vertybių, jas išreitingavo, kiekvieną jų įvertindamas balais nuo 0 iki 3 (kai 1 – svarbu, 2 – nelabai svarbu, 3 – nesvarbu). Visiems studentams išreitingavus kortelėje pateiktas vertybes nuo jiems svarbių iki nesvarbių ir gražinus jas tyrėjui, išduotos kitos kortelės su tomis pačiomis vertybėmis, kaip ir pirmoje kortelėje. Kortelės pildytos palaipsniui, pildymui skiriant tiek laiko, kiek studentams reikėjo. Tyrimo metu studentams pateikta vizualinė medžiaga – 5 asociatyvios nuotraukos su laiko intervalais tarp jų ir galimybe jas peržiūrėti papildomai, kad užbaigti kortelių pildymą. Studentams pateiktos asociatyvios nuotraukos: riaušių/protesto akimirka Londone Trafalgaro aikštėje (N1), išmaldos prašytojo nuotrauka (N2), miško gaisro gesinimo akimirka (N3), senolės, grojančios gitara, portretas (N4) ir kompozicija iš atverstų delnų (N5). Palaipsniui demonstruojant nuotraukas, studentų prašyta kortelėse pažymėti tas vertybes, kurios jų nuomone yra ar galėtų būti fiksuojamos kiekvienoje nuotraukoje atskirai (kiekvienai nuotraukai pateiktas tas pats 15 vertybių sąrašas). Prie kiekvienos nuotraukos studentai galėjo žymėti tiek vertybių, kiek jų nuomone jų galėjo būti užkoduota joje. Vidutiniškai studentai rinkosi po 3-5 vertybes kiekvienai nuotraukai. Keletas studentų prie kiekvienos nuotraukos pažymėjo tik po vieną vertybę iš pateikto 15 vertybių sąrašo.

Apibendrinus gautus rezultatus nustatytas bendras kiekvienos studijų grupės vertybių rinkinys, t.y., su kokiomis jiems svarbiausiomis vertybėmis studentai pradeda dalyvauti bendruomeniniuose projektuose. Atsižvelgiant į tai, kad tyrime dalyvavo skirtingo amžiaus studentai, priskiriami skirtingoms kartoms, gauti duomenys neanalizuoti pagal skirtingoms kartoms aktualias specifikas. Grįžtamasis ryšys apie bendrą akademinės grupės vertybių rinkinį (svarbiausios, mažiau svarbios ir nesvarbios vertybės) suteiktas kiekvienai grupei atskirai vėliau, atlikus visų toje akademinėje grupėje gautų duomenų analizę. Tyrimo duomenys pateikti lentelėse ir aprašomuoju būdu.

Analizuojant žvalgomojo tyrimo metu gautus duomenis, matyti, kad studentams, 2016-2021 m. dalyvavusiems įvairiuose bendruomeniniuose projektuose, svarbiausios trys vertybės: *teisingumas* (72,93% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų), *laisvė* (69,61% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų) ir *parama bei pagalba* (69,06% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų). Tai socialinių ir prigimtinių vertybių grupėms priskiriamos vertybės. Nelabai svarbiomis vertybėmis studentai dažniausiai įvardino socialines ir dvasines vertybes: *pripažinimą* (49,72% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų), *pakantumą* (48,07% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų), *grožį* (48,07% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų), o nesvarbiomis: *grožį* (37,02% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų), *atjautą* (20,99% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų) ir *pripažinimą* (19,89% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų). Šios vertybės taip pat priskiriamos socialinių ir dvasinių vertybių grupėms.

Analizuojant duomenis kiekvienais metais atskirai, matyti, kad 2016 m., 2018 m. ir 2020 m. dažniausiai kaip svarbiausios įvardintos prigimtinių ir socialinės vertybės, 2017 m. – prigimtinių, 2019 m. – prigimtinių, socialinės ir dvasinės, o 2021 m. – prigimtinių, praktinės ir dvasinės vertybės. Pažymėtina, kad per visą tyrimo laikotarpį, nei vienais metais ekonominės vertybės nebuvo įvardintos kaip pačios svarbiausios studentams. Taip pat, išskyrus 2019 m., kasmet visos vertybės studentų bent vieną kartą įvardintos kaip svarbios (2019 m. vienintelė vertybė *grožis* (0% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų) nei vieno studento neįvardinta kaip svarbi).

Šešių metų tyrimo duomenys, gauti susisteminius pirmos kortelės pildymo rezultatus, pateikti 1-2 lentelėje.

1 lentelė

Studentams svarbios, nelabai svarbios ir nesvarbios vertybės 2016-2018 m.

Vertybė	Vertybių grupė	2016			2017			2018		
		Svarbu	Nelabai svarbu	Nesvarbu	Svarbu	Nelabai svarbu	Nesvarbu	Svarbu	Nelabai svarbu	Nesvarbu
Veiklumas	prigimtinių	67,57%	29,73%	2,70%	64,91%	35,09%	0,00%	61,54%	30,77%	7,69%
Savarankiškumas	prigimtinių	51,35%	43,24%	5,41%	63,16%	33,33%	3,51%	61,54%	38,46%	0,00%
Kūrybingumas	prigimtinių	40,54%	51,35%	8,11%	54,39%	38,60%	7,02%	46,15%	46,15%	7,69%
Parama bei pagalba	prigimtinių	81,08%	18,92%	8,11%	70,18%	29,82%	0,00%	61,54%	7,69%	30,77%
Laisvė	prigimtinių	75,68%	16,22%	8,11%	70,18%	21,05%	8,77%	61,54%	30,77%	7,69%
Profesionalumas	praktinės	56,76%	37,84%	5,41%	59,65%	31,58%	8,77%	46,15%	38,46%	15,38%

		2016			2017			2018		
Iniciatyvumas	ekonominės	59,46%	32,43%	8,11%	43,86%	54,39%	1,75%	30,77%	46,15%	23,08%
Laiko taupumas	ekonominės	37,84%	43,24%	18,92%	26,32%	56,14%	17,54%	30,77%	53,85%	15,38%
Pripažinimas	socialinės	32,43%	54,05%	16,22%	28,07%	54,39%	17,54%	30,77%	30,77%	38,46%
Teisingumas	socialinės	86,49%	13,51%	0,00%	52,63%	43,86%	3,51%	84,62%	15,38%	0,00%
Atjauta	socialinės	72,97%	21,62%	5,41%	21,05%	52,63%	26,32%	38,46%	38,46%	23,08%
Pakantumas	socialinės	56,76%	35,14%	8,11%	17,54%	57,89%	24,56%	30,77%	61,54%	7,69%
Gėris	dvasinės	67,57%	29,73%	2,70%	47,37%	35,09%	17,54%	46,15%	38,46%	15,38%
Grozis	dvasinės	29,73%	45,95%	24,32%	8,77%	43,86%	47,37%	7,69%	38,46%	53,85%
Pagarba gamtai	dvasinės	70,27%	29,73%	0,00%	59,65%	22,81%	17,54%	53,85%	30,77%	15,38%

Šaltinis: sudaryta autorės

2 lentelė

Studentams svarbios, nelabai svarbios ir nesvarbios vertybės 2019-2021 m.

		2019			2020			2021		
Vertybė	Vertybių grupė	Svarbu	Nelabai svarbu	Nesvarbu	Svarbu	Nelabai svarbu	Nesvarbu	Svarbu	Nelabai svarbu	Nesvarbu
Veiklumas	prigimtinės	33,33%	44,44%	22,22%	75,68%	18,92%	5,41%	89,47%	10,53%	0,00%
Savarankiškumas	prigimtinės	66,67%	33,33%	0,00%	81,08%	16,22%	2,70%	73,68%	26,32%	0,00%
Kūrybingumas	prigimtinės	33,33%	55,56%	11,11%	54,05%	40,54%	5,41%	52,63%	47,37%	0,00%
Parama bei pagalba	prigimtinės	88,89%	0,00%	11,11%	54,05%	43,24%	2,70%	57,89%	31,58%	10,53%
Laisvė	prigimtinės	88,89%	11,11%	0,00%	51,35%	35,14%	13,51%	78,95%	15,79%	5,26%
Profesionalumas	pragimtinės	55,56%	33,33%	11,11%	70,27%	21,62%	10,81%	89,47%	10,53%	0,00%
Iniciatyvumas	ekonominės	33,33%	55,56%	11,11%	56,76%	40,54%	2,70%	68,42%	31,58%	0,00%
Laiko taupumas	ekonominės	33,33%	44,44%	22,22%	59,46%	32,43%	8,11%	78,95%	21,05%	0,00%
Pripažinimas	socialinės	33,33%	33,33%	33,33%	32,43%	54,05%	13,51%	31,58%	47,37%	21,05%
Teisingumas	socialinės	66,67%	22,22%	11,11%	83,78%	10,81%	5,41%	84,21%	15,79%	0,00%
Atjauta	socialinės	22,22%	44,44%	33,33%	18,92%	67,57%	16,22%	31,58%	36,84%	31,58%
Pakantumas	socialinės	44,44%	22,22%	33,33%	32,43%	56,76%	10,81%	31,58%	42,11%	26,32%
Gėris	dvasinės	66,67%	33,33%	0,00%	43,24%	40,54%	10,81%	94,74%	10,53%	5,26%
Grozis	dvasinės	0,00%	77,78%	22,22%	10,81%	43,24%	43,24%	31,58%	52,63%	21,05%
Pagarba gamtai	dvasinės	44,44%	55,56%	0,00%	45,95%	40,54%	13,51%	84,21%	15,79%	0,00%

Šaltinis: sudaryta autorės

Analizuojant antrą kortelių suvestinius duomenis matyti, jog 2016-2021 m. pagal studijų programas „Statyba“, „Statinių inžinerinės sistemos“ bei „Geodezija ir kadastras“ studijavusieji studentai, dalyvavę įvairiuose bendruomeniniuose projektuose ir tyrimuose, kiekvienai nuotraukai vidutiniškai įvardino po 3-5 vertybes, kurios yra ar gali būti, jų nuomone, fiksuojamos ar koduojamos pateiktose nuotraukose.

Vertindami ir analizuodami pirmą nuotrauką – riaušių/protesto akimirka Londone Trafalgaro aikštėje (N1) – studentai dažniausiai įvardino tokias vertybes kaip *laisvė* (77,35% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų), *veiklumas* (60,77% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų) ir *teisingumas* (58,56% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų). Kasmet per visą tyrimo laikotarpį nuo tyrimo pradžios iki 2021 m., prigimtinės vertybės (*laisvė*, *veiklumas*) įvardintos kaip pagrindinės.

Tyrimo metu pateiktoje antroje nuotraukoje – išmaldos prašytojo nuotrauka (N2) – studentai dažniausiai įvardino tokias vertybes kaip *atjauta* (88,40% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų), *parama bei pagalba* (85,08% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų) ir *gėris* (58,56% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų).

Vertindami ir analizuodami trečią nuotrauką – miško gaisro gesinimo akimirka (N3) – studentai dažniausiai įvardino tokias vertybes kaip *pagarba gamtai* (88,40% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų), *profesionalumas* (70,72% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų) ir *veiklumas* (68,51% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų); ketvirtą nuotrauką – senolės, grojančios gitara, portretas (N4) – tyrime dalyvavę studentai dažniausiai įvardino tokias vertybes kaip *kūrybingumas* (92,82% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų), *veiklumas* (58,01% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų) ir *savarankiškumas* (40,88% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų). Penktoje nuotraukoje – kompozicija iš atverstų rankų delnų (N5) – tyrime dalyvavę studentai dažniausiai įvardino tokias vertybes kaip *kūrybingumas* (66,85% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų), *parama bei pagalba* (46,96% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų) ir *veiklumas* (44,75% visų tyrime dalyvavusių 2016-2021 m. studentų).

2016-2021 m. tyrimo duomenys, gauti apibendrinus antros kortelės pildymo rezultatus, pateikti 3-5 lentelėje.

3 lentelė

Studentų pirmoje (N1) ir antroje nuotraukoje (N2) įvardintos vertybės 2016-2021 m.

Vertybė	N1						N2					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Veiklumas	62,16%	63,16%	46,15%	88,89%	54,05%	47,37%	5,41%	17,54%	84,62%	11,11%	13,51%	21,05%
Savarankiškumas	10,81%	12,28%	15,38%	11,11%	0,00%	10,53%	10,81%	1,75%	7,69%	11,11%	13,51%	0,00%
Kūrybingumas	10,81%	5,26%	7,69%	0,00%	8,11%	0,00%	2,70%	1,75%	0,00%	0,00%	0,00%	5,26%
Parama bei pagalba	18,92%	28,07%	23,08%	44,44%	27,03%	42,11%	83,78%	80,70%	100,00%	100,00%	86,49%	73,68%
Laisvė	91,89%	70,18%	69,23%	77,78%	67,57%	94,74%	2,70%	3,51%	0,00%	0,00%	10,81%	5,26%
Profesionalumas	24,32%	5,26%	7,69%	22,22%	24,32%	5,26%	0,00%	1,75%	0,00%	0,00%	8,11%	0,00%

Iniciatyvumas	45,95%	45,61%	30,77%	44,44%	37,84%	36,84%	8,11%	15,79%	23,08%	55,56%	16,22%	21,05%
Laiko taupumas	0,00%	0,00%	0,00%	11,11%	2,70%	0,00%	2,70%	0,00%	0,00%	0,00%	2,70%	0,00%
Pripažinimas	54,05%	19,30%	23,08%	44,44%	10,81%	21,05%	2,70%	8,77%	30,77%	22,22%	10,81%	26,32%
Teisingumas	70,27%	42,11%	76,92%	66,67%	48,65%	84,21%	16,22%	15,79%	23,08%	66,67%	18,92%	15,79%
Atjauta	10,81%	7,02%	23,08%	0,00%	13,51%	10,53%	91,89%	85,96%	100,00%	100,00%	86,49%	73,68%
Pakantumas	8,11%	8,77%	0,00%	0,00%	5,41%	10,53%	16,22%	14,04%	7,69%	44,44%	18,92%	15,79%
Gėris	13,51%	1,75%	0,00%	22,22%	5,41%	0,00%	48,65%	50,88%	84,62%	77,78%	62,16%	57,89%
Grožis	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	5,26%	2,70%	0,00%	7,69%	11,11%	13,51%	0,00%
Pagarba gamtai	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,70%	0,00%	0,00%	1,75%	7,69%	0,00%	8,11%	0,00%

Šaltinis: sudaryta autorės

4 lentelė

Studentų trečioje (N3) ir ketvirtoje nuotraukoje (N4) įvardintos vertybės 2016-2021 m.

Vertybė	N3						N4					
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Veiklumas	78,38%	57,89%	84,62%	88,89%	64,86%	57,89%	51,35%	64,91%	30,77%	77,78%	45,95%	73,68%
Savarankiškumas	2,70%	8,77%	15,38%	0,00%	5,41%	10,53%	29,73%	36,84%	53,85%	77,78%	40,54%	31,58%
Kūrybingumas	8,11%	5,26%	7,69%	0,00%	2,70%	10,53%	97,30%	87,72%	92,31%	100,00%	94,59%	89,47%
Parama bei pagalba	54,05%	50,88%	76,92%	100,00%	48,65%	57,89%	5,41%	7,02%	0,00%	0,00%	0,00%	10,53%
Laisvė	10,81%	5,26%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	40,54%	22,81%	30,77%	11,11%	32,43%	21,05%
Profesionalumas	78,38%	59,65%	84,62%	77,78%	67,57%	78,95%	5,41%	17,54%	30,77%	33,33%	8,11%	15,79%
Iniciatyvumas	51,35%	17,54%	15,38%	33,33%	32,43%	31,58%	29,73%	17,54%	23,08%	33,33%	21,62%	21,05%
Laiko taupumas	18,92%	28,07%	15,38%	33,33%	10,81%	36,84%	0,00%	1,75%	7,69%	0,00%	8,11%	0,00%
Pripažinimas	5,41%	1,75%	7,69%	0,00%	0,00%	5,26%	10,81%	12,28%	15,38%	0,00%	16,22%	15,79%
Teisingumas	29,73%	12,28%	23,08%	22,22%	18,92%	21,05%	0,00%	5,26%	0,00%	0,00%	10,81%	0,00%
Atjauta	13,51%	7,02%	7,69%	0,00%	21,62%	5,26%	0,00%	12,28%	7,69%	0,00%	13,51%	10,53%
Pakantumas	13,51%	1,75%	7,69%	0,00%	0,00%	0,00%	2,70%	5,26%	0,00%	11,11%	5,41%	5,26%
Gėris	48,65%	26,32%	38,46%	33,33%	32,43%	52,63%	40,54%	29,82%	30,77%	55,56%	32,43%	31,58%
Grožis	29,73%	8,77%	7,69%	0,00%	0,00%	10,53%	40,54%	42,11%	38,46%	0,00%	54,05%	42,11%
Pagarba gamtai	94,59%	92,98%	76,92%	88,89%	83,78%	78,95%	0,00%	1,75%	0,00%	0,00%	2,70%	0,00%

Šaltinis: sudaryta autorės

5 lentelė

Studentų penktoje nuotraukoje (N5) ir bendrai (N1-N5) įvardintos vertybės 2016-2021 m.

Vertybė	N5						B				
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	N1	N2	N3	N4	N5
Veiklumas	56,76%	33,33%	38,46%	66,67%	45,95%	36,84%	60,77%	18,78%	68,51%	58,01%	44,75%
Savarankiškumas	10,81%	7,02%	7,69%	0,00%	18,92%	10,53%	9,39%	7,18%	6,63%	40,88%	9,94%
Kūrybingumas	81,08%	66,67%	61,54%	77,78%	56,76%	52,63%	6,08%	1,66%	5,52%	92,82%	66,85%
Parama bei pagalba	43,24%	33,33%	53,85%	66,67%	54,05%	57,89%	28,73%	85,08%	58,56%	4,42%	46,96%
Laisvė	43,24%	43,86%	46,15%	22,22%	37,84%	36,84%	77,35%	4,42%	3,87%	27,62%	39,78%
Profesionalumas	16,22%	10,53%	7,69%	0,00%	35,14%	15,79%	14,92%	2,21%	70,72%	15,47%	16,02%
Iniciatyvumas	29,73%	43,86%	23,08%	44,44%	35,14%	31,58%	41,99%	19,34%	30,39%	23,20%	36,46%
Laiko taupumas	10,81%	5,26%	7,69%	11,11%	13,51%	10,53%	1,66%	1,10%	23,20%	2,76%	9,39%
Pripažinimas	21,62%	19,30%	46,15%	33,33%	37,84%	26,32%	27,62%	12,71%	2,76%	12,15%	27,62%
Teisingumas	18,92%	15,79%	7,69%	55,56%	16,22%	21,05%	58,56%	22,10%	19,89%	3,87%	20,44%
Atjauta	10,81%	3,51%	23,08%	11,11%	10,81%	10,53%	9,94%	88,40%	10,50%	8,29%	9,39%
Pakantumas	13,51%	8,77%	7,69%	33,33%	21,62%	15,79%	6,63%	18,23%	3,87%	4,97%	15,47%
Gėris	37,84%	28,07%	61,54%	55,56%	35,14%	52,63%	6,63%	58,56%	36,46%	35,36%	39,23%
Grožis	18,92%	21,05%	15,38%	22,22%	29,73%	15,79%	0,55%	4,97%	10,50%	39,78%	21,55%
Pagarba gamtai	2,70%	5,26%	0,00%	0,00%	10,81%	5,26%	0,55%	2,76%	88,40%	1,10%	4,97%

Šaltinis: sudaryta autorės

Išanalizavus abiejų kortelių pildymo rezultatus ir apibendrinant žvalgomojo tyrimo metu gautus duomenis matyti, kad pildant antrą kortelę pateikta vizualinė medžiaga nedarė jokio esminio poveikio studentų apsisprendimui kurios vertybės jiems svarbios, kurios mažiau svarbios ar visiškai nesvarbios. Tam įtakos turėjo tai, kad antroji kortelė nebuvo pildoma (ar negalėjo būti papildoma) kol tyrėjui nebuvo sugrąžinta pirmoji kortelė). Antros kortelės pildymas galimai galėjo būti iš dalies tendencingas, kai studentai siekė atpažinti tokias vertybes, kurios jų nuomone jiems patiems svarbios ir vaidina esminį vaidmenį priimant sprendimus ar formuluojant jų pagrindimus. Taip pat, pažymėtina, kad grįžtamojo ryšio metu kiekvienoje grupėje pastebėta, kad asociatyvių nuotraukų analizė neretai galėjo būti labiau atliekama ne vertybiniu, o siužetiniu principu, todėl kituose tyrimo etapuose svarstomas tyrimo metodikos keitimas arba papildymas kitomis diagnostinėmis priemonėmis, galinčiomis patvirtinti analizuojamų duomenų validumą ir atitiktį tyrimo tikslui.

Išvados

1. Analizuojant tyrimo metu gautus duomenis, matyti, kad 2016-2021 m. įvairiuose bendruomeniniuose projektuose dalyvavusiems studentams svarbiausios socialinių ir prigimtinių vertybių grupėms priskiriamos vertybės: *teisingumas*, *laisvė* ir *parama bei pagalba*. Nelabai svarbiomis vertybėmis studentai dažniausiai įvardino socialines ir dvasines vertybes: *pripažinimą*, *pakantumą* bei *grožį*, o nesvarbiomis – socialinių ir dvasinių vertybių grupėms priskiriamas vertybes, tokias kaip *grožis*, *atjauta* ir *pripažinimas*.

2. Tyrimo metu vertindami ir analizuodami pateiktą vizualinę medžiagą, inžinerijos studijų krypties studentai dažniausiai išskyrė prigimtinių, socialinių, dvasinių ir praktinių vertybių grupėms priskiriamas vertybes.

3. Socialinių ir prigimtinių vertybių grupėms priskiriamos vertybės studentams buvo svarbios ne tik asmeniškai, bet dažniausiai ir šioms grupėms priskiriamos vertybės jų nuomone atpažintos ir pateiktoje vizualinėje medžiagoje tyrimo metu. Ekonominių vertybių grupei priskiriamos vertybės tyrime dalyvavusių studentų nuomone nebuvo įvardintos nei kaip svarbiausios, nei kaip tos vertybės, kurios dažniausiai fiksuotos nagrinėtuose realiuose pavyzdžiuose.

Literatūra

1. 2020 Europos strategija. (2010). Prieiga per internetą: < <http://uzt.lt/wp-content/uploads/2018/09/Europa-2020-1.pdf> >
2. Aramavičiūtė, V. (2005). *Vertybės kaip gyvenimo prasmės pamatas*. Prieiga per internetą: < <https://www.zurnalai.vu.lt/acta-paedagogica-vilnensia/article/view/9749/7473> >
3. *Bendrieji gebėjimai kintančiame pasaulyje tarybos ir komisijos parengtas darbo programos „Švietimas ir mokymas 2010“ įgyvendinimo 2010 m. Pažangos bendros ataskaitos projektas*. (2009). Prieiga per internetą: < <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A52009DC0640> >
4. CSO needs study: collaboration with Heis in community-based research projects. Executive summary. (2019). Prieiga per internetą: < [Executive-summary_O2_Needs-Study.pdf \(entrance-project.eu\)](https://www.entrance-project.eu/Executive-summary_O2_Needs-Study.pdf) >
5. *Lietuvos pažangos strategija „Lietuva 2030“*. (2012). Prieiga per internetą: < <https://www.lietuva2030.lt/lt/apie-lietuva-2030> >
6. Martišauskienė, E. *Mokytojų vertybinių nuostatų ikūnijimas ugdymo procese*. (2009). Prieiga per internetą: < <http://etalpykla.lituanistikadb.lt/fedora/objects/LT-LDB-0001:J.04~2009~1367166561603/datastreams/DS.002.0.01.ARTIC/content> >
7. Pukelis, K. (2009). Gebėjimas, kompetencija, mokymosi/studijų rezultatas, kvalifikacija ir kompetentingumas: teorinė dimensija. *Aukštojo mokslo kokybė*, 6, 12-35. Prieiga per internetą: < https://www.vdu.lt/cris/bitstream/20.500.12259/676/1/ISSN2345-0258_2009_N_6.PG_12-35.pdf >
8. *Svarbiausi Bolonijos proceso dokumentai*. (2013). Prieiga per internetą: < https://www.smm.lt/uploads/documents/Papildomas%20meniu2/Bolonijos_procesas/Bolonijos%20proceso%20dokumentai_2013.pdf >
9. *The 10 skills you need to thrive in the Fourth Industrial Revolution*. *World economic forum*. (2016). Prieiga per internetą: < <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-10-skills-you-need-to-thrive-in-the-fourth-industrial-revolution> >
10. Tylienė, A. Studentų tyriminių kompetencijų plėtojimas rengiant mokslo dirbtuvių projektus. (2021). *Aukštųjų mokyklų vaidmuo visuomenėje: Iššūkiai, tendencijos ir perspektyvos*. Mokslo darbai. Nr. 1 (9). Prieiga per internetą: < https://alytauskolegija.lt/wp-content/uploads/2021/06/Mokslo-leidinys_AUKSTUJU-MOKYKLU-VAIDMUO-VISUOMENEJE_2021.pdf >
11. Top Skills Engineers Will Need for the Future. *New Engineer*. (2020). Prieiga per internetą: < <https://newengineer.com/advice/top-skills-engineers-will-need-for-the-future-1413674> >
12. *Transformative competencies for 2030. OECD Future of Education and Skills 2030 Concept Note*. (2019). Prieiga per internetą: < [Transformative Competencies for 2030 concept note.pdf \(oecd.org\)](https://www.oecd.org/education/2030/Transformative-Competencies-for-2030-concept-note.pdf) >
13. *Užsienio šalių gerųjų patirčių ir esamos situacijos Lietuvoje analizė, skatinant verslo ir mokslo bendra darbiavimą, prisidedant prie programų tobulinimo*. (2016). Prieiga per internetą: < <http://kurkl.lt/wp-content/uploads/2016/05/Lietuvos-situacijos-ir-u%C5%B3sienio-ger%C5%B3j%C5%B3-patir%C4%8Di%C5%B3-analiz%C4%97-bei-rekomendacijos-Lietuvai.pdf> >
14. *Valstybinė studijų, mokslinių tyrimų ir eksperimentinės (socialinės, kultūrinės) plėtros 2013–2020 metų plėtros programa*. (2012) Prieiga per internetą: < <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.46EADE1714F5> >
15. *Vertybė*. *Žodynas* (2022). Prieiga per internetą: < <https://www.zodynas.lt/terminu-zodynas/v/vertybe> >

RESEARCH OF THE VALUES OF STUDENTS PREPARING COMMUNITY-BASED PROJECTS

Summary

The article presents the results of the exploratory quantitative research in 2016-2021. The study was carried out as part of a complex study of the development of students' research competences, using the methodology and research instruments planned in advance by the research group (cards with 15 values from the natural, practical, social, economic and spiritual value groups). The most important, less important and unimportant values for engineering students are reviewed. Values, together with knowledge, skills and abilities, have a direct impact on the development of students' research competences by initiating, preparing and implementing community-based projects. During the research, it was established that the most important values for students in 2016–2021 are values from social and natural values groups. The article presents the values recorded in real examples in the opinion of the students: usually these are values assigned

to the groups of natural, social, spiritual and practical values. The values assigned to the groups of social and natural values were important to the students not only personally, but also mostly recognized in the presented visual material.

Key words: Values, Research Competencies, Community Projects.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Airida Tylienė.

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras, lektorius

Darbo vieta ir pozicija: Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos Statybos fakulteto prodekanė, Statybos inžinerijos katedros lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: bendruomeniniai projektai ir tyrimai, studentų tyriminės kompetencijos, bendruomenių įtrauktis į tyrimus, studijų inovacijos.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 640 52923, a.tyliene@vtdko.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Airida Tylienė.

Science degree and name: Master, lecturer.

Workplace and position: Vilnius College of Technologies and Design, Vice Dean of Civil Engineering faculty, Civil Engineering department lecturer.

Author's research interests: community based projects and research, students' research competencies, involvement of communities in research, study innovations.

Telephone and e-mail address: +370 640 52923, a.tyliene@vtdko.lt

DARBUOTOJO KVALIFIKACIJOS APIBRĖŽTIS DARBO TEISINIUOSE SANTYKIUOSE

Ermina Čižienė¹, Vida Rainienė²

¹Panevėžio kolegija, ²Kauno technikos kolegija

Anotacija

Visuomenės lūkesčiai bei poreikiai glaudžiai susiję su darbo rinkos poreikius atitinkančiomis darbuotojo kompetencijomis. Darbuotojo kvalifikacijos teisinis reglamentavimas turi tiesioginę įtaką šių lūkesčių bei poreikių įgyvendinimui, kartu darbo santykių raidai, kompetencijų dinamikai, o tuo pačiu ir darbuotojo konkurencingumui darbo rinkoje. Todėl teisinis darbuotojo kvalifikacijos bei profesinių gebėjimų vertinimas suponuodamas tai, kad teisės aktuose nustatytas teisinis reguliavimas turi būti logiškas, nuoseklus, glaustas, suprantamas, tikslus, aiškus ir nedviprasmiškas, sudaro galimybes ne tik įvertinti darbuotojo kvalifikacijos apibrėžties turinį, bet ir tai, kaip teismų praktika vertina šių teisės normų taikymą. Straipsnyje aptariama darbuotojo kvalifikacijos samprata teoriniu ir praktiniu aspektu.

Reikšmingi žodžiai: darbo sutartis, kvalifikacija, profesiniai gebėjimai, teismų praktika.

Įvadas

Darbo santykių teisinis reguliavimas grindžiamas principais, įtvirtintais LR Konstitucijoje, LR Darbo kodekse (toliau – DK) ir daugelyje tarptautinių teisės aktų. Vienas iš minimų principų – darbo santykių stabilumo principas, kurio įgyvendinimas glaudžiai susijęs su darbuotojo kvalifikacijos vertinimu. Kvalifikacijos sampratos, kurią pateikia mokslininkai teisinėje literatūroje ir įstatymų leidėjas įtvirtina teisės aktuose, analizė yra reikšminga praktikoje sudarant darbo sutartis, jas vykdančias bei nutraukiant. Kvalifikacijos ir profesinių gebėjimų teisingas reglamentavimas darbo sutartyse padeda išvengti probleminių situacijų darbo santykiuose ir turi didelę reikšmę formuojant teismų praktiką.

Šio mokslinio straipsnio naujumas ir originalumas yra tai, kad pateikiama DK normų analizė darbuotojo kvalifikacijos kontekste bei sąsajos su teismų praktika, formuojančia vienodą bendrosios kompetencijos teismų praktiką aiškinant ir taikant įstatymus bei plėtojant teisę.

Tyrimo objektas – darbuotojo kvalifikacijos apibrėžtis darbo teisiniuose santykiuose.

Tyrimo tikslas – sistemiškai išanalizuoti darbuotojo kvalifikacijos darbo teisiniuose santykiuose reglamentavimą teoriniu ir praktiniu aspektu.

Tyrimo uždaviniai:

1. Aptarti kvalifikacijos apibrėžties turinį teoriniu aspektu;
2. Apibendrinti darbuotojų kvalifikacijos vertinimą Lietuvos teismų praktikoje.

Tyrimo metodai: *aprašymo, lingvistinis* – atskleistas sąvokų turinys, *lyginamasis* – lyginamos mokslininkų nuomonės nagrinėjamu klausimu, *sisteminės analizės* – sisteminiu požiūriu analizuojama ir apibendrinama Lietuvos teismų praktika, *kritinis* – kritiškai ir įvairiapusiškai įvertinta Lietuvos teismų praktika, susijusi su darbuotojų kvalifikacijos ir profesinių gebėjimų pagrindų reglamentavimu, remiantis *apibendrinamuoju* metodu pateikiamos tyrimo išvados.

Kvalifikacijos apibrėžtis darbo teisiniuose santykiuose teoriniu aspektu

Darbo sutartis yra vienas iš svarbiausių darbo teisės institutų Lietuvos darbo teisės sistemoje ir kurio teisės normos reglamentuoja darbo sutarties sudarymą, vykdymą bei pabaigos pagrindus, tame tarpe ir nutraukimą. Analizuojant darbo sutarties sudarymo, vykdymo, pasibaigimo probleminius aspektus, pastaruoju metu akcentuotinas kvalifikacijos, profesinių gebėjimų sampratos turinio vertinimo bei įtakos, priimant sprendimus, poreikis.

Lietuvos Respublikos švietimo įstatyme nurodoma, kad *kvalifikacija* turėtų būti suprantama kaip Lietuvos Respublikos teisės aktų nustatyta tvarka pripažįstama asmens turimų kompetencijų arba profesinės patirties ir turimų kompetencijų, reikalingų tam tikrai veiklai, visuma (2 str. 8 d.) ir paaiškinama, kad *kompetencija* – gebėjimas atlikti tam tikrą veiklą, remiantis įgytų žinių, mokėjimų, įgūdžių, vertybinių nuostatų visuma (2 str.7 d.). Manytina, kad kompetencijos samprata koreliuoja vis dar vartojamą *profesinių gebėjimų* sampratą. Kvalifikacijos ir profesinių gebėjimų (ne)sutapties problematiką aktualizavo Lietuvos Aukščiausiojo Teismo senato nutarimas Nr. 44 „Dėl Lietuvos Respublikos teismų praktikos, taikant Darbo kodekso normas, reglamentuojančias darbo sutarties nutraukimą darbdavio iniciatyva, kai nėra darbuotojo kaltės (129 straipsnis)“, kur išaiškinta, kad sąvoka „profesiniai gebėjimai“ ir „kvalifikacija“ DK prasme gali būti vartojamos kaip sinonimai. Darbuotojas gali turėti reikiamą kvalifikaciją (formalia prasme – išsilavinimą bei jį patvirtinančius diplomą, pažymėjimą ar pan.), tačiau dėl kitų aplinkybių, susijusių su *profesiniais gebėjimais*, kurie apima visas objektyviai esančias aplinkybes, darbuotojas gali būti pripažintas netinkamu

dirbti tam tikrą darbą. Neatitinkančiu einamų pareigų arba dirbamo darbo gali būti laikomas tas darbuotojas, kuris, esant normalioms darbo sąlygoms, sistemingai gamina broką, neįvykdo darbo normų ar netinkamai atlieka kitas pareigas (LAT senato nutarimas Nr. 44, 4.2 p.) Reikėtų pritarti šiai LAT senato nuomonei todėl, kad praktikoje neretai pasitaiko atvejų kai darbuotojas dėl tam tikrų asmeninių savybių nesugeba turimų teorinių žinių pritaikyti praktikoje; kvalifikacija nėra tapati išsilavinimui, kadangi išsilavinimas yra tik vienas iš kriterijų, apibūdinančių darbuotojo kvalifikaciją. Pavyzdžiui, mokytojas gali labai gerai žinoti savo dėstomo dalyko turinį, tačiau nesugebėti jo perteikti moksleiviams. V. Mačiulaičio teigimu, šios sąvokos yra glaudžiai susijusios ir viena kitą papildančios, nes „jeigu darbuotojas formaliai ir turi reikiamą kvalifikaciją (išsilavinimą, jį patvirtinančius dokumentus ir pan.), dėl gebėjimų stokos gali būti pripažįstamas netinkamu pavestam darbui. Kita vertus, atskirais atvejais, kai teisės aktai imperatyviai nustato pareigą įdarbinant darbuotoją ir vėliau jam dirbant turėti atitinkamą kvalifikaciją liudijantį mokslo diplomą, profesinės veiklos atestatą ir pan., tokio dokumento praradimas arba neturėjimas pats savaime gali tapti atleidimo iš darbo pagrindu“. (Mačiulaitis, 2013: 72-74). Tokia kvalifikacijos ir/ar profesinių gebėjimų turinio apibrėžties samprata buvo taikoma vertinant darbo sutarties nutraukimo galimybę, kai nėra darbuotojo kaltės, pagal iki 2017 m. liepos 1 d. galiojusio DK 129 str. nuostatas.

Pastarojo meto DK (2016) darbo teisės normomis nustatytas teisinis reguliavimas atrodytų saistomas tradicijos *kvalifikaciją ir profesinius gebėjimus* vartoti kaip sinonimus. Antai, DK 29 str. 2 d. nurodyta, kad darbdavys privalo imtis priemonių darbuotojų kvalifikacijai ir jų profesionalumui, gebėjimui prisitaikyti prie besikeičiančių verslo, profesinių ar darbo sąlygų didinti, taip pat darbo teisės normų ar šalių susitarimų nustatytais atvejais ir tvarka darbdavys sudaro sąlygas darbuotojui mokytis, tobulinti kvalifikaciją ir profesiskai tobulėti; DK 141str. 2 d. teigiama, jog nequalifikuotu darbu laikomas darbas, kuriam atlikti nekeliama jokie specialūs kvalifikacinių įgūdžių ar profesinių gebėjimų reikalavimai. Atkreiptinas dėmesys, jog aktualizuojant vis sudėtingėjantį profesinį lauką specifinių žinių kontekste, darbo teisės normomis reglamentuojant susitarimą dėl nekonkuravimo, DK 38 str. minėtiną sąvokos „specialios žinios“ ar „gebėjimai“. Be abejo, tai vertinamosios sąvokos. T. Davulio nuomone, *specialiaisiais gebėjimais* reikėtų laikyti turimų žinių, įgyto išsilavinimo ir patirties suformuotas specifines asmens savybes, padedančias sėkmingai ir kokybiškai atlikti tam tikrą profesinę veiklą ir kad „vertinant žinių specialumą turi būti įvertinama darbdavio veiklos sritis, su juo konkuruojantys subjektai ir galimybė jiems konkuruojančioje veikloje panaudoti tam tikro darbuotojo kompetenciją“. (Davulis, 2018: 153).

Įvertinus teisinio reguliavimo visumą, konstatuotina, jog iš esmės įstatymų leidėjas apsiriboja teisine kategorija *kvalifikacija*, kurios turinys yra pakankamai plačios apimties ir ko apibrėžtis minėtose teisės normose įgalina aiškinti *kvalifikaciją, kaip asmens turimų kompetencijų arba profesinės patirties ir turimų kompetencijų, reikalingų tam tikrai veiklai, visumą*. Tokia apibrėžtis įvertinama ir teismų praktikoje, nagrinėjant iš darbo santykių kilusius ginčus, susijusius su darbuotojo kvalifikacijos vertinimu.

Darbuotojo kvalifikacijos apibrėžties vertinimas teismų praktikoje

Darbo teisinių santykių atsiradimo pagrindas yra *darbo sutarties* sudarymas. Sudarant darbo sutartį yra svarbu aptarti visas darbo sutarties sąlygas ir sunku būtų paneigti kvalifikacijos, gebėjimų svarbą parenkant darbuotojus tam tikroms pareigoms eiti. Darbo kodekse įtvirtinta norma, kad darbuotojui parinkti į vadovaujančiųjų darbuotojų ir specialistų pareigas, taip pat tokias pareigas, kurias gali eiti asmenys, turintys tam tikrų gebėjimų arba kuriems keliama ypatingi intelekto, fiziniai, sveikatos ar kiti reikalavimai, gali būti rengiamas konkursas (DK 41 str. 3 d.). Taigi, konkursas – procedūra, kurios metu patikrinami asmens gebėjimai, intelekto, fiziniai ar kiti ypatumai, reikalingi tam tikrai profesinei veiklai ar pareigoms. LAT civilinėje byloje Nr. 3K-3-179-1075/2021 nurodo, kad *DK 41 straipsnio 3 dalies normos taikymo sritis apibrėžta žodžių junginiu „darbuotojui parinkti“*. Tai reiškia, kad ši norma skirta leistinam šalių (pirmiausiai darbdavio) elgesiui išimtinai ikisutartinėje santykių stadijoje reguliuoti. Reikia turėti omeny ir tai, kad konkursą laimėjęs asmuo turi teisę ne tik reikalauti, kad su juo būtų sudaryta darbo sutartis, kaip nurodyta šioje normoje, bet ir teisę atsakyti ją sudaryti, kas suprantama kaip laisvės pasirinkti darbą įgyvendinimo išraiška (LR DK 2 str.1 d.). Nei eksplicitiškai, nei implicitiškai aiškinant minėtoje dalyje nustatytas normas, išvados dėl kitų nei ikisutartinėje stadijoje susiklosčiusių santykių suregulavimo daryti negalima. DK 41 str. 3 d. ir ją įgyvendinančiais teisės aktais (Pareigybių, dėl kurių rengiamas konkursas, sąrašu ir Aprašu) siekiama nustatyti šioje normoje įtvirtintos darbdavio materialinės teisės (kartu – ir pareigos) atrinkti darbuotojus į tam tikrų kategorijų pareigybes įgyvendinimo (procedūrinę) tvarką, tačiau ne nustatyti kito pobūdžio materialines šalių teises ar pareigas. (LAT 2016 m. gegužės 6 d. nutartis civilinėje byloje Nr. 3K-3-252-248/2016). Atkreiptinas dėmesys, kad darbdavys tam tikrais atvejais gali vykdyti darbuotojų atrankas, t. y., atrinkti darbuotojus atlikti darbo funkcijas, nesusijusias su specialiosiomis žiniomis ar gebėjimais.

DK 34 str. nustatyta, kad kiekvienoje darbo sutartyje turi būti susitarta dėl darbo funkcijos, darbo apmokėjimo ir darbovietės. Darbo funkcija gali būti laikomas bet kokių veiksmų, paslaugų ar veiklos atlikimas, taip pat tam tikros profesijos, specialybės, kvalifikacijos darbas. Darbo funkcija apibrėžiama darbo sutartyje, pareiginiuose nuostatuose ar darbo (veiklos) apraše (DK 34 str.). Taigi, darbo funkcijos turinys glaudžiai susijęs su darbuotojo kvalifikacija ir / ar profesiniais gebėjimais. Civilinėje byloje Nr. e3K-3-243-248/2020 teisėjų kolegija pabrėžė, kad darbo sutartyje tiksliai nenurodant, dėl kokios funkcijos atlikimo susitarta, ši darbo sutarties sąlyga turi būti nustatyta, aiškinant darbo sutartį, jos turinį. DK 6 straipsnio 1 dalyje nustatyta, kad darbo sutarčių nuostatos aiškinamos, atsižvelgiant į darbo santykių teisinio reglamentavimo principus (DK 2 straipsnis) (LAT 2020 m. rugsėjo 30 d. nutartis civilinėje byloje Nr. e3K-3-243-248/2020).

Be būtinų darbo sutarties sąlygų (darbo funkcijos, darbo apmokėjimo ir darbovietės) DK darbo sutarties šalims leidžia susitarti ir dėl papildomų darbo sąlygų. Viena iš tokių sąlygų – susitarimas dėl išbandymo. Šis susitarimas suteikia galimybę darbdaviui patikrinti, ar darbuotojas tinka sulygtam darbui taip pat ar sulygtas darbas tinka darbuotojui (DK 36 str. 1 d.). Darbdaviui pateikus konkrečius įrodymus, patvirtinančius, kad per išbandymo laikotarpį darbuotojas netinkamai atliko darbą, t. y. kad darbuotojas dėl savo dalykinių ar asmeninių savybių (kvalifikacijos ar profesinių gebėjimų) nesugeba ar negali dirbti darbo, dėl kurio atlikimo buvo sulygta sudarant sutartį, darbuotojas gali būti atleidžiamas. Civilinėje byloje Nr. 3K-3-179-1075/2021 darbuotojas siekė įrodyti, kad išbandymo sąlyga negali būti nustatyta darbuotojams, parinktiems į pareigas konkurso būdu, kadangi jo kvalifikacija atitiko visus jo pareigybei keliamus reikalavimus. LAT pateikė išvadą, jog nei Darbo kodekso, nei kitų bylai aktualių teisės aktų nuostatos nedraudžia šalims sulygti dėl išbandymo taip pat ir tuo atveju, kai darbuotojai yra parenkami konkurso būdu. Taigi teismas nurodė, jog darbo sutarties šalims leidžiama sulygti dėl išbandymo ir tuo atveju, kai darbuotojai į pareigas yra parenkami konkurso būdu, kaip tai nustato Darbo kodekso 41 str. 3 d. Šioje byloje pasisakydama dėl išbandymo termino nustatymo teisėtumo, teisėjų kolegija pažymėjo, kad galimybė nustatyti papildomą sąlygą dėl išbandymo yra įtvirtinta DK 36 straipsnyje. Nagrinėjamu atveju sąlyga dėl išbandymo yra nustatyta tiek atsakovui, tiek ieškovui, todėl teisėjų kolegija nesutiko su ieškovo argumentu, kad, pasinaudodamas savo, kaip stipresnės sutarties šalies, pozicija, atsakovas primetė jam išbandymo sąlygą. <...> Įvertinęs įstatymų leidėjo aiškinamajame rašte nurodytus ketinimus, kasacinis teismas darė išvadą, kad iki 2016 m. DK įsigaliojimo galiojusiam teisiniame reguliavime buvusio draudimo susitarti dėl išbandymo asmenims, parenkamiems konkurso būdu, panaikinimas yra viena iš įstatymo leidėjo ketinimo liberalizuoti darbo santykių reglamentavimą išraiškų (LAT 2021 m. sausio 13 d. nutartis civilinėje byloje Nr. 3K-3-179-1075/2021).

Prie papildomų darbuotojo ir darbdavio susitarimų reikėtų priskirti ir darbo sutarties sąlygą dėl mokymo išlaidų darbuotojo kvalifikacijai kelti. DK reglamentuoja, kad darbo sutarties šalys gali susitarti dėl darbdavio turėtų darbuotojo mokymo ar kvalifikacijos tobulinimo išlaidų atlyginimo sąlygų, kai darbo sutartis nutraukiama darbdavio iniciatyva dėl darbuotojo kaltės arba darbuotojo iniciatyva be svarbių priežasčių (DK 37 str. 1 d.). Įstatyme taip pat numatyta, kad darbuotojo pareiga atlyginti darbdavio patirtas mokymo išlaidas turėtų atsirasti tuomet, jeigu darbuotojas, kuris ir be papildomų apmokymų ar kvalifikacijos kėlimo yra tinkamas eiti jam pavestas funkcijas (pareigas), įgyja papildomų žinių ar gebėjimų, viršijančių jo atliekamam darbui (funkcijoms) keliamus reikalavimus (kompetenciją), kurie suteikia papildomos vertės darbuotojui darbo rinkoje, padidina darbuotojo vertę (DK 37 str. 2 d.).

Teisės normų, reglamentuojančių darbuotojo mokymo išlaidų atlyginimą, aiškinimo ir taikymo klausimas buvo sprendžiamas civilinėje byloje Nr. e3K-3-174-701/2021. Nutartimi LAT pasisakė, kad Darbo kodekso 37 straipsnio 2 dalyje įtvirtinta taisyklė turi būti aiškinama kartu su Darbo kodekso 29 straipsniu, įtvirtinančiu darbdavio pareigą apmokyti darbuotoją dirbti tiek, kiek būtina jo darbo funkcijai atlikti, ir imtis priemonių darbuotojo kvalifikacijai ir jų profesionalumui, gebėjimui prisitaikyti prie besikeičiančių verslo, profesinių ar darbo sąlygų didinti. Nagrinėjamoje byloje buvo keliamas klausimas dėl darbuotojo, savo iniciatyva be svarbių priežasčių nutraukusio darbo sutartį, pareigos atlyginti darbdavio turėtas išlaidas darbuotojo kvalifikacijos tobulinimui. Teismas pažymėjo, kad tokia darbuotojo, dėl kurio kaltės ar valios nutraukta darbo sutartis, pareiga įtvirtinta tiek naujojo (2016 m.), tiek senojo (2002 m.) DK nuostatose. Pagrindinė tokio reglamentavimo nuostata yra ta, kad darbdavys, mokydamas darbuotoją, keldamas jo kvalifikaciją ir taip didindamas jo paklausą darbo rinkoje, turi pagrindą tikėtis, kad sąžiningas darbuotojas tęs darbo santykius ir taip kompensuos darbdavio patirtas išlaidas, o jei darbo sutartis bus nutraukta dėl darbuotojo kaltės arba jo pareiškimu be svarbios priežasties, iš dalies atlygins tokias išlaidas. LAT atkreipė dėmesį, kad sprendžiami, ar konkretus kvalifikacijos tobulinimas buvo skirtas suteikti darbuotojui žinių ir gebėjimų, viršijančių minimalius jo darbo veiklai keliamus reikalavimus, teismai turėtų vertinti ne formalius kriterijus (tokius kaip pažymėjimo, sertifikato gavimas), bet (i) rinkos, kurioje veikia darbdavys, specifiką ir joje vertinamas darbuotojų kompetencijas, (ii) mokymų ar kito kvalifikacijos tobulinimo renginio turinį, (iii)

dalyvavimo jame poveikį darbuotojo konkurencingumui darbo rinkoje (LAT 2021 m. sausio 13 d. nutartis civilinėje byloje Nr. e3K-3-174-701/2021).

Nors Lietuvos Aukščiausiojo Teismo pateikti išaiškinimai ir nėra labai detalūs, tačiau ši nutartis galėtų būti reikšminga verslui, ypatingą dėmesį kreipiančiam į darbuotojo kvalifikaciją ir profesinius gebėjimus. Pirmiausia reikėtų atkreipti dėmesį, kad prie neatlygintinų mokymosi išlaidų yra priskiriamos ne tik išlaidos, patirtos apmokant dirbti naujai priimtą ar į naujas pareigas perkeltą darbuotoją, bet ir darbui reikalingos kompetencijos bei žinių lygio „palaikymo“ išlaidos. Kitas svarbus aspektas, kad darbo sutarties nutraukimo atveju darbdavys galėtų susigražinti į darbuotoją padarytas investicijas, dar prieš darydamas jas turėtų imtis papildomų apsaugos priemonių kiekvienu konkrečiu atveju tai aptardamas su darbuotoju, nes, kilus ginčui, vieno sakinio susitarimui darbo sutartyje gali neužtekti. Akivaizdu, kad tokiose bylose darbdavys turi įrodyti, kokios žinios reikalingos darbuotojo darbo funkcijoms atlikti ir, kad mokymuose darbuotojui suteiktos žinios buvo aukštesnio lygio, nei reikalingos tiesioginėms funkcijoms (pareigoms) vykdyti. DK nėra apibrėžta iniciatyvos teisė, įpareigojanti, kuri sutarties šalis (darbdavys ar darbuotojas), turi rūpintis darbuotojo kvalifikacijos kėlimu. Įstatymas tai leidžia numatyti sudarant darbo sutartį, apibrėžti lokaliniuose teisės aktuose ar pan. Manytina, kad darbuotojo kvalifikacijos atitikimu atliekamoms darbo funkcijoms, turėtų rūpintis tiek darbdavys, tiek darbuotojas.

Svarbus vaidmuo darbuotojo kvalifikacijai ir profesiniams gebėjimams tenka nutraukiant darbo santykius. Vienas iš darbo santykių nutraukimo pagrindų yra darbo sutarties nutraukimas darbdavio iniciatyva be darbuotojo kaltės. Šis nutraukimo pagrindas įteisintas DK 57 straipsnyje, kur įstatymų leidėjas neišskiria priežasties, kuri buvo įteisinta 2002 m. Darbo kodekso 129 straipsnyje, kad „svarbiomis gali būti pripažįstamos tik tos aplinkybės, kurios yra susijusios su darbuotojo kvalifikacija, profesiniais gebėjimais, jo elgesiu darbe“. Manytina, kad kvalifikacijos bei profesinių gebėjimų aspektas eliminuotas iš priežasčių sąrašo, pateikto DK 57 str. 1 d. todėl, kad darbuotojo kvalifikacija ir profesiniai gebėjimai gali būti tiesiogiai susiję su bet kuria įstatymų leidėjo įtvirtinta priežastimi minėtame straipsnyje. Pavyzdžiui, kasacinėje byloje Nr. e3K-152-248/2020 LAT pabrėžė, kad *sprendžiant dėl priežasčių realumo, darbdavys turi įrodyti, kad darbo sutarties su darbuotoju nutraukimą lėmė darbo organizavimo pakeitimai ar kitos svarbios priežastys, susijusios su darbdavio veikla. Įstatymų leidėjas nėra įtvirtinęs baigtinio šių priežasčių sąrašo. Tai gali būti tiek vidinės priežastys (darbo organizavimo pertvarkymas, optimizuojant turimus resursus ar pan.), tiek išorinės priežastys (ekonominės ar kitos išorinės priežastys, dėl kurių darbdavys nusprendžia sumažinti įmonės veiklos sąnaudas, ar pan.). Įstatyme įtvirtintas šių priežasčių realumo reikalavimas reiškia, jog darbdaviui tenka pareiga įrodyti, kad darbo sutarties su konkrečiu darbuotoju nutraukimas buvo pagrįstas. <...> Tai reiškia, kad minėtas realias su darbdavio veikla susijusias priežastis ir darbuotojo atliekamos darbo funkcijos nereikalingumą turi sieti tiesioginis priežastinis ryšys* (LAT 2020 m. sausio 2 d. nutartis civilinėje byloje Nr. e3K-152-248/2020). Darbo sutarties nutraukimas aptariamais pagrindais praktikoje dažnai turi tiesioginį ryšį su darbuotojo kvalifikacija. DK nustatyta, kad norėdamas nutraukti darbo sutartį savo iniciatyva be darbuotojo kaltės, darbdavys privalo rasti realią priežastį ir laikytis keliamo reikalavimo nutraukti darbo sutartį tik tada, kai laikotarpiu nuo įspėjimo apie darbo sutarties nutraukimą iki penkių darbo dienų iki įspėjimo laikotarpio pabaigos darbovietėje nėra laisvos darbo vietos, į kurią darbuotojas galėtų būti perkeltas su jo sutikimu (DK 57 str. 2 d.). Darbdavio pareiga pasiūlyti laisvas darbo vietas aptarta ir civilinėje byloje Nr. 3K-3-48-969/2015. LAT pažymėjo, kad *pirmos ir apeliacinės instancijos teismai sutiko su atsakovo argumentais, kad ieškovas negalėjo užimti laisvų darbo vietų, kad jis neatitiko išsilavinimo ir kvalifikacijos reikalavimų: daugumai darbo vietų reikalingas išsilavinimas arba patirtis informacinių technologijų srityje, o ieškovas turi ekonominį išsilavinimą; kai kurioms reikia mokėti specialias kalbas (italų, ispanų, prancūzų); pagal Vidaus darbo taisyklių 3.8 punkto nuostatas ieškovas negalėjo pretenduoti į B4–B6 lygio poziciją, nes ėjo žemesnio lygio (B3) pareigas* (LAT 2015 m. vasario 23 d. nutartis civilinėje byloje Nr. 3K-3-48-969/2015).

Dar vienas labai svarbus reikalavimas darbdaviui nutraukiant darbo sutartį aptariamais pagrindais yra pirmenybės teisės būti paliktiems dirbti darbuotojams užtikrinimas, reglamentuotas DK 57 str. 3 d. pateikiant darbuotojų, turinčių pirmenybės teisę sąrašą. Tačiau minėto straipsnio 4 dalis reglamentuoja pirmenybės teisę būti paliktiems dirbti tik tiems darbuotojams, kurių kvalifikacija nėra žemesnė už kitų tos pačios specialybės darbuotojų, dirbančių toje įmonėje, įstaigoje, organizacijoje, kvalifikaciją (DK 57 str. 4 d.). Kvalifikaciniai reikalavimai konkrečioms darbuotojų funkcijoms atlikti gali būti nustatomi darbo sutartyse, taip pat valstybiniuose bei lokaliniuose įmonės, įstaigos teisės aktuose. Lietuvos vyriausiojo administracinio teismo (LVAT) teisėjų kolegija byloje Nr. eA-1269-415/2020 nurodė, kad *kai pretendentai atitinka vienodą kriterijų skaičių, pirmenybė teikiama asmeniui, atitinkančiam specialiuosius aukštesnius nei tie, pagal kuriuos vertinama kvalifikacijos atitiktis Įsakymo dėl kriterijų 2 punkto taikymo aspektu, kriterijus, t. y. kuris turi aukštesnį už tą, kuris nurodytas pareigybės, į kurią asmuo pretenduoja, aprašyme, arba papildomą išsilavinimą, yra baigęs specializuotus, su pareigybe, į kurią pretenduojama, susijusius kvalifikacijos kėlimo*

kursus, moka užsienio kalbas arba turi kitų specialiųjų gebėjimų. <...> Taigi, kvalifikacijos lygis yra ta teisiškai reikšminga aplinkybė, kuri turi lemiamą reikšmę, sprendžiant darbuotojų pirmenybės teisę būti paliktam dirbti (eiti atitinkamas pareigas), t. y., sprendžiant aptariamą konkurencijos klausimą, pirmenybės teisė, visų pirma, turi būti suteikiama tiems darbuotojams, kurių aukštesnė kvalifikacija, o DK 57 straipsnio 3 dalyje (išskyrus 6 punktą) aplinkybės sukuria pirmenybės teisę tais atvejais, kai tarpusavyje konkuruoja vienodos kvalifikacijos darbuotojai (LVAT 2020 m. gegužės 20 d. nutartis administracinėje byloje Nr. eA-1269-415/2020). Konstatuota, jog kvalifikacija turėjo būti vertinama pagal konkrečius, aiškius, nediskriminacinius kriterijus, kuriuos atsakovas privalėjo nustatyti bei atsižvelgiant į pretendentų iki reorganizacijos eitas pareigas bei išsilavinimą. Tuo pačiu aspektu Klaipėdos apylinkės teismas civilinėje byloje Nr. E2-1232-676/2020 nustatęs bylos aplinkybes ir įvertinęs tirtų įrodymų visumą, daro išvadą, jog ieškovas neįrodė, kad atsakovės kvalifikacija buvo žemesnė nei kitų tą pačią darbo funkciją atliekančių darbuotojų, todėl konstatuoja, kad ieškovas nepagrįstai netaikė atsakovei pirmenybės teisės likti dirbti, todėl atsakovės atleidimas iš darbo DK 57 straipsnio 1 dalies 1 punkto pagrindu pripažintinas neteisėtu (Klaipėdos apylinkės teismo 2020 m. gegužės 29 d. sprendimas civilinėje byloje Nr. E2-1232-676/2020).

Darbuotojo kvalifikacijos ir profesinių gebėjimų pagrindai yra reikšmingi ir nutraukiant darbo sutartį darbdavio iniciatyva dėl darbuotojo kaltės. Šiuo atveju priežastis nutraukti darbo sutartį gali būti: 1) šiuo metu darbuotojo darbo pareigų pažeidimas; 2) per paskutinius dvylika mėnesių darbuotojo padarytas antras toks pat darbo pareigų pažeidimas (DK 58 str. 2 d.). Pavyzdžiui, civilinėje byloje Nr. 3K-3-25-248/2021 LAT vertino, ar darbdavys pagrįstai atleido darbuotoją iš darbo pagal DK 58 str. 2 d. 1 p., pripažinęs, kad darbuotojas šurkščiai pažeidė darbo pareigas, neįgydamas darbo funkcijoms vykdyti reikalingos 95 kodo kvalifikacijos. Teismas pažymėjo, kad teisės aktuose nėra nustatyta tvarka, kaip kvalifikacijos tobulinimo klausimas turi būti sprendžiamas, kai kvalifikacijos galiojimas baigiasi ir jai pratęsti būtinas dalyvavimas profesiniuose vairuotojų mokymuose darbuotojui esant darbo santykiuose. <...> Teismo vertinimu, apdairus ir rūpestingas darbdavys, siekdamas išlaikyti reikiamos kvalifikacijos darbuotojus ir taip užtikrinti sklandų veiklos organizavimą, imtųsi tam tikrų priemonių, kad darbuotojai dalyvautų mokymuose ir įgytų reikiamą kvalifikaciją. <...> Vis dėlto, atsižvelgiant į byloje nustatytas faktines aplinkybes ir esamą teisinį reglamentavimą, nesant aiškiai įtvirtintos pareigos ieškoviui savarankiškai, savo lėšomis, įgyti reikiamą kvalifikaciją, nurodyti bendradarbiavimo trūkumai negali būti vertinami kaip šurkščius darbo pareigų pažeidimas, sudarantis pagrindą skirti griežčiausią drausminę nuobaudą – atleidimą iš darbo (LAT 2021 m. vasario 24 d. nutartis civilinėje byloje Nr. 3K-3-25-248/2021).

Naujas darbo sutarties pasibaigimo pagrindas – darbo sutarties nutraukimas darbdavio valia, įtvirtintas DK 59 str. Priežastis nutraukti darbo sutartį šiuo pagrindu gali būti susijusi su darbdavio padėtimi, įmonės pokyčiais ir su darbuotojo asmeniu, jo elgesiu darbe ar kvalifikacija. Tačiau darbdavio teisę spręsti dėl atleidimo iš darbo priežasties riboja DK 59 str. 2 d. nurodyti pagrindai ir atvejai, kuriais darbdavys negali grįsti darbo sutarties nutraukimo. Kauno apygardos teismo Civilinių bylų skyriaus teisėjų kolegija civilinėje byloje Nr. e2A-1739-945/2019 atkreipė dėmesį, kad DK 59 straipsniu kuriamas teisinis reglamentavimas negali būti vertinamas kaip ipareigojantis darbdavį įvardinti ir vėliau objektyviai įrodyti darbuotojo elgesio neteisėtumą ar netinkamumą, kaip darbo santykių nutraukimo priežastį. <...> Darbo sutarties nutraukimo pagal DK 59 straipsnį teisėtumui patvirtinti pakanka duomenų, kad konkretus įmonės vadovas įvertino atsakovę kaip neatitinkančią darbdavio poreikių ir priėmė valinį sprendimą nutraukti su atsakove darbo santykius (Kauno apygardos teismo 2019 m. lapkričio 26 d. sprendimas civilinėje byloje Nr. e2A-1739-945/2019). Taip pat civilinėje byloje Nr. e3K-3-199-701/2020 LAT šiuo aspektu daro išvadą, kad priežastis nutraukti darbo sutartį DK 59 straipsnio 1 dalyje nustatytu pagrindu gali būti susijusi su darbuotojo asmeniu, jo elgesiu darbe, kvalifikacija, darbdavio padėtimi ir kt., jos pasirinkimas konkrečiu atveju yra darbdavio diskrecija, tačiau, kaip minėta, ji turi būti realiai egzistuojanti (t. y. ne tariama ar išgalvota), teisėta, pakankama, kad pagrįstų darbo sutarties nutraukimą, ir nepatenkanti tarp nurodytų DK 57 straipsnio 1 dalyje, 59 straipsnio 2 dalyje (LAT 2020 m. birželio 25 d. nutartis civilinėje byloje Nr. e3K-3-199-701/2020). Vilniaus apygardos teismas civilinėje byloje Nr. e2A-1674-910/2018 taip pat pateikė nuomonę, kad DK 59 straipsnio 1 dalyje įtvirtinta darbdavio teisė nereiškia, jog darbo sutartis gali būti nutraukta dėl bet kokių priežasčių. Nurodytu pagrindu darbuotojas gali būti atleistas, kai tam tikros jo asmeninės savybės, netinkamas elgesys darbe sudaro darbdaviui pagrindą daryti išvadą, kad dėl to darbuotojas negali tinkamai vykdyti savo darbo funkcijų <...> Priežasties svarba šiuo atveju teisiškai nereikšminga, nes aptariamasis atleidimo pagrindas siejamas iš esmės su subjektyvaus pobūdžio atleidimo priežastimis, dėl kurių darbdavys nusprendžia, kad konkretus darbuotojas netinkamas tęsti darbą įmonėje. <...> Aplinkybės, susijusios su darbuotojo netinkamu elgesiu darbe, suprantamos kaip darbuotojo nepagrįsti konfliktai su bendradarbiais, elgesys, kuriantis įtampą tarp darbuotojų, psichologinio diskomforto kolektyve sukūrimas, pažiūrų, nesuderinamų su dirbamu darbu ar visuomenės moralės normomis, demonstravimas, profesinės etikos reikalavimų ignoravimas, disciplinos,

motyvacijos trūkumas ir pan. (Vilniaus apygardos teismo 2018 m. gegužės 17 d. nutartis civilinėje byloje Nr. e2A-1674-910/2018).

Remiantis teismų suformuota nuomone teigtina, kad darbuotojo kvalifikacija, jos tikslus aptarimas sudarant darbo sutartį, turi reikšmingą įtaką darbo santykių raidai, jų stabilumui bei darbuotojo konkurencingumui.

Išvados

1. Įstatymų leidėjas, vertindamas darbo sutarties sudarymo, vykdymo ir nutraukimo pagrindus bei darbuotoją, kaip darbo teisinių santykių subjektą, apsiriboja teisine kategorija *kvalifikacija*, kurios turinys įgalina aiškinti kvalifikaciją, kaip asmens turimų kompetencijų arba profesinės patirties ir turimų kompetencijų, reikalingų tam tikrai veiklai, visumą. Išanalizavus darbuotojų kvalifikacijos apibrėžties turinį, galima teigti, kad įstatymo leidėjas teisės normose imperatyviai nustato šių pagrindų būtinumą, tačiau palieka laisvės darbuotojo ir darbdavio susitarimams, bei įtvirtina galimybę darbdaviui lokaliais teisės aktais nustatyti kvalifikacinius reikalavimus darbuotojams, atliekantiems konkrečias darbo funkcijas. Todėl manytina, kad tarpusavio darbinių teisių ir pareigų įgyvendinimas didele dalimi priklauso nuo pačių darbo santykių šalių tarpusavio susitarimo.

2. Darbuotojo kvalifikacijos, kaip asmens turimų kompetencijų arba profesinės patirties ir turimų kompetencijų, reikalingų tam tikrai veiklai, visumos apibrėžtis įvertinama ir teismų praktikoje, nagrinėjant iš darbo santykių kilusius ginčus, susijusius su darbuotojo kvalifikacijos vertinimu. Teismų praktikoje akcentuojama galimybė, sudarant sutartį susitari dėl išbandymo termino nustatymo parinktiems darbuotojams, kurių kvalifikacija atitinka pareigybei keliamus reikalavimus, konkurso būdu; įvertinama kvalifikacijos kėlimo, kai darbuotojui tai suteikia papildomą vertę bei darbuotojo pareigos atlyginti kvalifikacijos tobulinimui darbdaviui turėtas išlaidas, problematika; atskleidžiamas darbuotojo kvalifikacijos vertinimo reikšmingumas nutraukiant darbo sutartį. Teismų praktikos analizė atskleidė, kad kvalifikacinių reikalavimų aptarimas ir įforminimas sudarant darbo sutartį turi tiesioginę įtaką ir didelę reikšmę vykdant ar nutraukiant darbo sutartį, darbo sutarties nutraukimo teisinėms pasekmėms bei sprendžiant darbo ginčus.

Literatūra

Norminiai teisės aktai

1. Lietuvos Respublikos Konstitucija//Valstybės žinios, 2009. Nr. 54-2140.
2. Lietuvos Respublikos Darbo kodeksas // TAR, 2016-09-19, Nr. 23709.
3. Lietuvos Respublikos Mokslo ir studijų įstatymas// Valstybės žinios, 1992. Nr. 33-1014.
4. Lietuvos Respublikos švietimo įstatymas// Valstybės žinios, 1991-08-20, Nr. 23-593.
5. Lietuvos Aukščiausiojo Teismo senato nutarimas Nr. 44 „Dėl Lietuvos Respublikos teismų praktikos, taikant Darbo kodekso normas, reglamentuojančias darbo sutarties nutraukimą darbdavio iniciatyva, kai nėra darbuotojo kaltės (129 straipsnis)“//Teismų praktika. Vilnius, 2003. Nr. 20. P. 175.

Specialioji literatūra

6. Bagdanskis T., Dambrauskienė G., Guobaitė G. ir kt. Darbo teisė. Vilnius: Mykolo Romerio universitetas, 2008.
7. Bagdanskis, T., Mačiulaitis, V., Mikalopas, M. Lietuvos Respublikos darbo kodekso komentaras. Individualieji darbo santykiai. Vilnius: Rito projects, 2018.
8. Bagdanskis, T. Darbo sutarties nutraukimas darbdavio valia. Teisė. 2021, Vol.118, p. 32-46.
9. Bagdanskis T. Darbo sutarties nutraukimas darbdavio valia: praktinės įžvalgos [interaktyvus]. Prieiga per internetą: <http://www.teise.pro/index.php/2019/01/07/t-bagdanskis-darbo-sutarties-nutraukimas-darbdavio-valia-praktines-izvalgos/>.
10. Davulis, T. Lietuvos Respublikos darbo kodekso komentaras. Vilnius: Registrų centras, 2018.
11. Mačiulaitis V.. Darbo santykių nutraukimas darbdavio iniciatyva nesant darbuotojo kaltės lankstumo ir saugumo aspektu. Daktaro disertacija. 2013. [interaktyvus].Prieiga per internetą:https://repository.mruni.eu/bitstream/handle/007/15954/Disertacija_Mačiulaitis.pdf

Teismų praktika

12. Lietuvos Aukščiausiojo Teismo Civilinių bylų skyriaus teisėjų kolegijos 2016 m. gegužės 6 d. nutartis civilinėje byloje Nr. 3K-3-252-248/2016
13. Lietuvos Aukščiausiojo Teismo Civilinių bylų skyriaus teisėjų kolegijos 2019 m. balandžio 11 d. nutartis civilinėje byloje Nr. 3K-3-135-684/2019
14. Lietuvos Aukščiausiojo Teismo Civilinių bylų skyriaus teisėjų kolegijos 2020 m. rugsėjo 30 d. nutartis civilinėje byloje Nr. e3K-3-243-248/2020
15. Lietuvos Aukščiausiojo Teismo Civilinių bylų skyriaus teisėjų kolegijos 2020 m. sausio 2 d. nutartis civilinėje byloje Nr.e3K-152-248/2020
16. Lietuvos Aukščiausiojo Teismo Civilinių bylų skyriaus teisėjų kolegijos 2021 m. sausio 13 d. nutartis civilinėje byloje Nr. 3K-3-179-1075/2021

17. Lietuvos Aukščiausiojo Teismo Civilinių bylų skyriaus teisėjų kolegijos 2021 m. sausio 13 d. nutartis civilinėje byloje Nr. e3K-3-174-701/2021
18. Lietuvos Aukščiausiojo Teismo Civilinių bylų skyriaus teisėjų kolegijos 2021 m. vasario 24 d. nutartis civilinėje byloje Nr. 3K-3-25-248/2021
19. Lietuvos Aukščiausiojo Teismo Civilinių bylų skyriaus teisėjų kolegijos 2021 m. sausio 13 d. nutartis civilinėje byloje Nr. 3K-3-179-1075/2021
20. Lietuvos Aukščiausiojo Teismo Civilinių bylų skyriaus 2020 m. birželio 25 d. nutartis civilinėje byloje Nr. e3K-3-199-701/2020
21. Lietuvos Aukščiausiojo Teismo Civilinių bylų skyriaus teisėjų kolegijos 2015 m. vasario 23 d. nutartis civilinėje byloje Nr. 3K-3-48-969/2015
22. Lietuvos vyriausiojo administracinio teismo 2020 m. gegužės 20 d. nutartis administracinėje byloje Nr. eA-1269-415/2020.
23. Lietuvos vyriausiojo administracinio teismo 2022 m. sausio 5 d. nutartis administracinėje byloje Nr. eA-694-822/2021
24. Kauno apygardos teismo Civilinių bylų skyriaus 2019 m. lapkričio 26 d. sprendimas civilinėje byloje Nr. e2A-1739-945/2019.
25. Klaipėdos apylinkės teismo 2020 m. gegužės 29 d. sprendimas civilinėje byloje Nr. E2-1232-676/2020.
26. Vilniaus apygardos teismo Civilinių bylų skyriaus 2018 m. gegužės 17 d. nutartis civilinėje byloje Nr. e2A-1674-910/2018.

DEFINITION OF EMPLOYEE QUALIFICATION IN EMPLOYMENT LEGAL RELATIONSHIP

Summary

Society's expectations and needs are closely related to employee competencies that meet the needs of the labour market. The legal regulation of employee qualifications has a direct impact on the implementation of these expectations and needs, as well as on the development of labour relations, the dynamics of competences, and at the same time on the competitiveness of the employee in the labour market. Therefore, the legal assessment of an employee's qualifications and professional skills, assuming that the legal regulation established in legal acts must be logical, consistent, concise, understandable, precise, clear and unambiguous, provides opportunities not only to assess the content of the definition of an employee's qualifications, but also how case law evaluates the application of these legal norms. The article discusses the concept of employee qualification in theoretical and practical aspects.

Key words: employment contract, qualification, professional skills, case law.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Ermina Čižienė

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Panevėžio kolegijos, Socialinių mokslų fakulteto lektorė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: Darbo teisiniai santykiai, kolektyvinė sutartis.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 618 02523, ermina.ciziene@panko.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Vida Rainienė

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Orlaivių mechanizmų techninio eksploatavimo studijų programos lektorė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: darbo teisė, baudžiamoji teisė.

Telefonas ir el. Pašto adresas: +370 610 40380, vida.rainiene@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Ermina Čižienė

Science degree and name: master

Workplace and position: Panevėžys University of Applied Sciences, lecturer

Author's research interests: Legal employment relationship, collective agreement.

Telephone and e-mail address: +370 618 02523, ermina.ciziene@panko.lt

Author name, surname: Vida Rainienė

Science degree and name: master

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, the lecturer of Aircraft Mechanics Technical Operation study programme.

Author's research interests: Labour law, criminal law.

Telephone and e-mail address: +370 610 40380, vida.rainiene@edu.ktk.lt

ES STRUKTŪRINIŲ FONDŲ FINANSAVIMO TERMINŲ VERTIMO STRATEGIJOS

Inga Dagilienė

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Pastaruoju metu tobulėjant technologijoms, atsiranda poreikis bendradarbiauti įvairių mokslo sričių specialistams. Mokslo, technikos, politikos, ekonomikos ir daugelyje kitų gyvenimo sričių pasaulyje dominuoja anglų kalba. Ji veikia kitų kalbų terminiją, ypač per specialiųjų sričių tekstų vertimus. Ne išimtis ir Europos Sąjungos dokumentai. Dokumentų tekstuose yra daugybė prasmių. Šių dokumentų vertimai yra sudėtingi ir reikalauja ne tik tikslumo, puikių kalbos įgūdžių, bet ir tos srities, kuriai priskiriamas verčiamas tekstas, žinių. Vertėjai susiduria su vertimo problemomis. Siekiant terminų aiškumo, tikslumo, prasmingumo ir vertimo kokybės, vertėjai laikosi tam tikrų procedūrų, principų ir naudojami vertimo strategijomis.

Šiame straipsnyje yra analizuojamos termino ir vertimo proceso sąvokos, vertimo teorijos bei vertimo strategijos. Taip pat tiriami ES struktūrinių fondų finansavimo terminai ir strategijos naudojamos jų vertimo procese.

Reikšminiai žodžiai: terminas, ES struktūrinių fondų finansavimo terminai, vertimo procesas, vertimo strategijos.

Įvadas

Šiais laikais mokslas, technologijos, ekonomika sparčiai vystosi visame pasaulyje. Bendradarbiavimas šiose srityse negali išsiversti be bendros komunikavimo priemonės – bendros kalbos. Dažnai dėl įvairių priežasčių yra vartojama sava kalba, o tekstai verčiami iš vienos kalbos į kitą. Pastaruoju metu vertimo apimtys yra gana didelės. Yra pastebėta, kad „per pastaruosius keliolika metų ne vienos srities tekstų daugiau verčiama negu kuriama“ (Keinys 2012: 84). Jau seniai yra įžvelgiama, kad daugelyje gyvenimo sričių dominuoja anglų kalba ir įtakoja kitų kalbų raidą. Šis poveikis labai aiškiai matyti Europos Sąjungos dokumentų vertimuose. Laikant vertimus lygiavertėmis dokumento versijomis, ypatingas dėmesys skiriamas kuo didesniai šių dokumentų teksto tapatumui, kuris turėtų užtikrinti, kad skirtingų kalbų skaitytojams bus perteikta ta pati mintis. Tikslumas, aiškumas ir suprantamumas yra esminiai veiksniai. Išaugus vertimų poreikiui, sugriežtėjo ir reikalavimai vertimų kokybei, nes bet kokio vertimo atveju neišvengiama klaidų. Susidurdami su problemomis vertimo procese ir siekdami išvengti klaidų, vertėjai naudoja vertimo strategijas.

Šio straipsnio tyrimo medžiaga - Europos Parlamento ir Europos Tarybos reglamentas Nr. 1303/2013 anglų kalba ir jo vertimas į lietuvių kalbą. Tyrimo objektas - ES struktūrinių fondų finansavimo terminų vertimo strategijos. Šio straipsnio tikslas - išanalizuoti ES dokumento terminus, jų vertimą ir naudojamas vertimo strategijas. Tyrimo metodai apima teorinės medžiagos analizę ir lingvistinę analizę. Teorinėje dalyje aptariami terminai, vertimas ir vertimo strategijos. Lingvistinė analizė pagrįsta ES struktūrinių fondų finansavimo terminų vertimo strategijų aprašymu.

Vertimo teorijų ir strategijų apžvalga

21 amžiuje vertimas ir vertimo paslaugos yra neatsiejamas komponentas visose sferose tiek verslo įmonėse, tiek mokslo ar politinėse institucijose. Šių dienų pasaulyje, pasižyminčiame tarptautine komunikacija, vertimas užima pagrindinį vaidmenį informacijos tarp skirtingų kalbų keitimasi (Owji, 2013). Verčiant bet kokios srities specializuotus tekstus ypač svarbu terminų tikslumas, aiškumas, nedviprasmiškumas.

Pirmiausiai būtina suprasti termino sąvoką. Anot Mickienės ir Briaukienės (2016), terminas yra žodis ar pastovus žodžių junginys, kuriuo nusakoma speciali tam tikros srities sąvoka ar daiktas. Svarbiausi termino bruožai yra vienareikšmiškumas, stilistinis neutralumas, sinonimų neturėjimas. Terminai yra riboti žodžiai su savo apibrėžimu ir savotišku vartojimu. Terminas turi griežtai apibrėžtą reikšmę ir nustatytą vartojimo sritį. Dabartinės lietuvių kalbos žodyne (2017), terminas apibūdinamas kaip tiksliai, kurią nors mokslo, technikos, meno, religijos ar kitos srities sąvoką reiškiantis žodis ar žodžių junginys.

Vertimo proceso apibrėžimas yra nesudėtingas. Pagal Pažūšį (2014), tai kalbėjimo ar teksto viena kalba pakeitimas kalbėjimu ar tekstu kita kalba, stengiantis išlaikyti tą pačią ar beveik nesiskiriančią. Vertimo studijose kalbą, kurią verčia yra priimta vadinti originalo kalba, o kalbą į kurią verčia – tiksline kalba.

20 amžiaus viduryje pradėtos kurti pirmosios vertimo teorijos. Vertimo teorijos pradininku yra laikomas amerikietis Naida. Leonavičienė (2013) teigia, kad nagrinėdamas originalo ir vertimo teksto santykį, jis apibrėžė pagrindines vertimo mokslo sąvokas, aprašė vertimo proceso modelį, sukūrė transformacinį vertimo modelį. Vertimo procesą, Naida apibrėžė kaip :

„originalo kalbos pranešimo atgaminimą vertimo kalboje artimiausiais natūraliais ekvivalentais pirmiausia semantiškai, o paskui stilistiškai, būtinai atsižvelgus į adresatą, nes apie vertimo adekvatumą galima spręsti tik iš adresato reakcijos“ (Naida, 1989, pp. 229–231).

Vertimo procese, siekiant profesionalaus reikšmės perkėlimo iš vienos kalbos į kitą, vertėjas privalo turėti tam tikrų vertimo įgūdžių ir laikytis tam tikrų vertimo principų, kitaip tariant, vertimo strategijų. Yra daugybė vertimo strategijų. Skirtingi vertimo teoretikai, remdamiesi skirtingais pavyzdžiais, siūlo įvairias jų klasifikacijas. Mokslininkai Vinay ir Darbelnet (1995) išskyrė dvi vertimo rūšis – tiesioginį ir netiesioginį vertimą. Tiesioginis vertimas: 1) skolinys – vertimo procese nauja sąvoka tiesiog perimama iš kalbos, iš kurios verčiama, ir perkeliama į kalbą, į kurią verčiama; 2) kalkė – pažodžiui išverstas žodžių junginys; 3) pažodinis vertimas - perėjimas iš originalo kalbos į vertimo kalbą, kai vertėjui reikia perteikti tik lingvistinius vienetus. Netiesioginis vertimas: 4) transpozicija – tai toks vertimo būdas, kai vertėjas vieną kalbos dalį keičia kita kalbos dalimi; 5) moduliacija - tai toks vertimo būdas, kai požiūrio keitimas, daiktas, žmogus, reiškinys ar veiksmas apibūdinami kitaip, pasirenkant kitokį aspektą ; 6) ekvivalentas – tai vertimo būdas, kai frazeologizmai, sustabarėję žodžių junginiai, idiomos, patarlės verčiami atitinkamais vertimo kalbos frazeologizmais, idiomomis, patarlėmis; 7) adaptacija – vertimo būdas, kai tam tikra situacija, ar tam tikras žodis, egzistuojantis originalo kalboje, neegzistuoja vertimo kalboje. Seguinota (1989) teigia, kad yra mažiausiai trys visuotinės strategijos, kurias naudoja vertėjai. Pirma, reikia versti kiek įmanoma ilgiau nesustojančiant, antra, neatidėliojant taisyti paviršutines klaidas, ir trečia, peržiūrėjimo etapui palikti kokybinių ir stilistinių klaidų tekste tikrinimą. Venuti (1988) klasifikuoja vertimo strategijas į savinimo ir svetinimo. Savinimo strategija skirta perteikti tekstą glaudžiai jį siejant su tikslinės kalbos kultūra. Svetinimo strategija skirta išlaikyti originalo kalbos informaciją ir apima sąmoningą tikslinės kalbos susitarimų sulaužymą, kuriuo siekiama išsaugoti tikslinės kalbos prasmę. Vertimo tyrėjas Čestermanas (1997) siūlo tris vertimo strategijų rūšis - sintaksinę, semantinę ir pragmatinę. Sintaksinės strategijos: 1) tiesioginis vertimas – verčiant labiau yra laikomasi originalo teksto formos, bet nesilaikoma originalo kalbos struktūros; 2) skolinimasis – tai termino pasiskolinimas ir laikymasis originalo kalbos teksto struktūros, kuri yra svetimai tiksliniam skaitytojui; 3) perkėlimas - tai žodžių rūšies pakeitimas; 4) perfrazavimo struktūros pakeitimas – vertimo procese yra pakeičiamos daiktavardžio ar veiksmazodžio frazės vidinės struktūros, net jei originalo kalbos frazė gali būti išversta į atitinkamą frazę tikslinėje kalboje; 5) sakinio struktūros keitimas – verčiant yra naudojami pakeitimai, kurie paveikia sakinio struktūrą, pvz. veikiamoji rūšis yra pakeičiama į neveikiamąją; 6) sakinio struktūros pakeitimai – verčiant yra pakeičiama sakinio vieneto struktūra, tai sąryšio tarp pagrindinių ir šalutinių sakinių pakeitimas; 7) sąsajos keitimas – vertimo procese sakinio dalys yra sujungiamos tam, kad sudarytų sklandų, suprantamą sakinį; 8) lygio pakeitimas – vertime yra naudojamas fonologinių, morfologinių, sintaksinių ir leksinių lygių pakeitimas. Semantinės strategijos: 1) sinonimija – vertimo procese yra pasirenkamas artimiausias sinonimas, kuris nėra tiesioginis originalo kalbos žodžio ar frazės vertimas; 2) antonimija – verčiant yra naudojamas priešingos reikšmės žodis; 3) konversija – verčiant yra išreiškiamas bendras priešingybių semantinis ryšys; 4) abstrakcijos keitimas – vertime yra pereinama nuo abstrakčių dalykų prie konkretesnių arba atvirkščiai; 5) distribucijos pakeitimas - tai vertimo strategija, kai vienodi semantiniai komponentai skirstomi į daugiau arba mažiau vienetų; 6) emfazės pakeitimas – ši strategija padidina, sumažina ar pakeičia tematinius verčiama teksto akcentus; 7) parafrazės strategija - tai strategija sukurianti laisvą apytikrą vertimą ir leidžianti kai kurių leksinių vienetų nepaisymo. Pragmatinės strategijos: 1) kultūrinis filtravimas - ši strategija naudojama verčiant kultūrinius terminus; 2) aiškumo pakeitimas – vertimo procese originalo teksto informacija gali būti pridėdama ar panaikinama, tokiu būdu siekiant padaryti tekstą daugiau ar mažiau aiškų; 3) tarpasmenis pakeitimas – vertime ši strategija naudojama siekiant paveikti visą teksto stilių ir padaryti jį daugiau ar mažiau informatyvų, techninį; 4) šnekos aktas – tai vertimo strategija pakeičianti originalo teksto šnekos akto esmę; 5) matomumo pakeitimas – ši strategija padidina originalo teksto autoriaus ar jo vertėjo „akivaizdumą“ (pvz. vertėjo pridėti išnašai); 6) koherencijos pakeitimai – tai sąsajos keitimo strategija, kuri yra naudojama tik mažos sandaros vienetuose (pvz. sakiniuose ar skyreliuose); 7) dalinis vertimas – tai tokia strategija, kai yra verčiama tik dalis teksto, o ne visas tekstas.

Tuo tarpu lingvistinės krypties vertimo teoretikas Newmarkas (1988) išskiria šias vertimo strategijas:

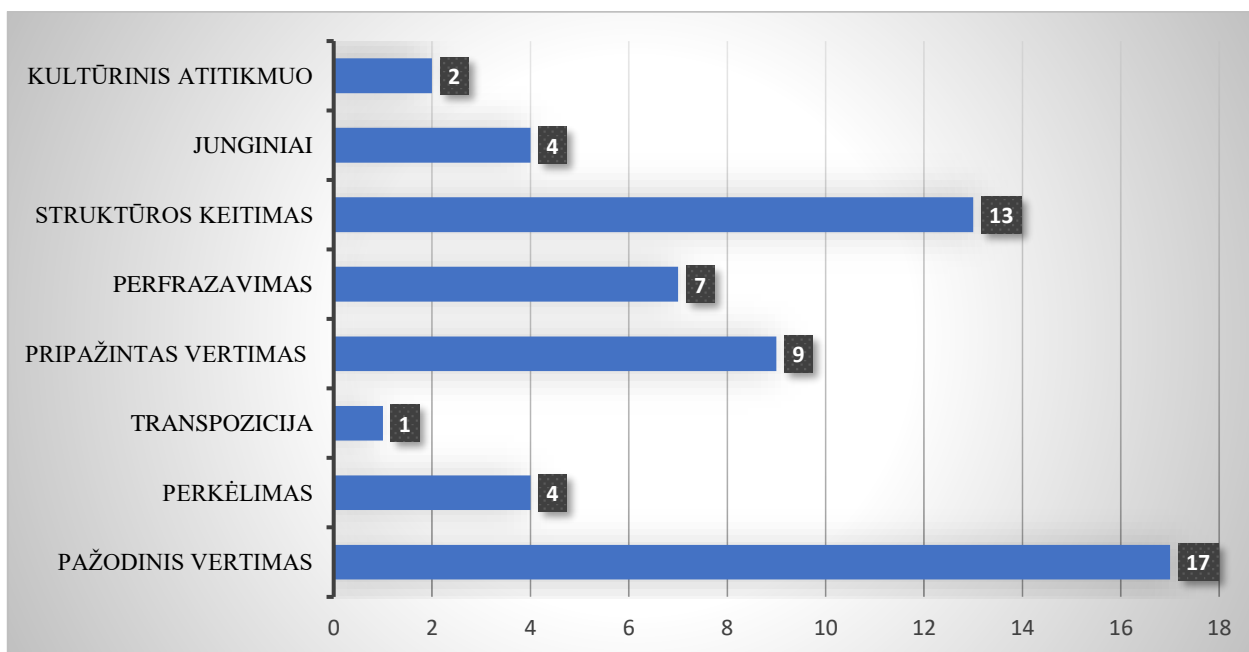
- perkėlimas – tai procesas, kai originalo kalbos žodžiai yra perkeliama į tikslinę kalbą;
- adaptavimas – tai procesas, kai pirmiausia pritaikomas originalo kalbos žodis pagal tikslinės kalbos tarimą, o po to pagal tikslinės kalbos morfologiją;
- kultūrinis atitikmuo – tai kultūrinio originalo kalbos žodžio perkėlimas į tikslinės kalbos žodį, tačiau nevisiškai tikslų;

- funkcinis atitikmuo – tai neutralaus žodžio ar funkcinio atitikmens naudojimas. Vertime yra naudojamas žodis ar žodžių junginys, kuris reiškia nevisiškai vienodą, tačiau analogišką funkciją atliekanti asmenį, daiktą, instituciją ar priemonę bei reiškinį;
- nusakomasis atitikmuo – vertimo procese yra naudojamas kultūrinis terminas, tai yra žodis ar žodžių junginys, būdingas kuriai nors tautai ir susijęs su materialine ar dvasine kultūra;
- komponentinė analizė – vertimo procese originalo kalbos žodis yra lyginimas su tikslinės kalbos žodžiu, kuris turi panašią reikšmę, tačiau tai nėra „vienas prie vieno“ atitikmuo;
- sinonimika -vertimo procese yra naudojamas panašus tikslinės kalbos atitikmuo;
- transpozicija – tai gramatikos pakeitimai, kai yra verčiama iš originalo kalbos į tikslinę kalbą. Pavyzdžiui, vienskaitos pakeitimas į daugiskaitą;
- moduliacija – tai yra strategija, kai originalaus teksto žinutė yra perteikiama į tikslinės kalbos tekstą, laikantis tikslinės kalbos normų ir taisyklių;
- pripažintas vertimas – vertimo procese yra naudojamas oficialiai ar bendrai pripažintas institucinių terminų vertimas;
- kompensavimas – tai vertimo strategija, kai vienos sakinio dalies reikšmės praradimas yra kompensuojamas kitoje dalyje;
- perfrazavimas – vertimo procese yra paaiškinama kultūrinio termino reikšmė, tik paaiškinimas yra kur kas detalesnis nei nusakomajame atitikmenyje;
- junginiai - tai dviejų skirtingų strategijų naudojimas vertime;
- pastabos - vertime pridedama papildoma informacija;
- pažodinis vertimas – tai strategija, kai vertimo procese originalo kalbos žodžių tvarka yra nekeičiama, žodžiai verčiami pavieniui pagal jų bendrą prasmę neatsižvelgiant į kontekstą.

Dauguma mokslininkų teigia, kad vertimo strategijos yra naudojamos, kai susiduriama su problemomis vertime. Jos palengvina vertėjo darbą ir suteikia vertimui nedviprasmiškumą, aiškumą ir tikslumą.

Vertimo analizė

Vertimo analizei yra pasirinktas Europos Parlamento ir Europos Tarybos reglamentas Nr. 1303/2013 anglų kalba ir jo vertimas į lietuvių kalbą. Šiame reglamente yra randama terminų susijusių su ES struktūrinių fondų finansavimu. Yra išanalizuoti 57 terminai. Visi šie terminai versti iš anglų kalbos į lietuvių kalbą. Vertimo strategijų naudojimas terminų vertime yra vaizduojamas 1 paveiksle.



1 pav. Vertimo strategijų naudojimo dažnumas su ES finansavimu susijusių terminų vertime

Šaltinis: sudaryta autorių

Pažodinio vertimo strategija - vertimo procese originalo kalbos žodžių tvarka yra nekeičiama, žodžiai yra išversti pavieniui, pagal jų bendrą prasmę:

Macroeconomic conditions - makroekonominės sąlygos; *Irregular expenditure* – neteisėtos išlaidos; *Project application* – projekto paraiška; *Financial contribution* – finansinis įnašas; *Fund of funds* – fondų fondas; *Public investments* – viešosios investicijos; *Market economy principle* – rinkos ekonomikos principas; *Monitoring committee* – stebėsenos komitetas; *Repayable assistance* – gražinamosios subsidijos; *Financial correction* – finansinė pataisa; *Financial instruments* – finansinės priemonės; *Private financing* – privatus finansavimas; *Direct financial returns* – tiesioginė finansinė grąža; *Implementation reports* – įgyvendinimo ataskaitos; *Technical assistance* – techninė parama; *Priority axis* - prioritetinga kryptis; *Fixed assets* – ilgalaikis turtas.

Struktūros keitimo strategija - vertimo procese naudojami pakeitimai, kurie paveikia sakinio struktūrą:

The bodies implementing financial instruments – finansines priemones įgyvendinantys subjektai - originalo kalbos žodis „the bodies“ esantis pradžioje, tikslinėje kalboje vartojamas pabaigoje, tuo tarpu originalo kalbos žodžiai „financial instruments“ esantys pabaigoje, tikslinėje kalboje vartojami pradžioje; *Budget of the Union* – Sąjungos biudžetas - kai originalo kalbos termine yra žodis „of“, vertimo procese yra naudojama struktūros keitimo strategija. Tikslinėje kalboje šis žodis nėra verčiamas tiesiogiai, bet yra sukeičiamos žodžių vietos ir sudaromi reikiami linksniai; *Allocation of the performance reserve* – veiklos lėšų rezervas; *Principle of proportionality* – proporcingumo principas; *Effective use of Union resources* – veiksmingas Sąjungos lėšų naudojimas; *Interruption of the payment deadline* – mokėjimo termino pertraukimas; *Priority axis of operational programme* – veiksmų programos prioritetinga kryptis; *Principle of sound financial management* - patikimas finansų valdymo principas; *Revolving forms of finance* – atsinaujinantis finansinių lėšų srautas; *Common rules for payments* – bendros mokėjimų taisyklės - šio termino vertime keičiasi struktūra. Originalo kalbos žodžiai „rules for payments“ verčiami kaip „mokėjimų taisyklės“, panaikinant žodį „for“ ir sukeičiant vietomis likusius du žodžius; *Union strategy for smart, sustainable and inclusive growth* – Sąjungos pažangaus, tvaraus ir integracinio augimo strategija; *Common rules on financial management for the ESI Funds* – bendros ESI fondų finansų valdymo taisyklės; *Financial corrections by Member States* - valstybių narių atliekamos finansinės pataisos.

Pripažinto vertimo strategija - vertimo procese yra naudojami oficialiai pripažinti instituciniai terminų vertimai:

Common Agricultural Policy – bendra žemės ūkio politika; *European Structural and Investment Funds* – Europos struktūriniai ir investicijų fondai; *European Social Fund* – Europos socialinis fondas; *European Regional Development Fund* – Europos Regioninės plėtros fondas; *Cohesion Fund* – Sanglaudos fondas; *European Agricultural Funds for Rural Development* – Europos žemės ūkio fondas kaimo plėtrai; *European Maritime and Fisheries Fund* – Europos jūros reikalų ir žuvininkystės fondas; *European Agricultural Guidance and Guarantee Fund* – Europos žemės ūkio orientavimo ir garantijų fondas; *European Investment Bank* – Europos investicijų bankas.

Perfrazavimas - termino reikšmė yra paaiškinama pridodant papildomą žodį:

European Economic and Social Committee – Europos ekonomikos ir socialinių reikalų komitetas - originalo kalbos žodis „Social“ į tikslinę kalbą yra verčiamas kaip „socialinių reikalų“, siekiant detaliau paaiškinti šį žodį; *Revenue* – grynosios pajamos - originalo kalbos terminas „revenue“ šiuo atveju į tikslinę kalbą gali būti verčiamas kaip „pajamos“, tačiau siekiant detaliau paaiškinti terminą, tikslinėje kalboje yra pridodamas žodis „grynosios“. Papildomas žodis suteikia daugiau aiškumo ir padeda išvengti netikslumų; *Beneficiary* – paramos gavėjas - verčiant į tikslinę kalbą yra pridodamas papildomas žodis „paramos“; *Economic operator* – ekonominės veiklos vykdytojas; *Major projects* – didelės apimties projektai; *Eligible expenditure* – tinkamos finansuoti išlaidos; *Research, Development and Innovation* – moksliniai tyrimai, technologinė plėtra ir inovacijos.

Perkėlimo strategiją - tai vertimo strategija, kai yra pakeičiama žodžių rūšis.

2014 – 2020 programming period – 2014-2020 m. programavimo laikotarpis - originalo kalbos veiksmazodinis žodis „programming“ tikslinėje kalboje yra pakeičiamas į daiktavardinį žodį „programavimo“; *Request for payment* – prašymai išmokėti lėšas - originalo kalbos daiktavardžio rūšies žodis „payment“ į tikslinę kalbą yra verčiamas pakeičiant į veiksmazodžio bendratį „išmokėti“; *Pre-financing payment* – išankstinis finansavimas - originalo kalbos veiksmazodis „pre-financing“ į tikslinę kalbą yra verčiamas būdvardiniu žodžiu „išankstinis“; *Level of support allocated* – lėšų panaudojimo lygis - tikslinės kalbos veiksmazodis „allocated“ į tikslinę kalbą yra verčiamas daiktavardžiu „panaudojimo“.

Junginių strategija - verčiant yra naudojamos dvi vertimo strategijos:

ESI funds support – ESI fondų parama - vertimui iš originalo kalbos į tikslinę kalbą yra panaudota pripažinto vertimo ir tiesioginio vertimo strategijos; *Final recipient* – galutinis naudos gavėjas - pirmas originalo kalbos žodis „final“ yra verčiamas pažodiniu vertimu, tačiau antrasis žodis „recipient“ tikslinėje kalboje pateikiamas kaip „naudos gavėjas“. Verčiant originalo kalbos terminą pažodiniu vertimu gali kilti

neaiškumą, tad tikslinėje kalboje yra pridamas žodis „naudos“ tam, kad terminas taptų aiškesnis; *PPP operation* – viešojo ir privačiojo sektorių partnersčių veiksmas - originalo kalboje yra naudojama PPP santrumpa (Public private partnerships). Verčiant naudojamas kiekvieno santrumpos žodžio tiesioginis vertimas. Taip pat termino vertime naudojama perfravavimo strategija. Originalo kalbos žodžiai „public private“ į tikslinę kalbą yra verčiami pridant papildomą žodį „sektorių“, kurio nėra originalo kalboje; *Budget commitments of the Union* – Sąjungos biudžetiniai įsipareigojimai – šio termino vertimo procese yra naudojamos perkėlimo ir struktūros keitimo strategijos. Originalo kalbos daiktavardinis žodis „budget“ į tikslinę kalbą yra verčiamas būdvardiniu žodžiu „biudžetiniai“, be to tikslinės kalbos vertime sukeičiama žodžių tvarka.

Kultūrinio atitikmens strategija - tai kultūrinio originalo kalbos žodžio perkėlimas į tikslinės kalbos žodį, tačiau nevisiškai tikslų.

Lump sums – fiksuotosios sumos - verčiant pažodžiui originalo kalbos žodis „lump“ tikslinėje kalboje reikštų „luitas“, „gabalas“, tačiau žodis yra verčiamas kaip „fiksuotosios“, nes originalo kalboje šis terminas yra priimtas vartoti ekonomikos srityje ir tikslinėje kalboje jo atitikmuo nėra verčiamas tiesiogiai; *GDP per capita* – vienam gyventojui tenkančios bendrosios nacionalinės pajamos (BNP) -lotyniškas originalo kalbos terminas „per capita“ į tikslinę kalbą yra verčiamas „vienam gyventojui tenkančios“. Šis originalo teksto žodžių vertimas į tikslinę kalbą turi panašią reikšmę, tačiau nėra analogiškas atitikmuo.

Transpozicijos strategija - verčiant iš originalo kalbos į tikslinę kalbą yra panaudoti gramatikos pakeitimai:

Integrated territorial investment – integruotos teritorinės investicijos - vertime originalo kalbos vienaskaitinis žodis „investment“ yra pakeičiamas daugiskaitiniu žodžiu „investicijos“. Tikslinės kalbos dokumentuose yra priimtina naudoti šio daiktavardžio daugiskaitą, tačiau originalo kalboje yra naudojama vienaskaita.

Išvados

Apibendrinus teorinius teiginius, atlikta lingvistinė ES struktūrinių fondų finansavimo terminų vertimo strategijų analizė. Lingvistinė analizė parodė kokie terminai buvo rasti, kaip jie verčiami iš anglų į lietuvių kalbą, kokios vertimo strategijos yra naudojamos terminų vertimo procese.

Išanalizavus 57 terminų vertimą iš anglų į lietuvių kalbą, galima teigti, kad populiariausia vertimo strategija, verčiant svarbiausius su ES struktūros fondų finansavimu susijusius terminus, yra pažodinis vertimas. Net 17 terminų buvo versta remiantis šia strategija. Po pažodinio vertimo, dažniausiai naudota struktūros keitimo strategija – 13 terminų. Pripažinto vertimo strategija – 9 terminai. Rečiausiai buvo naudotos kultūrinio atitikmens ir transpozicijos strategijos, atitinkamai 2 ir 4 kartus.

Literatūra

1. Chesterman A., 1997. *Memes of Translation*. Amsterdam/New York: John Benjamins Publishing Company.
2. Dabartinės lietuvių kalbos žodynas, 2017. [žiūrėta 2021-06-26]. Prieiga per internetą: <https://ekalba.lt/dabartines-lietuviu-kalbos-zodynas/terminas?i=17a912f5-3412-433a-806f-ebf74fdb9eff>
3. Europos parlamento ir tarybos reglamentas (ES) Nr.1303/2013. [žiūrėta 2021-04-18]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/lt/TXT/?uri=celex%3A32013R1303#>
4. Keinys S., 2012. Lietuvių terminologijos raida. Vilnius: Lietuvių kalbos institutas.
5. Leonavičienė A., 2013. Teorinės vertimo paradigmos raida ir dabartis. *Kalbų studijos*, Nr. 22, p. 25-31. [žiūrėta 2021-07-13]. Prieiga per internetą: <https://www.kalbos.lt/archyvas5.html>
6. Mickienė I., Briaukienė B., 2016. Lietuvių terminologijos aspektai. Metodinė mokomoji knyga. Vilnius : Vilniaus universitetas.
7. Newmark P. (1988). *A textbook of translation*. New York: Prentice-Hall International.
8. Naida J. (1989). Vertimo mokslas. *Atodangos*. Vilnius: Periodika, p. 215–234.
9. Pažūsis L. (2014). *Kalba ir vertimas*. Vilnius: Vilniaus universitetas. [žiūrėta 2021-07-28]. Prieiga per internetą: http://www.vsk.flf.vu.lt/upl/File/knygos/Kalba_ir_vertimas.pdf
10. Owji Z. (2013). *Translation Strategies: A Review and Comparison of Theories*. [žiūrėta 2021-06-05]. Prieiga per internetą: <https://pdfslide.net/documents/zohre-owji-translation-strategies.html>
11. Seguinot C. (1989). *The translation process*. Toronto: H.G. Publications.
12. Venuti L. (1998). *Strategies of translation*. [žiūrėta 2021-05-17]. Prieiga per internetą: <https://docenti.unimc.it/m.montironi1/teaching/2019/21338/files/introduzione-lingua-inglese-e-teoria-della-traduzione/strategies-of-translation>
13. Vinay J.P., Darbelnet J. (1995). *Comparative Stylistics of French and English*. Amsterdam/ Philadelphia: John Benjamins Publishing Company.

TRANSLATION STRATEGIES OF EU STRUCTURAL FUNDS FINANCING TERMS

Summary

With the recent development of science, technology, economics English language has become essential factor in communication all over the world. It influences terminology especially through translations of the texts in specific fields. Recently, the volume of translations is quite large. This effect can be seen very clearly in the translations of European Union documents. The translations of these documents are complex and require not only accuracy, excellent language skills, but also knowledge of the area to which the text is being translated belongs. Translators have translation problems. To solve them, translators follow certain procedures and principles in order to achieve clarity, accuracy, meaningfulness and quality of translation. Thus, translators use various translation strategies in order to ensure this. The concepts of term and translation, translation theories as well as translation strategies of the terms of EU Structural Funds are analysed in this article.

Key words: Term, EU Structural Funds Funding Terms, Translation Process, Translation Strategies.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Inga Dagilienė

Mokslo laipsnis ir vardas: Magistras

Darbo vieta ir pozicija: Kauno technikos kolegija, lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: vertimas, kalbų dėstymo metodikos, ELT, ESP

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 606 81358, inga.dagiliene@gmail.com

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Inga Dagilienė

Science degree and name: Master Degree

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Lecturer.

Author's research interests: Science of Education, ELT, ESP, Translation.

Telephone and e-mail address: +370 606 81358, inga.dagiliene@gmail.com

TEACHER-STUDENT INTERACTION IN REMOTE LEARNING: ENTITLEMENT AND CONTINGENCY IN REQUESTS TO TURN WEBCAMS ON/OFF

Gabrielė Ivanovaitė

Kaunas University of Applied Engineering Sciences

Abstract

The article aims to problematise a seemingly simple communicative situation that occurs regularly in synchronous remote lessons. By analysing recorded online lessons using a conversation analysis approach, the study examines how teachers formulate and account for requests that students turn their webcams on/off. The analysis of the organisation of requests and how they are made legitimate shows that both requests to turn the cameras on and off are common. While turning the camera on is presented by the requesters as benefiting the teacher (by being something they appreciate), the parents (by reflecting well on them if their child is prepared and participating) or the students (by directly affecting the quality of teaching), turning the camera off is either presented by benefiting the student or is not justified at all, and serves the functions of controlling behaviour or transitioning across stages of the lesson. The study offers pedagogical insights for teachers' working with students in computer-based environments by illustrating adjustment of interactional competences when moving to distance learning.

KEY WORDS. conversational analysis, classroom interactions, requests, distance learning.

Introduction

Effective instruction and classroom management depends on decisions teachers make every minute of every day. While the teacher's background and past experience contribute to making effective and timely decisions about how and when to intervene in classroom disruptions, promote student engagement or change the pace of the lesson, the events unfolding in front of the teacher (and the teacher's ability to perceive them) during the lesson also play a major role in determining what action the teacher should take. Studies show that teachers use different types of cues such as head pose and facial expressions (e.g. Whitehill et al., 2014), gestures and posture (e.g. Grafsgaard et al., 2013) and eye movements (e.g. Krithika & Lakshmi, 2016) to assess student engagement. Like professionals in other fields, such as doctors and chess players, teachers also rely on professional vision and have the ability to seek out and monitor meaningful patterns in their domain (Reingold & Sheridan, 2011; Boshuizen 2009; Lesgold et al. 1988 in Wolff et al., 2016).

The growing popularity of virtual environments and hybrid teaching entailed a number of changes in the way teachers and students interact as each of these environments provides different sociotechnical affordances (i.e. properties of the environment that make certain actions possible (Gibson, 2015)). The fact that the affordances of a virtual environment do not necessarily match those of a physical classroom makes seeing, hearing, talking, writing and other classroom activities that are normally taken for granted more or less possible, or possible in a different form and at a different time.

This study will look into one such case of changes in the social reality of the classroom caused by the shift to synchronous computer-mediated interactions to learn and teach, namely, at how teachers react to whether their students' images are visible or not in online meetings. While teachers come into video conferencing platforms expecting to use the same cues to help them organise their teaching (Yarmand et al., 2021), software such as Zoom or MS Teams provides students with the tools enabling them to choose whether they wished to share their image with the teacher. This deprives teachers of some of the information necessary for classroom management and leads to reports of failing to "read their classrooms and understand students' changing needs in real-time, since their students appear as only a grid of black rectangles" (Yarmand et al., 2021:2). Aware of the necessity for this information for their work, many teachers continue to insist on receiving similar visual information in virtual environments as they did in physical classrooms by asking students to turn their webcams on during meetings (Yarmand et al., 2021).

Considering that requests are generally considered a dispreferred and face-threatening activity in conversation (Levinson, 1983; Schegloff, 1979; Lindstrom, 2005; Taleghani-Nikazm, 2005 in Heinemann, 2006), their structure is typically complex (as it includes various efforts to mitigate their effects), they are often delayed or even avoided altogether. Drawing on ethnomethodology (Garfinkel, 1967) and conversation analysis (Sacks, 1992; Schegloff, 2007), this study will therefore analyse teachers' requests that students turn their cameras on (or off) in four authentic Zoom lessons and how look at how they are made intelligible and legitimate. Using Curl and Drew's (2008) *entitlement and contingency* approach, the paper will look at how teachers design their requests, how they show their entitlement to make such requests and orientation to the contingencies associated with granting them in order to ensure their satisfaction and thus achieve classroom

management and instruction goals as well as sustain a positive classroom climate and relationship with the students.

Literature review

One of the fundamental theories used in studying requests is Brown and Levinson's Politeness Theory (1987), which sees requests as face-threatening for all parties. First, requests endanger the requester's positive face (esteemed self-image) by showing that they are unable or unwilling to perform the action themselves. This threat also increases when the requester chooses a person unable or unwilling to satisfy the request as it suggests they have poor relational knowledge (Johnson, Roloff, Riffée, 2004). The hearer's negative face (desire for autonomy) is threatened by imposing on them, and their positive face may suffer if they choose to refuse the request as they will thus show their unwillingness to help and violate relational expectations.

Considering these challenges, requests are typically avoided, and when they are inevitable, they are designed carefully in order to address all these threats. Curl and Drew (2008) diverge somewhat from the notion of *face* that is often based on a priori ideas about social status and power and base their approach for analysing requests on how each interaction unfolds by exploring the notions of *entitlement* and *contingency*. *Entitlement* is defined as "the speaker's grounds for assessing the likelihood of the request being granted and their concomitant display of their right to make the request" (Craven & Potter, 2010, p. 421). In cases where the request is expected to be satisfied, entitlement is a given and may not be displayed explicitly. In professional settings, it is often associated with institutional roles with making or satisfying certain requests seen as part of someone's job, e.g. as a policeman, carer or teacher (Lindstrom, 2005 in Heinemann, 2006).

Where entitlement is not evident, request can become *marked*, i.e. atypical or irregular. In such cases, an account may be provided as a device to show entitlement (Liu, 2020). An account is an "attempt by one interlocutor to modify other interlocutors' understanding of conduct" (Robinson, 2016, p. 25), e.g. to turn it from irregular to regular by justifying it. When a teacher requests that students turn their webcams on, their entitlement to make such request is not obvious and they can therefore be refused, which is evidenced by the grids of black rectangles that many teachers see in their online lessons. To increase the chances that their request is satisfied, teachers are, therefore, likely to give an explicit account to ensure that students understand the reasons why the teacher is making the request and the relationship between the teacher's job, roles and functions, and seeing their students' images.

The second key notion in Curl and Drew's (2008) approach is *contingency*, which relates to the recipient's ability or willingness to satisfy the request. When formulating the request, contingencies are typically taken into account to ensure that the hearer is able and willing to grant the request before making it. The reasons why students might be unable or unwilling to turn their cameras on are numerous and range from straightforward technical challenges, such as slow internet connection, to more subtle and nuanced factors. There is some evidence to suggest that being observed by the teacher in the classroom produces a significantly different psychological effect on the student compared to having a camera pointed at their face. A number of studies have historically used filming students as a technique to induce anxiety with aims to alter student behaviour or affect their memory (MacIntyre & Gardner, 1994; Steinberg and Horwitz, 1986). More recent research found that students report feeling self-conscious about their appearance and concerned about other people being seen behind them when they have their cameras on in class (Castelli & Sarvary, 2021) and uncomfortable when taking notes in front of the camera due to feeling like they might distract others if they move around (Yarmand et al., 2021). The term *Zoom fatigue* has recently been coined to refer to the detrimental effects of the cognitive load imposed on participants by constant online meetings (Fauville, Luo, Queiroz, Bailenson & Hancock, 2021), which is composed of a number of factors, such as being exposed to a digital mirror for a prolonged period of time, feeling trapped due to inability to move away from the screen and hyper gaze (i.e. constantly having direct eye contact with others). Inadequate familiarity with ICT tools used for communication can also cause techno-stress and cognitive overload (Lamy & Hampel, 2007). The teacher who requests that students turn their camera on has to, therefore, be aware of all the above and consider that students may refuse his/her request due to fatigue, anxiety or another reason.

Research aims, methodology and ethics

Given the challenges with designing requests in this context, the aim of this study is to investigate how teachers resolve the interactional dilemma of getting their students to perform a specific action relating to the (in)visibility of their image in an online lesson (such as turning their camera on), while respecting their independence.

The methodology of the study draws on observation and Conversational analysis (Sacks, 1992; Schegloff, 2007), which is an in-depth qualitative analysis method that examines everyday interactions to

observe “how participants manage interaction as it proceeds” (Wooffitt, 2005:79) and enables researchers examine the “reasoning [...] involved in understanding and producing courses of intelligible interaction” (Heritage, 1988:128). Talking about the notions of *entitlement* and *contingency*, conversational analysis helps to explore how speakers “construct themselves as potentially [having or] lacking entitlement” (Curl and Drew, 2008:148) before they make a particular request.

The present study analyses four sequences from authentic recordings of Zoom lessons for high-school students aged approximately 13-18 that took place in 2020 and 2021. To get the most accurate data and avoid influencing the behaviours of the participants (Hawthorne effect), indirect uncontrolled non-participant observation was chosen, and recordings of said lessons were retrieved from YouTube online video sharing platform, where they had been uploaded by teacher who recorded them. Even though informed consent was not obtained by the researcher from all persons appearing in the recordings, the study has been deemed to adhere to ethical principles as said recordings were publicly available on the YouTube platform at the time of data collection, where the persons recorded could not have had any expectation of privacy. In case the videos were removed by the author from the YouTube Service in the future, reasonable steps were taken to anonymise participant data where screenshots were used in analysis. Moreover, informed consent is generally not considered to be required to conduct observations in educational settings to study “normal educational practices, curricula, or classroom management methods” (Jhangiani, Chiang, Cuttler, & Leighton, 2019, p. 68), i.e. when the researcher does not target individuals or identifiable groups. Finally, this data presented a unique opportunity to investigate the phenomenon of remote learning in secondary schools when it was no longer commonplace thus making other data samples impossible to obtain.

To qualify for selection, the sequences had to include the request to turn their camera on or off, upload a profile picture or perform another action related to showing or hiding their image addressed by the teacher to the students. Talk was transcribed using Jefferson’s (2004) conventions and multimodal annotations follow Mondada’s (2018) conventions. The report of the results proceeds in two parts: (1) analysis of requests to *disappear* (i.e. turn the cameras off or remove profile pictures) and (2) analysis of requests to *appear* (i.e. turn the cameras on or upload profile pictures).

Requests to turn the cameras off

The following two sequences include requests to turn the cameras off. The first of these requests is the most structurally straightforward one including a greeting and an immediate request to turn the microphones and cameras off. In the pause that follows the request, it is satisfied by the majority of students visible on the screen (fig. 1.2.).

1 Tea: hi guys if we could leave our eh cameras off# and our (1.0)

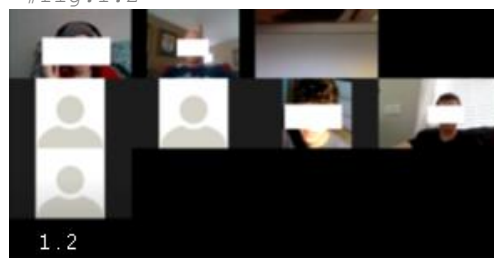
fig

#fig.1.1

2 microphones off that’d be great (26.0)#

fig

#fig.1.2



The teacher uses pronouns ‘we’ and ‘our’ as a positive politeness strategy to establish common ground with the students (Brown and Levinson, 1987) and mitigate the damage he expects to inflict by the request even though he does not actually intend to turn his camera off. No verbal account for this request is provided in the recording, making this conduct marked. As Heritage (1988) suggests, marked conduct is always a signal “to initiate a search for an explanation that is appropriate to the circumstances” (p. 140). Certain reasons for this request can be inferred from what happens later in the recording. At a later stage of the lesson, the teacher presents the rules and expectations for the Zoom meetings (fig. 1) where the don’ts include both having the camera on and using a profile picture, which indicates that the reason students are asked to hide their video is not slow internet connection as this could be solved by replacing the video with a static image. The other requests on the teacher’s list of dos and don’ts, such as asking students not to listen to anything inappropriate for school during the live session, is an indication that the group of students is one that is likely to misbehave, and requesting that students stay muted and have their video off may be a way for the teacher to control

behaviour and keep everyone focused on the content of the lesson rather distracted by their peers. The teacher's assertive display of their entitlement to make the request is, therefore, in line with their chosen role of facilitating learning through control of attention and behaviour.

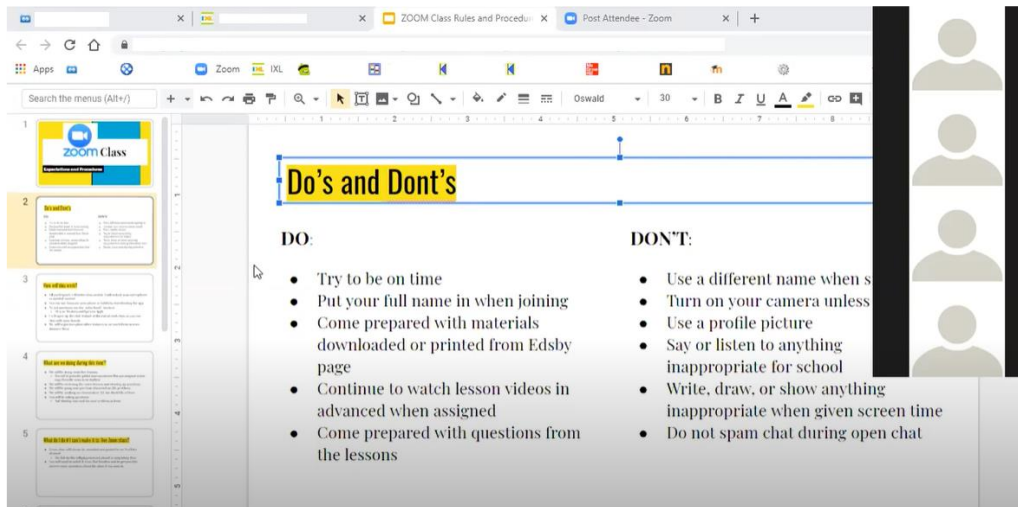
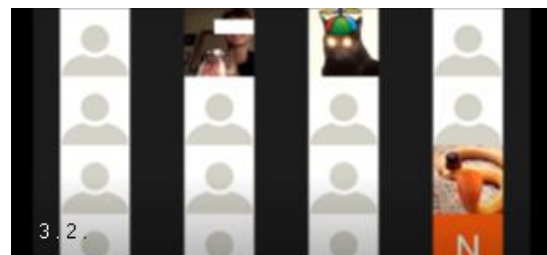
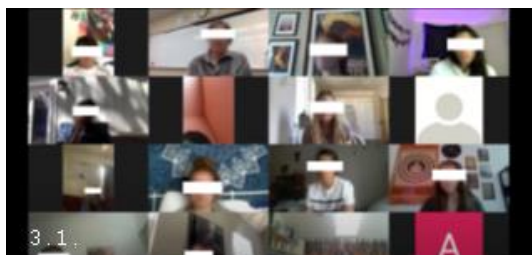


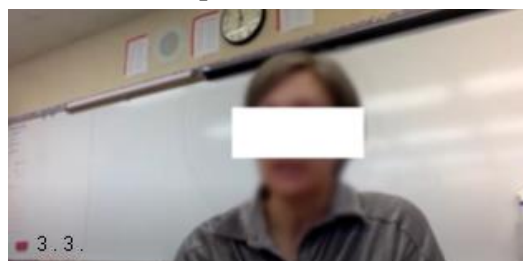
Fig. 1. Slide with classroom dos and don'ts that prohibits the displaying the students' video and images unless asked by the teacher

While the request to turn the camera off was placed at the very beginning of the first recording, immediately after the teacher noticed that the students were entering the Zoom session with their video on, in the second recording, this sequence takes place at the end of the introductory part of the lesson, when the teacher switches from welcoming the students and recording attendance to sharing her screen and focusing on the topic of the lesson (~ seven minutes into the class).

- 1 **Tea:** and# like i said before i really get i really enjoy seeing your guys's
fig #fig.3.1.
- 2 **fa:ces#** so i do see several faces right now which is great but em now
fig #fig.3.2.

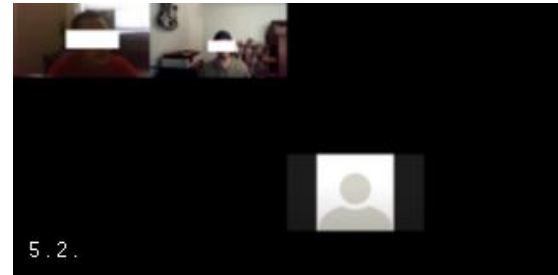
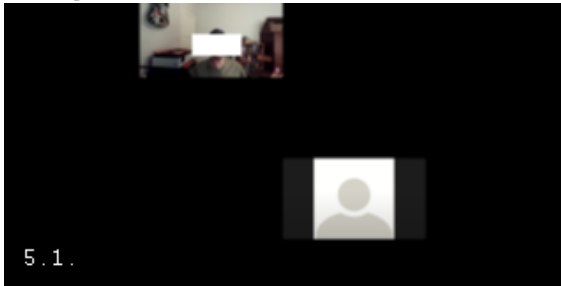


- 3 that i've seen you if you want to turn your em your video off if that
4 helps with the wifi at your house or anything you're more# than
fig #fig.3.3.
- 5 welcome to do that do what you need to do there

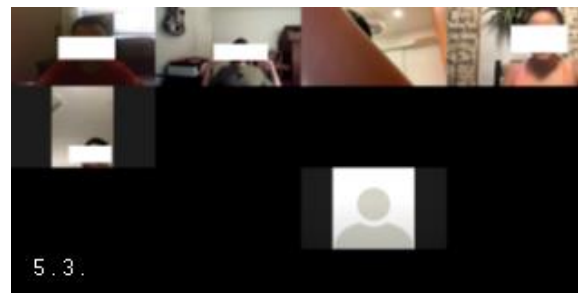


Where the first recording makes it clear that the students' visual presence is not the contribution that is welcomed by the teacher at any point of the online lesson unless explicitly requested, in the second classroom, there is a time and a place for the students to show their faces, and those are the first seven minutes of the lesson, where the teacher looks at the gallery of students, records attendance and interacts with them, which she reportedly enjoys (1. 1-2). As this stage comes to an end, the teacher scrolls across all pages of gallery view

1 Tea: hi guys first off now obviously we've already started class so don't
 2 worry about it today: (.) unless it's really easy for you to fix or
 3 something but it is so fannoying just looking at (1.0) your names
 4 alonef or or just like a monogram of your ini ini your first initial
 5 (.) like may:be at some point you guys can put up a picture of your
 6 face on there so that i'm at least looking at a picture or you could
 7 have your video on and that would be great and i don't feel #like i'm
 8 just talking to no one (.) i feel like i would teach a little bit #fig.5.1.
 9 better if you guys did that but i mean that's (0.5) i'm not going to
 10 like force you guys to something i might later if i fget annoyedf
 11 ((laughter)) like make it into an assignment out of nowhere but yeah
 12 try and try and put a picture you guys have profile picture that you
 13 put on stuff canvas you should all have profile pictures for maybe a
 14 different class forced #you to do that hey anton see now there's at
 fig #fig.5.2.



15 least one person i know em alex had his on too zac awesome cool
 16 #hey guys #fig.5.3.
 fig



The teacher shows a clear understanding on how this request imposes on the students and therefore provides them with options to choose from to satisfy it (either turn their video on or put a static image of themselves). Another demonstration of the teacher's understanding of the contingencies is their suggestions where the students could take the profile picture from (l. 12-14) thus attempting to remove even more hurdles to granting the request. The teacher also gives students time to satisfy his request by stressing that it does not expect for it to be addressed immediately (l. 1-2, 5). To justify the request, the teacher begins by first referencing themselves and how they would be less *annoyed* (ll. 3 & 10) if the students made an effort to turn their video on or upload their picture. Later, crucially, the teacher also points out that, in his view, there is a direct link between the satisfaction of this request and the quality of teaching (ll. 8-9). This, of course, implies that those who would benefit the most from having their cameras on are, in fact, the students. Lines 14-15 and figures 5.2. and 5.3. show that the teachers elaborate approach to designing the request is clearly effective as more and more students gradually turn their cameras on.

Conclusions, limitations and recommendations

This study aimed at problematising the apparently simple communicative situation occurring in synchronous online meetings of teachers and students on a regular basis, i.e. getting the students to show or hide their image. The theoretical analysis revealed that teachers have to deal with a number of challenges when designing their requests to turn the cameras on/off, which have been analysed in terms of Curl and Drew's (2008) notions of *entitlement* and *contingencies*. The empirical analysis of requests to turn the cameras on/off in authentic lesson recordings showed that teachers approach requests in a variety of ways. While most teachers make their requests relatively elaborate using a number of strategies to mitigate their adverse effects and demonstrate their awareness of lack of entitlement as well as their orientation to the contingencies, others make direct and assertive requests thus projecting their perceived entitlement to make such requests without

explaining themselves. Turning the camera on is presented by the requesters as benefiting the teacher (by being something they appreciate), the parents (by reflecting well on them if their child is prepared and participating) or the students (by directly affecting the quality of teaching). Turning the camera off is either presented by benefiting the student or is not justified at all, and serves the functions of controlling behaviour or transitioning across stages of the lesson.

Some of the limitations of the study include the relatively small sample of data and its diversity (e.g. student age, class size, etc.), which does not allow for comparison of data and make it difficult to link strategies and behaviours to certain contexts to understand them better. As requests are normally analysed in terms of minimal pairs (request-response), some of the analysis was also made difficult by the fact that not all recordings were made in the same way and it was not always possible to see whether the students turned their cameras on in response to the request (e.g. because the teacher shifted to speaker view).

On the basis of the conclusions and limitations of this study, future research could investigate the relationships between different strategies of designing a request to identify which techniques make them appear intelligible and legitimate to students, and lead to their satisfaction, and prepare recommendations for professionals working in the field on the basis of the results. Another area to be investigated could be teacher's beliefs about whether cameras are useful in online lessons. In this study, both the theoretical and empirical analysis shows that there is no consensus on whether and when it is beneficial to be looking at the students in online lessons, and where it just creates additional anxiety and fatigue for students and does not have any clearly articulated benefit to the teacher either. In the "Basic Laws of Human Stupidity" (1976) economic historian C. M. Cipolla refers to people who cause losses to others without benefiting themselves *stupid*, which is not the adjective that should be associated with the word *teacher* in any context. Therefore, it is important that teachers do not simply "follow the implicit design assumptions that are built into [the systems], as a path of least resistance" and "cede important judgments they need to be making as teachers to the designers of the application" (Burbules, 2013, p. 174). With remote and hybrid learning gaining popularity, the development of new culture of interaction is inevitable and teachers should be encouraged to take part in the dialogue about the rationale for making classroom management decisions, including, asking for student video to be on or off in order to arrive at a clear understating of why they are making these requests, to be able to justify them and elicit the desired action from students, which are all part of a wider debate about embodiment in interaction, relationships between space and learning and new culture of being and learning together in a world that is becoming increasingly digital.

References

1. Brown, P. Levinson, S. (1987). *Politeness: Some Universals in Language Usage*. Cambridge: Cambridge University Press.
2. Burbules, N. C. (2013). Spaces and places in the virtual university. In Smeyers et al. (eds.), *Educational research: The importance and effects of institutional spaces* (pp. 167-176). Dordrecht: Springer. doi: 10.1007/978-94-007-6247-3_12
3. Castelli, F. R., Sarvary, M. A. (2021) Why students do not turn on their video cameras during online classes and an equitable and inclusive plan to encourage them to do so. *Ecol Evol.* 2021; 11: 3565– 3576. doi: 10.1002/ece3.7123
4. Cipolla, C. M. (1976). *Basic Laws of Human Stupidity*. Bologna: Il Mulino.
5. Craven, A.; Potter, J. (2010). Directives: Entitlement and contingency in action. *Discourse Studies*, 12(4), 419–442. doi:10.1177/1461445610370126
6. Curl, T. S. & Drew, P. (2008) Contingency and Action: A Comparison of Two Forms of Requesting. *Research on Language and Social Interaction*, 41:2, 129-153, DOI: 10.1080/08351810802028613
7. Fauville, G., Luo, M., Muller Queiroz, A. C., Bailenson, J. N., & Hancock, J. (2021). Nonverbal mechanisms predict zoom fatigue and explain why women experience higher levels than men. *SSRN electronic journal*. doi: 10.2139/ssrn.3820035
8. Garfinkel, H. (1967). *Studies in ethnomethodology*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
9. Gibson, J.J. (2015). *The Ecological Approach to Visual Perception: Classic Edition*. Psychology Press.
10. Grafsgaard, J.F., Wiggins, J.B., Boyer, K.E., Wiebe, E.N., Lester, J.C. (2013). *Automatically Recognizing Facial Indicators of Frustration: A Learning-Centric Analysis* (International Conference on Affective Computing & Intelligent Interaction, Geneva).
11. Heinemann, T. (2006). 'Will you or can't you?': Displaying entitlement in interrogative requests. *Journal of Pragmatics*, 38(7), 0–1104. doi:10.1016/j.pragma.2005.09.013
12. Heritage, J. (1988). Explanations as accounts: A conversation analytic perspective. In C. Antaki (Ed.), *Analysing everyday explanation: A casebook of methods* (pp. 127–144). Sage Publications, Inc.
13. Jefferson, G. (2004). Glossary of transcript symbols. *Conversation analysis: Studies from the first generation*, 24-31.
14. Johnson, D. I., Roloff, M. E., Riffe, M. A. (2004). "Politeness theory and refusals of requests: Face threat as a function of expressed obstacles". *Communication Studies*. 55 (2): 227–238. doi:10.1080/10510970409388616

15. Krithika, L.B. & Lakshmi, P.G.G. (2016). Student emotion recognition system (SERS) for e-learning improvement based on learner concentration metric. *Procedia Computer Science* 85, 767–776.
16. Lamy, M., & Hampel, R. (2007). *Online communication in language learning and teaching*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.
17. Liu, S. (2020). Displaying entitlement: Accounts in request sequences. *East Asian Pragmatics*, 5(3), 345–369. <https://doi.org/10.1558/eap.40080>
18. MacIntyre, P. D., & Gardner, R. C. (1994). The subtle effects of language anxiety on cognitive processing in the second language. *Language Learning*, 44(2), 283-305.
19. Mondada, L. (2018). Multiple temporalities of language and body in interaction: Challenges for transcribing multimodality. *Research on Language and Social Interaction*, 51(1), 85-106.
20. Price, P. C., Jhangiani, R. S., Chiang, I. C. A., Leighton, D. C., & Cuttler, C. (2019). 3.4 Putting Ethics Into Practice. *Introduction to Psychology*. <https://openpress.usask.ca/introductiontopsychology/chapter/putting-ethics-into-practice/>
21. Robinson, J. D. (2016). *Accountability in social interaction*. Oxford: OUP.
22. Sacks, H. (1992). *Lectures on conversation*. Oxford: Blackwell.
23. Schegloff, E. A. (2007). *Sequence organization in interaction: A primer in conversation analysis*. Cambridge: CUP
24. Steinberg, F. S., & Horwitz, E. K. (1986). The effect of induced anxiety on the denotative and interpretive content of second language speech. *Tesol Quarterly*, 20(1), 131-136.
25. Whitehill, J., Serpell, Z., Lin, Y.-C., Foster, A., Movell, J. (2014). The faces of engagement: Automatic recognition of student engagement from facial expressions. *IEEE Transactions on Affective Computing* 5(1), 86–98.
26. Wolff, C. E., Jarodzka, H., van den Bogert, N. et al. (2016). Teacher Vision: Expert and Novice Teachers' Perception of Problematic Classroom Management Scenes. *Instructional Science* 44(3):243–65. doi: 10.1007/s11251-016-9367-z
27. Wooffitt, R. (2005). *Conversation Analysis and Discourse Analysis*. New York, NY: Sage.
28. Yarmand, M., Solyst, J., Klemmer, S. & Weibel, N. (2021) "It Feels Like I Am Talking into a Void": Understanding Interaction Gaps in Synchronous Online Classrooms. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '21)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 351, 1–9. doi: 10.1145/3411764.3445240

MOKYTOJO IR MOKINIO SĄVEIKA NUOTOLINIO MOKYMOSI METU: PRAŠYMŲ ĮJUNGTI / IŠJUNGTI KAMERAS ANALIZĖ

Santrauka

Straipsnyje siekiama problematizuoti iš pažiūros paprastą komunikacinę situaciją, atsirandančią nuotolinėse sinchroninėse pamokose. Naudojant pokalbių analizės metodą, tyrime analizuojami nuotoliniu būdu per Zoom platformą vykusių pamokų įrašai ir nagrinėjama, kaip mokytojai formuluoja ir pagrindžia į prašymus, kad mokiniai šiose pamokose įjungtų/išjungtų kameras. Tyrimas rodo, kad nuotolinėse pamokose mokinių prašoma ir įsijungti, ir išsijungti kameras. Prašymų organizavimo ir jų pagrindimo analizė rodo, kad prašymai kameras įsijungti grindžiami įvairiais motyvais, nuo to, kad matyti mokinius mokytojams tiesiog malonu, iki tvirtinimų, kad tai turi tiesioginės įtakos mokymo kokybei. Prašymus kameras išsijungti mokytojai naudoja siekdami disciplinos bei norėdami kontroliuoti mokinių dėmesį (nukreipti jį nuo mokinių prie mokytojo), kad keistų sąveikos modelius ir pereinų nuo vienos pamokos stadijos prie kitos. Tyrime pateikiamos pedagoginės išvalgos mokytojams ir dėstytojams, naudojantiems darbui su mokiniais nuotolinį mokymą, iliustruojant bendravimo kompetencijų kaitos poreikius pereinant prie darbo nuotoliniu būdu.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: pokalbio analizė, bendravimas klasėje, prašymai, nuotolinis mokymasis.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Gabrielė Ivanovaitė

Mokslų laipsnis ir vardas:

Darbo vieta ir pozicija: Kauno technikos kolegijos studijų programų departamento asistentė

Autoriaus mokslinių interesų sritys: taikomoji kalbotyra, daugiakalbystė, multimodalumas, užsienio kalbų mokymas

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 601 52592, gabriele.ivanovaite@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author's name, surname: Gabrielė Ivanovaitė

Scientific degree and name:

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Assistant Lecturer

Author's research interests: applied linguistics, multilingualism, multimodality, foreign language teaching.

Telephone and e-mail address: +370 601 52592, gabriele.ivanovaite@edu.ktk.lt

STUDY OF SKILLS OF YOUNG ENGINEERS IN THE CONTEXT OF THE ADD_ON_SKILLS PROJECT

Airida Tylienė¹, Dorota Anna Krawczyk², Beata Biernacka²

¹Vilnius College of Technologies and Design, ²Bialystok University of Technology

Abstract

The article presents the results of a quantitative study carried out in 2022 implementing the Erasmus+ project “Advanced Digital Design Course ON Modern Buildings Developing SKILLS of Young Engineers“ activity “Intensive Programmes for Higher Education Learners“. The study discusses the newly acquired and developed during blended mobility skills of students and young engineers, which are important for their future career and integration in the international labour market, it also looks at the impact of teamwork, work at the international scope, blended mobility, interdisciplinarity, applied methods and work forms on the acquisition, improvement and development of skills on the initiation, development and implementation of projects in international groups. The students identified the most important opportunities and areas of applying the newly formed and developed skills in their future careers.

KEY WORDS: skills, interdisciplinary course, blended mobility, student projects.

Introduction

Modern studies, like many other fields, including the construction sector, are constantly facing various challenges, such as the effects of the COVID-19 pandemic, which has accelerated the trend towards distance and hybrid learning; the changes dictated by Industry 4.0, without which the changes in today’s modern and constantly evolving society are no longer conceivable, and the growing need to change the educational process, the organization and the content of studies, and to develop the new skills and competencies required by the professionals of the future as part of the Education 4.0 (Engineering Education 4.0. ..., 2016). It is societal challenges that require not only a new type of engineer, but also the need for related interdisciplinary engineering education: aims to teach engineering students to bring together knowledge from different disciplines in one context (Van den Beemt, A., etc., 2020). Critical thinking, complex problem-solving, creativity, cognitive flexibility, decision-making, emotional intelligence, collaboration, resource management, practical and digital skills, etc. will all be essential for the workforce of the future in 2030. (The 10 skills..., 2016; Top Skills Engineers..., 2020; SKILLS FOR 2030, 2019), as they will work in a global, diverse and technologically advanced work environment (Lattuca, L.R., etc., 2017). This is supported by preliminary studies on the competences of engineering and technology graduates, and by the European Commission’s objectives for education, such as revitalizing positive future prospects for young people, promoting youth employment, making active use of the various opportunities and long-term tools available to young people at the EU, national, regional and local levels, supporting their personal, social, economic and professional development, integrating sustainability, digitization and interdisciplinarity into the curricula of studies and so on (Commission welcomes ..., 2021). Projects under various European Union programmes also contribute to these objectives. One of these is the Erasmus+ project “Advanced Digital Design Course ON Modern Buildings Developing SKILLS for Young Engineers“ (ADD_ON_SKILLS; 2020-1-PL01-KA226-HE-095244), implemented during 2021-2023 in cooperation with partners from Bialystok University of Technology (BUT), Vilnius College of Technologies and Design (VTDK), Rezekne Academy of Technologies (RTA), University of Cordoba (UCO), University of Florence (UNIFI) and the Bialystok Department of the Polish Association of Civil Engineers and Technicians in Poland (PZITB), which understand the inevitability of change in the education system and have a wide range of experience in the field of designing low-energy and environmentally-friendly buildings for sustainable cities. Specifically, the activities of this project aim to responsibly assess the multifaceted challenges and to develop the necessary skills for future engineers in a diversified way: the project is developing the innovative interdisciplinary course learning module, so that, if necessary, the whole course can be delivered to the young engineers by distance learning (Advanced Digital ..., 2021).

The relevance of the study on skills of young engineers is significant, as to a large extent it is skills that determine a student’s career success, rapid and purposeful entry into the international labour market, etc. The analysis of various sources, documents, studies and reports shows that there are still many unexplored issues and problematic aspects in the analysis of the skills of young engineering students for their future careers. Skills research tends to focus on single specific skills which are usually examined as one of the three dimensions of competences, with a focus on competences rather than on individual dimensions, and skills research does not seek to see their links to future engineering perspectives. The limited field of research is also

evident when analyzing pupils' skills, while higher education does not carry out research on a holistic scale. Thus, one of the most pressing issues to be explored remains the young engineers' newly acquired and previously developed skills gained during the blended mobility, which are needed for their future careers.

Object of the study – young engineers' newly acquired and previously developed skills needed for future professional success.

Aim of the study – to identify the newly acquired and previously developed skills of young engineers gained during the interdisciplinary course and the factors and conditions that influenced them.

Objectives:

1. to identify the most common newly acquired and previously developed skills gained during the course by the engineering students, taking into account the nature of learning and work at different stages of the course;

2. to identify the most effective methods and working tools for acquiring and developing previously acquired skills;

3. to describe the impact of blended mobility, working in international groups and interdisciplinarity on acquisition and development of skills during the interdisciplinary course;

4. to identify the skills that students consider to be least or insufficiently developed;

5. to describe the perspectives and areas of application of the skills acquired and developed during the course in future engineering activities.

Research methodology: quantitative research, content analysis (analysis of the opinions of engineering students participating in the interdisciplinary course of the project on the basis of a pre-developed research instrument – questionnaire).

Research progress, results and interpretation

The research methodology was developed by a group of researchers who participated in various activities of the project “Advanced Digital Design Course ON Modern Buildings Developing SKILLS for Young Engineers“, including virtual and on-site learning. The research team's methodology and questionnaire for the student skills survey took into account the main objectives of the project and the aim to provide students with both soft competences and specific engineering knowledge and skills for a successful entry into the international labour market, blended learning, specifics of working in international teams, course interdisciplinarity and own personal research experience of carrying out projects in the field of the development of students' practical skills⁷ as well as the personal insights prior to the start of the project.

The research was carried out in September-October 2022, in accordance with the basic principles of research ethics. The research was carried out using the questionnaire consisting of 19 questions: 1 general question (institution of higher education) and 18 closed, open and semi-closed questions, which aimed to identify the impact of interdisciplinary course on the acquisition and development of the skills students have acquired and developed during the course, blended mobility, working in international teams, interdisciplinarity, impact of applied methods and work forms for the acquisition of skills and development, and the prospective applicability of the skills to their future careers.

The survey instrument (questionnaire) was administered to the students remotely via on-line forms to ensure anonymity of the respondents at the end of the blended mobility organized during the project. The time available to complete the questionnaire was unlimited. All respondents completed the questionnaire in full (100% return rate).

A purposive research sample (representative, N=20) was drawn to measure the skills of future engineering students: all 20 students who participated in blended mobility (virtual and on-site summer school at Bialystok University of Technology in Poland) in June-July 2022 in the framework of “Intensive Programmes for Higher Education Learners“ under the guidance of lecturers from 5 countries, were included in the research. The participants were the first cycle undergraduate students who have completed at least four study semesters in engineering degree programmes (for example: Civil Engineering, Engineering Systems of Building, etc.) at Bialystok University of Technology (4 students), Vilnius College of Technologies and Design (5 students), Rezekne Academy of Technologies (3 students), University of Cordoba (4 students) and University of Florence (4 students). During blended mobility, students studied the material of the virtual modules nZEB and low energy buildings, HVAC systems, RE sources, BIM and IoT, and during the summer school at Bialystok University of Technology, they worked in international teams on interdisciplinary projects to address the challenges and problems of modern, smart buildings.

⁷ For example, Erasmus+ project “Virtual and Intensive Course Developing Practical Skills of Future Engineers“ (VIPSKILLS) No.2016-1-PL01-KA203-026152 (website of the project: <http://www.vipskills.pb.edu.pl/>).

At the beginning of the survey, the respondents were given brief textual information about the research and instructions for completing the questionnaire. In order to determine the personal opinion of each student during the survey, targeted skills were not discussed or elaborated on before the questionnaire was completed. The survey was then administered remotely via on-line forms, with each student personally provided with a link to access the questionnaire online. The questionnaire was administered gradually, sequentially, taking as much time as the students needed to complete it, without the possibility of returning to a previous question, thus aiming at the initial personal reflection of the student, which is not influenced by the subsequent answer options or other questions. No additional visual or textual information was provided to students. Students were given a choice of both single and multiple answer options without having to choose from a list of options.

The results of the summarized survey highlighted a common set of skills, i.e. what new skills the students acquired during the course and what previously acquired skills they improved or developed, what factors were most significant for the changes, how they influenced the acquisition and development of the skills and what opportunities and areas the young engineers from Poland, Lithuania, Latvia, Italy and Spain see for the application of skills in the future engineering profession. The survey data are presented in a summarized, descriptive way.

The questionnaire used for the survey includes questions on newly acquired skills, questions on the improvement and development of previously acquired skills, the application of skills in the future engineer's professional life, etc.

In order to identify which new skills the young engineers think they have acquired during blended mobility, students were asked a semi-closed question on which area of new skills they have acquired the most in the project, and then asked to rate the percentage of skills in each area. Students were given a choice of skills areas to select and tick multiple answers: social, linguistic (communicative), psychological, professional and other skills. The analysis of the data shows that students who participated in the interdisciplinary course most frequently identified linguistic (communicative) (85% of all young engineers in the survey), social (80% of all young engineers in the survey) and professional skills (65% of all young engineers in the survey) as newly acquired. A separate question asked students to rate their skills in each area separately on a scale from 0 to 100% – students were able to choose multiple answers, so the frequency of choices was analyzed after the data was aggregated. The aggregated data shows that half of the future engineering professionals consider that they have acquired around 51-70% of new social skills and 71-90% of new linguistic (communicative) skills during the course. 50% of all young engineers participating in the survey considered that they have acquired on average about 31-50% of their psychological skills during the course, while 35% of all young engineers indicated that they have acquired the most, i.e. about 91-100% of their new professional skills. 40% of all students in the survey felt that they had acquired the most personal skills (51-70% of all respondents), while another 20% felt that they had acquired 31-50% of other skills. In response to another open-ended question in this group, which sought to identify the specific skills that respondents felt that they had acquired, the most frequently identified new skills were those in the professional and social spheres: teamwork, working in an international environment, working with new computer programmes (especially in the areas of static information modelling and programming), and skills needed in the future of the professional engineering career. Another closed-ended question asked students to identify which phase of teamwork during the summer school they felt they had learnt the most new skills in, with five multiple-choice questions: initiating (forming), planning, executing, completing, presenting (publicizing). The most common answer choices were: initiating (forming) (65% of all young engineers participating in the survey) and planning (65% of all young engineers participating in the survey). The least new skills were considered by students to be acquired in the completing phase (20% of all young engineers participating in the survey).

In order to identify which previously acquired skills have been improved and developed by the participants of the interdisciplinary course, the students were asked an open-ended question “Which previously acquired skills have you improved or developed during the course?”, and then the participants were asked to rate the percentage of the skills they have identified that have been improved or developed from the beginning to the end of the course. The analysis of the data shows that young engineers who participated in the interdisciplinary course most frequently identified the following skills as improved or developed previously acquired skills: teamwork (90% of all respondents), foreign language (80% of all respondents), planning, organization and management (75% of all respondents), designing and application of computer programmes (70% of all respondents), collaborative problem-solving (60% of all respondents) and creativity and critical evaluation skills (60% of all respondents). During the survey the students were also asked whether the skills were developed evenly between virtual and on-site training. Students were asked a closed-ended question with four possible answer options: yes, partly, no, no opinion. The summarized answers showed that 45% of the students thought that the skills were improved and developed evenly, 40% – somewhat evenly. One of the

reasons given for this partial development was the students' personal experience that the virtual part of the course was slightly more challenging than the on-site training. The other two open-ended questions in this group were provided to the young engineers asking which skills were the most developed during virtual training and which during on-site training. According to the young engineers, the skills they developed most during the virtual training were linguistic (communicative), professional, social and personal skills. Examples of skills included: foreign language skills, digital and computer skills, individual work and time management skills, etc. During the on-site training, the young engineers considered that they mainly developed their linguistic (communicative), social and professional skills: teamwork and international working and cooperation skills, foreign language skills, critical thinking and problem solving skills, professional skills in programming and working with different computer applications, skills in identifying and applying interdisciplinary links, etc. In response to another open-ended question on the impact of the blended mobility on skills development, the young engineers from Poland, Lithuania, Latvia, Italy and Spain indicated that blended mobility had a positive and very important and significant impact on the improvement and development of their pre-existing skills, as blended mobility allowed them not only to learn a lot of new things in a short period of time, but also to develop their skills in different areas through this new knowledge and experience. Also, students who participated in the interdisciplinary course, indicated in their answers that blended mobility was a completely new and exciting experience for them, combining virtual and on-site training, which allowed them to develop their skills in an international, interdisciplinary environment. The young engineers were also asked about the impact of working in international groups on the development of their previous skills: students were asked a closed-ended question with five response options: high (significant), medium, low, no impact, no opinion. Summarizing of responses, the most frequent response was that working in international groups had a high (significant) impact on the development of previously acquired skills (65% of all respondents). None of the respondents chose the response options: little, no influence, no opinion. The young engineers felt that working in international groups had the greatest impact on improving and developing their linguistic (communicative), social, professional, personal and psychological skills: from foreign language and communication barrier-breaking skills to cooperation, problem-solving and teamwork, to the understanding of how to use different methods, and also to specific design, programming and other professional skills. Another close-ended question was provided to the respondents asking to identify which phase of teamwork during the summer school had the most improvement in the skills previously acquired by the students – five multiple-choice questions were asked: initiating (forming), planning, executing, completing and presenting (publicizing). Students from Poland, Lithuania, Latvia, Italy and Spain were most likely to choose the execution phase (75% of all students who participated in the survey) and the planning phase (65% of all students who participated in the survey) when answering this question. Students were least likely to consider previously acquired skills to be refined and developed in the initiation (formation) phase. Comparing students' views on newly acquired skills and previously acquired skills improved and developed, it can be seen that in the planning phase, students mostly both acquired new skills and developed previously acquired skills, while in the initiation (formation) phase, more students acquired new skills than developed previously acquired skills. In addition, the young engineers were asked what skills they felt were insufficiently developed during the interdisciplinary course. Students answered this open-ended question in a reserved manner, and one clear trend did not emerge from the analysis of the data, although the majority of respondents indicated that they did not lack anything, and that all the skills they considered necessary had been adequately and purposefully developed. Only individual personal opinions and individual perceptions of deficiencies were recorded. Individual respondents identified conflict resolution and compromise skills, leadership skills and more versatile computer skills as skills that were not sufficiently developed.

During the survey, the young engineers were also asked which methods and forms of work they found most effective in acquiring new skills and developing previously acquired skills. In response to this open-ended question, students most often indicated that they considered that teamwork in an international and interdisciplinary context, blended learning, problem-oriented learning and discussion, project work and learning in a real environment with real examples had the greatest impact on the acquisition and development of skills. During the survey, the students were also asked a closed-ended question "Did interdisciplinarity have a significant impact on the development of skills and the formation of new skills?" with four response options: yes, partly, no, no opinion. The summarized answers showed that 45% of the students thought that interdisciplinarity had a significant impact on the development of skills and the formation of new ones, while 35% of the students thought it had a significant impact to some extent. 10% of students indicated that they did not think that interdisciplinarity had a significant impact on the development of skills and the formation of new ones, and another 10% of students did not have a clear opinion on this issue. Students were also asked which specific skills were most influenced by interdisciplinarity. The analysis of the data showed that young

engineers most often found that interdisciplinarity had the greatest impact on the formation and development of their linguistic (communicative), social and personal skills. The questionnaire for the students from Poland, Lithuania, Latvia, Italy and Spain who participated in the interdisciplinary course also included open-ended questions about the applicability of the newly acquired, improved and developed skills in their future engineering activities and professional life. The students were also asked where, in their opinion, the skills could be applied. In response to these open-ended questions, the young engineers indicated that all their newly acquired and developed skills, in particular linguistic (communicative), teamwork, analytical and problem-solving skills, programming and working with Revit and other applications, planning, organization and management skills, also professional skills could be applied to their future engineering career. The latter are essential for decision-making, selection of tools, materials, systems, energy efficiency issues, preparation of the final thesis, projects, research and integration of interdisciplinary experience and skills, communication with clients, contractors, employees, achieving qualitative progress and innovation at international level, etc.

In summary, the research shows that blended mobility, the interdisciplinary context and internationalization, the appropriate choice of teaching methods and forms of work, etc., had a significant impact on both the development of new skills and refinement and development of previously acquired skills. The linguistic (communicative), professional, social and other skills formed and developed during the interdisciplinary course are in some way confirmed not only by the *Community of Inquiry for Online Learning*⁸ observations on the development of skills in these areas using distance learning tools and formats, but also corresponds to the main objective of the ADD_ON_SKILLS project to improve the linguistic competence and interpersonal skills of the participants, to increase multicultural awareness and to acquire specific engineering knowledge and skills and to prepare young engineers for the international labour market.

Conclusions

1. Young engineers who participated in the interdisciplinary course, most often identified the following as newly acquired skills: linguistic (communicative), social and professional skills; teamwork, working in an international environment and working with new computer applications. In the young engineers' opinion, these were mostly acquired through teamwork in the initiation (design) and planning phases of the project. The skills most frequently identified by the young engineers as skills that were improved and developed during the course were teamwork, foreign language, planning, organization and management, design and application of computer programmes, cooperation in problem solving, creative work and critical evaluation. These were in the opinion of the majority of students, developed evenly between virtual and on-site training, especially during the teamwork phase of the project planning and execution: virtual training focused on the development and refinement of linguistic (communicative), social and professional skills, while on-site training focused on the development and refinement of linguistic (communicative), social and professional skills.

2. According to the young engineers' opinion, the most influential factors in the acquisition and development of new skills were teamwork in an international and interdisciplinary context, blended learning, problem-oriented learning and discussion, project work, and learning in a real-world environment with real examples.

3. Blended mobility, international group work and the interdisciplinarity of the course had a positive and highly relevant and significant impact on the acquisition of new skills and the improvement and development of students' pre-existing skills, in particular linguistic (communication), social, professional, personal and psychological skills.

4. The majority of students who participated in the survey claimed that there were no underdeveloped skills – all the necessary skills had been adequately and purposefully developed and refined. Only a few individual students identified conflict resolution and compromise, leadership, and more versatile computer skills as underdeveloped.

5. The young engineers believe that in the future all the skills they have newly acquired and developed during the course, ranging from linguistic (communicative) and social skills to personal and professional skills, could be applied in their future engineering activities. They are relevant and crucial both for the preparation of their studies now and for their later entry into the competitive international labour market.

References

1. *Advanced Digital Design course ON modern buildings developing SKILLS for young engineers* (2021). Access via the Internet: < <https://addonskills.pb.edu.pl/about/> >

⁸ Website of the community: <https://coi.athabascau.ca>

2. *Commission welcomes the political agreement on the European Year of Youth* (2021). Access via the Internet: < https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_6648 >
3. *Community of Inquiry for Online Learning* (2022). Access via the Internet: < <https://coi.athabasca.ca/> >
4. *Engineering Education 4.0. Excellent Teaching and Learning in Engineering Sciences* (2016), Springer International Publishing AG. ISBN 978-3-319-83619-5.
5. Lattuca, L.R.; Knight, D.B.; Ro, H.R.; Novoselich, B.J. *Supporting the Development of Engineers' Interdisciplinary Competence* (2007). Access via the Internet: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jee.20155> >
6. *SKILLS FOR 2030* (2019). Access via the Internet: < https://www.oecd.org/education/2030-project/teaching-and-learning/learning/skills/Skills_for_2030.pdf >
7. *The 10 skills you need to thrive in the Fourth Industrial Revolution. World economic forum.* (2016). Access via the Internet: < <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-10-skills-you-need-to-thrive-in-the-fourth-industrial-revolution> >
8. *Top Skills Engineers Will Need for the Future. New Engineer.* (2020). Access via the Internet: < <https://newengineer.com/advice/top-skills-engineers-will-need-for-the-future-1413674> >
9. Van den Beemt, A.; MacLeod, M.; Van der Veen, J.; Van de Ven, A.; Van Baalen, S.; Klaassen, R.; Boon, M. *Interdisciplinary engineering education: A review of vision, teaching, and support* (2020). Access via the Internet: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jee.20347> >

JAUNŲJŲ INŽINIERIŲ ĮGŪDŽIŲ TYRIMAS ADD_ON_SKILLS PROJEKTO KONTEKSTE

Santrauka

Straipsnyje pristatomi tyrimo, atlikto 2022 m. įgyvendinant Erasmus+ projektą „Advanced Digital Design course ON modern buildings developing SKILLS for young engineers“ rezultatai. Siekiant išanalizuoti, jaunųjų inžinierių – studentų iš Lenkijos, Lietuvos, Latvijos, Italijos ir Ispanijos – projekto metu vykusio mišraus mobilumo metu naujai įgytus ir plėtotus įgūdžius, svarbius jų ateities karjerai ir integracijai tarptautinėje darbo rinkoje, tyrimo metu kaip pagrindinis tyrimo instrumentarijus naudotas klausimynas, sudarytas iš atviro, uždaro ir pusiau uždaro tipo klausimų. Apibendrinus tyrimo rezultatus nustatyta, kad tiek naujų įgūdžių formavimui, tiek anksčiau įgytų įgūdžių tobulinimui ir plėtojimui reikšmingą įtaką darė mišrus mokymas, tarpdalykinis kontekstas bei tarptautiškumas, tinkamai parinkti mokymo metodai bei darbo formos ir kt. Tarpdalykinio kurso metu išskirtinai formuoti bei plėtoti kalbiniai (komunikaciniai), profesiniai, socialiniai ir kiti jaunųjų inžinierių įgūdžiai. Straipsnyje taip pat įvardinamos ir studentų nuomone reikšmingiausios naujai suformuotų ir plėtotų įgūdžių pritaikymo ateities profesinėje veikloje galimybės ir sritys: priimančios sprendimus, parenkant priemones, medžiagas, sistemas, sprendžiant energijos efektyvumo klausimus, rengiant baigiamąjį darbą, projektus, vykdančios tyrimus ir integruojant tarpdalykinę patirtį ir įgūdžius, komunikuojant su užsakovais, rangovais, darbuotojais, siekiant kokybinės pažangos ir inovacijų tarptautiniu lygmeniu ir kt.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: gebėjimai, tarpdisciplininis kursas, mišrus mobilumas, studentų projektai.

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Airida Tylienė.

Science degree and name: Master, lecturer.

Workplace and position: Vilnius College of Technologies and Design, Vice Dean of Civil Engineering faculty, Civil Engineering department lecturer.

Author's research interests: community based projects and research, students' research competencies, involvement of communities in research, study innovations.

Telephone and e-mail address: +370 640 52923, a.tyliene@vtdko.lt

Author name, surname: Dorota Anna Krawczyk.

Science degree and name: Assoc. Prof., DSc, PhD, Eng. in Environmental Engineering.

Workplace and position: Bialystok University of Technology, Department of HVAC Engineering.

Author's research interests: higher education, environmental engineering, energy.

Telephone and e-mail address: +48 797 995 926, d.krawczyk@pb.edu.pl

Author name, surname: Beata Biernacka.

Science degree and name: PhD, Eng.

Workplace and position: Bialystok University of Technology, Department of HVAC Engineering, Research scientist.

Author's research interests: HVAC systems.

Telephone and e-mail address: +48 662 131 555; b.biernacka@pb.edu.pl

ISSN 2029-9303

INŽINERINĖS IR EDUKACINĖS TECHNOLOGIJOS
2022 Nr. 2

Lietuvių kalbos redaktorė **Sonata Paulauskienė**
Užsienio kalbos redaktorė **Judita Štreimikienė**

Tiražas 70 egz. 159 psl. Parengimo spaudai data 2021-11-30
Išleido Kauno technikos kolegija, Tvirtovės al. 35, LT-50155 Kaunas

www.ktk.lt

El.p. ktk@edu.ktk.lt

Spausdino KTU spaustuvė/leidykla „Technologija“, Studentų g. 54, LT-51424 Kaunas

<http://ktu.edu/lt/leidykla>

El.p. leidykla@ktu.lt