

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, 2023

Vyriausioji redaktorė Doc. Dr. Lina Girdauskienė <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)</i>	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Mokslinė sekretorė Doc. Dr. Giedrė Adomavičienė <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)</i>	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Vykdančioji redaktorė Doc. Dr. Esmeralda Štyps <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Redaktorių kolegija/Editorial Board:	
Doc. Dr. Jurgita Barynienė <i>Kauno technologijos universitetas/Kaunas University Of Technology (Lietuva/Lithuania)</i>	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Dr. Ali Can <i>Karabuk universitetas/ Karabuk University (Turkija/Turkey)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Andrius Dargužis <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Sandra Ežmale <i>Malnava kolegija/ Malnava College (Latvija/Latvia)</i>	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Prof. Dr. Genutė Gedvilienė <i>Vytauto Didžiojo universitetas/ Vytautas Magnus University (Lietuva/Lithuania)</i>	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Dr. Ivans Griņevičs, <i>Rygos technikos universitetas/Riga Technical University (Latvija/Latvia)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Viktors Gutakovskis <i>Rygos technikos universitetas/Riga Technical University (Latvija/Latvia)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Ernestas Ivanauskas <i>Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University of Technology (Lietuva/Lithuania)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Prof. Habil. Dr. Gál József <i>Šegedo universitetas/ University of Szeged (Vengrija/Hungary)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Darius Kybartas <i>Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University Of Technology (Lietuva/Lithuania)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Prof. Dr. Roy Knechtel <i>Šmalkaldeno taikomųjų mokslų universitetas/University of Applied Sciences Schmalkalden (Vokietija/Germany)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Daiva Lepaitė <i>Vilniaus universitetas/Vilnius University (Lietuva/Lithuania)</i>	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Prof. Dr. Zbigniew Lukasik <i>Radomo Kazimiero Pulaskio technikos ir humanitarinis universitetas/ Casimir Pulaski University of Radom (Lenkija/Poland)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Jonas Matijošius <i>Vilniaus Gedimino technikos universitetas/ Vilnius Gediminas Technical University (Lietuva/Lithuania)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Tomas Mickevičius <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences

Doc. Dr. Vytenis Naginevičius <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Rosita Norvaišienė <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Prof. Dr. Tomasz Perzyfiski <i>Radomo Kazimiero Pulaskio technikos ir humanitarinis universitetas/ Casimir Pulaski University of Radom (Lenkija/Poland)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Virgaudas Puodžiukas <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Alfredas Rimkus <i>Vilniaus Gedimino technikos universitetas/ Vilnius Gediminas Technical University (Lietuva/Lithuania)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Doc. Dr. Marius Saunoris <i>Kauno technologijos universitetas/ Kaunas University of Technology (Lietuva/Lithuania)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Prof. Dr. Rainer Schackmar <i>Šmalkaldeno taikomųjų mokslų universitetas/University of Applied Sciences Schmalkalden (Vokietija/Germany)</i>	Socialiniai mokslai/ Social Sciences
Doc. Dr. Raimondas Šadzevičius <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Prof. Dr. Boris Tudjarov <i>Sofijos technikos universitetas/ Technical University of Sofia (Bulgarija/Bulgaria)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Prof. Dr. Slawomir Wierzbicki <i>Varmijos Mozūrų universitetas/ University of Warmia and Mazury (Lenkija/Poland)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences
Dr. Rasa Žygienė <i>Kauno technikos kolegija/ Kaunas University of Applied Engineering Sciences (Lietuva/Lithuania)</i>	Technologijos mokslai/ Technological Sciences

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

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

Redakcijos adresas:

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

Address:

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

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

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

© Kauno technikos kolegija, 2023
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 įtrauktas į tarptautinę duomenų bazę 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 – inžinieriniai, edukaciniai sprendimai, kurie aktualūs pramonės sektoriui bei studijų proceso tobulinimui.

Veikdami kartu ir atliepdami naujausias tendencijas, mokslininkai gilinaisi į skirtinguose sektoriuose egzistuojančias spręstinas problemas: *elektronikos ir energetikos srityje* – S. Kašėta ir V. Grimaila - „Radijo bangų sklaidimo Aster modelių tyrimas 5G tinkle“, L. Samuolis, V. Mokšis - „Elektronikoje naudojamų kaištinių aušinimo radiatorių aušinimo efektyvumo tyrimas: eksperimentiniai tyrimai ir jų rezultatų palyginimas su skaitmeninio modeliavimo rezultatais“, T. Vengalis, V. Mokšis - „Šilumos mainų atviruose šaldytuvuose skaitmeninio modeliavimo metodika“, A. Šešok, D. Cicėnas - „Elektrinio verpimo taikymas audinių inžinerijoje“.

Fizinių ir mechanikos mokslų srityje publikuojami straipsniai: V. Gutakovskis, E. Gerins, A. Avisane „Precision of stainless steel turning process depending on the cutting tool wear“, P. Milius „Influence of Agricultural systems of different intensity on soil physical properties and phosphorus washout“. Statybos inžinerijos srityje: R. Šadzevičius, D. Ramukevičius, R. Motienė, B. Požėrienė - „Marijampolės apskrityje esančių hidromazgų atraminių sienų temperatūrinių - deformacinių siūlių būklės vertinimas“.

Transporto srityje: T. Mickevičius - „Transporto srautų Jonavos mieste modeliavimas“, D. Juodvalkis, M. Mažeika - „Elektrinio automobilio įkrovimo procesas: BMW I3 atvejo analizė“, D. Juodvalkis - „Dyzelinių variklių pritaikymas dujiniais degalais: automobilio BMW 320d atvejo studija“, T. Mickevičius - „Dyzelinio variklio, dirbančio trikomponenčiais degalais, darbo rodiklių ir deginių emisijos tyrimas“, E. Štys - „Orlaivio variklio stendo konstrukcijos projektavimas“.

Greta inžinerinės krypties straipsnių, leidinyje publikuojami ir *socialinių mokslų krypties tyrimai*: P. Nefas - „Skaitmeninio parašo vizualizavimo taikymas mokymo procese“, K. Vitkauskas - „Teisės gauti paslaugas, įgalinančias asmenį su negalia gyventi savarankiškai, užtikrinimas“.

Tikime, kad kiekvienas tyrimas suteiks daugiau žinių, sudarys prielaidas naujų tyrimų idėjų atsiradimui.

Sveikiname visus šio numerio autorius!

Su pagarba,
Vyriausioji redaktorė

Socialinių mokslų dr Lina Girdauskienė

TURINYS

RADIJO BANGŲ SKLIDIMO ASTER MODELIU TYRIMAS 5G TINKLE	7
Stasys Kašėta ¹ , Vitas Grimaila ² Kauno technikos kolegija ¹ , Kauno technologijos universitetas ²	
ELEKTRONIKOJE NAUDOJAMŲ KAIŠTINIŲ AUŠINIMO RADIATORIŲ AUŠINIMO EFEKTYVUMO TYRIMAS: EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI IR JŲ REZULTATŲ PALYGINIMAS SU SKAITMENINIO MODELIAVIMO REZULTATAIS	13
Laurynas Samuolis, Vadim Mokšin Vilniaus Gedimino technikos universitetas	
ŠILUMOS MAINŲ ATVIRUOSE ŠALDYTUVUOSE SKAITMENINIO MODELIAVIMO METODIKA	20
Tadas Vengalis, Vadim Mokšin Vilniaus Gedimino technikos universitetas	
ORLAIVIO VARIKLIO STENDO KONSTRUKCIJOS PROJEKTAVIMAS	26
Esmeralda Štyps Kauno technikos kolegija	
TRANSPORTO SRAUTŲ JONAVOS MIESTE MODELIAVIMAS	34
Tomas Mickevičius Kauno technikos kolegija	
ELEKTRINIO AUTOMOBILIO ĮKROVIMO PROCESAS: BMW I3 ATVEJO ANALIZĖ	39
Darius Juodvalkis, Marius Mažeika Kauno technikos kolegija	
DYZELINIŲ VARIKLIŲ PRITAIKYMAS DUJINIAMS DEGALAMS: AUTOMOBILIO BMW 320D ATVEJO STUDIJA	45
Darius Juodvalkis Kauno technikos kolegija	
DYZELINIO VARIKLIO, DIRBANČIO TRIKOMPONENČIAIS DEGALAIS, DARBO RODIKLIŲ IR DEGINIŲ EMISIJOS TYRIMAS	50
Tomas Mickevičius Kauno technikos kolegija	

PRECISION OF STAINLESS STEEL TURNING PROCESS DEPENDING ON THE CUTTING TOOL WEAR.....	56
Viktors Gutakovskis, Eriks Gerins, Anita Avisane Riga Technical University	
ELEKTRINIO VERPIMO TAIKYMAS AUDINIŲ INŽINERIJOJE.....	69
Andžela Šešok, Dovydas Cicėnas Vilnius Tech	
INFLUENCE OF AGRICULTURAL SYSTEMS OF DIFFERENT INTENSITY ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND PHOSPHORUS WASHOUT.....	75
Petras Milius Kaunas University of Applied Engineering Sciences	
MARIJAMPOLĖS APSKRITYJE ESANČIŲ HIDROMAZGŲ ATRAMINIŲ SIENŲ TEMPERATŪRINIŲ-DEFORMACINIŲ SIŪLIŲ BŪKLĖS VERTINIMAS	85
Raimondas Šadzevičius, Dainius Ramukevičius, Regina Motienė, Birutė Požėrienė Kauno technikos kolegija	
SKAITMENINIO PARAŠO VIZUALIZAVIMO TAIKYMAS MOKYMO PROCESSE.....	92
Petras Nefas Kauno technikos kolegija	
TEISĖS GAUTI PASLAUGAS, ĮGALINANČIAS ASMENĮ SU NEGALIA GYVENTI SAVARANKIŠKAI, UŽTIKRINIMAS	98
Kęstutis Vitkauskas Kauno technikos kolegija	

RADIJO BANGŲ SKLIDIMO ASTER MODELIU TYRIMAS 5G TINKLE

Stasys Kašėta¹, Vitas Grimaila²

Kauno technikos kolegija¹, Kauno technologijos universitetas²

Anotacija

Radio tinklo matavimų vertės, surinktos realiame laike iš Kaune veikiančios 5G tinklo stoties, lyginamos su Aster radio bangų sklidimo modelio prognozuojamomis vertėmis. Šio darbo tikslas – ištirti Aster radio bangų sklidimo modelio tinkamumą 5G tinklo planavimui. Nustatytas Aster radio bangų sklidimo modelio tinkamumas 5G tinklo planavimui konkrečiomis sąlygomis.

Reikšminiai žodžiai : radio ryšio tinklas, radio bangų sklidimas, 5G tinklas.

Įvadas

Duomenų perdavimas mobiliaisiais tinklais labai sparčiai auga ir kiekvienais metais padidėja nuo 30 iki 50 %. Kartu auga ir poreikis naujų dažnio juostų įsisavinimui ir naujiems technologiniams sprendimams, kurie leistų padidinti duomenų perdavimo spartą ir efektyvumą. Mobiliojo ryšio operatoriai ateityje neišvengiamai turės perjungti senesnės kartos 4G mobiliojo ryšio technologijas į naujesnės kartos 5G, o ateityje ir į 6G tinklų technologijas. Visada išliks aktualus dažnių juostos klausimas, kadangi dažnių juostos žemiau 6 GHz jau yra panaudotos mobiliosioms paslaugoms teikti, todėl aukštesnių (milimetrinių) dažnių juostos, tokios kaip 28, 38, 73,5 ir netgi aukštesnės nei 95 GHz dažnių juostos, bus naudojamos penktos ir tolimesnių kartų tinklams. Skverbiantis į šiuos aukštesnių dažnių diapazonus iškilis nauji iššūkiai milimetrinių bangų panaudojimui. Milimetrinės bangos pasižymi sklidimo praradimais, laiko delsimu, bangų sklaidos nuostoliais ir kitais signalų sklidimo pablogėjimais. Todėl, siekiant geresnio našumo belaidžiam tinkle, labai svarbus bus sklidimo parametrų optimizavimas.

Lietuvoje jau daugiau nei 10 metų veikia 4G tinklas, turintis daugiau nei 13000 bazinių stočių ir aprėpties formavimui naudojantis 800, 1800, 2100 ir 2600 MHz dažnių juostas. Pradžioje 5G tinklas komerciniais tikslais buvo išbandytas 2100 ir 3500 MHz dažnių juostose „Non-Stand-Alone“ (angl.: NSA) režimu. NSA režimas leidžia 5G tinklą greitai įdiegti veikiančiame 4G tinkle. Taip sumažinamos pradinės investicijos bei technologijos įdiegimo laikas. Naudojant šį režimą reikalinga atskira 5G bazinė stotis su 4G tinklo pagrindine įranga.

Diegiant 5G tinklą realioje aplinkoje iš pradžių geriausia jį suplanuoti ir numatyti įvairius scenarijus programinėje modeliavimo aplinkoje, taip patikrinant ar nebus reikšmingo signalo lygio pablogėjimo, bei nustatyti, kokie bus prognozuojami radio ryšio parametrai planuojamoje 5G ryšio veikimo zonoje.

Mobiliojo ryšio parametrų įvertinimui gali būti naudojami skirtingi radio bangų sklidimo modeliai. Kai kurie iš jų, pavyzdžiui, Aster, Okumura Hata, 3GPP 38.900 (Standard ETSI, 2017) ir kt., geriausiai tinka tam tikroms dažnių juostoms bei daugiau ar mažiau yra susieti su naudojamomis technologijomis. Kiekvienas modelis turi savo taikymo specifiką bei tam tikrų apribojimų, todėl atsižvelgiant į poreikius, svarbu pasirinkti tinkamą sklidimo modelį. Šio tikslo nustatymui ir buvo atliekamas šis tyrimas.

Darbo tikslas – ištirti Aster radio bangų sklidimo modelio tinkamumą 5G tinklo planavimui. Analizuojant skirtingus radio signalo parametrus, pavyzdžiui, tokius kaip RSRP, RSRQ, SINR, galima nustatyti radio bangų sklidimo modelio tinkamumą.

Darbo uždaviniai:

- Išanalizuoti Aster radio bangų sklidimo modelį ir pateikti jo skaičiavimo matematinės išraiškas.
- Pateikti 5G lauko matavimų metodiką matuojant signalo lygį pagal RSRP (angl.: Reference Signal Received Power) parametro kitimą.
- Pateikti išmatuotų ir pagal Aster modelį suskaičiuotų signalo lygio verčių palyginimą.

1. Aster sklidimo modelis

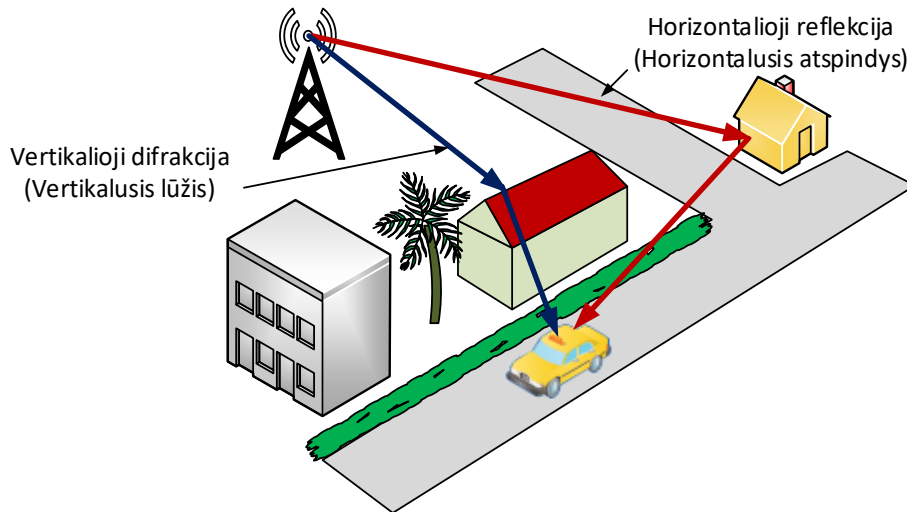
„Aster“ sklidimo modelis naudoja spindulių trasavimo technologiją ir „palaiko“ visas radio prieigos technologijas bei yra suderinamas su visomis geografinėmis aplinkomis. Aster spindulių trasavimo modelis leidžia įvertinti horizontalią ir vertikalią spindulių difrakciją. Pagrindiniai šio trasavimo modelio pranašumai yra tokie:

- greičiausias skaičiavimo laikas;
- automatinis kalibravimo procesas.

Šis modelis turi du pagrindinius spindulių sklidimo komponentus (1 pav.):

1. *Vertikaloji difrakcija (lūžis) virš stogų.* Jos nustatymui naudojama optimizuoto radialinio ištraukimo technika. Yra skaičiuojamas hibridinis difrakcijos slopinimas L_v , pagrįstas Deigout peilio ašmenų metodu ir modifikuotu Walfisch-Ikegami modeliu.

2. *Horizontalioji refleksija (atspindys) žemiau stogų lygio.* Jos nustatymui naudojama didelės spartos spindulių sklaidimo technika, pagrįsta pastato kampų rastrine atranka. Čia skaičiuojamas atitinkamas slopinimas L_h .



1 pav. Horizontaliojo atspindžio ir vertikalojo lūžio schema

Kad numatyti spindulių trasavimą Aster sklaidimo modeliu, reikia tam tikrų geografinių duomenų – žemės aukščio virš jūros lygio. Duomenys sudaryti iš trimačio masyvo – tai atitinkamas žemės ploto vaizdavimas taškais virš jūros lygio su atitinkamais aukščiais juose.

Aster sklaidimo modelį sudaro du pagrindiniai komponentai: L_h – horizontalioji refleksija (atspindys), pagrįstas spindulio atspindėjimu horizontalioje plokštumoje, L_v – vertikaloji difrakcija (lūžis) virš stogų, pagrįsta Deigout aštrios briaunos principu ir Walfisch-Ikegami modeliu (Ambroziak, 2014).

Aster sklaidimo modelyje naudojama vertikalojo skaičiavimo išraiška:

$$L_v = L_{clut} + G_{ant} + \begin{cases} L_{los} + L_{freq} + L_{eahlos} \\ L_{nlos} + L_{freq} + L_{eah} + L_{rm} + L_{ar} \end{cases} \quad (1)$$

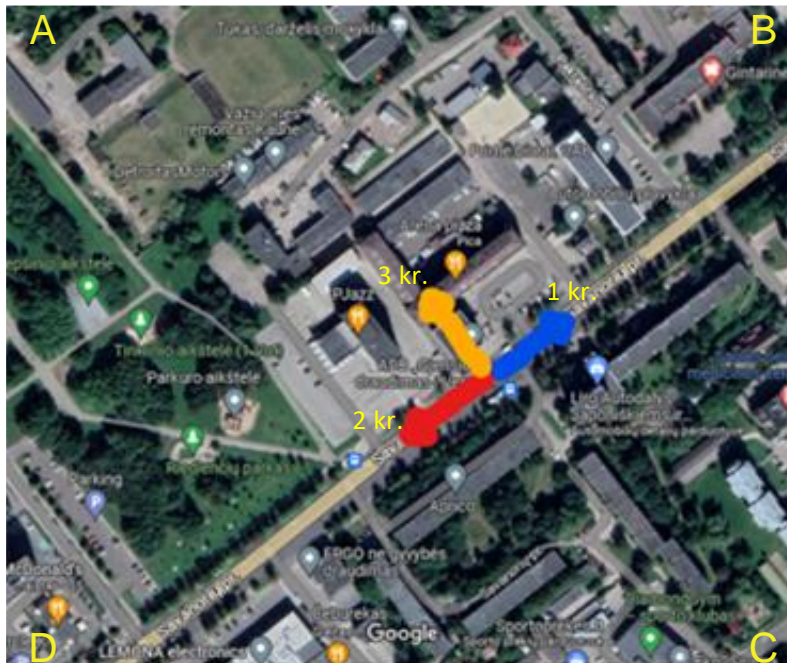
Aster sklaidimo modelyje naudojama horizontaliojo atspindžio skaičiavimo išraiška:

$$L_h = L_{clut} + G_{ant} + \sum_{k=1}^n L_{los-k} + \sum_{k=1}^n Dif f_k + \sum_{k=1}^n Ref l_k, \quad (2)$$

čia: L_{clut} – signalo slopinimas dėl atėjusių signalų netvarkos imtuvo įėjime; L_{freq} – dažnio korekcija LOS ir NLOS režimu, čia LOS ir NLOS – tiesioginis ir netiesioginis signalo kelias; G_{ant} – antenos stiprinimas; L_{los} – LOS režimo pagrindinis slopinimas; L_{nlos} – NLOS režimo pagrindinis slopinimas; L_{eah} – slopinimas dėl efektyvaus antenos aukščio; L_{eahlos} – slopinimas dėl efektyvaus antenos aukščio LOS atveju; L_{rm} – slopinimas nuo stogo iki mobiliojo ryšio imtuvo; L_{ar} – slopinimas nuo siųstuvo antenos iki stogo; n – skirtingų laisvos erdvės kelių linijų, kurias sukelia difrakcija arba atspindys, skaičius; L_{los-k} – slopinimas LOS kelyje su indeksu k ; $Dif f_k$ – slopinimas dėl vertikalios difrakcijos tarp kelio k ir $k+1$; $Ref l_k$ – slopinimas dėl horizontalaus atspindžio tarp kelio k ir $k+1$.

2. Tyrimo vietovės geografinė padėtis

Projekte naudojama koordinatinių sistema WGS 84 / UTM zona 31-N. Matavimų zonos koordinatės: A - 688308.23, 6090554.82; B - 689928.81, 6090554.82; C - 689929.47, 6089326.49; D - 688323.45, 6089329.14 yra pateiktos 2 pav.



2 pav. Matavimų zona su matavimų kryptimis

Konkrečioms matavimams atlikti pasirinkta Kauno mieste Savanorių prospekte įdiegta 5G bazinė stotis, kurios koordinatės yra 689494.22, 6090141.7. Matavimams naudojamas 5G tinklo technologiją palaikantis telefonas Poco M3 Pro. Skirtingos bazinės stoties elektromagnetinio lauko parametrų reikšmės nurodomos parodytomis trimis kryptimis ir skirtingu atstumu nuo siųstuvo.

3. Matavimų metodika ir siųstuvo parametrai

5G lauko kokybės parametrų matavimai buvo vykdomi 5G telefonu kas 10 metrų nuo bazinės stoties. Telefonas buvo laikomas apie 1,5 metro aukštyje nuo žemės paviršiaus, jis nuolatos veikė laukimo režime. Vykdamatavimus buvo žymimos kiekvienos matavimo vietos geografinės koordinatės. Judant 2 pav. nurodytomis kryptimis matavimai buvo vykdomi tol, kol nutrūkdavo 5G ryšys visomis trimis kryptimis.

5G tinklo aprępties formavimui bazinėje stotyje buvo naudojama Ericsson AIR 3278 B78K antena veikianti 3750 MHz dažniu. Antenos ir siųstuvo parametrai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė

Siųstuvo parametrai

Vienetas	Parametras	Kryptis		
		H0V6	H55V6	H0V13
AIR 3278 B78K	Vertikalus spindulio plotis	8,5 °	8,5 °	8,0 °
	Horizontalus spindulio plotis	12,5 °	20,5 °	13,0 °
	EIRP	2 * 74 dBm	2 * 71 dBm	2 * 71,5 dBm
Nuolatinės srovės šaltinis	Nominali įtampa	48 V DC		
	Darbinė įtampa	36- 58,5 V DC		
	Veikimo diapazonas	Nuo 0 iki 60 V DC		
Išėjimo galia	Maksimali siųstuvo galia	200 W		
	Minimali siųstuvo galia	10 W		
Dažnis	n78 juosta	3420- 3800 MHz		
Aukštis	Siųstuvo aukštis	30 m		
	UE aukštis	1,5 m		
Panaudojimas	Atvira erdvė	Makro celė		

4. 5G ryšio kokybės parametrų matavimai

Ankstesnės kartos 4G lauko matavimai buvo atliekami pagal RSRP, RSRQ ir SNR CRS (angl.: Cell Specific Reference Signal) parametrų matavimus. Tačiau matuojant 5G lauko parametrus, vietoj CRS yra matuojamas SS (synchronizacijos) signalas ir CSI (angl.: Channel State Information) signalas.

RSRP (angl.: Reference Signal Received Power). Matuojama synchronizacijos signalo RSRP vertė. Tai vidutinė galia, gaunama iš vieno priimto SS signalo. Gaunamo RSRP signalo diapazonas yra nuo -44 dBm iki -140 dBm (Nugraha, 2022). Išmatuota RSRP vertė yra naudojama tam, kad palyginti ją su

prognozuojamu sklidimu skirtingiems RSRP modeliams. RSRP reikšmė suteikia vartotojo terminalui reikiamą informaciją apie celių, kuriose pasireiškia signalo nuostoliai, stiprumą.

RSSI (angl.: Received Signal Strength Indicator). RSSI reiškia, kad iš visų signalo šaltinių priimto signalo stiprumas yra bendra galia (vatais), išmatuota OFDM (angl.: Orthogonal Frequency Division Multiplexing) simboliais (Al Hory, 2020).

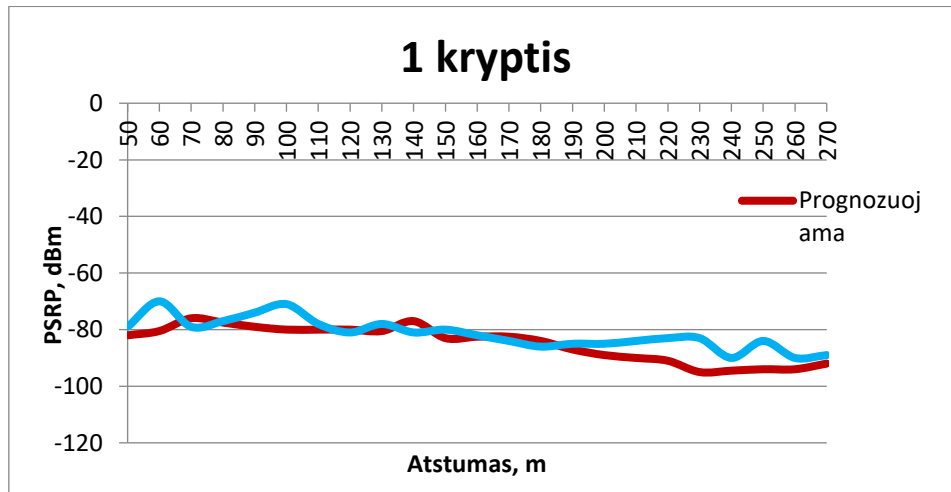
RSRQ (angl.: Reference Signal Received Quality). Šis parametras parodo gaunamo sinchronizavimo signalo kokybę. Tai priimto sinchronizavimo signalo SS santykis su RSSI signalo nešliu (Xu, 2019). Šią parametro reikšmę vartotojo terminalas naudoja prie celės krašto, kai reikia priimti sprendimą dėl signalo perdavimo, neatsižvelgiant į RSRP parametro galią.

SINR (angl.: Signal to Interference and Noise Ratio). Tai priimto sinchronizavimo signalo SS ir triukšmo galios dėl priimto signalo interferencijos santykis (Guerero Condo, 2020).

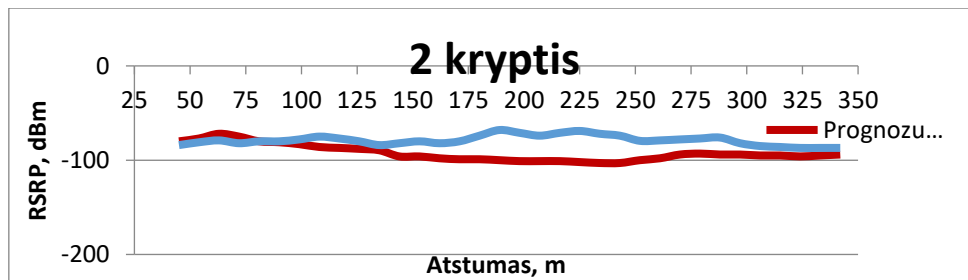
Šiame darbe pateikti RSRP vertės skaičiavimo (prognozavimo) ir matavimo rezultatai pasirinktoje ryšio lauko erdvėje.

5. Radijo bangų Aster sklidimo modelio skaičiavimo ir matavimo rezultatų palyginimas

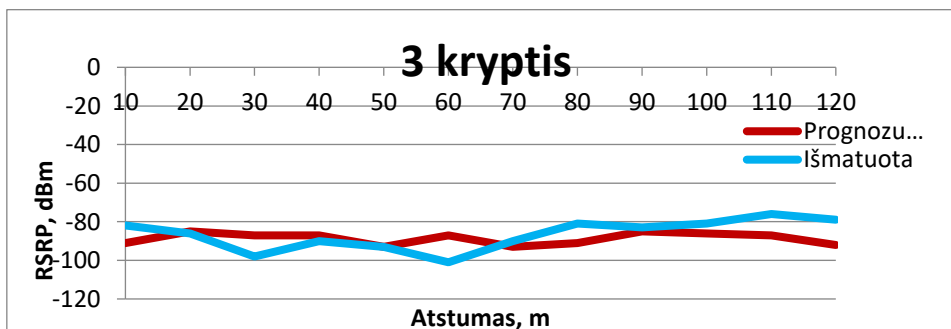
Atlikus eksperimentinius matavimus, išmatuoto RSRP parametro vertės (mėlyna spalva) lyginamos su Aster radijo bangų sklidimo modelio pagalba suskaičiuotomis prognozuojamomis RSRP vertėmis (raudona spalva) (3, 4 ir 5 pav.). RSRP parametro matavimai ir skaičiavimai pateikti visomis matavimo kryptimis (žr. 2 pav.).



3 pav. Išmatuotos ir Aster bangų sklidimo modeliu prognozuojamos RSRP vertės 1-oje kryptyje



4 pav. Išmatuotos ir Aster bangų sklidimo modeliu prognozuojamos RSRP vertės 2-oje kryptyje



5 pav. Išmatuotos ir Aster bangų sklidimo modeliu prognozuojamos RSRP vertės 3-oje kryptyje

Aster modelio efektyvumas buvo įvertintas remiantis trimis skirtingais statistiniais parametrais (vidurkiu, standartiniu nuokrypiu ir šaknies vidurkio kvadratu), kurie leido įvertinti prognozuojamų RSRP verčių ir lauko sąlygomis išmatuotų RSRP rezultatų nesutapimo dydį. Įvairiomis kryptimis išmatuotų RSRP verčių paklaidos vidurkis, standartinis nuokrypis ir šaknies vidurkio kvadratas (RMS) pateiktas 2 lentelėje, o susumuotos ir suvidurkintos reikšmės visose trijose kryptyse pateiktos 3 lentelėje.

2 lentelė

Aster bangų sklidimo visomis trimis kryptimis palyginimas

Kryptis	Matavimų kiekis kryptyje, vnt.	Paklaidos vidurkis, dB	Standartinis nuokrypis, dB	Šaknies vidurkio kvadratas (RMS), dB
1 kryptis	21	-2,59	4,01	0,81
2 kryptis	27	-13,51	11,62	17,82
3 kryptis	12	-2,49	7,87	8,26

3 lentelė

Suvidurkinti Aster bangų sklidimo rezultatai

Sklidimo modelis	Matavimų kiekis, vnt.	Paklaidos vidurkis, dB	Standartinis nuokrypis, dB	Šaknies vidurkio kvadratas (RMS), dB
Aster bangų sklidimo modelis	60	-7,49	10,41	12,82

Išvados

1. Išanalizuota 5G tinklo planavimui tinkama Aster radijo bangų sklidimo modelio pagrindinė koncepcija ir aptarti pagrindiniai parametrai. Pateiktos matematinės išraiškos, aprašančios šio sklidimo modelio specifiką, t.y. išraiškos aprašančios horizontaliojo atspindžio ir vertikaliojo lūžio dedamąsias.

2. Pasirinkus konkrečią vietovę matavimų atlikimui aprašyta 5G lauko matavimo metodika. Lauko matavimams pasirinkti RSRP vertės matavimai leidžia susidaryti gana išsamų vaizdą apie makrocelės aplinkoje pasireiškiančius signalo nuostolius.

3. Aster radijo bangų sklidimo modelio vidutinis paklaidos vidurkis makrocelinės aplinkos režime visiems išmatuotiems taškams yra -7,49 dB. Tai gana maža paklaida matuojant pastatais apstatytą miesto aplinką. Standartinio nuokrypio reikšmė 10,41dB ir šaknies vidurkio kvadrato reikšmė 12,82 dB taip pat yra nedidelės.

4. Aster radijo bangų sklidimo modelis tinkamas naudoti 3750 MHz dažnių juostoje 5G tinklo modeliavimui nedidelio aukštingumo ir nedidelio pastatų tankio miesto aplinkoje.

Literatūra

1. Standard ETSI TR 138900 LTE; 5G; Study on channel model for frequency spectrum above 6 GHz (3GPP TR 38.900 version 14.2.0 Release 14), 2017.
2. S. J. Ambroziak and R. J. Katulski, "Statistical tuning of Walfisch-Ikegami model for the untypical environment," The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014), 2014, pp. 2087-2091, doi: 10.1109/EuCAP.2014.6902219.
3. M. A. Nugraha, M. I. Nashiruddin, A. T. Hanuranto and A. Akhmad, "Simulation of 5G DenseUrban Deployment at 3.5 GHz Frequency: A Case Study of Central Jakarta," 2022 IEEE 12th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), 2022, pp. 0883- 0888, doi: 10.1109/CCWC54503.2022.9720847.
4. O. Al Hory, O. Shoushara, H. Al Suri, M. Al Shunnaq and F. Awad, "5G mmWave Indoor Location Identification Using Beamforming and RSSI," 2020 11th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS), 2020, pp. 091-095, doi: 10.1109/ICICS49469.2020.239532.
5. H. Xu, X. Wang, W. Liu and W. Shao, "An Uplink Based Mobility Management Scheme for 5G Wireless Network," ICC 2019 - 2019 IEEE International Conference on Communications (ICC), 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICC.2019.8761760.
6. L. M. Guerrero Condo, "Study of macro and small cell deployment options in 5G mmWave bands using ATOLL radio planning tool," Projecte Final de Màster Oficial, UPC, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona, Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions, 2020.

INVESTIGATION OF RADIO WAVE PROPAGATION IN 5G NETWORK WITH ASTER MODEL

Summary

The radio network measurement values, collected in real time from the 5G network station operating in Kaunas, are compared with the values predicted by the Aster radio wave propagation model. The purpose of this work is to investigate the suitability of the Aster radio wave propagation model for 5G network planning. The suitability of the Aster radio wave propagation model for 5G network planning under specific conditions has been established.

Key words - radio communication network, radio wave propagation, 5G network

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Stasys Kašėta

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: Kauno technikos kolegija

Autoriaus mokslinių interesų sritys: radijo signalo perdavimas ir priėmimas

Telefonas ir el.pašto adresas: 8 612 13545, stasys.kaseta@gmail.com

Autoriaus vardas, pavardė: Vitas Grimaila

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: Kauno technologijos universitetas

Autoriaus mokslinių interesų sritys: mobilusis ir mikrobangis ryšys

Telefonas ir el.pašto adresas: 8 659 99458, vitas.grimaila@ktu.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Stasys Kašėta

Science degree and name: doctor, associated professor

Workplace and position: Kaunas university of applied engineering sciences

Author's research interests: transmission and receiving of radio signal

Telephone and e-mail address: 8 612 13545, stasys.kaseta@gmail.com

Author name, surname: Vitas Grimaila

Science degree and name: doctor, associated professor

Workplace and position: Kaunas university of technology

Author's research interests: mobile and microwave communications

Telephone and e-mail address: 8 659 99458, vitas.grimaila@ktu.lt

ELEKTRONIKOJE NAUDOJAMŲ KAIŠTINIŲ AUŠINIMO RADIATORIŲ AUŠINIMO EFEKTYVUMO TYRIMAS: EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI IR JŲ REZULTATŲ PALYGINIMAS SU SKAITMENINIO MODELIAVIMO REZULTATAIS

Laurynas Samuolis, Vadim Mokšin
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

Straipsnyje pateikti elektronikos komponentams aušinti naudojamų kaištinių radiatorių eksperimentinių tyrimų rezultatai gauti sukurtame vėjo tunelyje-stende, skirtame darbinėmis sąlygomis imituoti. Palyginamas 2-jų radiatorių konstrukcijų aušinimo efektyvumas pagal paviršiaus ir iš vėjo tunelio išeinančio oro srauto temperatūras. Eksperimentinių tyrimų rezultatai palyginami su ankstesniame darbe pateiktais rezultatais gautais modeliuojant radiatorius programine įranga COMSOL Multiphysics®. Validuojamas anksčiau sudarytas radiatorių skaitmeninis modelis.

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

Įvadas

Išsiskiriančius šilumą elektronikos komponentus dažnai tenka papildomai aušinti. Jei komponento paviršiaus plotas pernelyg mažas, kad efektyviai išsklaidyti šilumą, naudojami aušinimo radiatoriai. Per daug metų radiatoriai pelnė pasitikėjimą kaip patikimi temperatūros valdymo įrenginiai. Radiatorių efektyvumas didinamas mažinant šiluminę varžą tuo pačiu metu mažinant gamybos ir eksploatacijos išlaidas. Mažėjant elektroniniams komponentams ir sistemoms bei didėjant jų sudėtingumui, jų aušinimas inžinieriams kelia vis daugiau problemų. Dabartiniai komponentai, tokie kaip mikroprocesoriai, atminties moduliai, įtampos keitikliai ir kiti, turi išsklaidyti šilumą iki kelių šimtų vatų kvadratiniam centimetrui. Daugeliui elektrotechnikos komponentų, gamintojai riboja darbinę temperatūrą, nes ji įtakoja jų tarnavimo laiką. Tyrimais nustatyta, kad komponentų tarnavimo laikas sutrumpėja beveik dvigubai jei didžiausia darbinė temperatūra pakyla 10 °C (Amoako, Doom, 2018; Tarvydas et al., 2013). Todėl mokslininkai ir inžinieriai nuolat ieško naujų efektyvių būdų perteklinei temperatūrai sumažinti ir valdyti. Vienas iš efektyviausių ir plačiai naudojamų būdų įvairių aušinimo radiatorių šilumos išsklaidymui didinti yra prailgintų paviršių (pelekų) naudojimas. Pagal geometriją aušinimo radiatorių pelekai būna dviejų tipų: plokšteliniai pelekai einantys per visą radiatoriaus pagrindą ir kaištiniai pelekai išdėstyti pagrinde tam tikru raštu. Šilumai šalinti iš elektroninių prietaisų plačiausiai naudojami plokščių pelekų radiatoriai dėl tokių jų privalumų: pigumas, paprasta konstrukcija, technologiškumas gaminant (Ismail et al., 2008).

Projektuojant radiatorius turi būti atsižvelgta į tokius veiksnius kaip didelis šilumos perdavimo greitis, mažas slėgio kritimas ir paprasta konstrukcija (Mohan, Govindarajan, 2011). Remiantis Amoako (2018) darbu, pagrindiniai veiksniai, turintys įtakos aušinimo radiatorių efektyvumui, yra tokie:

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

Svarbus veiksnys projektuojant aušinimo radiatorius yra jų svoris, nes dažnai prietaisai, kuriuose yra įmontuoti radiatoriai, turi griežtai gamintojų nustatytas svorio ribas. Dėl šios priežasties svarbu optimizuoti aušinimo radiatorių geometrinius ir kitus parametrus. Optimizavus parametrus taip pat dažnai sumažėja ir radiatorių gamybos išlaidos.

Kepekci ir Asma (2020) tyrime buvo siekiama nustatyti aušinimo efektyvumo ir savikainos atžvilgiu optimalią radiatoriaus pelekų geometriją bei medžiagą. Naudodami skaitmeninio modeliavimo COMSOL Multiphysics® programinę įrangą jie ištyrė penkis skirtingus aušinimo radiatorių pelekų, pagamintų iš 13 skirtingų medžiagų (sidabro, vario, aukso, aliuminio, berilio, volframo, magnio, nikelio, ličio, titano ir kt.), tipus. Sudarant skaitmeninį modelį, aplinkos ir centrinio procesoriaus temperatūra buvo laikoma 25 ir 80 °C, atitinkamai, o ventiliatorius užtikrindavo 7,5 m/s oro greitį. Kiekvienas pelekas buvo 0,02 m ilgio ir 0,002 m storio. Tyrimas parodė, kad geriausiai iš visų tirtų medžiagų aušino sidabras, kurio išsklaidyta galia siekė 37,33 W, o prasčiausiai iš visų aušino titanas (28,67 W). Tačiau savikainos atžvilgiu aliuminis ir aliuminio lydiniai buvo pranašesni už kitas medžiagas.

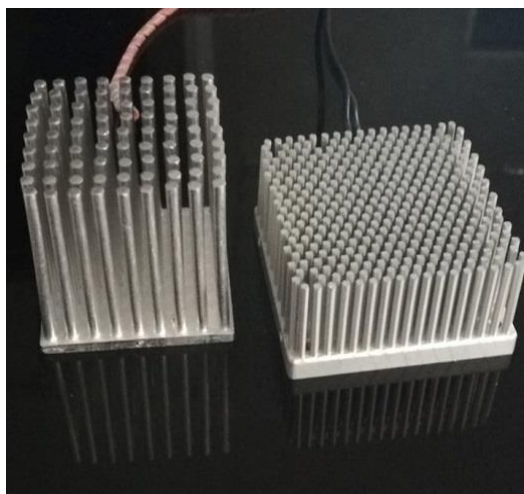
Radiatorių efektyvumas gali būti didinamas keičiant pelekų geometrinius parametrus, pavyzdžiui, juos pastorinant arba patrupinant, taip pat naudojant šilumai laidesnę medžiagą, pavyzdžiui, varį vietoje aliuminio. Autoriai Khudheyer ir Hasan (2015) taikant CFD (Computational Fluid Dynamics) skaitmeninio modeliavimo programinę įrangą tyrė skirtingus pelekų modelius keisdami šilumos srauto reikšmes.

Modeliavimui buvo pasirinkti penki pelekų modeliai: ištisiniai pelekai, dviejų segmentų pelekai, keturių segmentų pelekai, įstriži pelekai ir V-formos pelekai. Autoriai nustatė, kad radiatorius su keturių segmentų pelekais užtikrina didžiausią pagrindo ir aplinkos temperatūrų skirtumą, o radiatorius su dviejų segmentų pelekais – mažiausią temperatūrų skirtumą. Autoriai modeliavo 300 mm ilgio, 18 mm aukščio pelekų eilę ir keitė tarpus tarp jų pasiekę optimalų 10 mm atstumą. Naudojant kitą konstrukciją, kai pelekų aukštis buvo 18 mm, o tarpas tarp jų – 5 mm, buvo pastebėta, kad esant pastoviam šilumos srautui, šilumos perdavimo koeficientas pasiekė mažiausią vertę esant 500 mm pelekų ilgiui. Taip pat buvo tiriama radiatoriaus pagrindo storio įtaka, 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).

Ismail et al. (2008) ištyrė Pentium III, Pentium IV, AMD Athlon ir AMD Duron procesorių aušinimo radiatorių efektyvumą. Skaitmeniniam modeliavimui buvo naudojama CFD programinė įranga, o gauti modeliavimo rezultatai buvo palyginami su eksperimentų rezultatais. Nustatyta, kad didėjant atstumui tarp pelekų, radiatoriaus aušinimo efektyvumas didėja. 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 jo pelekuose. Kai kuriais atvejais tai leidžia ne tik sumažinti svorį, bet ir geriau valdyti oro srautų kryptis tam, kad radiatorius efektyviau atiduotų šilumą. Sam Sukumar et al. (2013) tyrė 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 su skylutėmis veikia efektyviau už tokius pat be skylučių.

Šis straipsnis yra anksčiau paskelbto straipsnio (Samuolis, Mokšin, 2022), kuriame buvo pateikti kaitisinių aušinimo radiatorių skaitmeninio modeliavimo rezultatai, tęsinys. Šiame darbe pateikiami tų pačių radiatorių eksperimentinių tyrimų, atliktų vėjo tunelyje, rezultatai ir validuojamas anksčiau sudarytas skaitmeninis modelis (Samuolis, Mokšin, 2022).



1 pav. Kaitisiniai aušinimo radiatoriai
Šaltinis: sudaryta autorių

Tyrimo objektas, stendas ir metodika

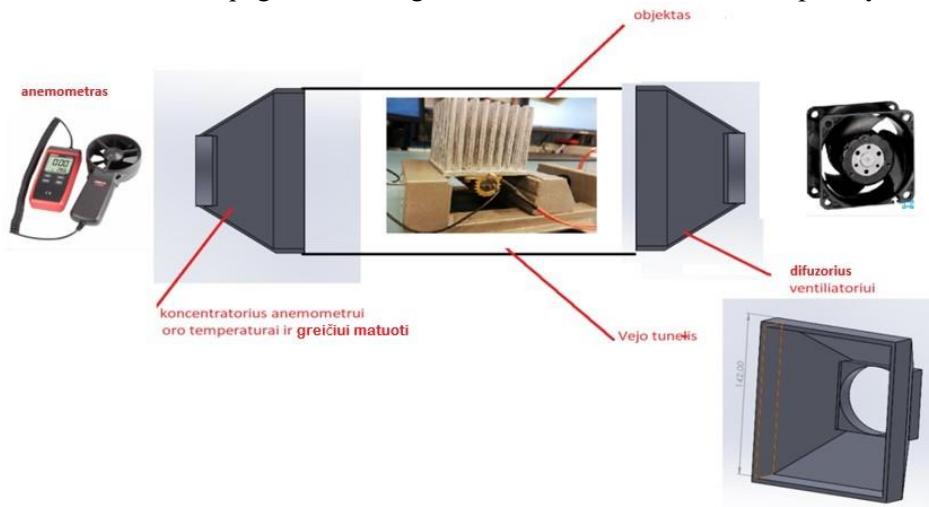
Tiriamos dvi kaitisinių aušinimo radiatorių konstrukcijos (1 pav.). Šių aušinimo radiatorių parametrai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė

Aušinimo radiatorių parametrai

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

Eksperimentiniams tyrimams atlikti buvo suprojektuotas ir pagamintas vėjo tunelis-stendas, kurio schema pavaizduota 2 pav. 3D spausdintuvu buvo atspausdinti du pagrindiniai stendo elementai – difuzorius ir koncentratorius. Pirmasis buvo naudojamas ventiliatoriui tvirtinti ir sukurti oro srautą tiriamojo objekto kryptimi, o antrasis buvo pritaikytas anemometrui, kuriuo buvo matuojamas išeinančio srauto greitis ir temperatūra, tvirtinti. Stendo bazė pagaminta iš organinio stiklo. Stendo nuotrauka parodyta 3 pav.



2 pav. Tyrimų stendo schema

Šaltinis: sudaryta autorių



3 pav. Vėjo tunelis-stendas

Šaltinis: sudaryta autorių

Tyrimų stendo bendras ilgis 50 cm, vidiniai tunelio matmenys 14,2×11,5 cm. Radiatorius tvirtinamas spaustuve, kurio aukštis 4,5 cm. Siekiant sumažinti oro srauto pasipriešinimą ir sukoncentruoti jį tik tiriamojo objekto zonoje, difuzoriuje sumontuota tokio pat aukščio pertvara (3 pav.).

Stende naudojamas San Ace 60 9P serijos ventiliatorius, jo parametrai pateikti 2 lentelėje. UNI-T UT363S anemometru išmatuotas 1,7 m/s išeinančio oro srauto greitis, vyraujantis tunelyje matavimų metu.

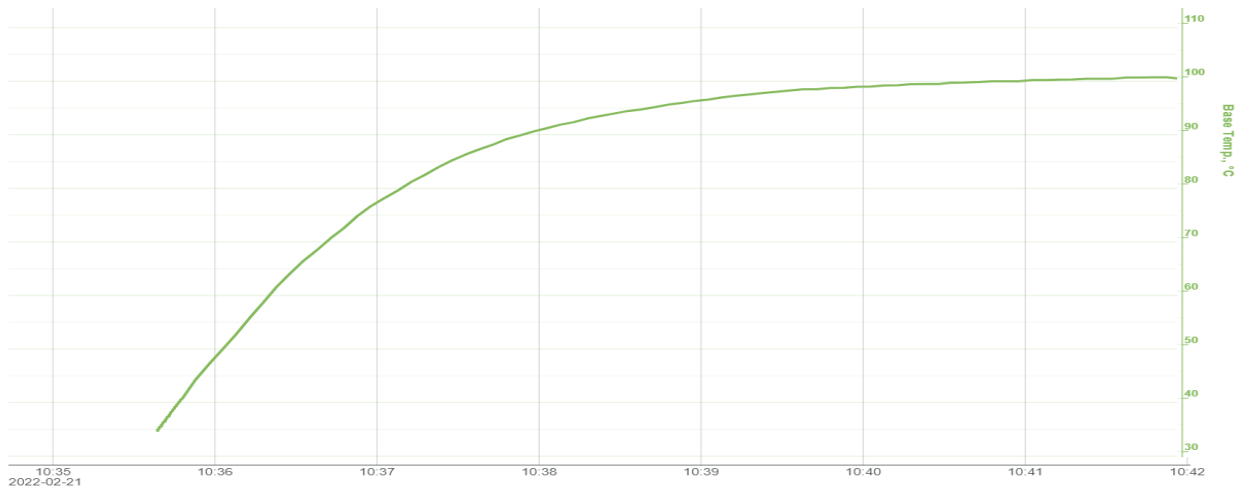
2 lentelė

Ventiliatoriaus techninės charakteristikos

Modelis	Įtampa, V	Galia, W	Didžiausias oro srautas, m ³ /min	Didžiausias statinis slėgis, Pa
109P0612K701	12	3,12	0,62	99,3

Kaitinimui naudojama vielinė 50 W varža, modelis NH0501R000FE02, matmenys 50×16×16 mm. Tvirtinama M3 varžtais prie radiatoriaus pado (3 pav.) su vienoda užveržimo jėga užtikrinamą dinamometriniu raktu.

Kaitinimo elementas per 6 min pasiekė 100 °C temperatūrą (4 pav.), o po 15 min susidarė pastovi 103 °C paviršiaus temperatūra.



4 pav. Paviršiaus temperatūros matavimo grafikas

Šaltinis: sudaryta autorių

Prieš bandymą aušinimo radiatorius tvirtinamas spaustuve ir išdėstomas vėjo tunelyje. Į radiatoriaus padą įstatomas termistorius temperatūrai matuoti, kuris prijungiamas prie kompiuterio su duomenų registravimo programa.

Atliekami trys skirtingi bandymai 15 minučių laiko intervalais:

1. Be oro srauto kaitinant.
2. Su oro srautu kaitinant. Iš karto po pirmojo tyrimo įjungiamas ventiliatorius, kuris aušina pirmajame bandyme pasiektą temperatūrą.
3. Su oro srautu kaitinant nuo pradinės (aplinkos) temperatūros. Atvėsinus standą iki aplinkos temperatūros, vienu metu įjungiamas ventiliatorius ir kaitinimo elementas.

Eksperimentinių tyrimų rezultatai ir jų palyginimas su skaitmeninio modeliavimo rezultatais

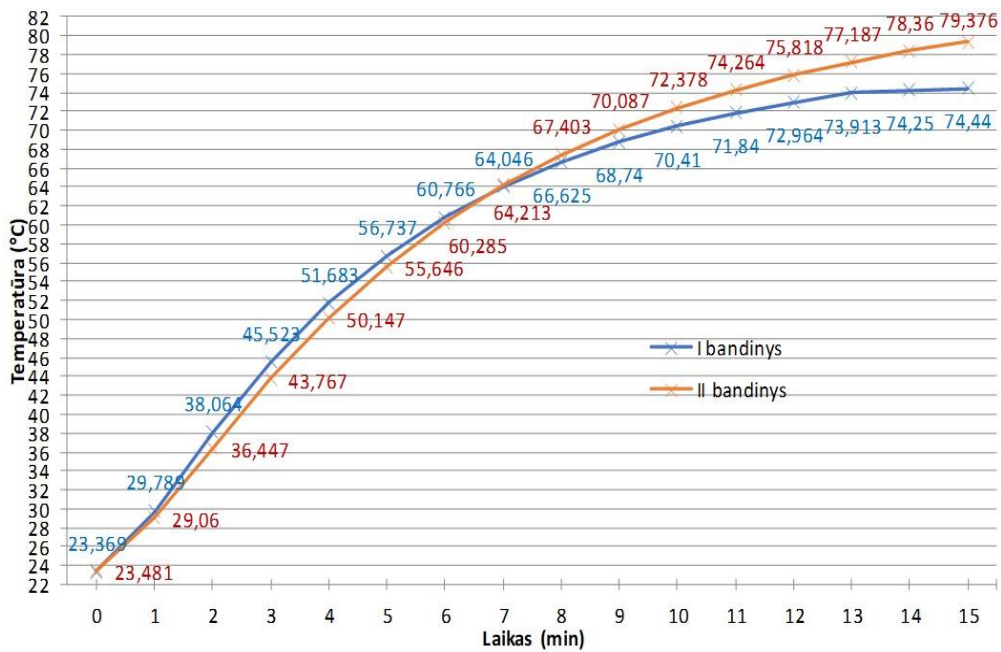
Eksperimentinių tyrimų rezultatai pateikti 5–7 paveiksluose.

5 pav. pastebimas didesnis antrojo radiatoriaus modelio aušinimo efektyvumas, tačiau tik iki 7-os eksperimento minutės. Pranašumas atsiranda dėl didesnės masės ir galimybės kaupti šilumą, tačiau dėl neefektyvios geometrijos ir prasto šilumos srauto pralaidumo nuo 7-os minutės efektyvumas sumažėja lyginant su pirmuoju modeliu. Galima padaryti prielaidą, kad padidinus eksperimento laiką tyrime be oro srauto (5 pav.), kuriame vyksta natūralioji konvekcija, pirmojo radiatoriaus aušinimo efektyvumas būtų dar didesnis.

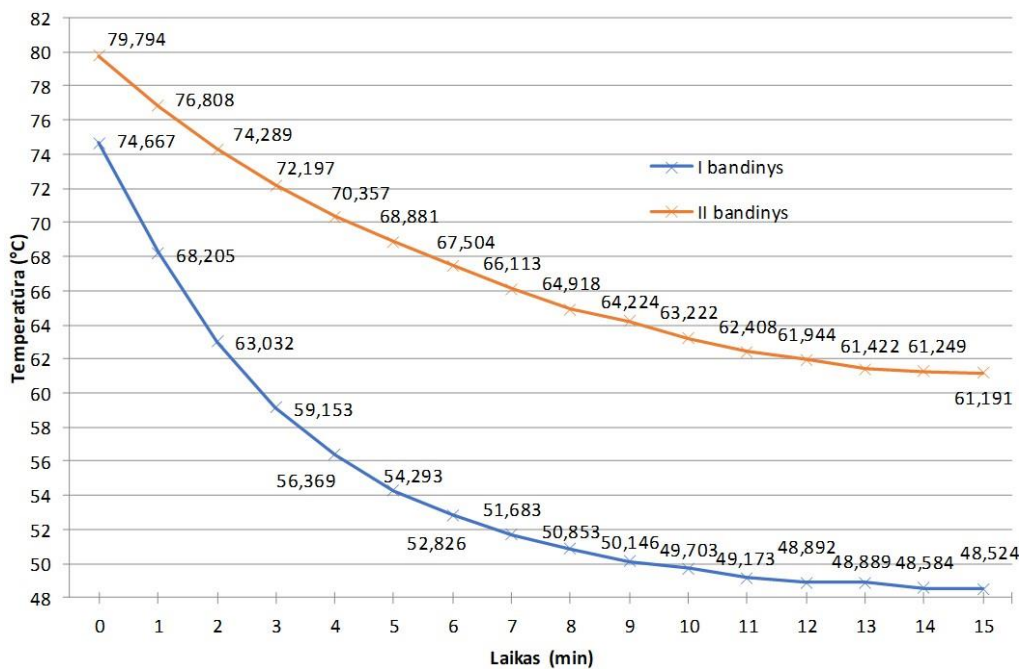
Antrajame tyrime vyko priverstinė konvekcija (6 pav.). Įjungiant ventiliatorių siekiama oro srautu sumažinti pirmojo tyrimo metu pasiektas temperatūros reikšmes, kad būtų įrodyta prielaida dėl prasto srauto pralaidumo. Naudojant pirmąjį radiatorių, eksperimento pabaigoje jo paviršiaus temperatūra sumažėja 21 % lyginant su antruoju modeliu.

Trečiajame tyrime taip pat vyko priverstinė konvekcija, bet šiuo atveju eksperimentas prasidėjo nuo pradinės aplinkos temperatūros. 7 pav. galima matyti, kad naudojant pirmąjį radiatorių temperatūra tyrimo pabaigoje mažėjo 5,62 °C arba 10 % lyginant su antruoju modeliu.

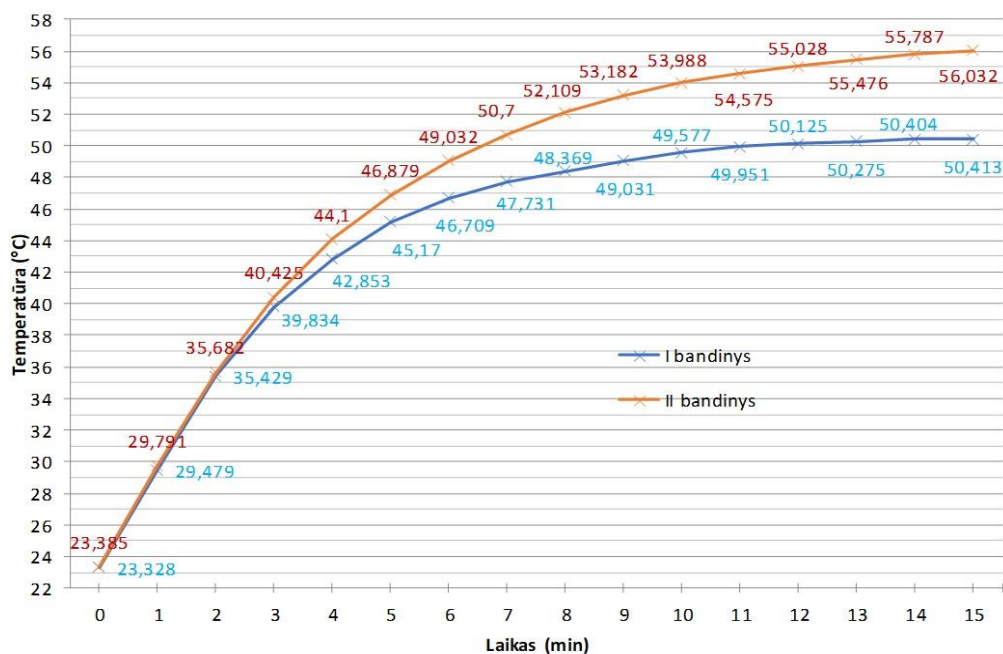
Nagrinėjant išeinančio oro srauto temperatūrą trečiajame tyrime, pirmasis radiatorius aušino efektyviau, nes išeinančio oro temperatūra buvo 7,2 % didesnė už oro temperatūrą antrojo modelio atveju. Tai rodo, kad išsklaidoma šiluma priklauso nuo radiatoriaus geometrijos.



5 pav. Aliuminio radiatorių paviršiaus temperatūros priklausomybės nuo kaitinimo laiko grafikas kai nėra aušinančio oro srauto
Šaltinis: sudaryta autorių



6 pav. Aliuminio radiatorių paviršiaus temperatūros priklausomybės nuo kaitinimo laiko grafikas kai įjungiamas aušinantis oro srautas iš karto po 15 minučių kaitinimo be oro srauto (5 pav.)
Šaltinis: sudaryta autorių



7 pav. Aliuminio radiatorių paviršiaus temperatūros priklausomybės nuo kaitinimo laiko grafikas, kai naudojamas aušinantis oro srautas ir kaitinti pradama nuo aplinkos temperatūros
Šaltinis: sudaryta autorių

Anksčiau paskelbtame darbe (Samuolis, Mokšin, 2022) buvo atliktas aliuminio radiatorių skaitmeninis modeliavimas atitinkantis trečiojo eksperimento, kurio rezultatai pateikti 7 pav., sąlygu, todėl rezultatai buvo palyginti ir apibendrinti 3 lentelėje.

3 lentelė

Skaitmeninio modeliavimo ir eksperimento rezultatų palyginimas

Parametrai	Modeliavimas (I bandinys) (Samuolis, Mokšin, 2022)	Eksperimentas (I bandinys)	Modeliavimas (II bandinys) (Samuolis, Mokšin, 2022)	Eksperimentas (II bandinys)
Didžiausia paviršiaus temperatūra (°C)	56,676	50,413	63,800	56,032
Skirtumas, %	11		12	

Atkreipiamas dėmesys į tai, kad modeliuojant buvo apskaičiuojama vidutinė paviršiaus temperatūra (Samuolis, Mokšin, 2022), o eksperimentų metu temperatūra buvo matuojama tam tikrame paviršiaus taške termistoriaus pagalba. Dėl to gali atsirasti papildoma paklaida. Nepaisant to, modeliavimo ir eksperimento rezultatai gerai sutampa, skirtumas sudaro 11–12 % (3 lentelė).

Išvados

Eksperimentiškai 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 iki 21 %. Atsižvelgus į gautus rezultatus rekomenduojama į sistemą montuoti I tipo aušinimo radiatorių, kuris šalina šilumą efektyviau.

Skirtumas tarp eksperimentiškai ir skaitmeninio modeliavimo būdu gautų temperatūrų yra apie 10 %, tai rodo gerą rezultatų sutapimą, ankstesniame darbe sudarytas skaitmeninis modelis validuojamas.

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. 12th Joint AIAA/ASME Thermophysics and Heat Transfer Conference, 25–29 June 2018, Atlanta, Georgia, USA, Vol. 1, 1–11.
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. Samuolis, L, Mokšin, V. 2022. Elektronikoje naudojamų aušinimo radiatorių su kaiščiais aušinimo efektyvumo tyrimas: skaitmeninis modeliavimas. Inžinerinės ir edukacinės technologijos, Nr. 2, 81–88.
9. Tarvydas, P., Noreika, A., Staliulionis, Z. 2013. Analysis of heat sink modelling performance. Elektronika ir Elektrotechnika, 19(3), 43–46.

RESEARCH OF THE COOLING EFFICIENCY OF PIN-FIN HEAT SINKS USED IN ELECTRONICS: EXPERIMENTAL STUDIES AND COMPARISON OF THEIR RESULTS WITH NUMERICAL SIMULATION RESULTS

Summary

The results of experimental studies of pin-fin heat sinks used for cooling electronic components, obtained in an experimental stand-wind tunnel designed to simulate working conditions are presented in the article. The cooling efficiency of the two sink designs is compared according to the temperatures of their surface and the air flow coming out of the wind tunnel. The experimental results are compared with the results presented in previous work, obtained by numerical simulation of heat sinks using COMSOL Multiphysics® software. The numerical model of the heat sinks created earlier was validated.

Key words: 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 2744733, 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 2744733, 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 materials engineering, M. Sc. student

Author's research interests: computational fluid dynamics (CFD)

Telephone and e-mail address: 8 5 2744733, 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 materials engineering, professor

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

Telephone and e-mail address: 8 5 2744733, vadim.moksin@vilniustech.lt

ŠILUMOS MAINŲ ATVIRUOSE ŠALDYTUVUOSE SKAITMENINIO MODELIAVIMO METODIKA

Tadas Vengalis, Vadim Mokšin
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Anotacija

Straipsnyje pateikiama šilumos srautų atviruose šaldytuvuose su oro užuolaida skaitmeninio tyrimo metodika, sudaryta supaprastinto 2D CFD modelio pagrindu. Metodika skirta tirti ir projektuoti atvirus šaldytuvus pagal ISO 23953-2:2015 standartą. Pateikti standartinio ir modifikuoto, kuriame šalto oro išleidimo grotelių posvyrio kampas padidintas nuo 40 iki 65° šaldytuvų oro srautų modeliavimo rezultatai. Parodyta, kad produktų temperatūros gautos modeliuojant ir matuojant skiriasi apie 6 %, skaitmeninis modelis tokiu atveju validuojamas.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: atviras šaldytuvas, oro užuolaida, skaičiuojamoji skysčių dinamika, oro srauto greitis, temperatūra, 2D modelis.

Įvadas

Maisto produktų parduotuvė, kurioje atvėsinti arba atšaldyti maisto produktai laikomi pramoniniuose šaldymo įrenginiuose, yra paskutinė šaldymo grandinės grandis prieš maisto produktui pasiekiant vartotoją. Šie pramoniniai šaldytuvai būna atviro bei uždaro tipo. Atviri šaldytuvai labai paplitę mažmeninių tinklų parduotuvėse, kurios siūlo greitai gendančius maisto produktus. Pagrindinis atviro tipo šaldymo įrenginių privalumas prieš uždarus yra tai, kad jie neturi matomo barjero tarp pirkėjo ir produktų ir pirkėjas maisto produktus lengvai pasiekia (Chen, Yuan, 2005). Nepaisant to, atviro tipo šaldytuvai nepasižymi efektyvumu energijos suvartojimo požiūriu bei dažnai neužtikrina reikalingos temperatūros viso pardavimo laikotarpio metu. Nustatyta, kad aplinkos oro infiltracija į atviro tipo šaldytuvą gali siekti iki 67–77 % visų šilumos mainų su aplinka (Fricke, Becker, 2010). Darbe (Laguerre et al., 2012a) teigiama, kad 30 % produktų, pateiktų šaldymo vitrinose, temperatūra buvo daugiau kaip 2 °C didesnė už rekomenduojamą laikymo temperatūrą. Wilcox et al. (1994) atliktas daržovių temperatūros tyrimas Belgijos mažmeninės prekybos vietose parodė, kad prekybos vitrinose yra silpniausia šaldymo grandinės grandis. Buvo išmatuoti didesni nei 5 °C temperatūrų skirtumai skirtingose lentynose. Evans et al. (2007) pastebėjo, kad dauguma didesnės temperatūros produktų (97 %) buvo šaldytuvo priekinėje dalyje, o daugiausia jų (60 %) – priekyje apačioje. Tai, kad temperatūra lentynų gale yra mažesnė nei priekyje taip pat parodo Greer et al. (1994) ir Gill et al. (2003) atlikti tyrimai su atšaldyta mėsa, kuri buvo laikoma atvirame vertikaliame šaldytuve.

Dėl mažo energijos efektyvumo 2020 metais dauguma Prancūzijos mažmeninės prekybos tinklų savanoriškai pasirašė susitarimą dėl atvirų šaldytuvų atsisakymo prekybos vietose. Pagal Europos Sąjungos reikalavimus tik labai efektyvius atvirus pramoninius šaldytuvus, kurių EEI (angl. *Energy Efficiency Index*) koeficientas neviršys 80 ribos ($EEI \leq 80$) bus leidžiama naudoti prekyboje. Ekologinio dizaino reikalavimuose (2019/2024 reguliavimas) EEI nuo 2021 metų kovo 1 dienos negali viršyti 100, o nuo 2023 metų rugsėjo 1 – 80. Dauguma atvirų šaldymo vitrinų viršija EEI koeficiento ribą, todėl toliau plėtojant šio tipo šaldytuvų gamybą ir pardavimus, reikia juose diegti naujausius ir pažangiausius komponentus (inverteriniai kompresoriai, elektroniniai išsiplėtimo vožtuvai, mikrokanaliniai kondensatoriai), kurie taupo elektros energiją. Tačiau šių pakeitimų neužtenka efektyviam šaldytuvo darbui užtikrinti, todėl būtina didinti ir nematomo barjero (oro srauto užuolaidos) efektyvumą. Šalto oro užuolaidos užtikrina ne tik aušinimą, bet ir izoliaciją nuo aplinkos oro. Siekiant sumažinti šilumos mainus su aplinka taikomos įvairios strategijos optimizuojant šaldytuvų darbą. Taip Cao et al. (2011) pateikė oro užuolaidos darbo optimizacijos strategiją, kurios dėka teisingai parinkus oro cirkuliacijos santykį, oro užuolaidos formą, oro srauto greitį ir šaldytuvo lentynų išdėstymą, galima sukurti efektyvesnę oro užuolaidą ir žymiai sumažinti aplinkos oro įsiskverbimo santykį. Sun et al. (2017) taikant CFD (angl. *Computational Fluid Dynamics*) programinę įrangą palygino atviro tipo šaldytuvus su ir be oro srauto nukreipėjų. Buvo nustatyta, kad naudojant nukreipėjus oro srauto užuolaida sustiprėjo bei sumažėjo šilto oro įsiskverbimas iš aplinkos. Šie tyrimai parodo, kad sprendžiant optimizavimo uždavinius galima pasiekti geresnę šaldytuvo temperatūros klasę bei energijos efektyvumą.

Atvirame šaldytuve šiluma perduodama pirmiausiai konvekcijos būdu, todėl temperatūrą ir jos homogeniškumą tiesiogiai lemia oro srautai (Laguerre et al., 2012a). Šilumos šaltinius atviruose šaldytuvuose galima suskirstyti taip: aplinkos oro infiltracija, šilumos perdavimas spinduliuojant, šilumos perdavimas laidumu per sienes, apšvietimas, ventiliatoriai, atitirpinimas. Aplinka, kurioje dirba šaldymo vitrinose, turi didelę įtaką oro užuolaidų efektyvumui (Chen, Yuan, 2005). Jų tyrimas rodo, kad padidėjus aplinkos temperatūrai pakyla temperatūra šaldytuvo viduje, taip pat tiekiamo ir gražinamo oro temperatūra. Eksperimentiškai nustatyta, kad temperatūra atviruose šaldytuvuose vasaros laiku yra didesnė, palyginti su matavimų rezultatais gautais žiema (Laguerre et al., 2012a). Chen ir Yuan (2005) eksperimentiškai ištyrė oro

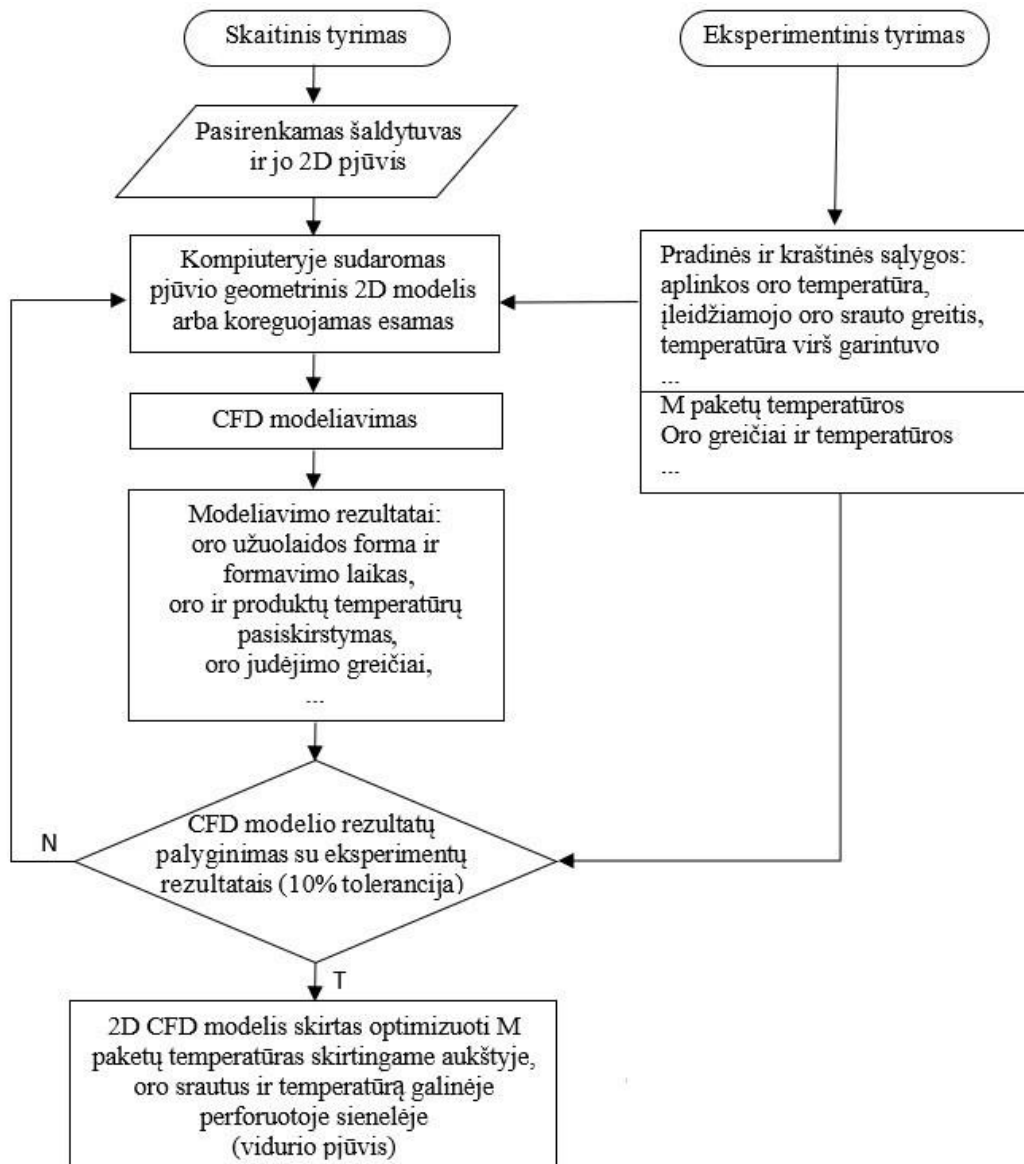
užuolaidos srauto greičio (0,2–0,5 m/s intervale) poveikį temperatūrai tuščioje vitrinoje. Šis tyrimas rodo, kad Reinoldso skaičiui (Re) padidėjus nuo 4100 iki 5000, oro temperatūra šaldytuvo viduje sumažėja 1–1,5 °C, daugiausiai apatinėje lentynoje.

Nuodugnus reiškinių, susijusių su oro srautais ir produktų temperatūra šaldymo sistemose, supratimas yra sudėtinga užduotis, nes yra daug tarpusavyje susijusių veiksnių, kurie veikia vienu metu (Smale et al., 2006). Tyrimai rodo, kad šie veiksniai taip pat gali priklausyti nuo veikimo ir (arba) aplinkos sąlygų. Todėl šių sistemų optimizavimas nėra elementari problema, tik kai kurių sistemų komponentų optimizavimui gali prireikti daug eksperimentų, o tai brangiai kainuoja nes reikalauja specialių patalpų ir įrangos. Skaitmeninis modeliavimas siūlo ekonominę alternatyvą fiziniams eksperimentams, tačiau dėl veiksnių daugybės būtina, kad modelio patikimumas būtų patvirtintas eksperimentų rezultatais.

CFD metodai dažnai naudojami temperatūros pasiskirstymui ir oro srauto greičiams nustatyti. Nors CFD yra galingas modeliavimo įrankis, leidžiantis tiksliai nustatyti gaminio temperatūrą, jo naudojimas yra ribotas taip pat dėl skaičiavimo laiko (kelios dienos vienam skaičiavimui naudojant daugiau nei 1 mln. elementų (Laguerre et al., 2012b)). Siekiant išvengti šios problemos, šio darbo tikslas – sukurti supaprastintą, bet patikimą šilumos mainų modelį, kuriam reikėtų mažai skaičiavimo laiko.

Tyrimų metodika

Tyrimai atliekami pagal algoritmą pateiktą 1 pav.



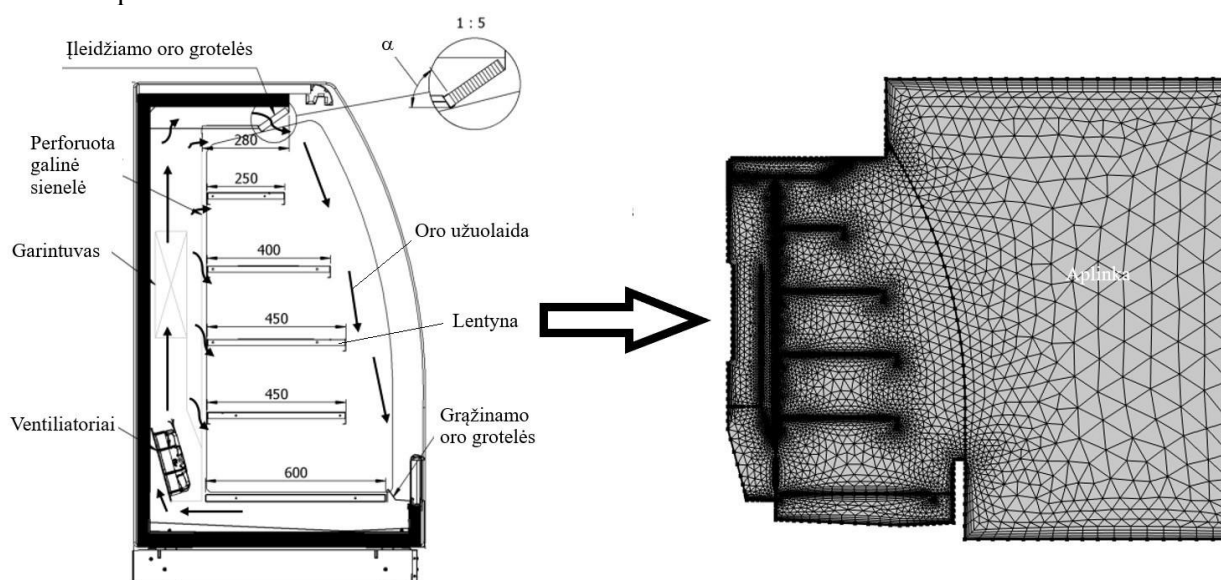
1 pav. Siūlomos atvirų šaldytuvų tyrimų metodikos blokinė schema

Šaltinis: sudaryta autorių

Sudaromi šaldytuvo skersinių pjūvių 2D geometriniai modeliai. Sprendžiant 3D skaitmeninius uždavinius reikalingi didesni kompiuteriniai resursai, tačiau 3D modelis tikslesnis, nes įvertinama ne tik visa pramoninio šaldytuvo geometrija, bet ir laboratorijos patalpos su nustatytomis klimato sąlygomis. Sprendžiant 2D skaitmeninius uždavinius kraštinės sąlygos koreguojamos pagal gautus eksperimentinius rezultatus. Po korekcijų CFD modelis validuojamas ir toliau tęsiami skaičiavimai su patvirtintu modeliu. Vienu ar kitu atveju skaitmeninis modelis laikomas teisingu jei rezultatai tarp eksperimento ir skaitmeninio tyrimo skiriasi iki 10%.

Šaldytuvo 2D modelio pavyzdys pateiktas 2 pav. Kairėje parodytas modeliuojamo atviro šaldytuvo, kurio išoriniai matmenys (ilgis×gylis×aukštis) yra 2500×970×1660 mm, šoninis vaizdas. Šaldytuve yra 5 lentynos, skirtos maisto produktams. Reikiamą temperatūrą viduje palaiko du šalto oro srautai. Pirmasis oro srautas juda žemyn iš korio pavidalo įleidžiamo oro grotelių (2 pav.), esančių šaldytuvo viršuje ir sukuria oro užuolaidą. Antra šalto oro srovė patenka iš galo per perforuotą galinę sienelę ir juda į priekį, kur šie du oro srautai susimaišo. Toliau oras ventiliatoriais nukreipiamas į grįžtamojo oro groteles (2 pav.), praleidžiamas per aušinimo sistemos gyvatukus, kad sumažėtų temperatūrą, ir grįžta į šaldytuvą. Siekiant padidinti oro užuolaidos efektyvumą, esančioje šaldytuvo konstrukcijoje pakeičiamas korio posvyrio kampas α (2 pav., kairėje) nuo 40 iki 65°. 2D geometrinis vidurinio pjūvio modelis suskaidytas baigtiniais elementais parodytas 2 pav. dešinėje.

Korio modeliavimui buvo naudojama plonasluoksnė struktūra siekiant tiksliau sumodeliuoti oro srauto kryptį. Pakabinamos lentynos, apatinė lentyna, galinė perforuota sienelė ir kitos šaldytuvo dalys yra pagamintos iš plieno lakštų, per kuriuos vyksta šilumos perdavimas. Pakabinamos lentynos ir apatinė lentyna buvo modeliuojamos kaip plieninės 1,4 mm storio sienelės. Kitos vidinės dalys buvo modeliuotos kaip 0,7 mm storio plieninės sienelės.



2 pav. Atviro tuščio šaldytuvo šoninis vaizdas (kairėje) ir vidurio pjūvio 2D geometrinis modelis su baigtinių elementų tinkleliu

Šaltinis: sudaryta autorių

Modeliavimui naudojama COMSOL Multiphysics® programinė įranga. Siekiant sutaupyti skaičiavimo laiką, turbulentiems srautams modeliuoti pasirenkamas RANS (angl. *The Reynolds averaged Navier-Stokes equations*) – Reinoldso suvidurkintų Navjė ir Stokso lygčių metodas. Net ir sudėtingi RANS metodai reikalauja daug mažiau kompiuterinių resursų, negu LES (angl. *Large eddy simulation*) ir SST (angl. *Menter's Shear Stress Transport*) metodai. RANS $k-\epsilon$ turbulentinis modelis dažniausiai pasitaiko įvairių autorių darbuose (Alzuwaid at al., 2016; Chaomuang et al., 2020; Dagaro et al., 2006; Du et al., 2020; Foster et al., 2004; He et al., 2022; Li et al., 2022; Marrinetti et al., 2014; Moureh, Yataghene, 2016; Nascimento et al., 2019; Orlandi et al., 2013; Rai et al., 2019; Sun et al., 2017; Tsamos et al., 2019) ir vadinamas „inžinieriniams skaičiavimams priimtino tikslumo“ modeliu (Tabatabaian, 2015).

Skaitmeninio uždavinio sprendinys labai priklauso nuo apibrėžtų kraštinių ir pradinių sąlygų. Modeliuojant šilumos srautus, iš šaldytuvo eliminuojami tam tikri komponentai, tokie kaip ventiliatoriai, garintuvai ir dalis šaldytuvo tūrio (2 pav.). Taip, ventiliatorius pakeičiamas oro srauto greičiu (1,2 m/s šiame tyrime). Šaldytuvą modeliuojamas kaip uždara sistema (angl. *Closed loop*), todėl kraštinėse sąlygose

nustatoma įleidžiamo oro srauto temperatūra ir greitis bei grąžinamo oro srauto greitis/slėgis. Įleidžiamo oro temperatūra dažniausiai yra fiksuota, tai yra temperatūra gauta eksperimentinių tyrimų metu, tiksliau algebrinis jos vidurkis šaldymo ciklo metu. Šiame tyrime ji buvo $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Wu ir bendraautoriai (Wu et al., 2014) kraštines sąlygas apibrėžė įleidžiamo oro temperatūra ir greičiu, grąžinamo oro temperatūra ir slėgiu bei šoninių sienų temperatūra. Kraštinės sąlygos tokio pobūdžio uždaviniuose taip pat yra aplinkos temperatūra, oro drėgmė ir šoninis oro srautas, kuris 3D modeliuose pasirenkamas pagal klimato klasę.

Šaldytuvo darbo ciklas susideda iš trijų pagrindinių etapų: atšaldymas, temperatūros palaikymas ir atitirpinimo procesas. Skaitmeniniuose modeliuose atitirpinimo procesas dažniausiai neįvertinamas. Wang ir bendraautoriai (Wang et al., 2015) savo darbe CFD modeliavimą suskirstė į tris dalis: 1. Šaldymo tūrio atšaldymas nuo kambario temperatūros iki $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (atšaldymo ciklas); 2. Temperatūros išlaikymas nuo -7 iki $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (išlaikymo ciklas); 3. Šaldymo tūrio atšaldymas nuo $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (pakartotinis atšaldymo ciklas). Tikslus temperatūrų laiko skalėje įtraukimas į kraštines sąlygas būtų sudėtingas procesas, kuris realios naudos neatneštų, nes šis skaitmeninis modelis parodytų kaip kažkada veikė pramoninis šaldytuvas be galimybės atkartoti eksperimentą.

Apibendrinant kraštines sąlygas, jas būtų galima sugrupuoti taip:

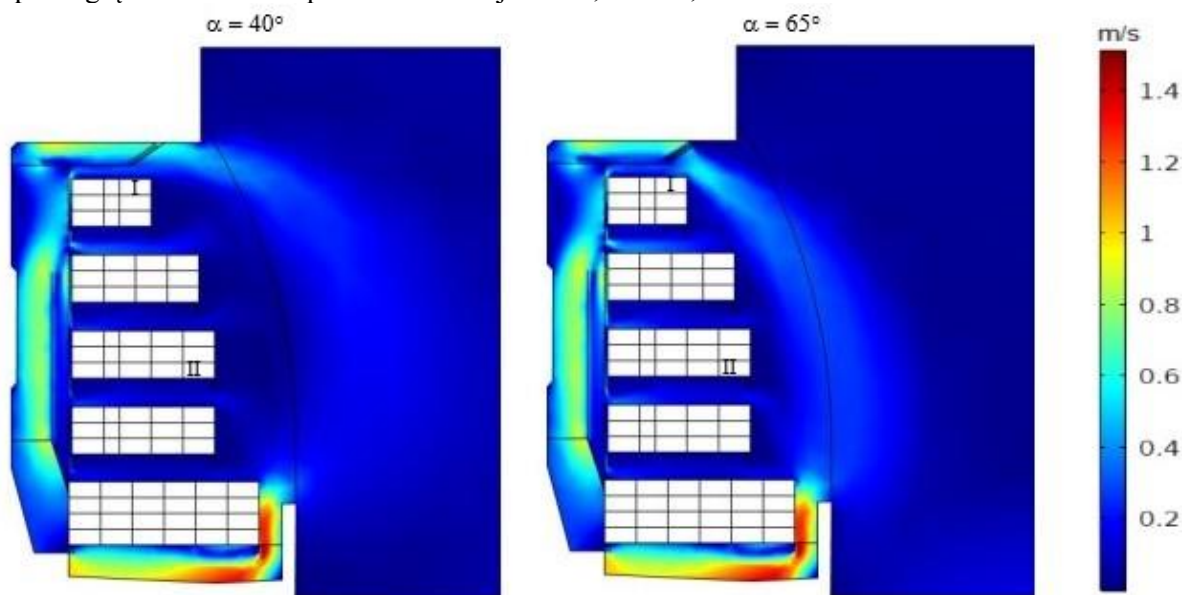
- a) aplinkos temperatūra, drėgmė ir oro judėjimas;
- b) gravitacija, kuri sukuria natūraliąją konvekciją;
- c) fiksuota oro srauto temperatūra ir greitis;
- d) garintuvas ir ventiliatoriai pakeičiami oro srautu;
- e) masės pernešimas nuo kieto kūno į orą nevertinamas;

Pagal ISO 23953-2:2015 standartą, šaldytuvas turi būti išbandytas kontroliuojamoje aplinkoje esant $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ oro temperatūrai, 60 % santykiniam drėgnumui ir $0,1\text{--}0,2\text{ m/s}$ oro srauto greičiui 3 klimato klasei. Modeliavimui buvo taikytas atviro pasienio modelis. Tai reiškia, kad oras gali laisvai judėti į bandymo aplinką ir iš jos.

Rezultatai ir jų aptarimas

Skaičiavimai buvo atlikti naudojant kompiuterį (64 bitų operacinė sistema) su „Intel(R) Core(TM) i7-7700K centriniu procesoriumi, veikiančiu 4,20 GHz dažniu ir naudojančiu 32 Gb operatyviosios atminties. Skaičiavimai truko maždaug vieną valandą.

3 pav. Pavaizduotas oro srauto greičių pasiskirstymas M paketais užpildyto šaldytuvo viduriniame pjūvyje esant 40 ir 65° įleidžiamo oro grotelių (korio) posvyrio kampo α (2 pav.) reikšmėms. Jame matosi visiškai suformuotos oro srauto užuolaidos profiliai. Kai šaldytuvas pilnas maisto produktus imituojančių M paketų, oro srauto užuolaida pilnai susiformuoja po 120 s. Tačiau oro užuolaidos forma keičiasi kintant kampui α . Kai kampas yra 40° , oro užuolaida formuojama už šaldytuvo kontūro ribų, tuo tarpu esant 65° kampui, oro užuolaida susidaro kontūre, o aplinkos veiksniai mažiau įtakoja jos formą. Taip pat didėjant kampui α grąžinamo oro temperatūra sumažėja nuo $3,43$ iki $2,83\text{ }^{\circ}\text{C}$.



3 pav. Oro srauto greičių pasiskirstymas viduriniame šaldytuvo pjūvyje esant skirtingoms korio posvyrio kampo reikšmėms

Šaltinis: sudaryta autorių

Lentelėje 1 palyginamos M paketo, esančių I ir II pozicijose šaldytuvo lentynose (3 pav.), temperatūros, gautos eksperimentiškai ir modeliuojant. Temperatūros buvo matuojamos termoporumis 6 valandų šaldymo ciklo metu, toliau buvo skaičiuojamas vidurkis. Galima matyti, kad eksperimento ir modeliavimo rezultatai gerai sutampa, skirtumas sudaro apie 6 %.

1 lentelė

Eksperimentiškai ir modeliuojant gautų produktų temperatūros		
M paketo padėtis šaldytuve (3 pav.)	Išmatuota temperatūra, °C	Modeliuojant gauta temperatūra, °C
I	0,91	0,86
II	3,78	3,62

Išvados

Sukurtas supaprastintas 2D CFD modelis oro srautų greičiams ir temperatūroms analizuoti atviro tipo šaldytuvuose. Siūlomas CFD modelis validuotas eksperimento rezultatais.

Literatūra

1. Alzuwaid, F.A., Ge, Y.T., Tassou, S.A., Sun, J. 2016. The novel use of phase change materials in an open type refrigerated display cabinet: A theoretical investigation. *Applied Energy*, 180, 76–85.
2. Cao, Z., Han, H., Gu, B. 2011. A novel optimization strategy for the design of air curtains for open vertical refrigerated display cases. *Applied Thermal Engineering*, 31(16), 3098–3105.
3. Chaomuang, N., Laguerre, O., Flick D. 2020. A simplified heat transfer model of a closed refrigerated display cabinet. *Thermal Science and Engineering Progress*, 17, 100494.
4. Chen, Y.-G., Yuan, X.-L. 2005. Experimental study of the performance of single-band air curtains for a multi-deck refrigerated display cabinet. *Journal of Food Engineering*, 69(3), 261–267.
5. D'Agaro, P., Cortella, G., Croce, G. 2006. Two- and three-dimensional CFD applied to vertical display cabinets simulation. *International Journal of Refrigeration*, 29(2), 178–190.
6. Du, J., Nie, B., Zhang, Y., Du, Z., Wang, L., Ding, Y. 2020. Cooling performance of thermal energy storage-based portable box for cold chain applications. *Journal of Energy Storage*, 28, 101238.
7. Evans, J.A., Scarcelli, S., Swain, M.V.L. 2007. Temperature and energy performance of refrigerated retail display and commercial catering cabinets under test conditions. *International Journal of Refrigeration*, 30(3), 398–408.
8. Foster, A.M., Madge, M., Evans, J.A. 2004. The use of CFD to improve the performance of a chilled multi-deck retail display cabinet. *International Journal of Refrigeration*, 28(5), 698–705.
9. Fricke, B., Becker, B. 2010. Energy use of doored and open vertical refrigerated display cases. 13th International Refrigeration and Air-Conditioning Conference at Purdue, July 12–15, 2010, West Lafayette, IN, USA, 2513.
10. Gill, C.O., Jones, T., Rahn, K., Campbell, S., LeBlanc, D.I., Holley, R.A., Starke, R. 2003. The temperatures and ages of boxed beef packed and distributed in Canada. *Meat Science*, 60, 401–410.
11. Greer, G.G., Gill, C.O., Dilts, B.D. 1994. Evaluation of the bacteriological consequences of the temperature regimes experienced by fresh chilled meat during retail display. *Food Research International*, 27(4), 371–377.
12. He, W., Zhang, J., Guo, R., Pei, C., Li, H., Liu, S., Wei, J., Wang, Y. 2022. Performance analysis and structural optimization of finned liquid-cooling radiator for chip heat dissipation. *Applied Energy*, 327, 120048.
13. Laguerre, O., Hoang, M.H., Osswald, V., Flick, D. 2012a. Experimental study of heat transfer and air flow in a refrigerated display cabinet. *Journal of Food Engineering*, 113(2), 310–321.
14. Laguerre, O., Hoang, M.H., Flick, D. 2012b. Heat transfer modelling in a refrigerated display cabinet: The influence of operating conditions. *Journal of Food Engineering*, 108(2), 353–364.
15. Li, X., Zhang, Z., Liu, H., Hu, X., Liu, S., Xu, Z., Wang, Q. 2022. Performance of an open refrigerated display cabinet with two air curtains. *Applied Thermal Engineering*, 212, 118549.
16. Marinetti, S., Cavazzini, G., Lauri, I., Testa, S., Minetto, S. 2014. Numerical and experimental analysis of the air flow distribution in the cooling duct of a display cabinet. *International Journal of Refrigeration*, 42, 8–13.
17. Moureh, J., Yataghene, M. 2016. Numerical and experimental study of airflow patterns and global exchanges through an air curtain subjected to external lateral flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 74, 308–323.
18. Nascimento, S.M., Heidinger, G.G., Gaspar, P.D., Silva, P.D. 2019. Numerical and experimental evaluation of the aerodynamic drag of the air curtain in Vertical Open Refrigerated Display Cases. *Proceedings of the 25th IIR International Congress of Refrigeration*, August 24–30, 2019, Montreal, Canada, 3437–3444.
19. Orlandi, M., Visconti, F.M., Zampini, S. 2013. CFD assisted design of closed display cabinets. 2nd IIR International Conference on Sustainability and the Cold Chain, April 2–4, 2013, Paris, France, 1–8.
20. Rai, A., Sun, J., Tassou S.A. 2019. Numerical investigation of the protective mechanisms of air curtain in a refrigerated truck during door openings. *Energy Procedia*, 161, 216–223.

21. Smale, N.J., Moureh, J., Cortella, G. 2006. A review of numerical models of airflow in refrigerated food applications. *International Journal of Refrigeration*, 29(6), 911–930.
22. Sun, J., Tsamos, K.M., Tassou S.A. 2017. CFD comparisons of open-type refrigerated display cabinets with/without air guiding strips. *Energy Procedia*, 123, 54–61.
23. Tabatabaian, M. 2015. *COMSOL5 for Engineers*. Herndon: Mercury Learning & Information.
24. Tsamos, K.M., Mroue, H., Sun, J., Tassou, S.A., Nicholls, N., Smith, G. 2019. Energy savings potential in using cold-shelves innovation for multi-deck open front refrigerated cabinets. *Energy Procedia*, 161, 292–299.
25. Wang, L., Zhang, L., Lian, G. 2015. A CFD simulation of 3D air flow and temperature variation in refrigeration cabinet. *Procedia Engineering*, 102, 1599–1611.
26. Willock, F., Hendrick, M., Tobback, P. 1994. A preliminary survey into the temperature conditions and residence time distribution of minimally processed MAP vegetables in Belgian retail display cabinets. *International Journal of Refrigeration*, 17(7), 436–444.
27. Wu, X., Chang, Z., Yuan, P., Lu, Y., Ma, Q., Yin, X. 2014. The optimization and effect of back panel structure on the performance of refrigerated display cabinet. *Food Control*, 40, 278–285.

NUMERICAL SIMULATION METHODOLOGY OF HEAT EXCHANGE IN OPEN REFRIGERATORS

Summary

The article presents a numerical research methodology for studying heat flows in open refrigerators with an air curtain, which is based on a simplified 2D CFD model. The methodology is intended to study and design open refrigerators according to the ISO 23953-2:2015 standard. The results of the air flow simulation inside the standard and modified refrigerator, in which the angle of inclination of the cold air discharge grill is increased from 40 to 65°, are presented. It is shown that temperatures of the products obtained by CFD simulation and measurement differ by about 6 %, in this case the numerical model is validated.

Key words: open refrigerator, air curtain, computational fluid dynamics, air flow rate, temperature, 2D model.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Tadas Vengalis

Mokslų laipsnis ir vardas: mechanikos inžinerijos mokslų magistras

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

Autoriaus mokslinių interesų sritys: skaičiuojamoji skysčių dinamika

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 5 2744733, tadas.vengalis@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 2744733, vadim.moksin@vilniustech.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Tadas Vengalis

Science degree and name: Master of mechanical engineering

Workplace and position: Vilnius Gediminas technical university, Faculty of mechanics, Department of mechanical and materials engineering, Ph. D. student

Author's research interests: computational fluid dynamics (CFD)

Telephone and e-mail address: 8 5 2744733, tadas.vengalis@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 materials engineering, professor

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

Telephone and e-mail address: 8 5 2744733, vadim.moksin@vilniustech.lt

ORLAIVIO VARIKLIO STENDO KONSTRUKCIJOS PROJEKTAVIMAS

Esmeralda Štyps
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Lėktuvo variklis yra daugiausiai techninės priežiūros ir taisymo reikalaujanti lėktuvo dalis. Išskyla būtinybė nuolat tobulinti priemones skirtas variklio priežiūrai. Viena iš priemonių – orlaivio variklio stendas. Kiekvienas stendas turi plusų ir minusų. Tinkamiausias stendas mokymo tikslams - demonstracinis stendas, kadangi jis atitinka didžiąją dalį mokymams reikalingų ir norimų techninių specifikacijų.

Straipsnyje pateikta variklių stendų apžvalga, variklio „Continental TSI0 – 520C“ tvirtinimo ypatumai orlaivyje ir ant stendo. Atlikta orlaivio variklio stendo konstrukcijos stipruminė analizė: 1) kai apkrovą sudaro pats variklio svoris; 2) kai apkrovą sudaro variklio svoris ir šoninės apkrovos.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: orlaivio variklio stendas, variklio tvirtinimo ypatumai, variklio stendo konstrukcijos stipruminė analizė.

Įvadas

Lėktuvo variklis yra daugiausiai techninės priežiūros ir taisymo reikalaujanti lėktuvo dalis. Dėl šios priežasties išskyla būtinybė nuolat tobulinti priemones skirtas variklio priežiūrai. Viena iš priemonių – orlaivio variklio stendas.

Orlaivio variklio stendo paskirtis - laikyti variklį taip, kad mechanikas galėtų lengvai pasiekti visas išorines ir vidines variklio dalis, kurios yra sunkiai pasiekiamos, kai variklis yra vis dar orlaivio viduje. Taip pat šie stendai naudojami kaip laikina variklio laikymo ar net transportavimo vieta orlaivio kapitalinio remonto metu.

Kadangi yra labai daug skirtingų aviacinių variklių tipų, o esamos įrangos perkėlimas tarp angarų, pirkimas ar nuoma gali apsunkinti sklاندaus darbo procesą, spręsta **problema** – kaip suprojektuoti ir pasigaminti orlaivyje „CESSNA 185 naudojamo variklio „Continental TSI0-520C“ stendą.

Tyrimo objektas - Orlaivio variklio stendo projektavimas.

Tyrimo tikslas – suprojektuoti orlaivio variklio stendą įvertinant konstrukcijos stipruminius rodiklius.

Tyrimo uždaviniai:

1. Apžvelgti variklių stendų tipus ir variklio tvirtinimo ypatumus.
2. Atlikti orlaivio stendo konstrukcijos stipruminius skaičiavimus.

Tyrimo metodai: techninės literatūros šaltinių analizė, stendo konstrukcijos stipruminė analizė.

1. Variklių stendų tipų apžvalga

Variklių stendai yra klasifikuojami į penkis pagrindinius tipus: dinamometrinius, demonstracinius, variklio bandymo, remonto, transportavimo stendus.

Dinamometrinis arba „dino“ stendas (1 pav., a) suteikia galimybę išmatuoti variklio galią, sukimo momentą, stebėti variklį jį veikiant apkrovoms. Stendas turi būti standus ir tvirtas, kieta jungtimi pritvirtintas prie nejudančio paviršiaus. Stendas nėra mobilus, todėl sunkus jo transportavimas, reikalingas specialus pasiruošimas stendo tvirtinimui. Būtinai elektros maitinimas norit naudotis stendu. [1]

Demonstracinis stendas (1 pav., b) naudojamas mokymo įstaigose. Šis stendas skirtas aiškinti variklio veikimo principus bei siekiant patogiai parodyti ant variklio esančius agregatus. Demonstracinis rėmas dažniausiai yra nesudėtingos konstrukcijos, yra mobilus, todėl lengvai transportuojamas. Nereikalingas joks papildomas specialus pasiruošimas prieš statant stendą. [1]

Variklio bandymo stendas (1 pav., c) naudojamas siekiant atkartoti variklio darbą tarsi šis vis dar būtų orlaivyje. Stendo dėka galima nustatyti gedimą pasireiškiantį skrydžio metu arba atlikus kapitalinį remontą išbandyti variklį, simuliuojant įvairius skrydžio režimus. Suteikiama galimybė atlikti gyvą diagnostiką stebint variklio parametrus. Stendas pasižymi tvirta konstrukcija, kadangi turi atlaikyti jį veikiančius krūvius ir vibracijas. Stendas yra sunkus bei nemobilus, todėl reikia pasirūpinti specialiu tvirtinimu prie stabilaus paviršiaus. [1]



a



b



c



d



e

1 pav. Variklių stendų tipai

a) dinamometrinis arba „dino“ stendas; b) demonstracinis stendas; c) variklio bandymo stendas; d) remonto stendas; e) transportavimo / gabenimo stendas

Šaltinis: [1]

Remonto stendas (1 pav., d) skirtas patogiam variklio remontui. Naudojamas variklių remonto dirbtuvėse ir angaruose. Sudėtingos stendo konstrukcijos dėka suteikiama galimybė lengvai pasiekti bet kurią variklio konstrukcijos dalį, yra galimybė variklį pasikelti į norimą aukštį arba pasukti apie tvirtinimo ašį. Stendas yra mobilus, jį lengva transportuoti. [1]

Aviacijos įrankiai, tokie kaip universalūs žemo profilio transportavimo / gabenimo stendai (1 pav., e), yra skirti palaikyti ir perduoti įvairių tipų orlaivių variklius tiek orlaivių techninės priežiūros vietose, tiek gabenant keliais, jūra ir oru. Šis orlaivio variklio stendas palaiko variklį transportavimo metu. Jo konstrukcija yra tvirta ir sunkiai gaminama, turi amortizatorių kaladėles, tvirtinimo kablius. Rėmas neužima daug vietos. Taip užtikrinama kad gabenimo metu stendas neužims daug vietos. Vibracija ar smūgiai būtų sušvelninti, variklis liks nepažeistas. [1]

1 lentelė

Variklio stendų palyginimas

Stendas	Paprasta konstrukcija	Integruota variklio užkūrimo sistema	Saugus naudoti mokymo tikslams	Mobilumas
Dinamometrinis arba „dino“ stendas	-	✓	-	-
Demonstracinis stendas	✓	-	✓	✓
Variklio bandymo stendas	-	✓	✓	-
Remonto stendas	-	-	✓	✓
Transportavimo / gabenimo stendas	-	-	✓	✓

Šaltinis: sudarytas autorės

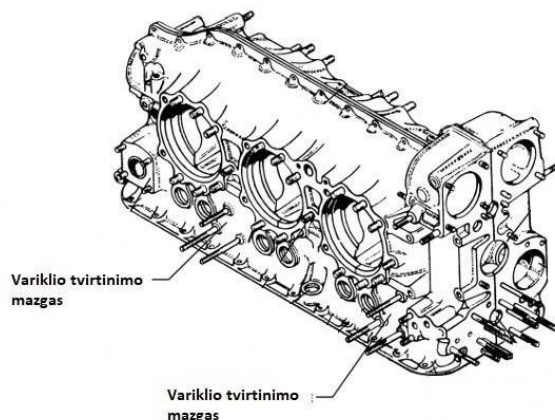
Iš atliktos stendų lyginamosios analizės (žr. 1-ą lentelę) galima teigti, kad kiekvienas stendas turi pliusų ir minusų. Tinkamiausias stendas mokymo tikslams - demonstracinis stendas (1 pav., b), kadangi atitinka didžiąją dalį mokymams reikalingų ir norimų techninių specifikacijų.

2. Variklio tvirtinimo ypatumai

Variklio „Continental TSI0 – 520C“ tvirtinimo ypatumai.

Kaip ir dauguma „Continental“ opozicinio tipo variklių, taip ir 520 serijos C modelis prie orlaivio yra tvirtinamas keturių tvirtinimo taškų pagalba prie specialaus rėmo orlaivyje. Dvi tvirtinimo šakės tvirtinamos

kairėje variklio pusėje ir likusios dvi - dešinėje. Tvirtino šakė tvirtinama 3 varžtais kiekviename tvirtinimo taške.

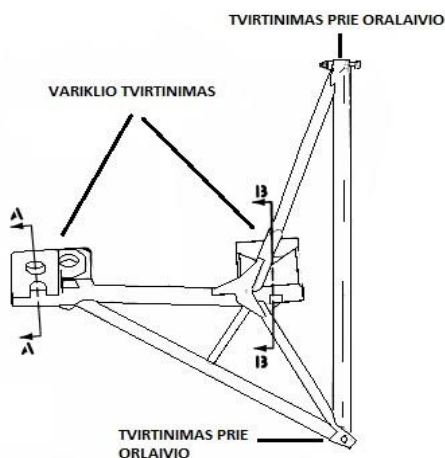


2 pav. Variklio „Continental TSI0 – 520C“ tvirtinimo taškai
Šaltinis: [2]

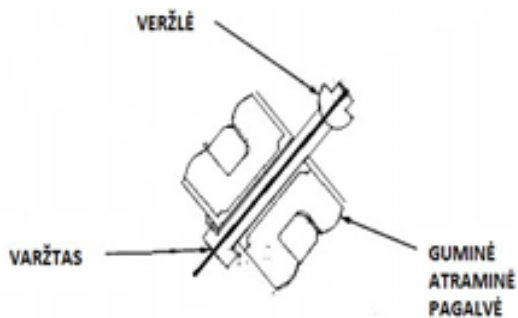
Tvirtinimo taškuose (žr. 2 pav.) prie variklio bloko prisukamos specialios tvirtinimo šakės. Ant šakių (žr. 3 pav.) užmaunamos variklio pagalvės skirtos vibracijų slopinimui (žr. 4 pav.). Prie pagalvių prisukamos tvirtinimo įvorės sujungtos vamzdžiu. Pastarasis vamzdis jungiamas prie orlaivio rėmo.

Variklio tvirtinimo orlaivyje „Cessna 185“ ypatumai.

Orlaivyje „Cessna 185“ variklį laiko plieninė šakės konstrukcija (žr. 3 pav.). Nors ši rėminė konstrukcija tesveria tik apie 7 kg, ji yra pakankamai stipri, kad išlaikytų „Continental TSI0-520C“ variklį, kurio svoris apie 219 kg, trijų menčių propelerį ir įvairias susidariusias vibracijas bei smūgius, kuriuos gali sukelti priekinė orlaivio važiuoklė.



3 pav. Konstrukcija tvirtinant variklį orlaivyje
Šaltinis: [3]



4 pav. Variklio tvirtinimo pagalvė
Šaltinis: [3]

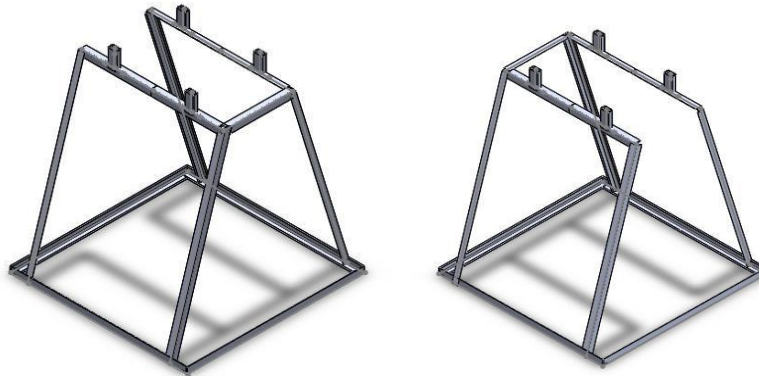
Konstrukcijoje yra naudojami aštuoni vamzdžiai: du 1,27 centimetrų diametro, du 1,4 centimetrų diametro ir keturi 1,9 centimetrų diametro. Rėmas gaminamas iš „SAE 4130“ klasės grūdinto chromuoto plieno, naudojamo lengvų lėktuvų pramonėje.

3. Orlaivio variklio stendo stipruminė analizė

Orlaivio variklio stendo modelis.

Orlaivio eksploatacijos metu paaiškėjo, jog guminiai padai buvo nepatvarūs naudojant 3 menčių propelerio konfigūraciją. Dėl šios priežasties tvirtinimo taškai buvo patobulinti, pakeičiant du galinius tvirtinimo padus į dideles gumines tvirtinimo pagalves. Šios pagalvės pavaizduotos 4-jame paveiksle.

Orlaiviui „Cessna 185“ buvo suprojektuotas variklio stendas su keturiais nedideliais guminiais tvirtinimo padais (žr. 5 pav.).



5 pav. Projektuojamo variklio stendo modelis

Šaltinis: [sudarytas autorės]

Projektuojamas variklio stendas turi specialius tvirtinimo taškus, skirtus varikliui „Continental TSIO-520 C“ tvirtinti, galima teigti, jog visas variklio svoris bus perduodamas būtent šiems taškams. Stendo konstrukcija yra gana sudėtinga, jėgos veikia skirtingose ašyse. Taip pat įtempiai bus nevienodi, siekiant užtikrinti gautų rezultatų tikslumą, naudojama kompiuterinė programa „Solidworks 2021“.

Nagrinėti du apkrovimo atvejai:

- 1) kai apkrovą sudaro pats variklio svoris;
- 2) kai apkrovą sudaro variklio svoris ir šoninės apkrovos.

Numatomų apkrovų skaičiavimas.

Siekiant išvengti nelaimės ir didelių nuostolių dėl sulūžusios stendo konstrukcijos, reikia numatyti įmanomas apkrovas ir jomis apkrauti projektuojamą stendą.

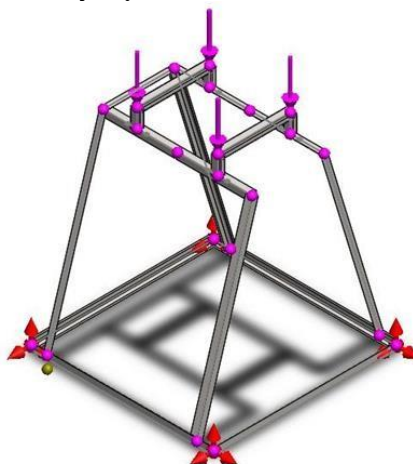
Pirmas žingsnis – nustatyti maksimalią opozicinio variklio „Continental TSIO – 520C“ masę, įskaitant visus įmanomus papildomus agregatus. Remiantis gamintojo technine dokumentacija [3], variklio masė „ m “ be tepalų gali siekti 253 kg. Naudojantis antruoju Niutono dėsnio paskaičiuotas variklio svoris:

$$p = m \cdot g = 259 \cdot 9,8 = 2479,4 \text{ N} \quad (1)$$

čia P – svoris (N); m – masė (kg); g – laisvojo kritimo pagreitis (m/s^2).

Variklio stendo, veikiamo variklio svorio, stiprumo analizė

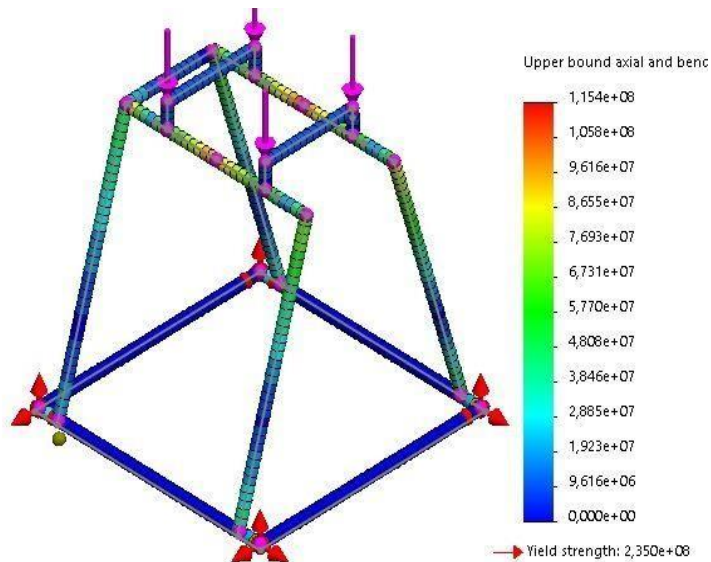
Stendo įtvirtinimo ir apkrovimo schema pavaizduota 6 paveiksle. Violetinės spalvos rodyklėmis pavaizduota apkrova, susidaranti dėl variklio svorio. Tvirtinimo taškai apkraunami tolygiai, kiekviename taške po 620 N. Tvirtinimo taškus jungiantys išilginiai elementai imituoja orlaivio variklį. Raudonos spalvos rodyklėmis nurodytos vietos, kuriose rėmas yra įtvirtinamas standžiu būdu.



6 pav. Variklio stovo (rėmo) skaičiuojamoji schema, pirmu atveju

Šaltinis: [sudarytas autorės]

Pirma atliekama stendo konstrukcijoje susidarantių įtempių analizė. Kaip matoma (žr. 7 pav.) didžiausi įtempiai susidaro viršutinėje stendo konstrukcijos dalyje, tarp tvirtinimo taškų ir siekė apie 115 MPa.



7 pav. Įtempių pasiskirstymas variklio stendo konstrukcijoje, pirmu atveju
Šaltinis: [sudarytas autorės]

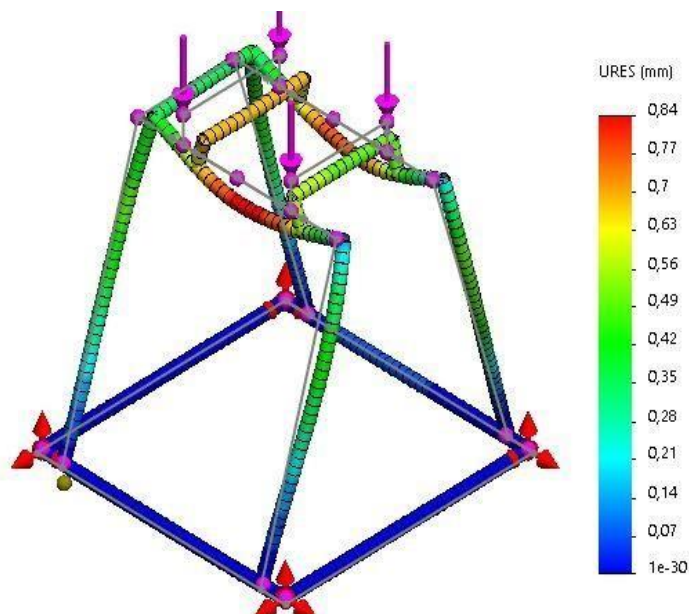
Žinant šią reikšmę galima apskaičiuoti atsargos koeficientą:

$$n_1 = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max1}} = \frac{253}{115} = 2,04 \quad (2)$$

čia n_1 – atsargos koeficientas; σ_y – medžiagos takumo riba (MPa); σ_{max1} – maksimalūs įtempiai susidarę bandomoje konstrukcijoje (MPa).

Atlikus skaičiavimus matome, jog atsargos koeficientas $n_1 = 2,04$.

Konstruojant panašaus tipo stendo konstrukcijas leistinas atsargos koeficientas n_{all} turi būti bent 1,5. Kadangi $n_1 > n_{all}$, t.y. $2,04 > 1,5$, galime teigti, jog atsargumo sąlyga šiuo atveju yra tenkinama ir rėmo konstrukcija yra saugi ir tinkama naudojimui.



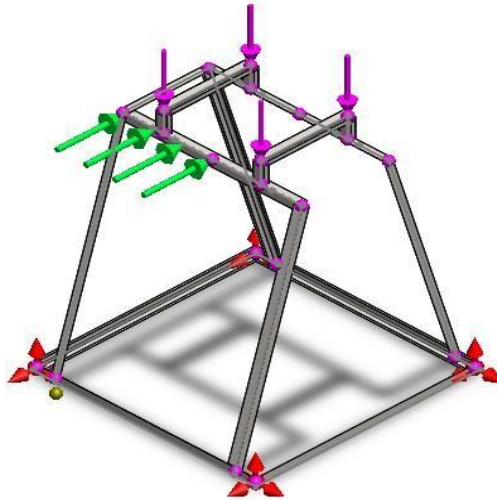
8 pav. Poslinkių pasiskirstymas variklio stendo konstrukcijoje, pirmu atveju
Šaltinis: [sudarytas autorės]

Papildomai atliekama stendo konstrukcijos poslinkių analizė, siekiant patikrinti rėmo standumą. Atlikus bandymą, matoma (žr. 8 pav.), jog maksimali poslinkių reikšmė siekė 0,84 mm.

Variklio stendo, veikiamo variklio svorio ir šoninės apkrovos, stiprumo analizė

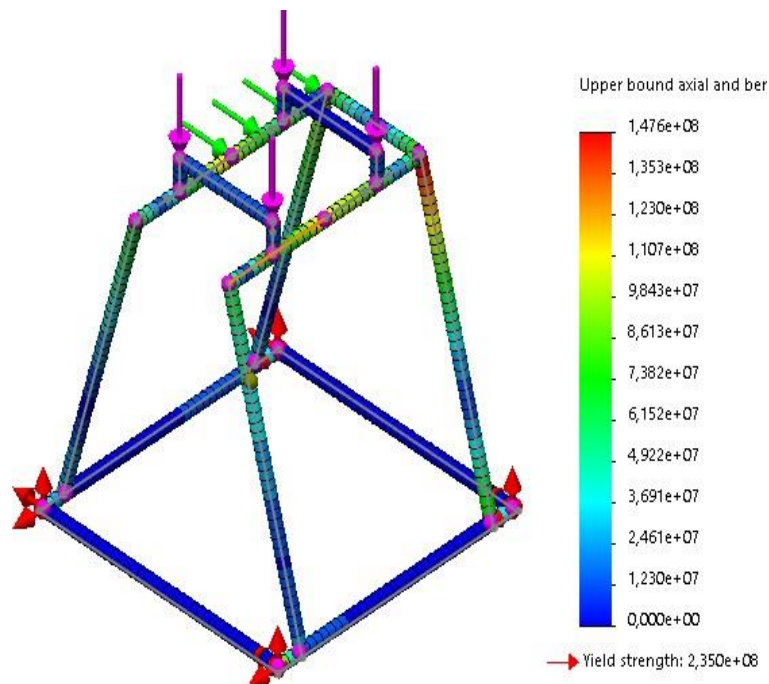
Stendas bus naudojamas darbo aplinkoje, todėl būtina papildomai atlikti dar vieną bandymą, kai konstrukcija yra veikiamas dar ir šoninių apkrovų.

Antrojo bandymo metu (žr. 9 pav.) žaliomis rodyklėmis imituojama atsirėmusio žmogaus jėga – apie 600 N. Raudonos spalvos rodyklėmis nurodytos vietos, kuriose rėmas yra įtvirtinamas standžiu būdu. Violetinės spalvos rodyklėmis pavaizduota apkrova, susidaranti dėl variklio svorio.



9 pav. Variklio stovo (rėmo) skaičiuojamoji schema, antru atveju
Šaltinis: [sudarytas autorės]

Antrąjį kartą atliekama stendo konstrukcijoje susidarančių įtempių analizė (10 pav.). Didžiausia įtempių reikšmė išaugo apie 30 % lyginant su pirmojo bandymo rezultatais ir siekė apie 148 MPa.



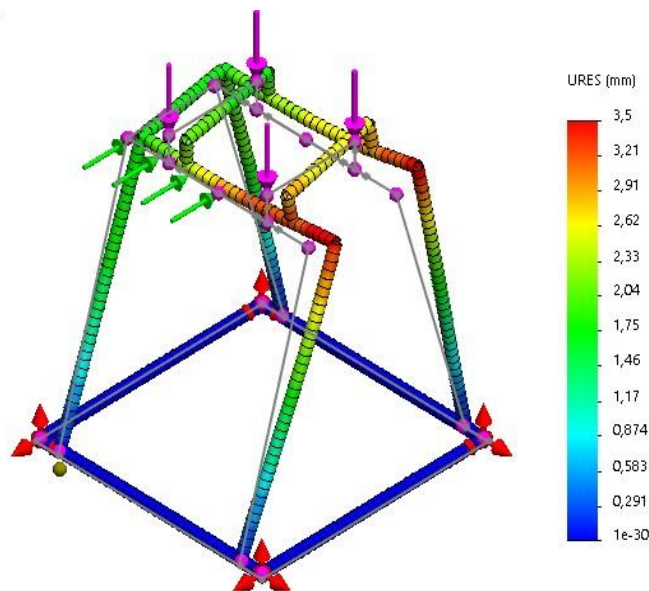
10 pav. Įtempių pasiskirstymas variklio stendo konstrukcijoje antru atveju
Šaltinis: [sudarytas autorės]

Turėdami naują maksimalių įtempių reikšmę iš naujo apskaičiuojame atsargos koeficiento reikšmę:

$$n_2 = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max2}} = \frac{253}{148} = 1,58 \quad (3)$$

čia, n_2 – atsargos koeficientas antruoju atveju

Gautoji atsargos koeficiento reikšmė artima 1,5, todėl priimame, jog stendas bus tinkamas naudoti net ir tuo atveju, kai konstrukciją veikia papildomai atsiradusi jėga.



11 pav. Poslinkių pasiskirstymas variklio stendo konstrukcijoje antru atveju
Šaltinis: [sudarytas autorės]

Iš naujo atliekama ir stendo konstrukcijos poslinkių analizė (žr. 11 pav.), kuri rodo jog maksimali poslinkių reikšmė siekė 3,5 mm. Ši konstrukcija yra pakankamai optimali ir toliau jos nereikia papildomai optimizuoti.

Atlikus stiprumo analizes ir įsitikinus, jog variklio stendo konstrukcija yra saugi ir tinkama naudoti, pagamintas orlaivio variklio stendas (žr. 12 pav.).



12 pav. Variklio Continental TSIO-520 C stendas
Šaltinis: [sudarytas autorės]

Variklio „Continental TSIO-520 C“ stendo variklio rėmas pagamintas iš plieno S235JR, dar kitaip vadinamo Ст3кп GOST. S235 JR yra bendrasis anglinis struktūrinis plienas, kuris gali būti naudojamas labai plačiame gamybinių procesų spektre. Šis plienas turi puikią lengvo formavimo savybę. Parinkti 8 mm ir 8.8 stiprumo klasės varžtai, kurio takumo riba yra ne mažesnė kaip 640 MPa.

Variklio „Continental TSIO-520 C“ stendui sukomplektuoti ir paruošti darbui reikėjo atlikti daug įvairių operacijų: pjovimo, suvirinimo, gręžimo, šlifavimo. Naudotas suvirinimo aparatas „Sherman speedy mig 200“. Siūlės apsaugai buvo naudojamos anglies dioksido dujos. Plieno ruošinių pjaustymui buvo naudojamas Kampinis šlifuoכלlis „Bosch PWS850-125“.

Išvados

1. Variklių standai yra klasifikuojami į penkis pagrindinius tipus: dinamometrinius, demonstracinius, variklio bandymo, remonto, transportavimo standus. Iš atliktos standų lyginamosios analizės matyti, kad kiekvienas standas turi pliusų ir minusų. Tinkamiausias standas mokymo tikslams - demonstracinis standas, kadangi atitinka didžiąją dalį mokymams reikalingų ir norimų techninių specifikacijų.

2. Atlikus stiprumo analizes ir įsitikinus, jog variklio stendo konstrukcija yra saugi ir tinkama naudoti, orlaiviui „Cessna 185“ buvo suprojektuotas variklio Continental TSIO-520 C standas su keturiais nedideliais guminiais tvirtinimo padais.

Literatūra

1. Karadeniz, E., Ozsarac, U., Yildiz, C. The effect of process parameters on penetration in gas metal arc welding processes. *Materials and Design*. 2007, 28, 649 – 656 p.
2. Continental Aerospace technologies. [interaktyvus]. Continental 500 Series AvGas Engin. [žiūrėta 2023-03-15] Prieiga Internetu: <<http://www.continental.aero/engines/500.aspx> >
3. TSIO-550 Permold Series Engine Installation and Operation Manual. [žiūrėta 2023-03-15] Prieiga Internetu: <<https://www.csobeech.com/files/TCM-TSIO550-Install-Ops-Manual.pdf>>

DESIGN OF AIRCRAFT ENGINE STAND STRUCTURE

Summary

An airplane engine is the part of the airplane that requires the most maintenance and repair. There is a need to constantly improve tools for engine maintenance. One of the tools is an aircraft engine stand. Each stand has pluses and minuses. The most suitable equipment for training purposes is a demonstration stand, as it meets most of the technical specifications required and desired for training.

The article provides an overview of engine stands, the features of mounting the engine "Continental TSIO - 520C" in the aircraft and on the stand. The strength analysis of the structure of the aircraft engine stand was performed: 1) when the load consists of the weight of the engine itself; 2) when the load consists of the weight of the engine and side loads.

Key words: aircraft engine stand, features of engine mounting, strength analysis of the engine stand structure.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Esmeralda Štyps.

Mokslo laipsnis ir vardas: technologijos mokslų daktarė.

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Orlaivių mechanizmų techninio eksploataavimo studijų programos komiteto docentė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: technologijos mokslai, mechanikos inžinerija.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 610 48810, esmeralda.styps@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Esmeralda Štyps.

Science degree and name: doctor of technological sciences, associated professor.

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Aircraft Maintenance Engineering study programme, associated professor.

Author's research interests: technological sciences, mechanical engineering.

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

TRANSPORTO SRAUTŲ JONAVOS MIESTE MODELIAVIMAS

Tomas Mickevičius

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Straipsnyje analizuojamas transporto eismo pralaidumas, apkrautoje kelio ruožo atkarpoje, Jonava - Šveicarija E262, kuri priklauso (A6) magistralei. Tyrimų tikslas buvo atlikti transporto eismo srauto pralaidumo tyrimus ir pasiūlyti pralaidumo gerinimo priemones. Duomenų analizėje didelis dėmesys buvo skirtas rytinių ir vakarinių pikų metams. Transporto priemonių pravažiuojančių srautų duomenys buvo renkami dviejų savaitių laikotarpyje. Renkama buvo du kartus po keturias dienas: pirmadienį, antradienį, trečiadienį ir ketvirtadienį. Transporto srautų modeliavimui buvo naudojama PTV VISSIM programinė įranga. Analizuojant automobilių srautų duomenis buvo nustatyta, kad kelio ruožai piko metu nesusitvarko su esamu automobilių srautu. Gauti simuliacijos rezultatai parodė, kad šį kelio ruožą efektyviausia būtų tobulinti į „turbo“ žiedinę sankryžą su keliais nuvažiavimais. Sumodeliuota sankryža tampa du kartus pralaidesnė už dabartinę sankryžą, 6 kartus sumažindamas vidutinę automobilių prastovą nuo 186 metrų iki 26 metrų vakarinio piko metu.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: transporto srautas, žiedinė sankryža, pralaidumas, PTV Vissim,

Įvadas

Keliai, kurie buvo numatyti vienokiam automobilių srautui su laiku pasidaro nebe tokie efektyvūs ir jų pralaidumas mažėja, kai automobilių srautai padidėja du ar tris kartus. Dėl automobilių augimo dažnu atveju atsilieka infrastruktūros plėtra. Lietuvoje 1000 – čiu gyventojų tenka 504 automobiliai. Augant transporto intensyvumui vis dažniau kelyje susidaro konfliktinės, pavojingos ir avarinės situacijos. Dėl šių minėtų priežasčių daugėja eismo spūsčių, avaringų ruožų bei avarių. Šiuo atveju neatsilieka ir didėjanti oro tarša. Analizuojant statistinius duomenis Lietuvoje 100 tūkst. gyventojų tenka 102 eismo įvykiai (Lietuvos oficialiosios statistikos portalas, 2022). Daugelio sankryžų būklė vis dar laikoma labai prasta ir nesaugia, todėl būtinos modernios rekonstrukcijos pastangos. Žiedinės sankryžos išpopuliarėjo daugelyje šalių kaip pagrindinis miesto sankryžų tipas, dėl mažo eismo įvykių skaičiaus (Antov et al., 2009).

Eismo intensyvumas (EI) apibūdinamas, kaip transporto priemonių, pervažiuojančių gatvės pjūvį per nustatytą laiko tarpą, skaičius. EI kitimas veikia transporto infrastruktūros plėtojimo strategiją. Autoriai atliekantys eismo organizavimo projektus analizuoja transporto tyrimų duomenis ir parametrus, kurie apibūdina eismą sankryžoje, gatvėje ar visame mieste. EI galima įvardinti, kaip netolygų dydį, kuris priklauso nuo vietos (gatvės arba gatvės ruožo) laiko atžvilgiu. Moksliniuose straipsniuose, aptinkama, kad priklausomai nuo sprendžiamo uždavinio ir pobūdžio renkami, ir analizuojami metų, mėnesio, savaitės, paros, valandos eismo intensyvumo trukmės duomenys (Kutlimuratov et al., 2021). Pastebima, kad išskiriami didelio eismo intensyvumo laikotarpiai, atitinkantys vadinamuosius piko laikotarpius – rytinius (eismas, važiuojant į darbą) ir vakarinius (eismas, važiuojant po darbo).

EI vienas svarbiausių rodiklių, pagrindžiant investicijų projektus ekonominiu ir aplinkosaugos požiūriais. Miestuose eismo organizavimas nustatomas pagal gatvių tinklo parametrus, maksimalų leistiną greitį, susisiekimo būdus, transporto priemonių tipus, viešojo transporto srautus, eismo ribojimų ir draudimų tipą. Eismo organizavimo uždavinio sprendimams spręsti gali būti pasitelkiamos eismo modeliavimo programos. Tyrėjai transporto srautų modeliavimą apibūdinama, kaip priemonę, analizuoti susisiekimo sistemai keliamus tikslus, įvertinant ir pateikiant pagrįstus, ir priimtinius sprendimus (Weyland et al., 2021). Norint pasiekti patikimų rezultatų, modeliavimas turi būti sukalibruotas realiais srauto duomenimis (Toledo et al., 2004). Taikant eismo simuliaciją mikroskopiniu eismo modeliavimo principu pagrindinis tikslas yra nustatyti ir išskirti kiekvienos transporto priemonės dinamiką, važiavimo trajektorijas, ir sąveiką su kitais eismo dalyviais, atsižvelgiant į pasirinktą laiko momentą ar intervalą. Mikroskopiniai tyrimai įvertina, kiekvienos transporto priemonės vairuotojo sugebėjimą apdoroti ir įvertinti jo kelyje susidariusią situaciją ir atitinkamais veiksmais reaguoti. Tai gali būti paprasčiausias pagreitis, staigus stabdymas ar manevravimas eismo juostose. Makroskopinis eismo modelis nevertina individualių transporto priemonių veiksmų ir prilygina eismo srautą vientisam tėkmės srautui. Eismo srautų modeliai vis dažniau naudojami eismo inžinerijos problemoms spręsti (Leyn and Vortisch, 2015)

Pasirinktos kelio atkarpos Jonavos mieste nėra atnaujintos jau kelis dešimtmečius. Pastebima, kad šiuose kelio ruožuose kasmet didėja pravažiuojančių automobilių srautas. Didėjantis eismo intensyvumas kelio ruožuose didina spūstis ir avaringumą. Tyrimų tikslas – atlikti transporto eismo srauto pralaidumo tyrimus Jonavos miesto „Jonava – Šveicarija“ E262 kelio ruože ir pasiūlyti pralaidumo gerinimo priemones. Susidariusios situacijos atkūrimui ir eismo organizavimo uždavinio sprendimui spręsti buvo naudojama PTV Vissim eismo modeliavimo programa.

Tyrimo objektai ir metodika

Tyrimo objektas Jonavos miesto Jonava - Šveicarija E262 kelio ruožas, kuris priklauso (A6) magistralei – Plento gatvė, ruožo koordinatės (LKS): pradžia X – 518059; Y – 6103493; pabaiga X – 518167; Y – 6103468. Nagrinėjamas kelio ruožas aktyviai naudojamas, kaip Jonavos miesto pagrindinė tranzito, atvykimo ir išvykimo arterija, bei magistralinio kelio atkarpa. Rytis didžiausi automobilių srautai ir spūstis atsiranda atvykstantiems Plento.g ir išvykstantiems iš Jonavos miesto J.Ralio gatve vykstant į darbus Achemoje ar karinį miestelį esantį Rukloje. Šie automobiliai juda žiedinę sankryžą, į Taurostos gatvę (1 pav.).



1 pav. Transporto srautų tyrimo atkarpos sankryžos modelis

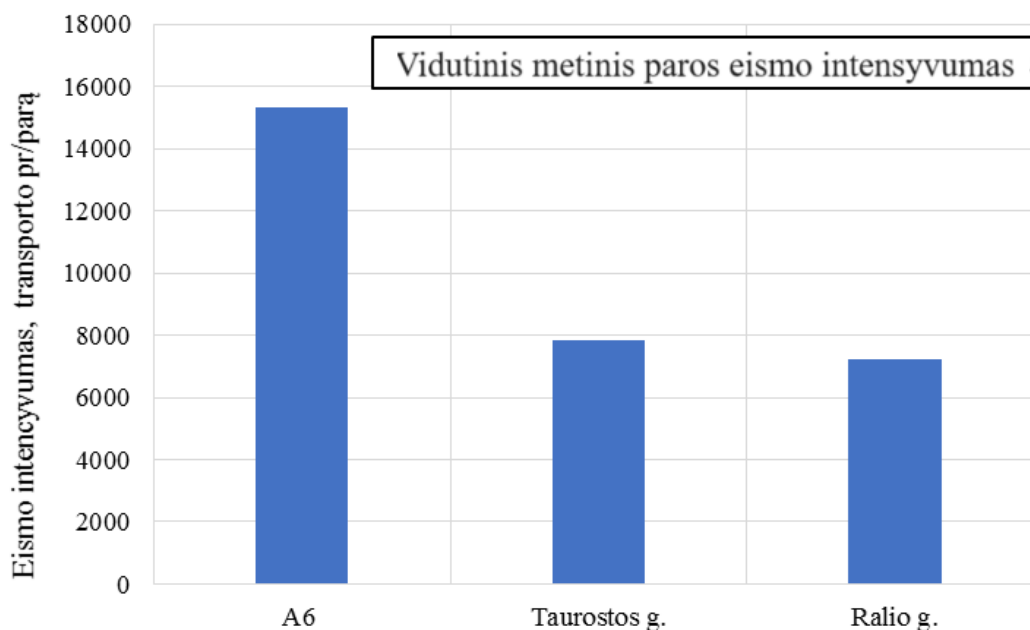
Šaltinis: [sudarytas autoriaus]

Tuo tarpu sunkusis transportas judantis E262 tranzitiniu keliu, Taurostos gatve apkrauna žiedinę sankryžą. Šiuo atveju atsiranda grandininė reakcija, stabdomas eismas atvykstantiems J.Ralio gatve o jie savo ruožtu apkrauna pravažiavimą atvykstantiems Plento g. Vakarais situacija keičiasi, pasikeičia automobilių srautai į miestą vykstantiems Plento gatve, o iš „Achemos“ vykstančiam sunkiajam transportui toliau keliu E262 per Taurostos g į Plento g.

Darbe pateikti nagrinėjamo kelio ruožo susisteminti duomenys. Transporto srautų tyrimai buvo atlikti intensyviausiu paros metu, kada tiriamoje atkarpoje susidarydavo spūstys. Atliekant skaičiavimus buvo suskaičiuoti važiuojantys automobiliai visomis galimomis kryptimis. Transporto srautų tyrimai buvo atliekami natūrinio būdu, skaičiuojant srautus realiu laiku. Skaičiavimai buvo atliekami pirmadienį, antradienį, trečiadienį ir ketvirtadienį. Transporto priemonių pravažiuojančių srautų duomenys renkami dviejų savaitių laikotarpyje: Duomenų analizės vertinimui didelis dėmesys buvo skirtas rytinių ir vakarinių pikų metams. Likusios savaitės dienos buvo neanalizuojamos dėl skirtingų kelionių tikslų, jų įtakos automobilių srautams ir pasiskirstymui paroje, šventinių laikotarpių, bei nedarbo dienų buvo vengta kad išgauti patį realiausią rezultatą. Transporto srautų modeliavimui buvo naudojama PTV VISSIM programinė įranga, kelio ruožui buvo kuriama po kelis modelius kad išsiaiškinti kuris optimizavimas būtų pats efektyviausias ir duotų didžiausią naudą. Modelyje, buvo naudojama „neapsisprendusi“ transporto priemonių logika, siekiant išgauti patį realiausia vairuotojo modelį.

Tyrimų rezultatai

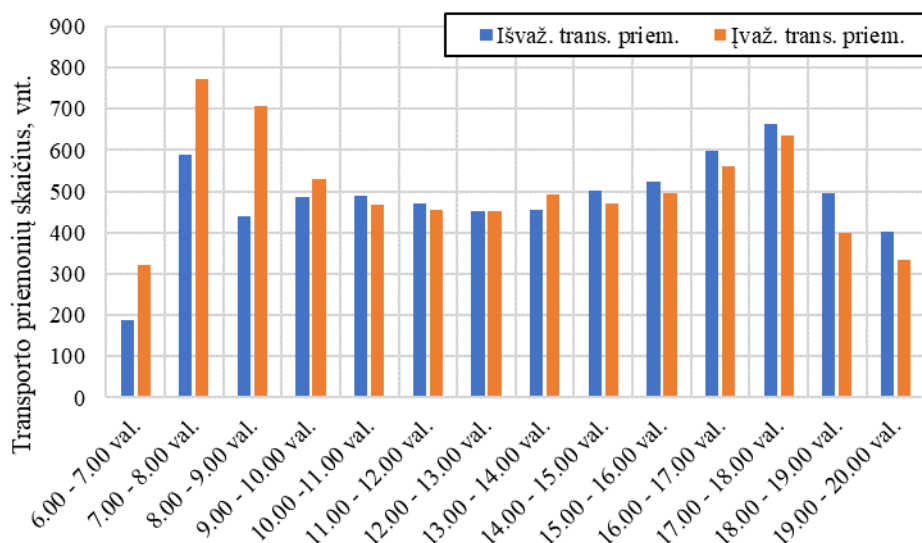
Vidutinis metinis paros eismo intensyvumas (VMPEI) nagrinėjamoje atkarpoje pateiktas 2 paveiksle. Kaip matyti, iš pateikto grafiko, kad šioje atkarpoje per parą pravažiuoja daugiau nei 15000 automobilių.



2 pav. Vidutinis metinis paros eismo intensyvumas kelio ruože

Šaltinis: [sudarytas autoriaus]

Susisteminti transporto priemonių eismo intensyvumo duomenys skirtingomis kryptimis: Plento g. ir Taurostos g. žiedinės sankryžos, tam tikromis valandomis pateikti 3 pav. Grafike galima pastebėti, kad nagrinėjamo rytinio ir vakarinio piko metu, šiomis kryptimis juda apie 4700 transporto priemonių.



3 pav. Transporto priemonių eismo intensyvumas kelio ruože, skirtingomis kryptimis

Šaltinis: [sudarytas autoriaus]

Iš grafiko, galima pastebėti, kad išvažiuojančių transporto priemonių srautas rytinio ir vakarinio piko metu, atitinkamai 23,7 % ir 38,8 % padidėja, kas sulėtina eismą. Analizuojant įvažiuojančių transporto priemonių srautą galima pastebėti, kad rytinio ir vakarinio piko metu, transporto priemonių srautas, atitinkamai 57,6 % ir 29,5 % didėja. Gauti rezultatai patvirtina, kad esant dabartinei situacijai susidaro spūstis ir žiedinė sankryža nėra efektyvi su esamais transporto srautais susidariusiais piko metu. Transporto eismo konfliktinių situacijų vietos yra ten, kur susikerta, susilieja arba atsišakoja automobilių srautų judėjimo trajektorija. Senoji infrastruktūra neatitinka šiandieninių poreikių – susidaro spūstys, kyla avarinės situacijos. Be to, tokiose situacijose į aplinką išmetama daug teršalų. Dauguma tyrimų autorių savo darbuose teigia, kad žiedinės sankryžos gali būti naudojamos, siekiant sumažinti konfliktinius taškus, kai artėjantys srautai lygiaverčiai. Moksliniuose darbuose didelis dėmesys išskiriamas „turbo“ žiedinėms sankryžoms, kurios

mažina konfliktų riziką, pagreitina važiavimą žiedine sankryža, sumažina prastovos laiką ir gerina eismo saugumą.

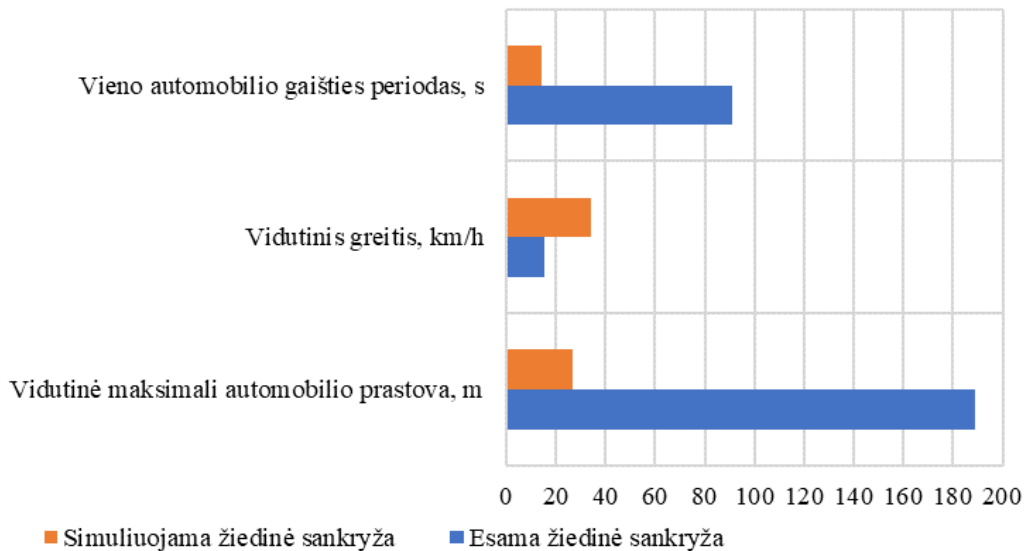
Naudojant PTV Vissim modeliavimo programą, buvo sukurta visos atkarpos Jonavos miesto Jonava - Šveicarija E262 kelio ruožo simuliacija. Taikant simuliaciją, buvo tobulinama esama sankryža, pridodant papildomus nuvažiavimus, didinant žiedo skersmenį, keičiant žiedinę sankryžą iš paprastos į „turbo“ žiedinę. Modeliuojant buvo analizuojami keturi scenarijai, kurie su kiekvienu korekcinium žingsniu generavo geresnius rezultatus, kurie mažino automobilių spūsčių laikus, sankryžos įveikimo laiką bei pasiskirstę srautai padidino sankryžos pralaidumą. Tobulinamos žiedinės sankryžos modelis su dviem papildomais nuvažiavimais ir dvigubu žiedu pateiktas 4 paveiksle.



4 pav. Tobulinamos žiedinės sankryžos modelis (žiedinė sankryža su dvejais papildomais nuvažiavimais ir dvigubu žiedu)

Šaltinis: [sudarytas autoriaus]

Atlikus simuliaciją, paaiškėjo kad pakeitus žiedinės sankryžos tipą, sumodeliavus papildomus nuvažiavimus ji tampa efektyvesnė ir pralaidesnė už dabartinę sankryžą. 5 paveiksle pateikti tobulinamos žiedinės sankryžos su dvejais papildomais nuvažiavimais simuliacijos rezultatai.



5 pav. Tobulinamos žiedinės sankryžos simuliacijos rezultatai

Šaltinis: [sudarytas autoriaus]

Kaip matyti iš grafiko, įvažiuojančių transporto priemonių gaišties laikas trumpėja tris kartus, kas rodo kad transporto priemonė įveikia kelio ruožą žymiai greičiau piko metu. Analizuojant gautus rezultatus, galime pastebėti, kad naudojant žiedinės sankryžos modelį su dvejais papildomais nuvažiavimais, vidutinė

maksimali automobilio prastova metrais trumpėja 6 kartus. Tuo tarpu vidutinis automobilio greitis padidėja 2 kartus.

Išvados

1. Išanalizavus automobilių srautus piko metu, Jonava - Šveicarija E262 kelio ruože, kuris priklauso (A6) magistralei išsiaiškinta, kad esama sankryža nebesusitvarko su dabartiniais automobilių srautais, dėl ko kyla spūstys didėja teritorijos užterštumas bei triukšmas.

2. Atlikus eismo srauto „Jonavos miesto Jonava - Šveicarija E262“ kelio ruože analizę, buvo gauta, kad įvažiuojančių rytinio ir vakarinio piko metu, transporto priemonių srautas, atitinkamai 57,6 % ir 29,5 % didėja.

3. Gauti simuliacijos rezultatai rodo, kad tobulinama sankryža, tampa du kartus pralaidesnė už dabartinę sankryžą, 6 kartus sumažindamas vidutinę automobilių prastovą ir padidindama žiedinės sankryžos įveikimo laiką.

Literatūra

1. Antov, D., Abel, K., Sürje, P., Rõuk, H., & Rõivas, T. (2009). Speed reduction effects of urban roundabouts. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 4(1), 22-26.
2. Kutlimuratov, K., Khakimov, S., Mukhitdinov, A., & Samatov, R. (2021). Modelling traffic flow emissions at signalized intersection with PTV vissim. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 264, p. 02051). EDP Sciences.
3. Leyn, U., & Vortisch, P. (2015). Calibrating VISSIM for the German highway capacity manual. *Transportation Research Record*, 2483(1), 74-79.
4. Toledo, T., Ben-Akiva, M. E., Darda, D., Jha, M., & Koutsopoulos, H. N. (2004). Calibration of microscopic traffic simulation models with aggregate data. *Transportation Research Record*, 1876(1), 10-19.
5. Weyland, C. M., Baumann, M. V., Buck, H. S., & Vortisch, P. (2021). Parameters influencing lane flow distribution on multilane freeways in PTV VISSIM. *Procedia Computer Science*, 184, 453-460.,

EXPERIMENTAL STUDY OF TRANSPORT FLOWS IN URBAN AREA

Summary

The article analyses the E262 road section of Jonava city Jonava - Šveicarija, which belongs to the (A6) highway. The purpose of the research was to carry out traffic flow research on the "Jonava City Jonava – Šveicarija" E262 road section and to propose measures to improve the traffic flow. The data on passing traffic flows of vehicles were collected in a two-week period. Collected twice every four during days: Monday, Tuesday, Wednesday and Thursday. Attention was concentrated in the morning and evening peaks. Analysing the traffic data, it was found that the road section does not cope with the current traffic during peak hours. The PTV VISSIM software was used for modelling traffic flows. The simulation results of the improved roundabout with two additional exits are presented. The obtained simulation results showed that it would be most efficient to improve this road section into a "turbo" roundabout with several detours. The modelled intersection becomes twice as permeable as the current intersection, reducing the average traffic stoppage by a factor of 6 from 186 meters to 26 meters during the evening peak.

Key words: traffic flow, roundabout, throughput, PTV Vissim

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Tomas Mickevičius.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vietą ir pozicija: Kauno technikos kolegijos, docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: transporto inžinerija

Telefonas ir el. pašto adresas: 861645666, tomas.mickevicius@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Tomas Mickevičius.

Science degree and name: doctor, associated professor.

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

Author's research interests: transport engineering.

Telephone and e-mail address: 861645666, tomas.mickevicius@edu.ktk.lt

ELEKTRINIO AUTOMOBILIO ĮKROVIMO PROCESAS: BMW I3 ATVEJO ANALIZĖ

Darius Juodvalkis, Marius Mažeika

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Pastaruosiu metu elektra varomi automobiliai sparčiai populiarėja. Tokie automobiliai turi daug privalumų, lyginant su tradiciniais degalais varomais automobiliais, o vienas didžiausių privalumų yra mažesnė tarša. Elektriniai automobiliai kaip energijos šaltinį naudoja įkraunamą akumuliatorių bateriją, kuri įkraunama iš elektros tinklo. Įkrovimo būdų yra keletas, bet visais atvejais, įkrovimo metu patiriami tam tikri energijos nuostoliai ir vertinant elektra varomų automobilių taršą bei energijos sąnaudas, šiuos nuostolius taip pat reikėtų įvertinti. Šio tyrimo tikslas yra nustatyti elektrinio automobilio akumuliatorių baterijų įkrovimo metu esančius energijos nuostolius.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: elektrinis automobilis, HV akumuliatorių baterija, CCS jungtis.

Įvadas

Planetos ekosistema leidžia turėti kokybiškas ir komfortiškas gyvenimo sąlygas. Dėl aktyvios žmonių veiklos planetos ekosistema yra šiek tiek išbalansuojama. Vienas iš labai pavojingų planetos ekosistemoje vykstančių procesų yra šiltnamio efektas, kurį sukelia dideli kiekiai išmetamų tam tikrų dujų, kurios ir skatina šį efektą. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekiai didėja aktyvėjant žmonijos veiklai. Pagrindinės dujos, kurios sukelia šiltnamio efektą yra CO₂ (U.S. Environmental Protection Agency, 2023). Vertinant šiltnamio efektą sukeliančių dujų šaltinius tai viena iš pagrindinių yra pramonė, transportas ir energijos gamybos procesai. Transporto sektorius generuoja 16,2 % šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir tai neskaitant procesų, kurie reikalingi gaminant transporto priemones, o vertinant tik transportavimo procesų metu išskiriamas dujas (Ritchie H., 2020). Todėl siekis mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas transporte yra suprantamas ir to siekiama daugelyje šalių, taip pat ir Lietuvoje. Vienas iš būdų, leisiančių žymiai sumažinti šių dujų emisijas transporto sektoriuje, yra tradiciniais degalais varomų automobilių pakeitimas elektra varomais automobiliais. Elektriniai automobiliai kaip energijos šaltinį naudoja įkraunamą akumuliatorių bateriją, kuri įkraunama iš elektros tinklo ir važiuodamas elektrinis automobilis, neišskiria jokių žalingų dujų, todėl dažnai jie ir vadinami kaip nulinų emisijų „zero emission“ automobiliai. Nulinės emisijos pasiekimas transporte reiškia, kad, atliekant transportavimo procesą, į atmosferą neišskiriamos šiltnamio efektą sukeliančios dujos (National Academies of Sciences, 2021). Bet ar iš tiesų elektriniai automobiliai yra nulinės emisijos automobiliai? Savaiame suprantama, kad ne. Volvo kompanijos inžinieriai yra apskaičiavę, kad gaminant elektra varomą automobilį yra išskiriama daugiau šiltnamio efektą sukeliančių dujų nei gaminant automobilį su vidaus degimo varikliu (Egeskog A. et. all. 2022). Elektra varomas automobilis naudoja elektros energiją, kuri vėlgi gaminama greičiausiai išmetant tam tikras kenksmingas dujas. Aišku elektrinio automobilio jėgainė leidžia energiją naudoti judėjimui žymiai efektyviau nei tradiciniais degalais varomi automobiliai, bet patiriami tam tikri energijos nuostoliai transportuojant elektros energiją tinkluose, konvertuojant energijos parametrus ir įkraunant automobilių baterijas. Vertinant elektra varomų automobilių teigiamą poveikį šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekiui, visus šiuos veiksnius reikia vertinti ir tik tada galima tiksliai nustatyti poveikio dydį.

Šio tyrimo tikslas yra nustatyti elektra varomo automobilio akumuliatorių baterijų įkrovimo metu patiriamus elektros energijos nuostolius. Pirmoje darbo dalyje analizuojami elektromobiliai, jų įvairovė bei techninės savybės. Antroji darbo dalis skirta elektra varomo automobilio įkrovimo proceso analizei. Tyrimams atlikti naudotas elektra varomas automobilis BMW i3, kuris buvo įkraunamas automobilio originaliu įkrovikliu iš 230 V kintamos srovės (AC) tinklo.

1. Elektrinių automobilių įvairovė ir savybės

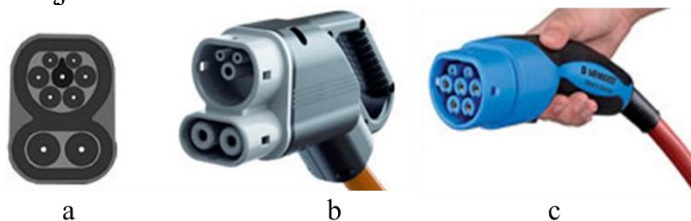
Elektra varomi automobiliai gaminami jau nuo XIX amžiaus pabaigos, bet dėl blogų eksploatacinių savybių jie netapo populiarūs. Elektrinių automobilių rinkoje revoliucija įvyko 2006 m. kai JAV kompanija Tesla Motors pristatė tik elektra varomą automobilį Tesla Roadster (Schreiber, B. A. and Gregersen, E 2023). Šis automobilis galėjo viena įkrova įveikti apie 300 km atstumą ir dėl to jį jau buvo galima naudoti kaip visavertę transporto priemonę. Kiti automobilių gamintojai taip pat neatsiliko – 2010 m. Nissan kompanija pristatė elektrinį automobilį Leaf, 2013 m. BMW kompanija pradėjo serijinę elektromobilio BMW i3 gamybą. Pagrindinis elektromobilių trūkumas yra mažas įveikiamas atstumas su viena akumuliatorių baterijos įkrova ir niuansai su kuriais susiduriama įkraunant juos. Šiai dienai dar nėra rinkoje siūloma daug elektromobilių, kurie galėtų įveikti 400 km atstumą su viena įkrova. Dažnas šiuolaikinis elektromobilis gali įveikti apie 200 km su viena įkrova. Aišku tai gali atrodyti pakankama, bet iš tiesų tai labai priklauso kaip automobilis yra naudojamas. Akivaizdu, jog dar ir su šiuolaikiniu elektromobiliu ilgesnę kelionę reikia

planuoti, t.y. susidėlioti maršrutą ir jame esančias įkrovimo stoteles, pasiskaičiuoti atstumus tarp įkrovimo stotelių, įvertinti laiką sugaištamą įkraunant elektromobilį, kai kuriais atvejais galbūt net ir važiuoti lėčiau, kad mažiau būtų naudojama energijos. Visą tai sukelia tam tikrus nepatogumus.

Elektromobilio įveikiamas atstumas su viena įkrova pagrinde priklauso nuo aukštos įtampos akumuliatorių baterijos talpos. Senesni elektriniai automobiliai (Nissan Leaf, BMW i3) turi apie 20 kWh talpos baterijas. Tokios talpos baterija leidžia saugiai įveikti tik apie 100 km atstumą. Naujesni šiuolaikiniai automobiliai jau turi didesnės talpos baterijas – 40 -80 kWh. Tokie automobiliai jau gali nuvažiuoti 200-400 km atstumą (Kane M., 2022). Net ir su nedidelės talpos baterija elektra varomą automobilį galima naudoti tolimoms kelionėms, bet su viena sąlyga, kad kelionės maršrute yra pakankamai ir optimaliose vietose įkrovimo stotelių ir automobilio baterija turi galimybę greitai įsikrauti. Kas liečia įkrovimo stotelių tinklą, Lietuvoje šiai dienai jis dar yra nepakankamas. Jeigu automobilyje numatytas greitas įkrovimas naudojant Chademo arba CCS tipo jungtį, tai įkrovimo laikas gali būti iki 1 valandos. Elektrinį automobilį patogiausia įkrauti namuose, bet šiuo atveju kraunama iš tinklo kintama srove ir įkrovimas užtrunka ilgiau. Pavyzdžiui, pilnai įkrauti BMW i3 60 Ah bateriją užtrunka apie 7 val. Įkraunant elektrinio automobilio bateriją taip pat aktualu energijos kaina. Pastaruoju metu elektros energijos kaina rinkoje dažnai keičiasi ir ją sunku prognozuoti. Vertinant kelionės elektromobiliu kainą taip pat svarbu yra įkrovimo metu patiriami energijos nuostoliai, kurių automobilių gamintojai dažniausiai neskelbia. Toliau atlikto tyrimas, kurio metu buvo tirti elektros energijos nuostoliai įkraunant elektrinio automobilio BMW i3 aukštos įtampos akumuliatorių bateriją.

2. Tyrimų metodika

Tyrimas buvo atliktas su 2015 m. laidos elektriniu automobiliu BMW i3. Šis automobilis yra vienas iš populiariausių naudotų elektrinių automobilių rinkoje. Automobilis pasižymi šiomis techninėmis savybėmis: sumontuota 60 Ah talpos baterija, kurioje galima saugoti 21,8 kWh elektros energijos kiekį. Siekiant mažesnės žalos akumuliatorių baterijai, gamintojo ribojama leistina naudoti baterijos talpa (EV Specifications, 2023). Elektriniuose automobiliuose naudojamas akumuliatorių baterijos, kaip beje ir kituose įrenginiuose, degraduoja, t.y. mažėja baterijos talpa. BOSCH diagnostiniu įrenginiu nustatytas šio automobilio baterijos būklės indeksas (SOH_D). Tyrimuose naudoto automobilio pagrindinės charakteristikos pateiktos lentelėje Nr.1. Automobilis BMW i3 įkraunamas gali būti dvejais būdais – naudojant kintamos srovės (AC) elektros energiją arba naudojant pastovios srovės (DC) elektros energiją. Kintamąją elektros srovę automobilis gali būti įkraunamas naudojant su automobiliu gamintojo komplektuojamą įkroviklį, kuris jungiamas į standartinę vienos fazės elektros tinklo rozetę, arba naudojant įkrovimo stotelę ir šiuo atveju įkrovimas yra greitesnis. Automobilyje sumontuota CCS Combo 2 standarto įkrovimo jungtis (1 pav.), kuri pritaikyta automobilį įkrauti tiek kintamąją tiek nuolatine elektros srove.



1 pav. BMW i3 įkrovimo jungtys: a – automobilyje; b – DC įkrovimo; c – AC įkrovimo (Electric Vehicle Database)

1 lentelė

Automobilio BMW i3 pagrindinės charakteristikos

Charakteristikos pavadinimas	Reikšmė	Matavimo vienetai	Žymėjimas
Automobilio masė	1315	kg	m
Automobilio aerodinaminio pasipriešinimo koeficientas	0,29	-	C_d
Automobilio modelio plotas	2,38	m ²	A_m
Ratų pasipriešinimo riedėjimui koeficientas	0,007	-	-
HV akumuliatorių baterijos talpa (visa)	21,8	kWh	C_p
Naudojama HV akumuliatorių baterijos talpa	18,8	kWh	C_n
Gamintojo deklaruojamos vidutinės sąnaudos	16,3	kWh/100 km	q_{vidG}
Diagnostiniu įrenginiu nustatyta HV baterijos būklė	75	%	SOH_D

Atliekant natūrinius eksperimentus automobiliu važiuojama tam tikro ilgio atkarpa. Eksperimentai atlikti 2023 metų balandžio mėn. kai oro temperatūra buvo apie 15° C. Eksperimento metu, atliekant kiekvieną bandymą, nuvažiuojamas atstumas apie 20 km. Eksperimentų atlikimo metu didelio vėjo nefiksuota, o kadangi užsiduotu maršrutu važiuojama pirmyn ir atgal, t.y. starto ir finišo vieta ta pati, tai vėjo ir kelio aukščių skirtumai vertinti nebuvo. Kiekvieno bandymo pradžioje automobilio kelionės kompiuteris perkraunamas, o bandymo pabaigoje fiksuojami kelionės kompiuterio parodymai (2 pav.).



2 pav. Automobilio BMW i3 kelionės kompiuteris

Automobilio kelionės kompiuteris fiksuoja tokius duomenis: starto laiką, kelionės trukmę, nuvažiuotą atstumą, vidutines elektros energijas sąnaudas ir vidutinį kelionės greitį.

Kiekvieno bandymo pradžioje fiksuojamas HV akumuliatorių baterijos pradinis įkrovos lygis (SOC_p), o bandymo pabaigoje galutinis įkrovos lygis (SOC_b). Šie duomenys pateikiami automobilio prietaisų skydelyje (3 pav.).



3 pav. Automobilio BMW i3 HV baterijos įkrovos lygio parodymai prietaisų skydelyje

Atlikus kiekvieną bandymą automobilis išjungiamas ir jo baterija įkraunama iki bandymo pradžioje buvusio įkrovos lygio (SOC_p). Įkrovimo metu sunaudotos energijos kiekis nustatytas naudojant į standartinį vienos fazės elektros kištuką įjungiamą energijos matuoklį RS PRO. Gamintojo nurodymas šio prietaiso tikslumas yra $\pm 2\%$ (All in solar energy, 2023).

Atlikus kiekvieną eksperimento bandymą apskaičiuojamas sunaudotos energijos kiekis:

$$\frac{q_{vidb}}{100} \times l_b = Q_b; \quad (1)$$

čia: q_{vidb} – bandymo metu nustatytos vidutinės elektros energijos sąnaudos (kWh/100km); l_b – bandymo metu nuvažiuotas atstumas (km); Q_b – apskaičiuotos elektros energijos sąnaudos (kWh).

Automobilio vidutinės teorinės elektros energijos sąnaudos apskaičiuojamos:

$$\frac{(F_r + F_{aer}) \times v_{vid}}{\mu_{tr}} \times 0,0036 = q_{vidt}; \quad (2)$$

čia: F_r – ratų pasipriešinimo riedėjimui jėga (N); F_{aer} – oro pasipriešinimo jėga (N); v_{vid} – bandymo metu fiksuotas vidutinis kelionės greitis (m/s); μ_{tr} – transmisijos naudingumo koeficientas (priimta 0,9); q_{vidt} – apskaičiuotos vidutinės teorinės elektros energijos sąnaudos (kWh/100km).

Įkrovos metu patiriami elektros energijos nuostoliai apskaičiuojami:

$$Q_s - Q_b = Q_n; \quad (3)$$

čia: Q_s – automobilio įkrovimo metu nustatytas elektros energijos kiekis (kWh); Q_n – automobilio įkrovimo metu patiriami absoliutiniai elektros energijos nuostoliai (kWh).

Kadangi kiekvienas iš atliktų bandymų nebuvo identiški, tai automobilio įkrovimo metu patiriamus elektros energijos nuostolius tikslinga pateikti procentine išraiška:

$$\frac{Q_n}{Q_b} \times 100 = q_{\%}; \quad (4)$$

Siekiant tikslesnių rezultatų, natūriniai eksperimentai atlikti tris kartus ir pateikiamos apskaičiuotų reikšmių aritmetinio vidurkio vertės.

3. Tyrimų rezultatai ir jų analizė

Atlikus tris natūrinius važiavimo eksperimentus su automobiliu BMW i3 buvo fiksuojami reikalingi kelionės parametrai. Po kiekvieno bandymo įkraunant automobilio HV bateriją iš 230 V kintamosios elektros srovės tinklo su prie automobilio komplektuojamu įkrovimo įrenginiu išmatuotas elektros energijos kiekis, o kiti parametrai apskaičiuojami naudojant ankstesniame skyriuje pateiktas formules. Tyrimų rezultatai pateikti lentelėje Nr.2.

2 lentelė

Išmatuoti ir apskaičiuoti tyrimų rezultatai

Bandymo Nr.	Nuvažiutas atstumas km	Vidutinės sąnaudos kWh/100km	Vidutinis greitis km/h	Vidutinės teorinės sąnaudos kWh/100km	Iš tinklo paimtas energijos kiekis kWh	HV baterijos įkrovos lygis %	HV baterijos įkrovos lygis %	Įkrovimo nuostoliai %	Apskaičiuotas HV baterijos SOHc %
1	20,9	17,0	67,4	18,9	3,92	80	54	10,33	72,69
2	21,6	17,4	70,0	19,8	4,25	69	42	13,08	74,04
3	21,5	15,5	67,6	19,0	3,65	72	49	9,53	77,07
Vidutinė reikšmė								10,98	74,60

Analizuojant lentelėje Nr.2 pateiktus tyrimų metu išmatuotus ir vėliau apskaičiuotus rezultatus galima pastebėti, kad, nors ir buvo tyrimai atliekami panašiomis sąlygomis, kiekvieno bandymo metu automobilio kelionės kompiuteris fiksavo šiek tiek skirtingus rezultatus. Trečiojo bandymo metu fiksuotos mažiausios vidutinės elektros energijos sąnaudos buvo 15,5 kWh/100km, o antrojo bandymo metu didžiausios – 17,4 kWh/100km. Kadangi šio tyrimo tikslas nustatyti įkrovimo metu patiriamus elektros energijos nuostolius tai tikėtina, kad minėti skirtumai didelės reikšmės tyrimų rezultatams neturi ir jos priklauso nuo kelionės vidutinio greičio. Lyginant automobilio kelionės kompiuterio pateikiamas vidutines elektros energijos sąnaudas ir teoriškai apskaičiuotas sąnaudas, taip pat pastebimi nežymūs skirtumai, bet skaičiuojant teorines vidutines elektros energijos sąnaudas buvo naudota vidutinio kelionės greičio reikšmė, o norint gauti tikslesnius rezultatus reikėtų naudoti tikrąsias kelionės greičio vertes. Apskaičiavus įkrovimo metu patiriamus nuostolius, kai automobilio HV akumuliatorių baterija įkraunama iš 230 V kintamosios elektros srovės tinklo, visų trijų bandymų vidutinė reikšmė gauta apie 11%. Panašūs rezultatai skelbiami ir kitų mokslininkų atliktuose tyrimuose (Reick B. et al, 2021, Voelcker J., 2021). Yra žinoma, kad elektrinių automobilių HV akumuliatorių baterijas įkraunant iš nuolatinės srovės šaltinių (įkrovimo stotelių), įkrovimo metu patiriami nuostoliai yra mažesni, nes nėra nuostolių kurie patiriami automobilyje įrengtame įtampos ir srovės keitiklyje, bet tuo atveju nuostoliai yra pačioje įkrovimo stotelėje (Go-e, 2022).

Lentelėje Nr.2 paskutiniame stulpelyje pateiktas apskaičiuotas baterijos būklės indeksas SOHc. Šis indeksas apskaičiuotas remiantis eksperimentinių tyrimų metu gautais rezultatais, iš kurių nustatyta tikroji HV baterijos talpa ir ji lyginama su automobilio gamintojo deklaruojama naujos baterijos naudinga talpa.

Šiuo atveju apskaičiuotas baterijos būklės indeksas 74,6% ir tai yra labai artimas diagnostiniu įrenginiu nustatytam indeksui, kuris pateiktas lentelėje Nr.1.

Išvados

1. Šiuolaikiniai elektra varomi automobiliai savo eksploatacinėmis savybėmis jau prilygsta tradiciniams automobiliams, o vertinant poveikį aplinkai jie yra pranašesni. Vertinant elektra varomo automobilio eksploatacines savybes vienos iš svarbiausių charakteristikų yra aukštos įtampos akumuliatorių baterijų talpa ir įkrovimo sparta.

2. Atliekant tyrimus nustatyta:

o Įkraunant elektrinių automobilių aukštos įtampos akumuliatorių baterijas patiriami elektros energijos nuostoliai, kurie priklauso nuo įkrovimo būdo ir automobilio konstrukcijos ir jie gali būti nuo 10% iki 30%.

o Tyrimais nustatyta, kad įkraunant BMW i3 automobilio aukštos įtampos akumuliatorių bateriją originaliu su automobiliu komplektuojamu įkrovimo įrenginiu iš kintamosios srovės 230 V tinklo patiriami elektros energijos nuostoliai yra apie 11%.

o Vertinant elektra varomų automobilių įtaką šiltnamio efektą sukeliančių dujų mažinimui būtina įvertinti ir įkrovimo metu patiriamus elektros energijos nuostolius.

o Atlikus panašaus pobūdžio tyrimus galima pakankamai tiksliai apskaičiuoti aukštos įtampos akumuliatorių baterijos būklės indeksą *SOH*.

Literatūra

1. U.S. Environmental Protection Agency, Greenhouse Gas Emissions. 2023. Interaktyvus. Žiūrėta 2023.04.17. Prieiga per internetą: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>.
2. Ritchie H. Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from? 2020. Interaktyvus. Žiūrėta 2023.04.17. Prieiga per internetą <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>
3. National Academies of Sciences, Is it possible to achieve net-zero emissions? 2021. Interaktyvus. Žiūrėta 2023.04.17. Prieiga per internetą: <https://www.nationalacademies.org/based-on-science/is-it-possible-to-achieve-net-zero-emissions#:~:text=Achieving%20zero%20emissions%20means%20releasing,oxide%20or%20other%20greenhouse%20gases>
4. Egeskog A. et. all. Carbon footprint report. 2022. Interaktyvus. Žiūrėta 2023.04.17. Prieiga per internetą: <https://www.volvocars.com/images/v/-/media/applications/pdpspecificationpage/my24/xc40-electric/pdp/volvocars-LCA-report-xc40.pdf>
5. Schreiber, B. A. and Gregersen, E. Tesla, Inc. 2023. Interaktyvus. Žiūrėta 2023.04.17. Prieiga per internetą: <https://www.britannica.com/topic/Tesla-Motors>
6. Kane M., Compare Electric Cars: EV Range, Specs, Pricing & More. 2022. Interaktyvus. Žiūrėta 2023.04.17. Prieiga per internetą: <https://insideevs.com/reviews/344001/compare-evs/>
7. EV Specifications, BMW i3 60Ah, Interaktyvus. Žiūrėta 2023.04.17. Prieiga per internetą: <https://evchargeplus.com/ev-specification/bmw-i3-60ah/>
8. Electric Vehicle Database, BMW i3 60 Ah. Interaktyvus. Žiūrėta 2023.04.17. Prieiga per internetą: <https://ev-database.org/car/1004/BMW-i3-60-Ah>
9. All in solar energy, Electric consumption meter socket. Interaktyvus. Žiūrėta 2023.04.17. Prieiga per internetą: <https://www.todoensolar.com/Electric-consumption-meter-socket>
10. Reick B. et al, Influence of Charging Losses on Energy Consumption and CO2 Emissions of Battery-Electric Vehicles, Journal: Vehicles, 2021 Volume: 3 Number: 43 EISSN 2624-8921 Interaktyvus. 2023. Žiūrėta 2023.04.17. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2624-8921/3/4/43>
11. Voelcker J. EVs Explained: Charging Losses. 2021. Interaktyvus. Žiūrėta 2023.04.17. Prieiga per internetą: <https://www.caranddriver.com/features/a36062942/evs-explained-charging-losses/>
12. Go-e, EV Charging Losses: Where Does The Energy Go? 2022 Interaktyvus. Žiūrėta 2023.04.17. Prieiga per internetą: <https://go-e.com/en/magazine/ev-charging-losses>

ELECTRIC CAR CHARGING PROCESS: BMW I3 CASE STUDY

Summary

Recently, electric cars are rapidly gaining popularity. These cars have many advantages compared to conventional fuel-powered cars, one of the biggest advantages is less pollution. Electric cars use a rechargeable battery as an energy

source, which is charged from the mains. There are several ways of charging, but in all cases, there are some energy losses during charging, and when evaluating the pollution and energy costs of electric cars, these losses should also be evaluated. The purpose of this research is to evaluate the energy losses during the charging of electric car batteries.

Key words: Electric vehicle, HV battery pack, CCS connector.

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 vietą ir pozicija: Kauno technikos kolegija, docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: transporto inžinerija, transporto inžinerija.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 60862765, 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 Mazeika

Science degree and name: Doctor of Technological Sciences, Associated Professor.

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, Associated Professor.

Author's research interests: Technological Sciences, Transport Engineering.

Telephone and e-mail address: +370 60862765, marius.mazeika@edu.ktk.lt

DYZELINIŲ VARIKLIŲ PRITAIKYMAS DUJINIAMS DEGALAMS: AUTOMOBILIO BMW 320D ATVEJO STUDIJA

Darius Juodvalkis
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Dyzelinu varomi lengvieji automobiliai, o ypač komerciniai, vis dar yra populiariausi. Siekiant geresnių dyzelinių automobilių variklių dinaminių charakteristikų, mažesnės taršos ir ekonominės naudos, vienas iš būdų yra tokių variklių maitinimo sistemas modernizuoti, pritaikant dujiniam degalams. Šiame straipsnyje apžvelgtos šiuolaikinių dyzelinių variklių maitinimo sistemos, rinkoje siūlomi techniniai sprendimai juose naudoti dujinius degalus ir atlikta dvigubais degalais varomo BMW 320d automobilio dinaminių charakteristikų analizė.

Reikšminiai žodžiai: dyzelinis variklis, dujiniai degalai, variklio dinamika.

Įvadas

Automobilių transportas yra vienas iš didžiausių mūsų planetos taršos šaltinių. Pastaruoju metu automobilių transportas išgyvena pokyčius - stengiamasi atisakyti dyzelinu varomų automobilių, juos keičiant ekologiškesnėmis transporto priemonėmis, kurios varomos benzinu, alternatyviais degalais ar elektra. Visame pasaulyje, o ypač Europoje, automobiliai varomi dyzelinu vis dar yra labai populiarūs. Skirtingai negu benzinu varomi varikliai, kurie gali naudoti tik dujinius degalus, dyzeliniai varikliai, juos pritaikant dujiniam degalams, naudoja dvejus degalus – dyzelino ir dujinių degalų mišinį. Dyzeliniai varikliai be didelių pakeitimų gali būti pritaikyti LPG-dyzelino degalams. Dyzelinu varomą vidaus degimo variklį pritaikant dvigubais degalams, prieš tai agregatas turi būti minimaliai modifikuojamas. Pagrindiniai pakeitimai yra daromi variklio elementuose įrengiant papildomas jungtis degalų tiekimo, elektros instaliacijos, išmetamųjų dujų sistemose (Tegas, 2015).

Priklausomai nuo variklio darbo režimo, dujiniais degalais galima pakeisti iki 40 proc. dyzelinių degalų. Dvigubų degalų naudojimas dyzeliniuose varikliuose leidžia pasiekti geresnes variklio dinamines charakteristikas, mažinti išmetamųjų dujų teršalų emisijas ir gauti teigiamą ekonominį efektą.

Dvigubų degalų dyzeliniame variklyje naudojimo galimybės ir jų teigiama įtaka variklio emisijoms tirta Indijos mokslininkų (Gabala, 2016). Dujinių degalų naudojimo galimybes dyzelinu varomame Toyota Hilux variklyje tyrė lenkų mokslininkai, kurie nustatė, kad variklio sukimo momentas padidėja apie 20 proc., gaunamas ekonominis efektas yra apie 30 proc. mažesnės išlaidos degalams, o neigiamos įtakos variklio resursui pastebėta nebuvo (Pal, 2013).

Tyrimo tikslas: atlikti dyzelinu varomų automobilių variklių pritaikymo dujiniam degalams techninių sprendimų analizę ir įvertinti dyzelinio automobilio pritaikyto dujiniam degalams patirtį.

Tyrimo uždaviniai:

1. Atlikti šiuolaikinių automobilių dyzelinių variklių maitinimo sistemų analizę.
2. Apžvelgti ir išanalizuoti rinkoje siūlomus techninius sprendimus, kurie leidžia dyzelinu varomuose automobilių varikliuose panaudoti dujinių degalų ir dyzelino mišinius.
3. Nustatyti BMW 320d automobilio variklio pritaikyto dujiniam degalams dinamines charakteristikas ir jas palyginti su tik dyzelinu varomo variklio charakteristikomis.

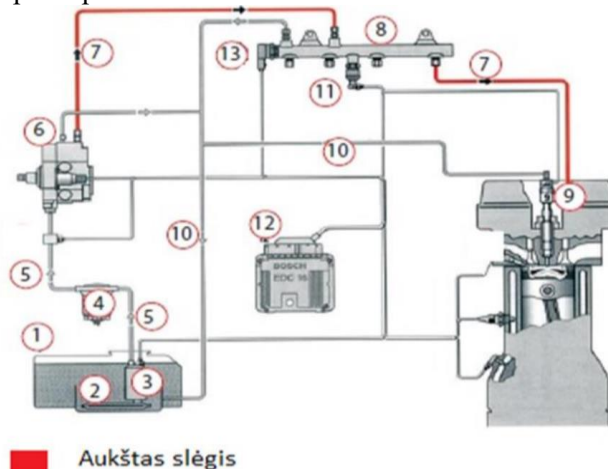
Metodai:

- Analizės metodu atliktas techninių sprendimų tyrimas.
- Vertinimo metodu atliktas perdirbto automobilio charakteristikų palyginimas.

1. Šiuolaikinių dyzelinu varomų variklių maitinimo sistemų analizė

Dyzelinis variklis sukurtas XIX amžiaus pabaigoje, bet vis dar populiarus ir šiuolaikinėse kelių transporto priemonėse. Didelį tokio tipo variklių populiarumą lemia didelis variklio efektyvumas ir geros jo dinaminės savybės. Net pirmieji dyzeliniai varikliai pasiekdavo apie 25 proc. efektyvumą, o šiuolaikinių variklių šis parametras siekia 40 proc. Tokį didelį variklio efektyvumą leidžia pasiekti geras degalų mišinio degimo procesas variklio cilindruose, kuris priklauso ir nuo variklio maitinimo sistemos. Ilgą laiką dyzeliniuose varikliuose buvo maitinimo sistemos su aukšto slėgio skirstomojo tipo siurbliais. Siekiant dar geresnio dyzelinio variklio efektyvumo, tobulintos ir jų maitinimo sistemos – atsirado siurblio purkštuvų ir Common Rail tipo maitinimo sistemos. Pirmoji Common rail tipo maitinimo sistema serijiniame automobilyje pradėta montuoti 1997 m. Alfa Romeo gamintojo dyzelinu varomuose automobilyuose (Bosch, 2023). Pastebėjus šios sistemos privalumus ir dėl to žymiai pagerėjusius variklių dinaminis, ekonomijos ir ekologijos rodiklius, daugelis lengvųjų ir komercinio transporto gamintojų taip pat savo gaminamų

automobilių varikliuose pritaikė Common Rail tipo sistemas. Common Rail tipo sistemų komponentus automobilių gamintojams tiekė skirtingi gamintojai – BOSCH, DENSO, DELPHI ir t.t., bet sistemos veikimo principas visų gamintojų buvo labai panašus. Europos automobilių gamintojai dažniausiai naudoja BOSCH arba DELPHI sistemas, o Japonijos gamintojai DENSO. Pav. 1 pateikta dyzelinio variklio BOSCH Common Rail tipo maitinimo sistemos principinė schema.



1 pav. BOSCH Common rail sistemos schema: 1 – degalų bakas, 2 – pirminis degalų filtras, 3 – žemo slėgio siurblys, 4 – degalų filtravimo sistema, 5 – žemo slėgio degalų linijos, 6 – aukšto slėgio siurblys, 7 – hidrauliniai vamzdeliai, 8 – degalų akumuliatorius, 9 – purkštuvas, 10 – grįžtamoji degalų linija, 11 – degalų slėgio jutiklis, 12 – valdymo blokas, 13 – slėgio reguliavimo vožtuvas

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Sistema Common rail (1 pav.) susideda iš šių pagrindinių komponentų:

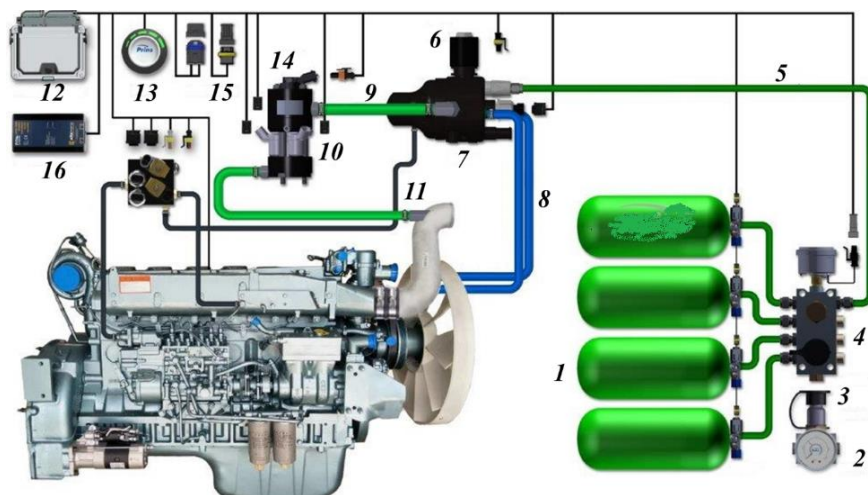
- Elektrinė dalis, kurią sudaro valdymo blokas, mechaniniai įrenginiai su elektriniais komponentais, jutikliai;
- Žemo slėgio grupė: pagalbinis degalų tiekimo siurblys, linijos, filtravimo sistema;
- Aukšto slėgio grupė: degalų siurblys, hidrauliniai vamzdeliai, akumuliatorius, purkštukai.

Aukštą degalų slėgė sukuria siurblio plunžerių poros, suslėgti degalai iš siurblio hidrauliais vamzdeliais teka į degalų akumuliatorių. Siurblys, veikiamas variklio, nuolat sukasi palaikydamas reikiamą slėgį degalų akumuliatoriuje, kuris išlaikomas nepriklausomai nuo į degimo kameras įleidžiamo degalų kiekio ar alkūninio veleno apsisukimų dažnio. Slėgį sistemoje palaiko slėgio reguliavimo vožtuvas, nepanaudoti degalai grįžta į žemo slėgio liniją. Antroji galimybė reguliuoti slėgį degalų akumuliatoriuje yra reguliuoti degalų debitą siurbimo pusėje. Tokiu būdu mažinamas degalų kiekis iki suslėgimo, sumažėja siurblio apkrova, dėl šio veiksnio variklis apkraunamas mažiau. Degalai pro purkštuvų antgalius purškiami tiesiogiai į degimo kameras, suslėgti degalai į purkštuvus teka iš akumuliatoriaus pro hidraulinius vamzdelius, tiekiamą valdo pagrindinis valdiklis. Į degimo kameras patenkančių degalų kiekis reguliuojamas keičiant purkštuvo atidarymo trukmę, taip pat priklauso nuo sistemos slėgio. Esant įpurškimo ir degalų slėgimo funkcijų nepriklausomumui vienai nuo kitos, galima lanksčiai reguliuoti degalų tiekimą esant ir mažiems variklio sukūmams. CR sistema leido per vieną degimo taktą įpurkšti degalus iki penkių kartų. Dėl šios priežasties efektyviau sudeginami degalai, degimo procesas tampa ekonomiškėsnis, didėja variklio galia, mažėja emisijos.

2. Dyzelinių variklių pritaikymo dvigubiams degalams galimybių apžvalga

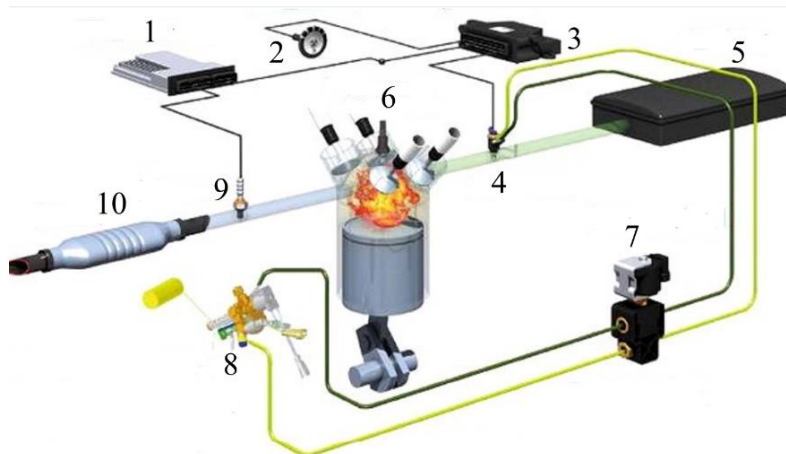
Šiuolaikiniai dyzeliniai varikliai, lyginant juos su keletą dešimtmečių senesniais, daug tobulesni. Jeigu seniai automobilis su dyzeliniu varikliu būdavo laikomas lėtu ir ne dinamišku, tai šiuolaikiniai automobiliai su dyzeliniais varikliais jau kartais net ir lenkia benzinu varomus automobilius. Kas liečia taršą, tai šioje kategorijoje dyzeliniai varikliai nusileidžia, t.y. jų išskiriama tarša dar didesnė. Siekiant mažinti dyzelinių variklių taršą juose naudojami katalizatoriai ir įvairaus sudėtingumo papildomos sistemos (AdBlue, DPF). Vienas iš būdų kaip būtų galima šiek tiek sumažinti dyzelinių variklių taršą yra naudoti juose skirtingus degalų mišinius. Dyzelinius degalus galima maišyti su suslėgtomis gamtinėmis dujomis (CNG), suskystintomis naftos dujomis (LPG), suskystintomis gamtinėmis dujomis (LNG) arba vandeniliu (H₂) (Prins, 2023). Dyzeliniuose varikliuose dujiniais degalais pakeisti dyzeliną 100 proc. nėra galimybės ir todėl taip perdirbti varikliai dažniausiai vadinami dirbantys dvigubais degalais. Dyzeliną pakeisti dujiniais

degalais galima dalinai, o kiek bus pakeičiama dujiniais degalais jau valdo sistema priklausomai nuo variklio darbo parametrų. Pritaikant dyzelinius variklius dvigubiems degalams dažnai reikia įdiegti variklyje ar jo sistemose papildomų jutiklių, kurių dėka sistema gali kontroliuoti maišomų degalų proporcijas priklausomai nuo variklio darbo režimo, siekiamų tam tikrų ekologinių ar dinaminių variklio parametrų ir kas svarbiausia gali kontroliuoti taip, kad variklis nepatirtų netipinių apkrovų ir būtų išlaikytas jo ilgaamžiškumas. 2 pav. pateikta dvigubų degalų, kurioje maišomas dyzelinas su suslėgtomis gamtinėmis dujomis, principinė schema.



2 pav. Dvigubų degalų (dyzelinas + CNG) sistemos principinė schema: 1 – CNG talpos; 2 – manometras; 3 – užpildymo vožtuvas; 4 – užpildymo blokas (skirstytuvas); 5 – aukšto slėgio dujų magistralė; 6 – uždarymo vožtuvas; 7 – slėgio reguliatorius; 8 – aušinimo magistralės; 9 – žemo slėgio dujų magistralė; 10 – filtro/purkštuvo blokas; 11 – dujų purkštukas; 12 – ECU; 13 – valdymo panelė; 14 – slėgio ir temperatūros jutiklis; 15 – diagnostikos jungtis; 16 – 12/24v keitiklis
(Šaltinis: Prins, 2023)

Panašiu principu, kaip pateikta 2 pav., veikia ir dvigubų degalų, kuriose maišomas dyzelinas su suskystintomis naftos dujomis, sistemos (3 pav.). Tik tokios sistemos šiek tiek paprastesnės, nes jose mažesnis dujų slėgis balionuose.



3 pav. Dvigubų degalų (dyzelinas + LPG) sistemos principinė schema: 1 – automobilio variklio ECU; 2 – jungiklis; 3 – dvigubų degalų sistemos ECU; 4 – dujų purkštukas; 5 – oro filtras; 6 – dyzelino purkštukas; 7 – slėgio reguliatorius; 8 – LPG talpos multivožtuvas; 9 – lambda jutiklis; 10 – katalizatorius
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Dvigubų degalų naudojimas dyzeliniuose varikliuose leidžia šiek tiek pagerinti jų dinamines charakteristikas. Tam tikruose variklio darbo režimuose galima gauti iki 20 proc. didesnę variklio išvystomą maksimalų sukimo momentą. Dvigubų degalų naudojimas taip pat leidžia žymiai sumažinti dyzelinio variklio taršą, variklio dūmingumas gali sumažėti netgi kelis kartus. Kadangi dėl dvigubų degalų gerėja degimo proceso varikliuose cilindruose kokybė, tai gerėja variklio efektyvumas, o to pasekoje ir mažėja

kenksmingų išmetamųjų dujų emisijos, bet šie skirtumai nėra žymūs ir norint juos tiksliai įvertinti reikalingi išsamūs moksliniai tyrimai, kurie apimtų skirtingų savybių variklius, skirtingus variklių darbo režimus ir t.t.

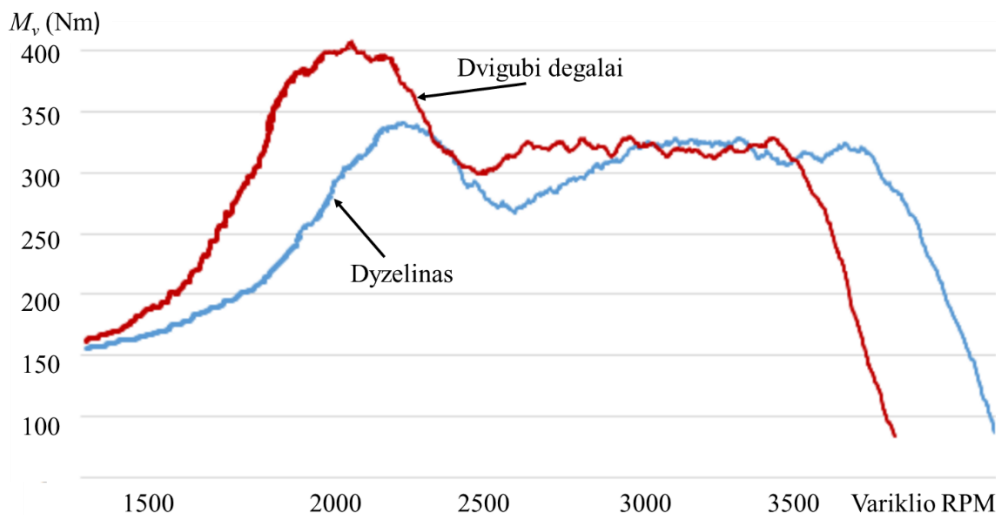
3. Dyzelinio variklio pritaikyto dujiniais degalais dinaminė charakteristikų tyrimas

Dvigubų degalų naudojimas dyzeliniuose automobilių varikliuose leidžia ženkliai pagerinti variklio dinamines charakteristikas. Savaimė suprantama padidėja ir apkrovos variklio elementams, be to dėl dujinių degalų gali variklyje pasireikšti detonacija, kuri yra pavojinga. Tuo tikslu, perdirbamuose varikliuose sumontuojami detonacijos jutikliai, kurie kontroliuoja dvigubų degalų mišinio sudėtį. Toliau pateikta automobilio BMW 320d pritaikyto dvigubiems degalams variklio dinaminė charakteristikų tyrimų rezultatai. Automobilyje sumontuota „TE-GD4“ suskystintų naftos dujų sistema, kuri leidžia jam dirbti dvigubų degalų mišiniu. Techniniai sprendimai, kurie pritaikyti šio automobilio pritaikymui dvigubiems degalams aprašyti straipsnyje (Juodvalkis, 2021). Tyrimų metu automobiliu buvo greitėjama važiuojant trečia pavarą nuo mažų variklio apsisukimų iki maksimalių. Eksperimentų metu automobilio akseleratorius buvo spaudžiamas pilnai, kad automobilis pasiektų didžiausią įmanomą išibėgėjimo pagreitį. Dvigubų degalų sudėtį sistema „TE-GD4“ reguliuoja automatiškai ir priklausomai nuo tam tikrų parametrų. Darbo metu šis santykis nuolat kinta, tad trumpuoju periodu šis santykis nežinomas. Ilguoju automobilio eksploatacijos periodu buvo nustatyta, kad apie 30 proc. dtzelino pakeičiama dujiniais degalais. Automobilio dinaminiai parametrai buvo matuojami DL1 Data Logger matavimo įranga. Žinant automobilio transmisijos charakteristikas ir išmatuotą išibėgėjimo pagreitį, apskaičiuojamas variklio pasiekiamas sukimo momentas (1).

$$M_V = \frac{r_{st}}{u_{g3} \times u_{gm} \times \mu_{tr}} \times \left(\frac{C_d \times A \times \rho \times v^2}{2} - f_0 \times \left(1 + \frac{v^2}{1800} \right) - m \times a \right); \quad (1)$$

čia: r_{st} - rato statinis spindulys; u_{g3} - trečios pavaros perdavimo skaičius; u_{gm} - pagrindinės pavaros perdavimo skaičius; μ_{tr} - transmisijos naudingumo koeficientas; C_d -aerodinaminio pasipriešinimo koeficientas; A - automobilio vidinio plotas; ρ - oro tankis; v - automobilio greitis; f_0 - padangos pasipriešinimo riedėjimui koeficientas; m - automobilio masė; a - automobilio pagreitis.

3 pav. pateikti jau apskaičiuoti rezultatai grafiškai – variklio išvystomo sukimo momento priklausomybė nuo variklio alkūninio veleno sukimosi dažnio.



3 pav. Variklio sukimo momento priklausomybė nuo apsisukimų

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Analizuojant 3 pav. pateiktas tiriamojo automobilio BMW 320d variklio dinamines savybes, galima pastebėti, kad varikliui dirbant dvigubais degalais variklio išvystomas sukimo momentas yra ženkliai didesnis. Žymus skirtumas stebimas kai variklio apsisukimai yra apie 2000 RPM, tada gaunamas didžiausias variklio sukimo momentas kai į variklį tiekiami dvigubi degalai yra apie 400 Nm. Varikliui dirbant standartiniu dyzelino mišiniu didžiausias išvystomas sukimo momentas yra apie 330 Nm ir jis pasiekiamas prie 2200 RPM. Kai variklio apsisukimai didesni (3000 – 4000 RPM) žymaus variklio, dirbančio skirtingų

degalų režimais, dinaminių savybių skirtumo nėra – kiekvienu atveju variklis pasiekia apie 320 Nm dydžio sukimo momentą. Dvigubų degalų sistemos skirtos dyzeliniams varikliams dar nėra plačiai naudojamos automobiliuose, jų darbo režimai dar vis tobulinami, todėl tikėtina, kad, tinkamai suprogramavus sistemos darbo parametrus, galima gauti geresnes variklio dinamines charakteristikas visuose jo darbo režimuose.

Išvados

1. Šiuolaikinių automobilių dyzeliniuose varikliuose dažniausiai naudojamos modernios Common Rail tipo maitinimo sistemos, kuriose degalai aukštu slėgiu įpurškiami į cilindrus ir varikliai pasiekia gerus dinamikos ir ekologiškumo parametrus. Variklius su tokiomis moderniomis maitinimo sistemomis siekiant pritaikyti dujiniams degalams reikalingos kompiuteriais valdomos dviejų degalų maitinimo sistemos.

2. Rinkoje siūloma įvairių sprendimų, kurie leidžia šiuolaikinių automobilių dyzelinius variklius sėkmingai pritaikyti naudoti dvigubus (dyzelino ir dujų) degalus. LPG degalų naudojimas dyzeliniuose varikliuose pagerina jų dinamines charakteristikas ir yra ekonomiškai naudingas.

3. Naudojant dvigubų degalų sistemą „Tegas TE-GD4“ BMW 320d automobilio dyzeliniame variklyje jo dinaminės charakteristikos ženkliai gerėja. Variklio apsisukimams esant 2200 RPM maksimalus jo sukimo momentas padidėja apie 20 proc. - nuo 330 Nm iki 400 Nm.

Literatūra

1. Aydin M., Irgin A., Celik M. The Impact of Diesel/LPG Dual Fuel on Performance and Emissions in a Single Cylinder Diesel Generator. Journal Applied Sciences 2018 - 8. DOI: <https://doi.org/10.3390/app8050825>
2. Bosch Global. 2023 interaktyvus, [žiūrėta 2023.08.02] <https://www.bosch.com/stories/history-of-common-rail/>
3. Garbala, K., Piekarski, W., Andrzejewska, S., Witaszek, K. Analysis of operating parameters and indicators of a compression ignition engine fuelled with LPG. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2016, 93, 13-22. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2016.93.2>.
4. Juodvalkis D., Dargužis A. Lengvojo automobilio su dyzeliniu varikliu pritaikymas dujiniams degalams. Mokslinių straipsnių žurnalas: Inžinerinės ir edukacinės technologijos. 2021, 1, 75-78.
5. Pal, A. and Tiwari, A. An investigation of the combustion and emission characteristics of compression ignition engines in dual-fuel mode. International Journal of Advance Research and Innovation. 2013, 1(3), 98–106.
6. Prins Dieselblend Dual Fuel System. 2023 interaktyvus, [žiūrėta 2023.07.01] <https://www.prinsautogas.com/en/systems/dieselblend-dual-fuel-system>
7. Tegas engineering. 2015 interaktyvus, [žiūrėta 2023.05.01] <http://files.tegas.lt/User%20Manuals/TE-GD4%20user%20manual%20ENG.pdf>

ADAPTING DIESEL ENGINES TO GASEOUS FUELS: CASE STUDY OF THE BMW 320D

Summary

Diesel-powered cars, especially commercial ones, are still the most popular. One way to improve the dynamic performance and lower pollution of diesel engines is to adapt them to dual fuel (diesel + LPG). In the article the possibilities of adapting the diesel car BMW 320d to dual fuel are reviewed and field experiments to determine the dynamic characteristics of this car's engine using dual fuel are performed.

Key words: diesel engine, gas fuel, engine dynamics

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Darius Juodvalkis.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, 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

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

DYZELINIO VARIKLIO, DIRBANČIO TRIKOMPONENČIAIS DEGALAIS, DARBO RODIKLIŲ IR DEGINIŲ EMISIJOS TYRIMAS

Tomas Mickevičius
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Straipsnyje analizuojama trikomponenčių degalų įtaka dyzelinio variklio darbo efektyvumui ir deginių emisijos rodikliams. Bandymai atlikti naudojant dyzelinius degalus (D) ir skirtingus biodyzelino (B) aviacinių degalų (JET A1) ir butanolio (Bu) mišinius J5, J5Bu5, J5Bu10 ir J5Bu15. Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami su dyzeliniu varikliu „ORUVA F1L511“. Variklio apkrovos charakteristikos registruotos esant pastoviems alkūninio veleno sūkiams $n = 2000 \text{ min}^{-1}$. Tyrimais nustatyta, kad mažiausia anglies viendeginio (CO) emisija (163 ppm) gauta varikliui dirbant trikomponenčiu J5Bu5 mišiniu. Didžiausia azoto oksidų (NO_x) emisija gauta varikliui veikiant gryniais dyzeliniais degalais (1833 ppm). Mažiausia NO_x emisija gauta varikliui dirbant trikomponenčiu mišiniu su 15 % butanolio priedu (1643 ppm). Didžiausias dūmingumas (13,4 %) gautas variklį maitinant gryniais dyzeliniais degalais ir esant pilnai apkrovai.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: dyzelinis variklis, biodyzelinas, aviaciniai degalai, butanolis, variklio darbo rodikliai, deginių emisija

Įvadas

Šiuolaikinėje visuomenėje dėl nuolat vykstančios globalizacijos procesų susiduriama su vis didėjančiu energijos poreikiu įvairiose srityse [9]. Didėjantis energijos poreikis, naftos atsargų mažėjimas, pasaulinių degalų kainų nestabilumas ir globalinio atšilimo problema skatina ieškoti kitų energijos šaltinių, ir visų pirma atsinaujinančių. Iškastinio kuro deginimas spartina klimato kaitos pokyčius, kurie prisideda prie šiltnamio efektą keliančių dujų atsiradimo. Išmetamas ŠESD kiekis dyzeliniuose varikliuose susideda iš anglies dvideginio (CO_2), todėl reikalinga nagrinėti jo kiekio sumažinimo galimybes. Norint sumažinti išmetamo CO_2 kiekį, reikia naudoti atsinaujinančius energijos šaltinius, pritaikyti efektyvesnes degimo strategijas. Naujomis degimo strategijomis siekiama užtikrinti, kad būtų laikomasi griežtėjančių reglamentų, ypač dyzeliniuose varikliuose, daugiausia kalbant apie – NO_x ir kietųjų dalelių (PM) emisijas. Vieni iš pagrindinių iškastinių degalų vartotojų yra vidaus degimo varikliai. Dėl didesnio naudingumo koeficiento ir patikimumo komercinio transporto ir traukos mašinose dažniausiai naudojami dyzeliniai varikliai. Biokomponentų, kaip naftos degalų pakaitalų, naudojimas yra svarbi ne tik Europos Sąjungos, bet ir visų kitų valstybių energetikos politikos dalis [3]. Mineralinius degalus keičiant alternatyviais ar atsinaujinančiais degalais, kinta degalų fizinės ir cheminės savybės. Dėl degalų fizinių ir cheminių savybių įtakos kinta lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos, efektyvieji variklio rodikliai, deginių emisija ir dūmingumas [10].

Esant nestabiliai naftos žaliavos kainai ir aplinkosaugos problemoms, įvairūs alternatyvūs degalai laikomi naftos kuro pakaitalu [2]. Daugelyje šalių plačiausiai naudojami biodegalai dyzeliniams varikliams yra biodyzelinas, t. y. augalinių aliejų metilo ar etilo esteriai [6]. Biodyzelinas RME – metilo (etilo) esteris, pagamintas iš augalinės kilmės aliejų ar gyvūninės kilmės riebalų, prilygstantis dyzelino kokybei, skirtas naudoti kaip biokuras. Lietuvoje biodyzelinas (rapsų metilo esteris – RME) gaminamas iš rapsų sėklų [5]. Slavinskas ir kt. straipsnyje atliko palyginamąją dyzelinio variklio darbo ir deginių emisijos rodiklių analizę, kurioje esant įvairioms variklio apkrovoms, variklį maitina dyzeliniais ir jo mišiniais su biodyzelinu (B10, B20, B40, B60) degalais. Tyrimo rezultatuose autoriai atskleidė, kad maksimalus cilindro slėgis sumažėjo apie 1 – 2 %, kai dyzeliniame degalų mišinyje padidėjo rapsų metilo esterio (RME) kiekis, varikliui dirbant pilna apkrova ir 1400 min^{-1} sūkiu dažniu. Varikliui dirbant biodegalų mišiniais, palyginti su mineraliniu dyzelinu, lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos padidėjo. Didžiausias efektyvusis naudingumo koeficientas išlieka 0,3–6,5 % mažesnis, palyginti su mineraliniu dyzelinu, veikiančiu varikliu esant pilnai apkrovai. Varikliui dirbant maksimaliu sukimo momento režimu naudojant dyzeliną - RME degalų mišinius B10, B20, B40 ir B60, bendras azoto oksidų išmetimas sumažėjo. Esant pilnai ir vidutiniai apkrovai, anglies viendeginio išmetimas žymiai padidėjo, kai padidėjo RME kiekis degaluose [8].

Daugelio mokslininkų tyrimų rezultatai parodė potencialias variklio darbo, panaudojant reaktyvinius degalus, galimybes be didelių variklio darbo proceso ir efektyvumo rodiklių pokyčių [6,7]. Imtenan ir kt. atliko eksperimentinį tyrimą, kuriame panaudojo dyzelino ir palmių biodyzelino mišinio (20 % palmių biodyzelino ir 80 % dyzelino) palyginimą su trikomponenčiais mišiniais, nustatant variklio darbo ir deginių emisijos rodiklius. Autorius analizuoja trys skirtingus degalų mišinius, kuriuos sudarė 80 % dyzelino, 15 % palmių biodyzelino ir 5 % skirtingo priedo (etanolio, butanolio, dimetilo eterio). Tyrimas buvo atliktas su tiesioginio įpurškimo dyzeliniu varikliu, veikiant maksimaliai apkrovai ir skirtingais alkūninio veleno sūkių

dažniais (1200 – 2400 min⁻¹). Mokslininkai nustatė, kad didžiausias CO kiekis buvo gautas varikliui dirbant dyzeliniais degalais, o mažiausias trikomponenčiu su 5 % etanolio priedu visuose sūkių dažniuose. Azoto viendeginio emisija, lyginant palmių biodyzelino ir dyzelino mišinį su grynu dyzelinu, išskyrė didesnę kiekį teršalų. Trikomponenčiuose mišiniuose su 5 % dimetilo eteriu buvo nustatytas mažiausias NO kiekis visame sūkių diapazone. Tyrime buvo pastebėta, kad etanolio ir butanolio priedas mišiniuose generavo mažesnę teršalų kiekį, kadangi šie alkoholiai pasižymi didesniu deguonies kiekiu, mažesniu kalingumu bei didesne garavimo šiluma [4]. Butanolis dažniausiai gaminamas iš atsinaujinančių energijos šaltinių ir laikomas geresne alternatyva trumpų grandinių alkoholiams. Butanolis yra saugesnė ir lengviau pritaikoma alternatyva degalų mišiniuose [11]

Autoriai tyrime siekė iširti galimą dyzeliniuose varikliuose, aviacinių degalų (JET A1) naudojimą mišinyje kartu su biodyzelinu iš kepimo aliejaus atliekų ir atsinaujinančio dyzelino. Tyrime buvo analizuojami 4 mišiniai: 1) 50 % dyzelino, 40 % biodyzelino, 10 % JET A1; 2) 70 % dyzelino, 20 % biodyzelino, 10 % JET A1; 3) 60 % dyzelino, 40 % biodyzelino; 4) 80 % dyzelino, 20 % biodyzelino. Autoriai savo rezultatuose teigia, kad naudojant biodyzeliną galima sumažinti anglies viendeginį (CO), nesudegusį angliavandenilį (HC) ir suodžius dėl didesnio deguonies kiekio, esančio biodyzeline. Biodegalų naudojimo trūkumai yra susiję su mažu augalinio aliejaus lakumu ir dideliu klampumu, kas sukelia sunkumų įpurškiant degalus ir maišant juos su oru. Taip pat autoriai pastebi padidėjusį azoto oksidų kiekį [1].

Atsinaujinančios degalų rūšys sulaukia vis daugiau dėmesio dėl jų indėlio mažinant aplinkos oro taršą. Išmetamieji iškastinio kuro deginimo atvejai susiję su oro kokybės pablogėjimu dėl teršalų, tokių kaip azoto oksidai (NO_x), anglies viendeginis (CO), kietosios dalelės (PM) ir kiti dujiniai produktai, susidarantys nepilno degimo metu. Dėl šios priežasties švarūs degimo procesai vis dar yra svarbi tyrimų tema. Šiai problemai spręsti vienas iš veiksnių yra spiritinių degalų kaip alternatyvių degalų ar jų priedų naudojimas [5]. Mokslininkai savo tyrimuose gana plačiai analizuoja biodegalų panaudojimo tematiką, tačiau negali prisiesti prie vieningos nuomonės, kokį santykį nustatyti tarp dyzelinių degalų ir biodegalų. Analizuojant šią temą galima teigti, kad nėra pakankamai išsamių tyrimų apie aviacinių degalų ir biodegalų mišinių santykius įmaišant spiritinius degalus kaip priedą, kurie galėtų būti naudojami dyzeliniuose varikliuose kaip alternatyvūs degalai. Tyrimų tikslas – nustatyti trikomponenčių degalų įtaką dyzelinio variklio darbo efektyvumui ir deginių emisijos rodikliams.

Tyrimo objektai ir metodika

Siekiant įvertinti trikomponenčių degalų įtaką variklio darbo ir deginių emisijos rodikliams buvo paruošti trijų komponentų: aviacinių degalų (Jet A1), biodyzelino RME (B) ir butanolio (Bu) mišiniai. Pirmiausia sumaišytas pagal tūrį dvikomponentis mišinys (95 % Jet A1 ir 5 % B). Atliekant tyrimus į šį dvikomponentį degalų mišinį buvo įmaišytas papildomas 5 %, 10 %, 15 % butanolio kiekis. Tyrime nagrinėjami 5 atvejai, su skirtinga degalų bei jų priemaišų koncentracija. Eksperimentiniuose tyrimuose naudoti degalai ir jų mišiniai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė

Eksperimentiniuose tyrimuose naudoti degalai

Eil. Nr.	Kodas	Charakteristikmos
1.	D	100 % dyzelinių degalų (D)
2.	J5	95 % Jet A1 ir 5 % B
3.	J5Bu5	95 % J5 ir 5 % Bu
4.	J5Bu10	90 % J5 ir 10 % Bu
5.	J5Bu15	85 % J5 ir 15 % Bu

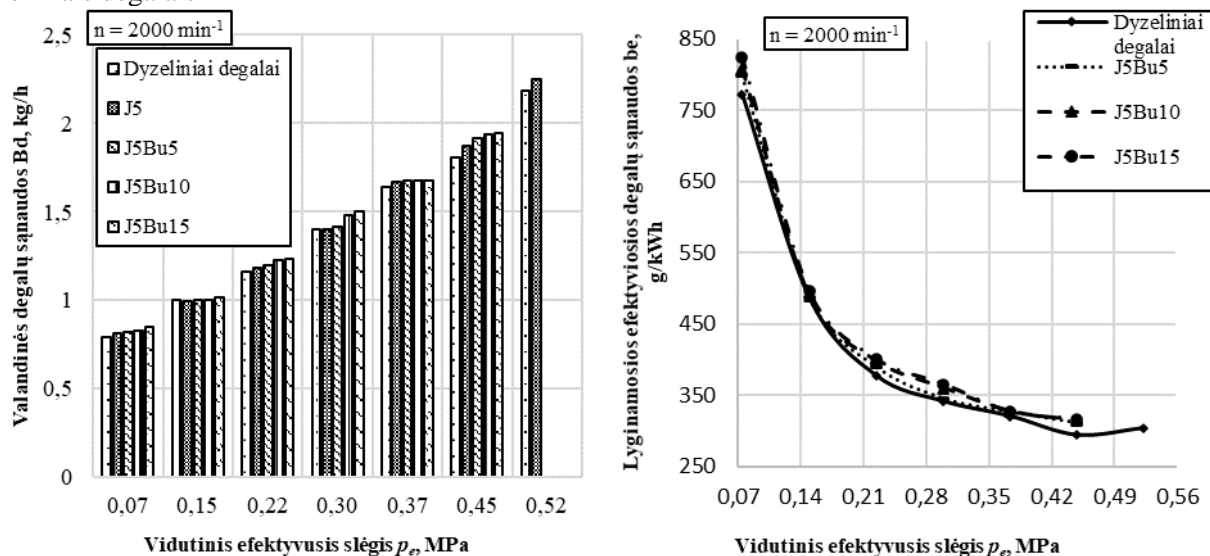
Eksperimentiniai tyrimai buvo atlikti Vytauto Didžiojo universitete Žemės ūkio akademijoje, inžinerijos fakulteto, variklių bandymų laboratorijoje, esančiu vieno cilindro, keturtakčiu, tiesioginio įpurškimo dyzeliniu vidaus degimo varikliu „ORUVA F1L511“, kurio vardinė galia 12,8 kW, esant 3000 min⁻¹ variklio sukimosi dažniui. Variklio stende sumontuota variklio apkrovos valdymo įranga ir darbo rodiklių bei emisijos matavimo prietaisai. Bandymai buvo atlikti esant pastoviams variklio sūkiams 2000 min⁻¹, keičiant variklio apkrovas.

Degimo proceso metu susiformavęs anglies viendeginis (CO), anglies dvideginis (CO₂), azoto viendeginis (NO), azoto dvideginis (NO₂) ir liekamasis deguonis (O₂) buvo matuojami deginių analizatoriumi „Testo“ XL 350. Deginių dūmingumas buvo išmatuotas deginių skaidrumo matuokliu „Bosch“ RTT 110.

Tyrimų rezultatai

Atlikus eksperimentinius tyrimus nustatyta, kad varikliui dirbant dyzeliniais degalais ir dvikomponenčiu J5 degalų mišiniu, didinant apkrovą varikliui pavyko pasiekti maksimalią efektyviąją galią ($P_e = 7,19$ kW) ir generavo maksimalų efektyvųjį slėgį ($p_e = 0,52$ MPa). Varikliui veikiant trikomponenčiais degalų mišiniais J5Bu5, J5Bu10 ir J5Bu15, kurių vienas iš panaudojamų komponentų – butanolis, variklis pasiekė mažesnę maksimalią galią ($P_e = 6,16$ kW), bei efektyvųjį slėgį ($p_e = 0,45$ MPa).

1 pav. pateikta valandinių degalų sąnaudų ir lyginamųjų efektyviųjų degalų sąnaudų b_e priklausomybė nuo vidutinio efektyviojo slėgio p_e , varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais. Išanalizavus gautus duomenis pastebėta, kad visais apkrovų režimais (0,07 – 0,45 MPa), mažiausios valandinės degalų sąnaudos gautos varikliui dirbant dyzeliniais degalais, o didžiausios trikomponenčiu J5Bu15 degalų mišiniu. Didinat butanolio kiekį trikomponenčiuose mišiniuose, valandinės degalų sąnaudos didėja tiesiškai. Tai sąlygoja tokie veiksniai kaip: degalų šilumingumas, tankis ir kinematinė klampa. Dvikomponenčio degalų J5 mišinio apatinis šilumingumas mažėja didėjant butanolio koncentracijai jame. Trikomponenčių degalų mišinių J5Bu5, J5Bu10 ir J5Bu15 žemutinis šilumingumas sumažėja atitinkamai 1,1 %, 2,5 % ir 3,5 % palyginti su dyzeliniais degalais.



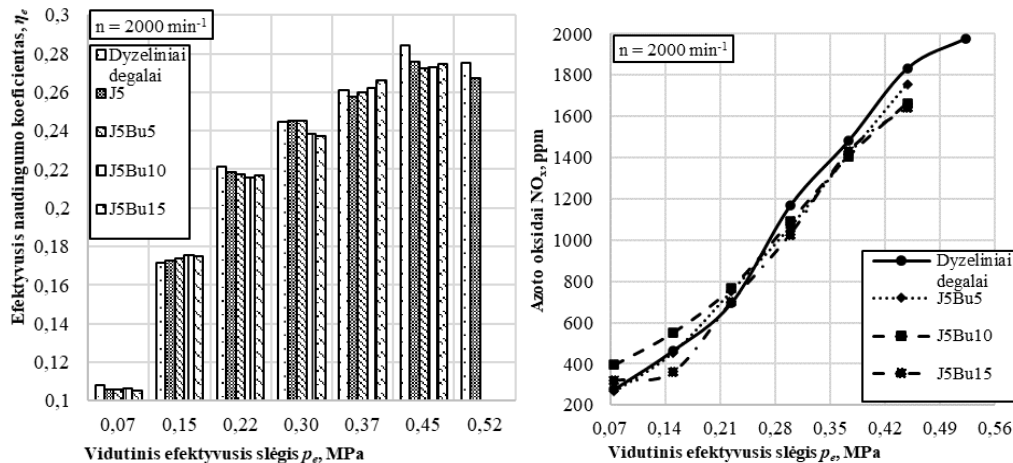
1 pav. Valandinių degalų sąnaudų ir lyginamųjų efektyviųjų degalų sąnaudų b_e priklausomybė nuo vidutinio efektyviojo slėgio p_e , varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais

Esant 0,07 – 0,45 MPa apkrovai dyzelinių degalų lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos (b_e) buvo mažiausios visų apkrovų režimais (1 pav.). Didžiausios (824,97 g/kWh) lyginamosios degalų sąnaudos gautos neapkrautam varikliui, veikiant trikomponenčiu degalų mišiniu su 15 % butanolio priedu.

2 pav. pateikta efektyviojo naudingumo koeficiento η_e ir azoto oksidų (NO_x) priklausomybė nuo vidutinio efektyviojo slėgio p_e , varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais. Iš grafiko matyti, varikliui veikiant nedidele ($p_e = 0,15$ MPa) apkrova, efektyvusis naudingumo koeficientas degalų mišinio J5 yra truputį didesnis palyginti su dyzeliniais degalais veikiančiu varikliu. Variklio apkrovą padidinus iki $p_e = 0,37$ MPa, efektyvusis naudingumo koeficientas degalų mišinio J5 sumažėjo 1,1 %, palyginti su dyzeliniais degalais varomu varikliu. Variklio apkrovą padidinus iki $p_e = 0,52$ MPa, varikliui veikiant degalų mišiniu J5, efektyvusis naudingumo koeficientas 2,8 % sumažėjo palyginti su dyzeliniais degalais.

Butanolis, priklausantis alkoholių grupei, pasižymi didesniu degimo greičiu, deguonies kiekiu, ilgesne molekuline struktūra, kurio santykio didėjimas mišiniuose turi įtakos efektyviajam naudingumo koeficiento didėjimui. Esant $p_e = 0,15$ MPa, variklio efektyvusis naudingumo koeficientas didžiausią reikšmę (0,175) pasiekė panaudojus trikomponentį degalų mišinį J5Bu15 ir buvo didesnis 2,0 % palyginti su dyzeliniais degalais veikiančiu varikliu. Efektyviojo naudingumo koeficiento didėjimą galima paaiškinti tuo, kad didesnis deguonies kiekis degaluose, skatina geresnį degalų užsiliepsnojamą visame cilindro tūryje. Pastebėta, kad trikomponenčiuose mišiniuose esančio butanolio įtaka, nagrinėtais apkrovos režimais, pasiskirstė nevienodai. Esant $p_e = 0,37$ MPa apkrovai su visais butanolio mišiniais, efektyvusis naudingumo koeficientas gautas didesnis nei varikliui dirbant dyzeliniais degalais bei dvikomponenčiu J5 degalų mišiniu. Variklio apkrovą padidinus iki $p_e = 0,45$ MPa, naudojant trikomponenčius degalų mišinius J5Bu5, J5Bu10 ir J5Bu15, efektyvusis naudingumo koeficientas mažėja atitinkamai 4,4 %, 4,3 % ir 3,6 %, palyginti su dyzeliniais degalais maitinamu varikliu.

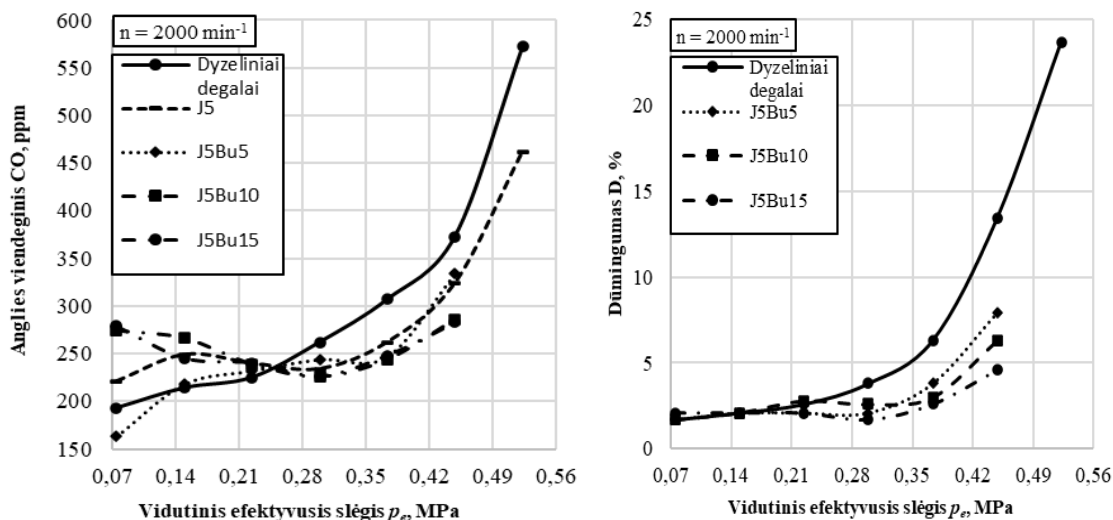
NO_x susideda iš azoto viendeginio (NO) ir azoto dvideginio (NO₂). Skirtingai nei esant aplinkos temperatūrai, vidaus degimo variklyje aukštos temperatūros skatina reakcijas tarp deguonies ir azoto formuojant azoto oksidus (NO_x). Temperatūra cilindre tiesiogiai priklauso nuo apkrovos arba įpurškiamų degalų kiekio. 2 paveiksle pateikta azoto oksidų priklausomybė nuo vidutinio efektyviojo slėgio, varikliui dirbant skirtingais degalais. Atlikto bandymo rezultatai rodo, kad esant mažiausiai apkrovai ($p_e = 0,07$ MPa) didžiausia NO_x emisija gauta varikliui veikiant trikomponentiu degalų mišiniu J5Bu10 (397 ppm), o mažiausia su trikomponentiu J5Bu5 degalų mišiniu (267 ppm).



2 pav. Efektyviojo naudingumo koeficiento η_e ir azoto oksidų (NO_x) priklausomybė nuo vidutinio efektyviojo slėgio p_e , varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais

Esant maksimaliai apkrovai (0,45 MPa) mažiausia azoto oksidų emisija buvo gauta variklį maitinant degalų mišiniu J5Bu15 (1643 ppm), o didžiausia varikliui veikiant gryniais dyzeliniais degalais (1833 ppm). Varikliui veikiant pilna apkrova, mažiausia NO_x emisija buvo gauta variklį maitinant 85 % (95 % JET A1 / 5 % RME) ir 15 % butanolio mišiniu (1643 ppm), o didžiausia varikliui veikiant dyzeliniais degalais (1839 ppm) (3 pav.). Toliau didinant variklio apkrovą (nuo 0,3 iki 0,52 MPa) galime pamatyti tendenciją, kuomet dyzeliniais degalais veikiant variklį gautos didžiausios azoto oksidų emisijos.

Anglies viendeginio susidarymą lemia nepilnai įvykusi degimo reakcija, kuomet anglis degaluose dalinai oksiduojasi nepasiekiant anglies dvideginio fazės. Atlikto bandymo rezultatai rodo, kad varikliui dirbant mažiausiu apkrovos režimu ($p_e = 0,07$ MPa), didžiausias anglies viendeginio (CO) kiekis gautas variklį veikiant trikomponentiu degalų mišiniu J5Bu15 (279 ppm), mažiausias su degalų mišiniu J5Bu5 (163 ppm) (3 pav.). Esant pilnai variklio apkrovai, didžiausia anglies viendeginio emisija buvo gauta varikliui veikiant dyzeliniais degalais (373 ppm), o mažiausia panaudojus trikomponentį J5Bu15 degalų mišinį (283 ppm). Esant pilnai apkrovai, didžiausia anglies viendeginio CO emisija, buvo gauta, varikliui veikiant dyzeliniais degalais (373 ppm), o mažiausia panaudojus trikomponentį 85 % (95 % JET A1 / 5 % RME) ir 15 % butanolio mišinį (283 ppm).



3 pav. Anglies viendeginio (CO) emisijos ir dūmingumo priklausomybė nuo vidutinio efektyviojo slėgio p_e , varikliui dirbant skirtingos sudėties degalais

Dūmingumas – išmetamųjų dujų neskaidrumo skaitmeninė vertė, išreiškiama absorbcijos koeficientu arba optiniu tankiu. Esant mažiausiam apkrovos režimui ($p_e = 0,07$ MPa) variklį veikiant skirtingos sudėties degalais, dūmingumo reikšmės gautos panašios ir didesnio skirtumo nepastebėta (3 pav.). Tai reiškia, jog trikomponenčiame mišinyje esantis butanolio kiekis žymesnės įtakos neturėjo. Esant didžiausiam apkrovos režimui ($p_e = 0,45$ MPa) mažiausia dūmingumo vertė buvo gauta naudojant trikomponentį mišinį su 15 % butanolio priedu (4,6 %), o didžiausia variklį veikiant dyzeliniais degalais (13,4 %). Tai sudaro net 2,9 karto didesnę taršos poveikį aplinkai.

Išvados

1. Esant maksimaliai apkrovai, dyzeliniais degalais veikiantis variklis dirbo efektyviausiai (mažesnis degalų suvartojimas).
2. Panaudojus trikomponentį degalų mišinį J5Bu15, pilnos apkrovos režimu veikiančio variklio naudingo veikimo koeficientas gautas 3,6 % mažesnis (0,274) palyginti su dyzeliniais degalais veikiančiu varikliu (0,284).
3. Lyginamosios efektyviosios trikomponenčių degalų mišinių sąnaudos padidėjo visame tirtų apkrovų diapazone. Varikliui dirbant pilna apkrova, panaudojus trikomponenčių degalų mišinius J5Bu5, J5Bu10 ir J5Bu15, lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos padidėjo 5,9 %, 6,9 %, ir 7,6 %, atitinkamai, palyginti su dyzeliniais degalais veikiančio variklio sąnaudomis.
4. Didžiausia anglies viendeginio CO emisija varikliui dirbant pilnos apkrovos režimu, buvo gauta varikliui veikiant dyzeliniais degalais (373 ppm), o mažiausia panaudojus trikomponentį degalų mišinį J5Bu15 (283 ppm).
5. Dyzeliniais degalais maksimalia apkrova veikiantis variklis generavo didžiausią (1833 ppm) bendrąją azoto oksidų NO_x emisiją. Panaudojus skirtingų degalų mišinius J5, J5Bu5, J5Bu10 ir J5Bu15, labiausiai aplinkai ir žmogui kenksmingą NO_x emisiją pavyko sumažinti 6,9 %, 4,7 %, 10,4 % ir 11,9 %, atitinkamai.
6. Vidutinės apkrovos režime trikomponenčiu degalų mišiniu J5Bu15 veikiantis variklis dūmino 24 % mažiau palyginus su dyzeliniais degalais. Pilnos apkrovos režime variklio deginių dūmingumas buvo sumažintas trigubai panaudojus trikomponentį degalų mišinį J5Bu15.

Literatūra

1. Chiatti G., Chiavola O. ir Palmieri, F. Impact on Combustion and Emissions of Jet Fuel as Additive in Diesel Engine Fueled with Blends of Petrol Diesel, Renewable Diesel and Waste Cooking Oil Biodiesel. *Energies*, 2019, Vol. 12(13). 11. 55
2. Da Silva Trindade W. R. ir Dos Santos R. G. Review on the characteristics of butanol, its production and use as fuel in internal combustion engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. Vol. 69, P. 642-651. 6.
3. Dzięgielewski, W., Gawron, W., Kaźmierczak, U., & Kulczycki, A. (2014). Butanol/biobutanol as a component of an aviation and diesel fuel. *Journal of KONES*, 21. 3.
4. Imtenan S., Masjuki H. H., Varman M., Arbab M. I., Sajjad H., Fattah I. ir Hasib A. Emission and performance improvement analysis of biodiesel-diesel blends with additives. *Procedia Engineering*, 2014, Vol. 90, P. 472-477. 9. 50
5. Katinas, V., Gaigalis, V., Savickas, J., & Marčiukaitis, M. (2018). Analysis of sustainable liquid fuel production and usage in Lithuania in compliance with the National Energy Strategy and EU policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 271-280. 7. 32
6. Labeckas, G., & Slavinskas, S. (2015). Combustion phenomenon, performance and emissions of a diesel engine with aviation turbine JP-8 fuel and rapeseed biodiesel blends. *Energy Conversion and Management*, 105, 216-229. 2.
7. Liu D. Combustion and emissions of an automotive diesel engine using biodiesel fuels under steady and start conditions. University of Birmingham, 2015. 5.
8. Mickevičius T., Slavinskas S., Wierzbicki S. ir Duda K. The effect of diesel-biodiesel blends on the performance and exhaust emissions of a direct injection off-road diesel engine. *Transport*, 2014, Vol. 29(4), P. 440-448. 8. 56
9. Uyumaz, A., Solmaz, H., Yilmaz, E., Yamık, H., & Polat, S. (2014). Experimental examination of the effects of military aviation fuel JP-8 and biodiesel fuel blends on the engine performance, exhaust emissions and combustion in a direct injection engine. *Fuel Processing Technology*, 128, 158-165. 1.
10. Vilutienė V., Labeckas G., Slavinskas S. Alternatyvių degalų panaudojimas dyzeliniame variklyje. *Journal of Management. Vadyba. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla*. 2013. Vol. 23, Nr. 2, p. 111-116. 4.
11. Xiao, H., Guo, F., Wang, R., Yang, X., Li, S., & Ruan, J. (2020). Combustion performance and emission characteristics of diesel engine fueled with iso-butanol/biodiesel blends. *Fuel*, 268, 117387. 10. 41

EFFECT OF THREE-COMPONENT FUEL BLENDS ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS OF A DIESEL ENGINE

Summary

The article analyses the influence of three-component fuels blends on the performance and emission of a diesel engine. The results obtained during the research are presented, which are investigated with a diesel engine "ORUVA FIL511". The study examines diesel fuel (D) and three-component mixture using a biodiesel (B) aviation (JET A1) and butanol (Bu) J5, J5Bu5, J5Bu10 and J5Bu15 fuels blends. The results obtained in the study are comparable. Engine load characteristics are recorded at constant crankshaft speed at $n = 2000$ rpm. The study found that the lowest carbon monoxide (CO) emissions (163 ppm) were obtained by J5Bu5 the fuel blend. Maximum nitrogen oxide (NOx) emissions were obtained with the engine running on diesel fuel (1833 ppm). The lowest NOx emission was obtained with the engine running on a three-component fuel blend with 15% butanol (1643 ppm). The highest opacity (13.4 %) was obtained when the engine was fuelled with 100 % diesel fuel and at full load.

Key words: diesel engine, three-component fuel, aviation fuel, butanol, biodiesel, performance, emission

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Tomas Mickevičius.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vietą ir pozicija: Kauno technikos kolegijos, docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: transporto inžinerija

Telefonas ir el. pašto adresas: 861645666, tomas.mickevicius@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Tomas Mickevičius.

Science degree and name: doctor, associated professor.

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

Author's research interests: transport engineering.

Telephone and e-mail address: 861645666, tomas.mickevicius@edu.ktk.lt

PRECISION OF STAINLESS STEEL TURNING PROCESS DEPENDING ON THE CUTTING TOOL WEAR

Viktors Gutakovskis, Eriks Gerins, Anita Avisane
Riga Technical University

Abstract

Along with the increase in the use of stainless steels in the world, the application of new processing technologies and instruments, as well as the development of materials and coatings of cutting tools, the research and prediction of the distribution of wear and temperature fields has become relevant. It is important to study the modes of the processing process and their effect on the result. Since stainless steel itself is a strong and difficult-to-process material and contains several alloying elements, which in turn complicate processing and cause significant inconvenience in the chipping process (chips must be broken, sharpened) because these alloying elements increase the plasticity and hardness of the steel, which in turn creates difficulties for processing by cutting. As a result, we get flowing chips, which is not acceptable in modern automated production of large series of parts, so it can be concluded that the study of the chip formation process is very relevant. One of the problems is that tools from different manufacturers for the same material group will give different quality of the turned surface. In the turning process, the influence of factors such as the structure of different workpiece materials can lead to an invalid machining result. In this case, AISI 304 and AISI 420 stainless steels with martensite and austenite structure were compared. For the first time, the wear-resistant nano-coating with Duratomic technology has been studied at increased cutting speeds and other variable machining regimes that normally affect the machining result. This coating is characterized by higher wear resistance.

Key words: stainless steels, coatings of cutting tools, modes of the processing process, alloying elements, chipping process, turned surface, machining regimes.

Introduction

In the Study, the main elements of the machining process are investigated – the chip formation process, the temperature field distribution in the cutting tool blade, vibrations and tool wear. These elements, together with the difference in material structures, have a serious impact on the result of the turning process. The mathematical model (equation) of the turning process for several processing modes and materials has been developed with the help of n-factor experiments. In the conducted experiments, the results that represent the effect of cutting modes on the final result are clearly visible. It has also been established that the tools of different manufacturers, which are intended for identical processing operations, do not provide the required result of a processed surface. An actual problem is the study and improvement of the influence of analog tools on the machining process and the machined surface.

The aim of the Study is to investigate the accuracy of the stainless steel turning process depending on the wear of Al₂O₃ nano-coated cutting tools. This will make it possible to find out the effect of increased technological processing parameters (cutting speed, feed and cutting tool setting angle) on the turning result of the machinability of two stainless steels (AISI 420 and AISI 304) – ferrite and martensite structure – the surface roughness parameter R_a , when using new cutting tools covered using Duratomic-technology, compare it to these applied tools and develop a mathematical model for determining the roughness (R_a) of a processed surface.

To achieve the goal of the Study, the following tasks have been determined:

- to perform a comprehensive analysis of selected processing technologies and applied tools;
- to perform turning process experiments and analysis of the results, clarifying the dependence of the roughness (R_a) of the turned surface on increased processing modes: cutting speed, feed and cutting blade setting angle;
- to compare the results of the turned surface of two stainless steel grades – AISI 420 and AISI 304;
- to develop mathematical models of the turning process technology for determining the surface roughness (R_a) and to compare it with the experimental results;
- to compare the influence of tools produced by different manufacturers when processing blanks of two stainless steel grades (AISI 420 and AISI 304) at increased cutting speeds;
- to perform an analysis of the tool wear mechanism using increased processing modes;
- to perform an analysis of the chip formation process using increased cutting speeds.

Characterization and evaluation of the cutting process.

Nowadays, there are many types of external and internal surface turning operations, for example, turning a normal cylindrical surface (Fig. 1 a), forming a complex profile (performable only on CNC machine tools) (Fig. 1 b), turning the workpiece from the edge (Fig. 1 c), deep internal buckling (Fig. 1 d),

normal internal buckling (Fig. 1 e), internal complex profile buckling (Fig. 1 f). All these operations are similar in that they have a cutting tool – a mobile (quick-changeable) plate with a special geometry and wear-resistant coating for an appropriate group of materials and a holder that ensures a specific angle of the cutting blade. Each of the cutting tool geometries provides a stable, high-yield machining process due to a stable chip formation process (Fig. 2) in the specific area of machining parameters (Fig. 3). In the event when this process is not stable, serious problems may arise, from the deterioration of the quality of the processed surface to the failure of the machine tool.

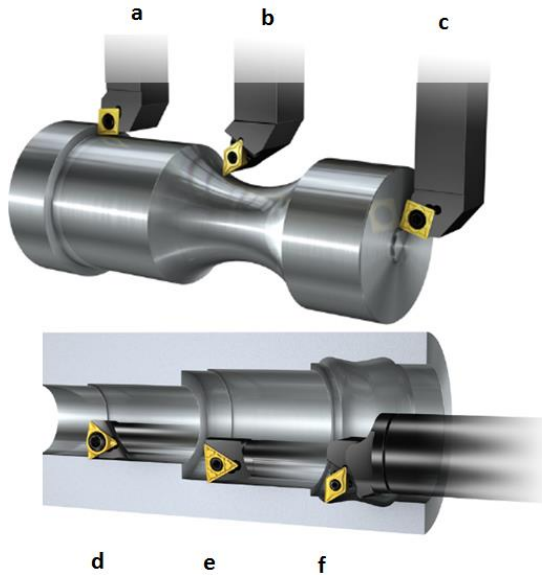


Fig. 1. Types of cutting operations in lathe [20].



Fig. 2. Shapes and types of *Seco* mobile cutting inserts and chip breakers [22].

Instrumental tungsten carbide cutting tools and coatings

Hard alloys are used in more than 40 % of all tool materials. According to ISO 513 regulations, metal-ceramic hard alloys are divided into six groups (P, M, K, N, S, and H) depending on how the workpiece material resists machining and what kind of chip is produced during machining. The M group material processing hard alloys are used for the processing of stainless steels and their castings, when a flowing chip is formed during the processing. In the designations of hard alloys, the higher the number after the letter of the corresponding group, the lower the resistance of the hard alloy but the higher the strength. In order to improve the cutting ability of hard alloys and reduce friction, a thin plasma vaporization of the material is deposited on their surface in a vacuum using the PVD (physical vapor deposition) method, i.e., physically with ion impacts at 500 °C. The CVD (chemical vapor deposition) method is used less often, i.e., by performing chemical-thermal evaporation deposition of the material at 900 °C. Consequently, hard and wear-resistant 3 to 5-layer nano-coatings with crystalline sizes around 5–10 nm are formed on the surface of the hard alloy. The total thickness of the nano-coating layer reaches 3–10 μm and in 87 % of cases it consists of TiN. A TiN (2200 HV) nano-coating is formed on the hard alloy surface for the processing of tough materials, e.g., alloy steels. Al₂O₃(2500 HV) nano-coating is formed on the hard alloy top layer by the CVD method for processing stainless steels. For the processing of hardened steel, a TiAlN (3300 HV), Ti (C, N) (3000 HV) interlayer nano-coating or a diamond (8000 HV) nano-crystalline layer is formed on the hard alloy surface. The base layer of coatings is more often made of TiC, Ti (C, N) and TiN [18]–[28]. Over the past ten years, there has been research focused on the development of the technology, which has only resulted in the development of Duratomic technology for wear-resistant coatings. Refined grit and Duratomic technology create versatile tools optimized for high and reliable performance in specific cutting materials and applications. Together with increased stiffness it provides performance beyond the capabilities of traditional wear resistant Al₂O₃ coatings. In addition, the new coatings improve heat resistance and chemical inertial properties and reduce the tendency of workpiece materials to stick to the tool (sticking is minimized). The introduction of the first TM4000 and TP2500 cutting tools with Duratomic technology proved to be very successful and set a new standard for coatings. In the examined sources of the indicated literature, no information can be found that the effect of the combination of several coatings and their thickness variants on the quality of the treated surface has been studied in the metalworking process.

Significantly inferior to hard alloys in terms of heat resistance and wear resistance, high-speed steels are the most resistant to bending loads (σ_i up to 400 MPa) and impact resistance, in this respect the other materials are unable to compete with them. In addition, tools made of high-speed steel can be sharpened to the maximum possible sharpness of the cutting edge, which is very important in cleaning processes; they have high stability of cutting properties and safety at work, which, in turn, is of great importance when used in automatic equipment with multi-tool setups [22].

CVD-deposited aluminum oxide Al_2O_3 (Figs. 3 and 4) shows that the largest grains of the material are positioned vertically, which makes it harder and stiffer and dissipates heat more efficiently. It is this modified structure that allowed the company *Seco Tools* to claim that the Duratomic coating is “the world’s first atomically modified coating”.

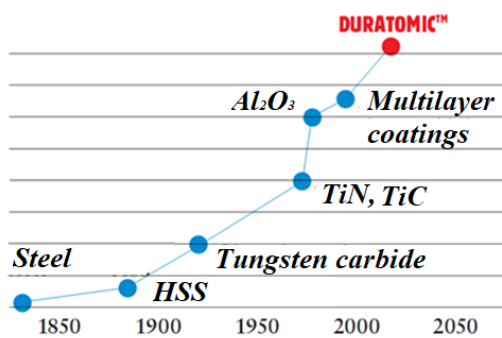


Fig. 3. General development of cutting tools [22].

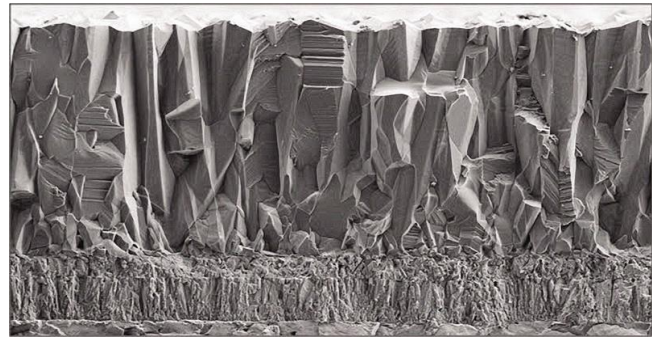


Fig. 4. Cutting tool coated with Duratomic technology, the vertical crystal positioning structure of the Al_2O_3 coating is visible [22].

Mathematical modeling of the cutting process using finite element method

The selected software *AdvantEdge* with GEM methodology was developed specifically for machining process studies, including several options: automatically programmed tool movement for different machining processes, customized tool and workpiece geometry import, automatically determined and applied finite element studies and post-processing results processing functions that allow easily analyse and compare multiple simulations.

AdvantEdge is the primary computer simulation tool, a finite element analysis (FEA) simulation program used to understand the metal cutting process without actually performing experiments. With *AdvantEdge* it is possible to perform a complete set of studies for analysis, including the formation of microstructure distribution, temperature in the contact zone, contact stresses and forces generated by the tool and the workpiece. The program has developed and implemented material models built into the program's library, which will give an opportunity to obtain the maximum reliability value and verify the final result without physical examination [23]–[37].

To model the stainless steel cutting process, the program *Third Wave AdvantEdge*, which is based on finite element mathematical analysis (FEM analysis), was applied. AISI 420 grade stainless steel and a TNMG 160412 TM-4000-MF4 Duratomic cutting tool were selected. In this case, a cross-sectional profile of the 2D cutting tool geometry has been precisely created and the thicknesses of the TiN and Al_2O_3 coatings (obtained from the manufacturer of these tools) have been entered. To achieve the set goal, the following tasks were formulated:

- 1) to create the precise geometry of the cutting insert and the combination and thickness of the coatings;
- 2) to perform simulation modeling of the turning process at basic processing modes (cutting speed 90 m/min, without cooling emulsion) and at increased processing modes (cutting speed 150 m/min, without cooling emulsion);
- 3) to analyse the chip formation process;
- 4) to determine and distribute cutting temperature;
- 5) to determine the values of cutting forces;
- 6) to investigate the deformed state of the treated surface.

The *Third Wave AdvantEdge* software, based on finite element mathematical analysis, was used to model the stainless steel cutting process. AISI 420 stainless steel and TNMG 160412 TM-4000-MF4 Duratomic cutting tool were selected. Modeling of cutting modes (minimum and maximum values) is shown in Table 1.

Table 1

Cutting Parameters for the Simulation

Simulation variant	1	2
Feeding, f_z , mm/rev	0.1	0.35
Cutting depth, a_p , mm	0.5	0.5
Cutting speed, V_c , m/min	90	150
Temp. in the lab., °C	20	20
Part material	AISI 420	AISI 420

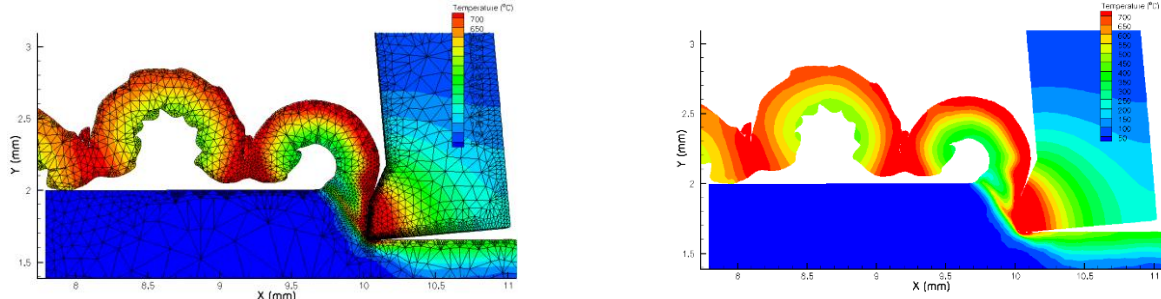


Fig. 5. General view of chip formation process and heat distribution field [Created by authors]

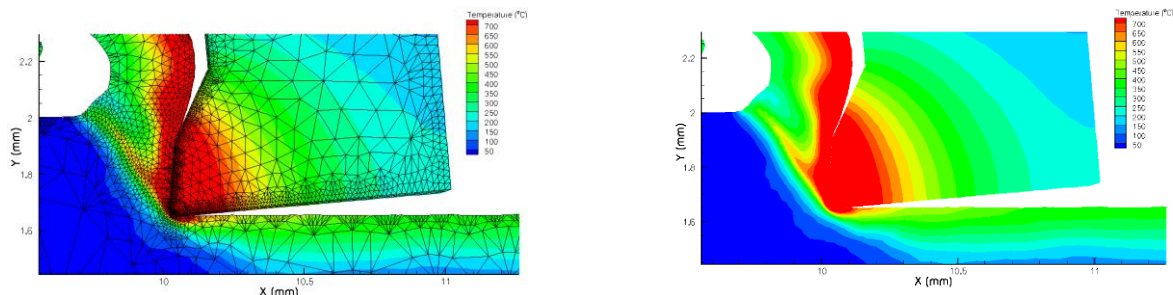


Fig. 6. The heat distribution field modeled during the cutting process in the enlarged scale with and without meshing. [Created by authors]

As a result of modeling, the chip formation process corresponding to the experimental results was obtained, which was provided by the geometry profile of the cutting tool (MF 4), values of minimum cutting temperature of 700 °C and maximum temperature of 1150 °C without cooling emulsion and their distribution in the cutting tool were determined. The values of the cutting forces along the X and Y-axes are minimal in the medium/finishing processing modes and do not exceed the specified relationships and are in the P_x range of 100–150 N/mm² and in the P_y range of 250–400 N/mm². The modeling results are shown in Figs. 5–6. As a result of modeling, the chip formation process is visible as accurately as possible and in accordance with the practical experiment. The values of cutting force and temperature are shown in Figs. 7 and 8.

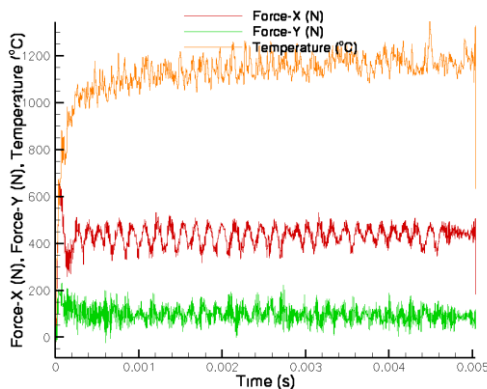


Fig. 7. The cutting force and temperature values are a representation of the first simulation case [Created by authors].

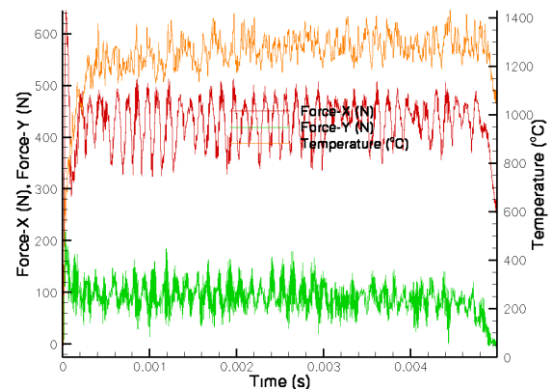


Fig. 8. Cutting force and temperature values are a representation of the second simulation case [Created by authors]

Experimental studies of stainless steel turning process

Among the different types of turning operations cutting tool geometries were selected that are designed for medium or medium/finishing turning operations – MF4 and MF5 with coatings CP500, TP3500, and TM4000 Duratomic, designed for machining stainless steels. Analogues intended for similar operations from other manufacturers were also selected: *Sumitomo*, *Kennametal*, *Walter* (Table 2). General characteristics of the experiments are shown in Table 3.

Table 2

Geometry and Areas of Application of the Selected Cutting Tools

Cutting insert geometry	Marking	Operation	a_p/f (mm)
	TNMG 160408-NM4 WPP20 (Walter)	Stainless steel, medium machining	0.25–4.5/ 0.10–0.40
	TNGP 160408 KC730 (Kennametal)	Stainless steel, medium/ finishing machining	0.2–4.0/ 0.10–0.30
	TNMG 160408 ESX AC2000 (Sumitomo)	Stainless steel, medium machining	0.25–2.5/ 0.05–0.5
	TNMG 160412 MF4 TM4000 Duratomic (Seco)	Stainless Steel, medium machining	0.5–4.0/ 0.15–0.5
	TNMG 160408 MF4 CP500 (Seco)	Stainless steel, medium/ finishing machining	0.5–4.0/ 0.15–0.5
	TNMG 160408 MF4 TP3500 Duratomic (Seco)	Stainless steel, medium/ finishing machining	0.15–0.5/ 0.5–4.0
	TNMG 160408 MF5TP2500 Duratomic (Seco)	Stainless steel, medium/ finishing machining	0.2–0.8/ 0.2–2.7

Table 3

General Description of the Experiments

Exp. No.	Part material	Cutting insert	Cutting parameters
1	420	TNMG 160412 TM4000 MF4 (Seco)	$a_p = 0.5$ mm, $f = 0.1$; 0.35 mm/rev., $V = 90$; 112 m/min.
2	420	TNMG 160412 TM4000 MF4 (Seco)	$a_p = 0.5$ mm, $f = 0.1$; 0.35 mm/rev., $V = 117$; 141 m/min.
3	304	TNMG 160412 TM4000 MF4 (Seco)	$a_p = 0.5$ mm, $f = 0.1$; 0.35 mm/rev., $V = 117$; 141 m/min.
4	420	TNMG 160412 TM4000 MF4 (Seco)	$a_p = 0.5$ mm, $f = 0.1$; 0.35 mm/rev., $V = 144$; 176 m/min.
5	304	TNMG 160412 TM4000 MF4 (Seco)	$a_p = 0.5$ mm, $f = 0.1$; 0.35 mm/rev., $V = 144$; 176 m/min.
6	304	TNMG 160408 CP500 MF4 (Seco)	$a_p = 0.5$ mm, $f = 0.1$; 0.35 mm/rev., $V = 210$; 268 m/min.
7	420	TNMG 160408 CP500 MF4	$a_p = 0.5$ mm, $f = 0.1$; 0.35 mm/rev., $V = 210$; 268 m/min.
8	304	TNMG 160408 TP2500 MF5 (Seco)	$a_p = 0.5$ mm, $f = 0.1$; 0.35 mm/rev., $V = 210$; 268 m/min.

Exp. No.	Part material	Cutting insert	Cutting parameters
9	420	TNMG 160408 TP2500 MF5 (Seco)	$a_p = 0.5 \text{ mm}, f = 0.1; 0.35 \text{ mm/rev.},$ $V = 210; 268 \text{ m/min.}$
10	420	TNMG 160408 TP2500 MF5 (Seco)	$a_p = 0.5 \text{ mm}, f = 0.1; 0.35 \text{ mm/rev.},$ $V = 273; 343 \text{ m/min.}$
11	304	TNMG 160408 TP2500 MF5 (Seco)	$a_p = 0.5 \text{ mm}, f = 0.1; 0.35 \text{ mm/rev.},$ $V = 273; 343 \text{ m/min.}$
12	304	TNMG 160408 MF4 TP3500 (Seco)	$a_p = 0.5 \text{ mm}, f = 0.1; 0.35 \text{ mm/rev.},$ $V = 210; 268 \text{ m/min.}$
13	420	TNMG 160408 MF4 TP3500 (Seco)	$a_p = 0.5 \text{ mm}, f = 0.1; 0.35 \text{ mm/rev.},$ $V = 210; 268 \text{ m/min.}$

A possibility analysis of a multifactorial experiment and properties of a 2^k -type full factorial experiment.

There are three simple options for drawing up 2^k -type plans, one of which is based on the law of changing the order of signs. In the first column, the signs are changed sequentially, in the second column they are changed after each two, in the third after each four, and in the fourth – after each eight rows, etc.

The full factorial experiment matrix has some properties that make it an optimal means of constructing a mathematical model based on the results of experiments [38]–[45]. Two of these properties derive from the matrix construction:

- Symmetry with respect to the center of the experiment. It is defined as the algebraic sum of each vector column, excluding the free term column, which is equal to zero (Eq. (1)):

$$\sum_{v=1}^n x_{jv} = 0; j=1, 2, \dots, 2^k-1, \quad (1)$$

where n is the number of different points in the plan and v is number of the point.

- The sum of the squares of the elements of each column is equal to the number of points (Eq. (3.2)):

$$\sum_{v=1}^n x_{jv}^2 = n; j=1, 2, \dots, 2^k-1 \quad (2)$$

Development of an experimental model in turning

As an example, let us look at the first treatment of experimental data with the help of a three-factor experiment. According to the previous experiments, we assume the supply values: 0.1; 0.35 mm/rev. According to the information sources, we accept cutting speed values (base values): 90...115 m/min, as well as values of the main setting angle of 60° – 90° . The experimental planning matrix and factor levels and variation intervals are shown in Tables 4 and 5. The resulting R_a values of the turned surface are shown in Table 6. Material: 420 stainless steel, workpiece diameter 89 mm. Selected tool: cutting plate TNMG 160412-MF4, TM4000, intended for medium to finishing processing of this brand of materials at speeds from 90 to 110 m/min.

Table 4

2ⁿ Planning Matrix

Plan No.	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x _{1x2}	x _{1x3}	x _{2x3}	x _{1x2x3}	Optimization parameter
1	+	–	–	–	+	+	+	–	Y1
2	+	+	–	–	–	–	+	+	Y2
3	+	–	+	–	–	+	–	+	Y3
4	+	+	+	–	+	–	–	–	Y4
5	+	–	–	+	+	+	–	+	Y5
6	+	+	–	+	–	–	–	–	Y6
7	+	–	+	+	–	+	+	–	Y7
8	+	+	+	+	+	–	+	+	Y8

Table 5

Factor Levels and Variation Intervals

Factor levels	Marking	V (m/min)	S (mm/rev)	ϕ (°)
		\tilde{x}_1	\tilde{x}_2	\tilde{x}_3
Nominal	0	100	0.225	75°
Variation interval	ΔX_i	10	0.125	15°
The upper one	+1	110	0.35	90°
The bottom one	-1	90	0.1	60°

Table 6

Average Values of R_a (Y_i)

No.	V	f	ϕ	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Yv	S2v
1	90	0.1	90	7.08	6.85	6.12	6.35	3.2	5.92	2.45
2	90	0.35	90	5.44	4.25	5.16	4.48	3.52	4.57	0.58
3	90	0.1	60	5.48	5.8	4.38	5.67	4.29	5	0.51
4	90	0.35	60	3.47	7.08	6.63	6.95	4.48	5.71	2.69
5	112	0.1	90	3.84	7.72	4.2	6.81	5.16	5.54	2.79
6	112	0.35	90	3.29	3.33	3.1	3.52	4.06	3.46	0.045
7	112	0.1	60	5.16	4.2	5.16	5.67	6.85	5.4	0.92
8	112	0.35	60	5.12	4.71	3.33	4.93	4.34	4.49	0.83

Determination of the mathematical model of the object

The orthogonality of the planning matrix allows to simplify the calculation of the coefficients of the regression equation. This is one of the advantages of designing an experiment like this. The coefficients are calculated according to the formula [45] (Eq. (3)):

$$b_i = \frac{\sum_{v=1}^n x_{iv} y_v}{n}, \quad (3)$$

where $i = 0, 1, 2, \dots, k$ is the number of the factor and Y_v is the average score after r trials at the point numbered v (Eq. (4)):

$$y_j = \frac{\sum_{j=1}^r y_{jv}}{r}, \quad (4)$$

As a result, dividing by the number of points of the plan gives the required coefficient (Eq. (5)):

$$b_0 = \frac{\sum_{v=1}^n x_{0v} y_v}{n} = 1/8 * (5.92 + 4.57 + 5 + 5.71 + 5.54 + 3.46 + 5.7 + 4.49) = 5.04 \quad (5)$$

Similarly, we calculate the other coefficients: $b_1 = -0.49$; $b_2 = 0.176$; $b_3 = -0.25$; $b_{12} = 0.36$; $b_{13} = -0.33$; $b_{23} = 0.12$; $b_{123} = 0.03$.

The equation with transformed variables x is formulated as follows [45] (Eq. (6)):

$$Y = 5.04 - 0.49x_1 + 0.176x_2 - 0.25x_3 + 0.36x_1x_2 - 0.33x_1x_3 + 0.12x_2x_3 + 0.03x_1x_2x_3, \quad (6)$$

where Y is roughness of the surface profile (R_a – average arithmetic deviation of smoothness) and x_1, x_2, x_3 is cutting speed, feed, main setting angle respectively.

In planning the experiment, the statistical nature of the relationships is taken into account, so the obtained equations were carefully statistically analysed. Such an analysis has two purposes:

- 1) to obtain the maximum amount of information from the results of the experiment;
- 2) to ensure the reliability and accuracy of the obtained connections.

The variance that characterizes the experimental error

Every experiment contains some error. To reduce errors, it is necessary to repeat the experiments under the same conditions, i.e., in each scheduling line. Row variances can be calculated using the formula [45] (Eq. (7))

$$s_v^2 = \frac{\sum_{v=1}^n (y_{vj} - \bar{y}_v)^2}{r-1}, \quad (7)$$

where r is the number of repeated experiments in plan points (8).

$$s_{v1}^2 = \frac{\sum_{v=1}^n (y_{v1} - \bar{y}_v)^2}{r-1} = 2.45. \quad (8)$$

Similarly, it is calculated: $S_{v2}^2 = 0.58$; $S_{v3}^2 = 0.51$; $S_{v4}^2 = 2.69$; $S_{v5}^2 = 2.79$; $S_{v6}^2 = 0.045$; $S_{v7}^2 = 0.92$; $S_{v8}^2 = 0.83$.

The variances of the optimization parameter (y) are the arithmetic mean of the variances of all individual experimental variants. The variance of the optimization parameter is calculated according to the formula (Eq. (9))

$$s^2\{y\} = \frac{\sum_{v=1}^n s_v^2}{n} = \frac{\sum_{v=1}^n \sum_{j=1}^r (y_{vj} - \bar{y}_v)^2}{n(r-1)} = 1,35 \quad (9)$$

where s_v^2 is dispersion of results at plan point v , where repeated experiments r_v are carried out; $f_v = r_v - 1$, is the number of free degrees of such variance; f_E is total number of free degrees of combined variance $s^2\{y\}$. The coefficients of the formula shown above should not be used here. Reproducibility should be checked before variances are combined.

Testing the equality of variances

Equality of variances has been tested using various statistical methods, e.g., Fisher, Cochran, Bartlett method. The use of Fisher's F-criterion is ineffective when the number of variances is greater than two, since in that case only the smallest and largest variances participate in the estimation. Cochran's G criterion is used in cases where the number of experimental repetitions is the same at all points of the plan. From all s_v^2 variances the largest $s_v^2_{max}$ should be chosen, which is divided by the sum of all variances. Cochran's criterion G is the ratio of the maximum variance to the sum of all variances [45] (Eq. (10)):

$$G = \frac{s_v^2_{max}}{\sum s_v^2} = \frac{2.79}{10.81} = 0.26. \quad (10)$$

As the critical value of Cochran's criterion is $G_{kr} = 0.52$ (at the significance level $\alpha = 0.05$), the hypothesis of equality of variances is correct if the experimental value of Cochran's criterion is less than the critical value in Fig. 9:

$$0.26 < 0.52$$

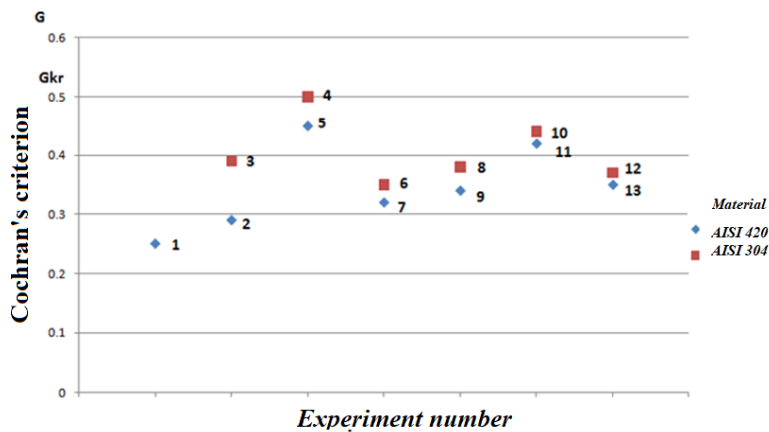


Fig. 9. Graphic representation of Cochran's criterion according to the experiment number. [Created by authors]

Formation and analysis of turned surface roughness using other manufacturers' cutting tools

Graphical results (Figs. 10 and 11) show how significantly different the result of the turned surface (R_a) is when using tools from different manufacturers, which are supposedly intended for similar operations with the same processing modes. The general characteristics of the experiments are shown in Table 7.

Table 7

General Description of the Experiments using other manufacturer cutting tools

Exp. No.	Part material	Cutting insert	Cutting parameters
14	304	TNMG 160408-NM4 WPP20 (Walter)	$a_p = 0.5 \text{ mm}, f = 0.1; 0.35 \text{ mm/rev.}, V = 210; 268 \text{ m/min.}$
15	420	TNMG 160408-NM4 WPP20 (Walter)	$a_p = 0.5 \text{ mm}, f = 0.1; 0.35 \text{ mm/rev.}, V = 210; 268 \text{ m/min.}$
16	304	TNMG 160408 ESX AC2000 (Sumitomo)	$a_p = 0.5 \text{ mm}, f = 0.1; 0.35 \text{ mm/rev.}, V = 210; 268 \text{ m/min.}$
17	420	TNMG 160408 ESX AC2000 (Sumitomo)	$a_p = 0.5 \text{ mm}, f = 0.1; 0.35 \text{ mm/rev.}, V = 210; 268 \text{ m/min.}$
18	304	TNMG 160408 KC730 (Kennametal)	$a_p = 0.5 \text{ mm}, f = 0.1; 0.35 \text{ mm/rev.}, V = 210; 268 \text{ m/min.}$
19	420	TNMG 160408 KC730 (Kennametal)	$a_p = 0.5 \text{ mm}, f = 0.1; 0.35 \text{ mm/rev.}, V = 210; 268 \text{ m/min.}$

Table 8

Average Values of Surface Roughness ($R_{a \text{ vid}}$) for Different Workpiece Materials and Tools

n	φ°	AISI 304			AISI 420		
		WPP20	AC2000	KC730	WPP20	AC2000	KC730
1	90	5.36	6.17	2.95	3.85	8.72	4.23

		AISI 304			AISI 420		
2	90	6.83	6.51	6.09	10.67	17.35	8.20
3	60	4.26	7.37	10.65	10.61	8.89	13.37
4	60	8.36	9.89	9.81	10.69	13.50	13.01
5	90	7.05	6.65	2.53	5.80	8.06	3.29
6	90	7.83	6.64	6.38	8.81	7.95	7.81
7	60	9.34	7.51	7.79	8.80	11.91	11.52
8	60	8.32	8.75	8.76	10.63	14.75	13.14

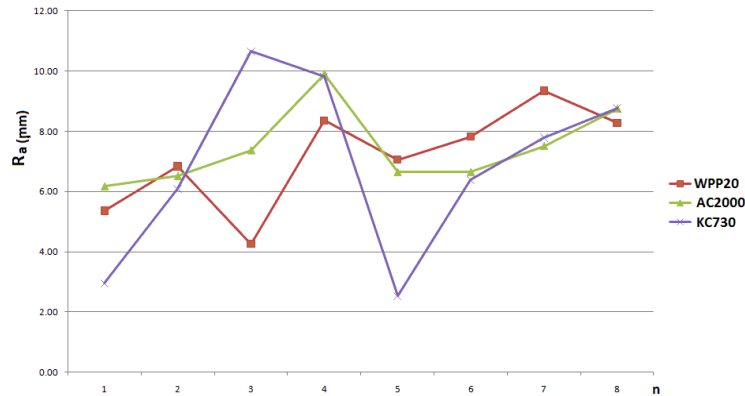


Fig. 10. AISI 304 graphic representation of the average roughness values of the surface of stainless steel turned with tools of different materials. [Created by authors]

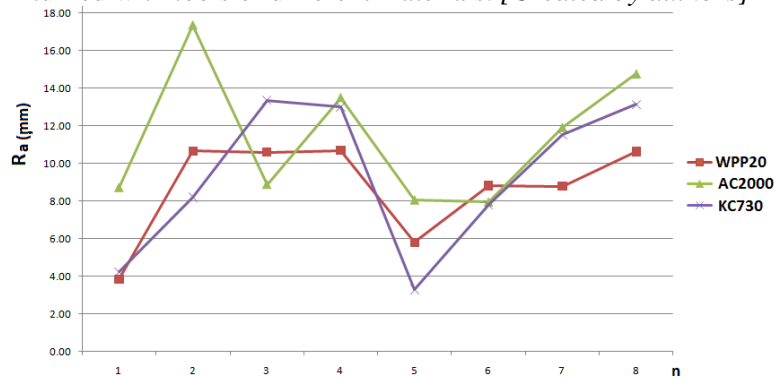


Fig. 11. AISI 420 graphic representation of average roughness values of the surface of stainless steel turned with tools of different materials. [Created by authors]

By choosing several tools of other manufacturers in accordance with the ISO standard cutting geometry, which was intended for identical operation for a specific group of materials (AISI 304, AISI 420), by performing the turning process with increased processing modes and measurements of the machined surface, it was found that the tools of other manufacturers do not provide identical machined surface quality. In various cases, when applying combinations of processing modes, the dispersion of the values of the R_a range of roughness values of the processed surface reached 100 % at identical processing modes (e.g., from 3.0 to 6.0 μm).

Experimental studies of tool wear

During the cutting process the values of the tool angles change compared to the standardized position at variable modes. Under normal cutting conditions, these changes are insignificant and are usually ignored, but at high feeds it is necessary to increase the main angle ϕ by 3 ... 5° and, if necessary, consider changes in other modes.

The optimal value of the geometric elements of the tool and the shape of the front surface depends on several factors and, first of all, on the material to be processed, the physical and mechanical properties of the material, the cutting part of the tool, the shape and dimensions of the workpiece to be processed, and cutting modes.

The dimensions of the corners (edge geometry of the cutting insert) are selected according to the corresponding reference books to ensure that the tool design and production achieve the desired result. When processing with a blade tool, much attention is paid to controlling the shape of the chips and the direction of their movement. There are several ways to control the chip flow, such as changing the angles and orientation

of the cutting tool, changing the cutting speed, feed and depth of cut, and using variable or intermittent feed. Changing the angles of the cutting tool affects the trajectory of the chips.

The initial trajectory is determined by the angle of the cutting tool and the bevel angle of the main cutting edge. Changing the shape of the front surface of the tool, thresholds, and slots (the geometry of the cutting tool) affects the shape of the chips, the direction of their movement and cutting into segments.

Changing the cutting conditions also changes the geometry of the cutting tool in the cutting zone and the chip formation parameters, which affect the chip formation process and cause additional vibrations that are reflected on the quality of the processed surface.

When examining all the results of the conducted experiments, it can be seen that the tools of different manufacturers are not intended for use at increased cutting modes.

When applying cutting tool nanocoatings, it is important to compare the wear resistance of cutting tools. The following cutting tools with coatings were chosen for the wear comparison experiment: KC730, TM4000, AC200, CP500, WPP200, TP3500.

The tool wear was measured on the cutting surface and flank of the insert tip and after the cutting process for each combination of turning parameters (Table 1).

The wear parameters and designations of the cutting edge are shown in Fig. 12:

In Fig. 13 the geometry angles of the cutting insert are shown:

The bevel angle λ of the main cutting edge is the angle between the cutting edge and the plane parallel to the base plane and is visible when looking from the side of the main cutting edge.

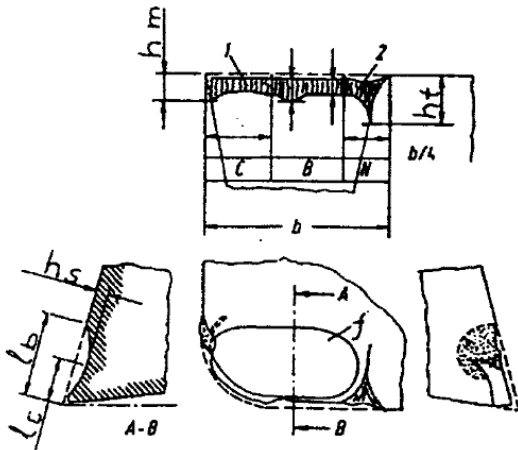


Fig. 12. Cutting edge wear parameters and designations, where: C, B, N – wear areas; l_b – length of wear hole; l_c – distance to the center of the wear hole; h_s – depth of the wear hole; h_m – flank wear; h_t – shock load wear; f – dimple wear form. [19].

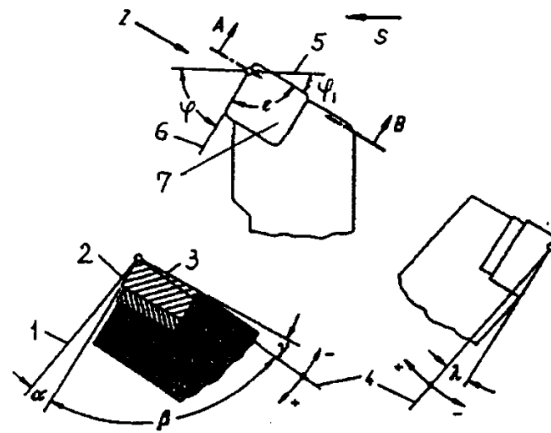


Fig. 13. Angles characterizing the cutting blade geometry, where: L – plane of the cutting edge of the tool; 2 – flank; 3 – chip surface; 4 – plane parallel to the basic plane of the tool; 5 – working plane; 6 – main cutting-edge setting plane; 7 – quick-changeable cutting insert; α – back angle; β – wedge angle; φ – main setting angle; ε – apex angle; λ – inclination angle of the main cutting blade; φ_1 – auxiliary setting angle.[21].

As a result of the experiments, it was found that depending on the cutting conditions, different tool geometries and types of coatings, and the characteristics of the processed material (grade 304 and 420 stainless steel), the dominant wear is observed on the major flank h_m and on the chip surface shown in Figs. 14–17. In the case of tool wear, the radius of rounding of the cutting edge also changes Δr (Figs. 16,17.).

KC730 (*Kennametal*) showed a higher wear result (Figs. 15, 17). This tool, due to the rather uncomplicated chip breaker geometry, demonstrated better turned surface results than the other tools, but the wear values were very high. It is interesting that this tool, when turning two different grades of stainless-steel groups, showed different wear – minimum wear when turning AISI 420 and maximum wear when turning AISI 304 stainless steel. The data was obtained by reading the wear values after a complete machining cycle not exceeding the expected service life of the tool (15 min).

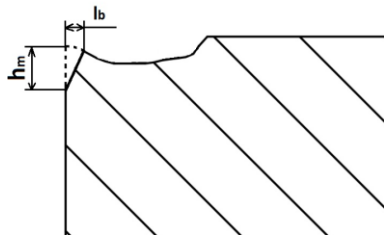


Fig. 14. Parameters of wear height h_m and wear length l_b on the insert in the cutting-edge slot.

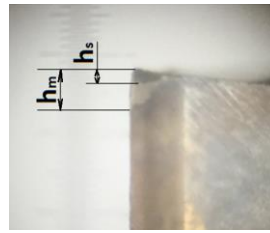


Fig. 15. Parameters of wear height h_m and wear dent length h_s .

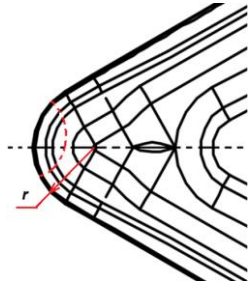


Fig. 16. Changes in the rounding radius r on the top of the plate (shown by the dashed line).

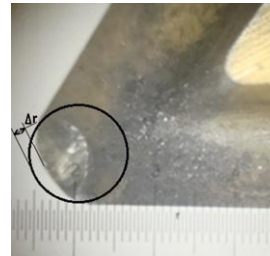


Fig. 17. Changes in the radius of rounding Δr on the wafer surface.

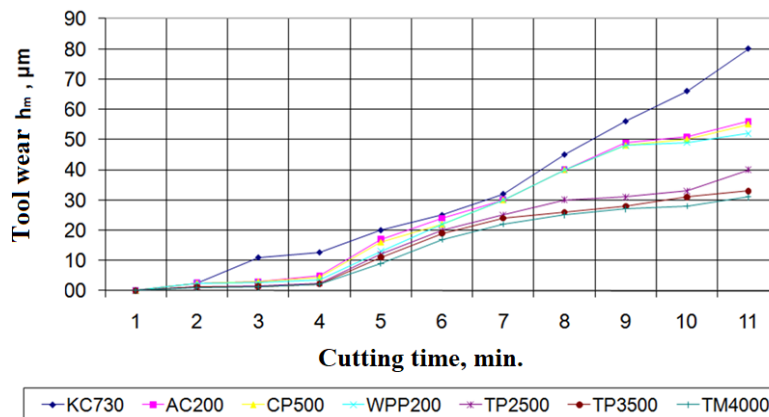


Fig. 18. Experimentally obtained results of tool wear.

From the obtained data it can be concluded that TM4000 cutting tools coated with Duratomic technology are more wear resistant. During the processing, vibrations occur, which deteriorate the quality of the turned surface.

Using higher cutting speeds, without cooling emulsions, the highest service life variant was achieved with Duratomic TM4000 coating (*Seco*), which showed minimal cutting-edge wear at 50 % increased cutting speeds (Fig. 18), providing good (judging from previous calculations) machined surface quality (in such a condition the tool could still be used).

Comparing the selected coatings, we can admit that from the point of view of wear, the coating made with Duratomic technology is considered the best because it causes less wear of the tool.

CONCLUSIONS AND APPLICATIONS

1. After practical experiment it was confirmed, that the set R_a value of the surface roughness of the turned part, it is possible to create models of cutting tools coated with the wear-resistant Duratomic technology of the turning process, which allows to choose the technologically achievable processing modes according to the set surface roughness: cutting speed, feed or cutting tool setting angle.

By knowing the required surface roughness, it is possible to precisely set the cutting parameters, such as cutting speed, feed and cutting blade setting angle. It was demonstrated with specific examples of tools and processing modes.

2. Using the finite element method, as well as the *Third Wave AdvantEdge* program developed for the simulation of the metal cutting process, the technological turning process was modelled and analysed

with maximum reliability, using a new cutting tool chip breaker geometry, taking into account the thickness of its coating layer and the combination of material types.

3. Methodology for the selection of cutting tools was justified, experimentally tested with different cutting speeds and feeds, ensuring a stable cutting process: constant cutting force, temperature in the permissible range, chip formation and breakage process, as well as stable machined surface roughness (R_a).

4. From the plans of n-factor experiments, a three-factor analysis has been chosen for the work, which allows realizing the needs of the experiment and creating new models of the treated surface.

5. At higher cutting speeds, without cooling emulsions, the highest lifetime variation was achieved with the Duratomic TM4000 coating (*Seco*), which showed minimal cutting-edge wear at 50 % increased cutting speeds, ensuring good surface quality.

6. During the processing, the effect of the geometry of different cutting tools on the quality of the processed surface was studied (as a result, a range similar to the R_a base parameters from 3.0 to 10.0 μm is provided).

7. As a result of the experiments, it was established that by applying higher cutting speed values and lower feed values, lower surface roughness (R_a) values can be obtained when turning without cooling emulsion.

8. Studies have been carried out on the effect of the main setting angle of the cutting tool on the growth of cutting forces, surface roughness and the service life of the cutting tool. It was concluded that the optimal setting angle increases the life of the tool by 30–45 %.

9. The Thesis compares the processing results of two stainless steels AISI 420 and AISI 304 and the chip formation process. It was concluded that due to the influence of alloying elements, the materials undergo a different chip formation process.

10. Tools from different manufacturers do not provide a stable machining process and chip formation process at increased machining modes.

11. During the cutting process, studies using variations with combinations of cutting angles (60° and 90°) were analyzed and modeled, while predicting an increase in cutting forces, causing more vibrations, reducing the roughness of the machined surface and reducing the life of the cutting tools.

REFERENCE LIST

1. T. Atkins, Science and Engineering of Cutting – The Mechanics and Processes of Separating, Scratching and Puncturing Biomaterials, Metals and Non-Metals, Butterworth-Heinemann (2009) 432.
2. J. Paulo Davim (editor), Machining. Fundamentals and Recent Advances, London: Springer (2008) 361.
3. J. Paulo Davim, Modern Machining Technology. A practical guide, Woodhead Publishing, (2011), 412.
4. J. Paulo Davim, Machining of Hard Materials, Springer (2011) 538.
5. F. Klocke, Manufacturing Processes 1: Cutting, Springer-Verlag, Berlin (2011) 504.
6. A. L. Voroncov i dr., Razrabotka novoj teorii rezanija, Vestnik mashinostroenija (2008) #1–12, 98.
7. P. I. Jashhericyn, M. L. Eremenko, E. Je. Fel'dshtejn, Teorija rezanija. Fizicheskie i teplovyje processy v tehnologicheskikh sistemah, Mn. Vysshaja shkola (1990) 512.
8. J. P. Davim, Mechanical and Industrial Engineering Historical Aspects and Future Directions, Materials Forming, Machining and Tribology, eBook, 2022, 65.
9. E. M. Trent, P. K. Wright, Metal Cutting, 4th Edition. – Boston: Butterworth–Heinemann (2000) 464.
10. R. A. Walsh, D. R. Cormier, McGraw-Hill Machining and Metalworking Handbook, 3rd ed. McGraw-Hill Professional (2006) 976.
11. I. Dzh. A. Armarego, R. H. Braun, Obrabotka metallov rezaniem, Per. s angl. V. A. Pastuhova – M.: Mashinostroenie (1977) 325.
12. O. I. Aver'janov, Rezhushhij instrument, M.: MGIU (2007) 144.
13. V. V. Evstifeev, M. S. Korytov, Obrabotka materialov rezaniem: metody, stanki, instrumenty, Omsk: SibADI (2012) 70.
14. Ju. M. Ermakov, Kompleksnye sposoby jeffektivnoj obrabotki rezaniem, M.: Mashinostroenie (2005) 272.
15. V. I. Baranchikov, A. S. Tarapanov, G. A. Harlamov, Obrabotka special'nyh materialov v mashinostroenii, Mashinostroenie (2002) 264.
16. V. I. Baranchikov, A. V. Zharinov, N. V. Judina, A. I. Sadyhov, Progressivnye rezhushhie instrumenty i rezhimy rezanija metallov, M., Mashinostroenie (1990) 400.
17. V. F. Bez'jazychnyj, I. N. Aver'janov, A. V. Kordjukov, Raschet rezhimov rezanija, Rybinsk: RGATA (2009) 185.
18. V. P. Astakhov, S. Svetc, The assessment of plastic deformation in metal cutting: Journal of Materials Processing Technology 146 (2004) 193–202.
19. P. I. Jashericy, Teorija rezanija, 2-e izd., ispr. i dop. – Mn.: Novoe znanie (2006) 512.

20. Sandvik Coromant, Turning handbook, 2020, 53 p.
21. G. Bunga, Ē. Geriņš, Apstrādes ar atdalīšanu tehnoloģija, RTU (2007) 85.
22. Duratomic technology from Seco, <https://www.machinery.co.uk/content/features/changing-the-game-again>, Accessed: 6.09.2020.
23. S. I. Pestrecov, Komp'juternoe modelirovanie i optimizacija processov rezanija, TambGTU (2009) 104.
24. S. I. Jaresko, Rezultaty modelirovanija processa rezanija uprochnennym instrumentom, Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk, t. 8, #2 (2006) 445–457.
25. G. K. Korendyasev, On the finite-element modelling of the process of metal cutting. Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of RAS, Moscow, Russia, No. 2 (90), 2015, pp. 14–24.
26. Y. Dogu, E. Aslan, N. Camuscu, A numerical model to determine temperature distribution in orthogonal metal cutting: Journal of Materials Processing Technology 171 (2006) 1–9.
27. Y. Yung-Chang, J. Anurag Jain, A. Taylan, A finite element analysis of orthogonal machining using different tool edge geometries: Journal of Materials Processing Technology 146 (2004) 72–81.
28. O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor, Finite Element Method: Volume 2, Fifth Edition. Butterworth-Heinemann (2000) 459.
29. T. M. El-Hossainy, M. H. El-Shazly, M. Abd-Rabou, Finite element simulation of metal cutting considering chip behavior and temperature distribution. Materials and Manufacturing Processes, 1532–2475, Volume 16, Issue 6 (2002) 803–814.
30. S. S. Rao, The finite element method in engineering. Edition 5. Butterworth-Heinemann (2005) 663 p.
31. C. Kiliçaslan, Modelling and simulation of metal cutting by finite element method, A Thesis Submitted to the Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology. 2009.
32. A. Attanasio, E. Ceretti, S. Rizzuti, D. Umbrello, F. Micari, 3D Finite Element Analysis of Tool Wear in Machining. CIRP Annals Manufacturing Technology 57 (2008) 61–64.
33. H. Bil, S. E. Kilic, A. E. Tekkaya, A Comparison of Orthogonal Cutting Data from Experiments with Three Different Finite Element Models, International Journal of Machine Tools and Manufacturing 44 (2004) 933–944.
34. G. Boothroyd, Fundamentals of Machining and Machine Tools, Washington: Scripta Book Company (1981).
35. E. Ceretti, P. Fallbohmer, W. T. Wu, T. Altan, Application of 2D FEM to Chip Formation in Orthogonal Metal Cutting. Journal of Materials and Processing Technology 59 (1996) 169–180.
36. T. R. Chandrupatla, A. D. Belegundu, Introduction to Finite Element in Engineering, New Jersey: Prentice-Hall (2002).
37. C. Shet, X. Deng, finite element analysis of the orthogonal metal cutting process, Journal of Materials Processing Technology, Elsevier Science Publishing Company, Inc. (2000) 95–109.
38. Catalog & Technical Guide 2022.2, Seco Tools AB, 1050 p. 2022.
39. M. N. Stepnov, Statisticheskie metody obrabotki rezul'tatov mehanicheskikh ispytanij: Spravochnik. Moskva, Mashinostroenie (1985) 232.
40. Ju. P. Adler, E. V. Makarova, Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimalnyh uslovij, izd. 2-e pererab i dop. Moskva, Nauka (1976) 278.
41. S. M. Ermakov, Matematicheskaja teorija planirovanija jeksperimenta, Moskva, Nauka (1983) 392.
42. V. A. Trudonoshin, N. V. Pivovarova, Matematicheskie modeli tehniceskikh ob'ektov, Minsk, Vyshejnaja shkola (1988) 158.
43. I. S. Solonin, Matematicheskaja statistika v tehnologii mashinostroenija, Moskva, Mashinostroenie (1972) 216.
44. V. M. Bashkov, P. G. Kacev, Testing the cutting instrument for durability. M. Machine building (1985).
45. P. G. Kacev, Statisticheskie metody issledovanija rezhushhego instrumenta, M.: Mashinostroenie (1974) 231.

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Viktors Gutakovskis

Science degree and name: Ph.D , Asist. Prof.

Workplace and position: Riga Technical University

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

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

Author name, surname: Eriks Gerins

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

Workplace and position: Riga Technical University

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

Telephone and e-mail address: Eriks.gerins@rtu.lv

Author name, surname: Anita Avisane

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

Workplace and position: Riga Technical University

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

Telephone and e-mail address: anita.avisane@rtu.lv

ELEKTRINIO VERPIMO TAIKYMAS AUDINIŲ INŽINERIJOJE

Andžela Šešok, Dovydas Cicėnas
Vilnius Tech

Anotacija

Audinių inžinerija ir regeneracinė medicina sparčiai vystosi, padedant žmonėms, kenčiantiems nuo audinių praradimo ir pažeidimų. Elektrinis verpimas yra vienas iš pažangiausių dirbtinių audinių gamybos būdų, kai naudojant elektrinę įtampą gaunami kelių šimtų nanometrų skersmens polimerų tirpalų siūlai arba polimero lydalo pluoštai. Iš šių pluoštų yra kuriami audinių karkasai. Dirbtinių audinių formavimas naudojant elektrinio verpimo būdą yra pakankamai nauja sritis. Šio darbo tikslas yra ištirti elektrinio verpimo metodu gautų polikapralaktono (PCL) karkasų mechanines savybes ir įvertinti pagaminto nanoplaušto mechaninių savybių tinkamumą audinių inžinerijoje. Tyrimo rezultatai parodė, kad elektrinio verpimo būdu pagamintų PCL karkasų mechaninės savybės yra artimos kepenų ir inkstų sienelių mechaninėms savybėms.

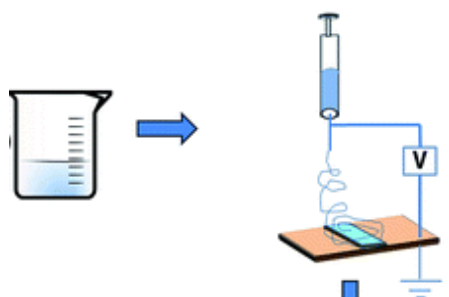
REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: elektrinis verpimas, audinių inžinerija, karkasai, mechaninės savybės.

Įvadas

Žmogaus audiniai gali būti pažeisti dėl traumų, lūžių, ligų ar infekcijų. Nors dauguma audinių turi itin gerą gebėjimą atsistatyti, esant itin dideliems pažeidimams jie sugyti nėra pajėgūs. Esant tokioms sąlygoms, pasitelkiama audinių inžinerija, kuri yra itin perspektyvi gydant žmogaus kūno audinių pažeidimus, pritaikant pageidaujamų struktūrų, mechaninių bei biologinių savybių audinių karkasus. Audinių inžinerija sujungia biologinius komponentus, tokius kaip ląstelės ir augimo faktoriai, su inžinerijos principais ir sintetinėmis medžiagomis. Paskutiniu metu yra plačiai nagrinėjamas biodegraduojančių sintetinių polimerų pritaikymas audinių karkasų gamybai.

Elektrinis verpimas (*angl. Electrospinning*) turi didelį potencialą daugelyje biomedicinos sričių: kuriant audinių inžinerijos karkasus ir regeneracinės medicinos implantus, kur pluoštinė struktūra gali būti padaryta taip, kad ji būtų labai panaši į natūralių kūno audinių struktūrą, taip siekiant skatinti natūralų ląstelių elgesį. Iš biologiškai skaidžių ir biosuderinamų medžiagų elektroverpimo metodu audžiami nanoplauštai gali potencialiai tapti pagrindu ant kurio dirbtinai auginami žmogaus audiniai, vėliau naudojami pažeistų organų rekonstrukcijai ar pakeičiant, pavyzdžiui, užsikimšusias kraujagysles ar širdies vožtuvus. Nanoplaušto membranos ir dangos gali suteikti išskirtinį vandens barjerą, o atviras poringumas užtikrina aukštą pralaidumą orui.

Elektrinis verpimas yra grįstas elektrostatiųjų jėgų poveikiu polimeriniams tirpalams. Pagrindinis proceso principas apima didelio elektrinio potencialo (10–30 kV) panaudojimą polimero lydalui arba tirpalui per ribotą atstumą tarp laidžios adatos ir įžeminto kolektoriaus (Xiaohong Qin et al., 2012). Elektriniam verpimui reikalingas tirpiklis kad ištirpinti dominantą polimerą. Elektrinio verpimo etapai pavaizduoti 1 pav.



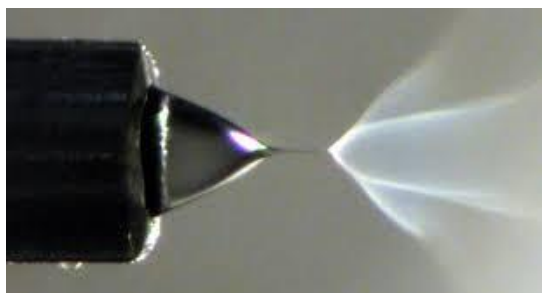
1 etapas. Polimero tirpalo paruošimas

2 etapas. Elektrospiningo procesas: pluošto nusodinimas ant kolektoriaus

1 pav. Elektrinio verpimo etapai

Šaltinis: Chen, H. et al. An efficient polymer for producing electrospun transparent conducting films through simple procedures and a mild post-process (2017). Prieiga per internetą: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2017/ra/c7ra08520f>

Taikant aukštą įtampą, kai elektrostatinė jėga, atsirandanti dėl panašių skysčio krūvių atstūmimo, įveikia paviršiaus įtampą, skysčio lašelis, išeinantis iš suktuko, deformuojasi į kūginę formą, vadinamą Teiloro kūgiu (2 pav.).



2 pav. Teiloro kūgio vaizdas, užfiksuotas elektrinio verpimo metu

Šaltinis: Marin A. G. et al. *Surface tension effects on submerged electrospays* (2012). .Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1063/1.4762854>

Ypač patraukli šio proceso savybė yra tai, kad suteikia galimybę integruoti įvairių tipų polimerus, pluoštus ir daleles, gaunant unikalias porėtas medžiagas, kurių struktūra yra kontroliuojama nanometro lygyje. Virš 40 sintetinių ir natūralių polimerų yra tinkami gamybai elektrospiningo būdu ir kai kurie iš jų yra sėkmingai taikomi audinių inžinerijoje, vienas jų – polikaprolaktonas PCL (Rim., 2013; Reneker, 2008). Daugelyje tyrimų elektrospiningas naudojamas sukurti karkasus su kintamu pluoštų skersmeniu ir poringumu (Ameer et al., 2019). PCL sulaukė daug dėmesio plėvelių, vaistų pernašos sistemų, karkasų gamyboje, įvairiuose audinių inžinerijos taikymuose dėl biodegradavimo, biologinio suderinamumo ir pritaikomumo. PCL ir PCL pagrindu sukurtos medžiagos tinkamos naudoti kaulinių audinių inžinerijoje (Malikmammadov et al, 2017). Atlikti tyrimai parodė, kad žmogaus mezenchiminės kamieninės ląstelės, pasėtos ant nano ir mikropluošto PCL karkasų, pagamintų elektrospiningo metodu, ir taip pat ant poringos PCL plėvelės, pasiekia struktūrą, panašią į sąvarinę kremzlę (Wise et al., 2009).

Audinių karkasai turi atitikti jiems keliamus reikalavimus, kad jie būtų sėkmingai pritaikyti audinių inžinerijoje. Vienas iš esminių reikalavimų yra karkaso mechaninės savybės. Mechaninis stiprumas yra apibrėžiamas atsparumu apkrovoms, kitaip tariant, kaip karkasas išlaiko savo pirminę struktūrą po implantacijos. Kiekvienam karkasui, pritaikytam skirtinguose audiniuose, reikalingas skirtingas mechaninių savybių diapazonas. Pageidautina, kad karkasas turėtų artimas natūralaus audinio ar organo savybes, kad būtų išvengta pažeidimų, atsirandančių dėl tai vietai tenkančių apkrovų (Tam, et al. 2018).

Šio tyrimo tikslas ištirti elektrinio verpimo būdu pagamintų karkasų iš PCL mechanines savybes.

Medžiagos ir metodai

PCL, kurio vidutinė molekulinė masė yra 80 000, buvo nupirktas iš Sigma-Aldrich. Kaip tirpiklis naudojamas chloroformas (CF) (Sigma Aldrich) (3 pav.). Maišymo indas dedamas ant maišyklės su kaitinimo plytele, kuri katalizuoja PCL granulių tirpimo procesą tirpiklyje. Maišyklė įjungama ir į tirpalą įmesta magneto kapsulė atlieka maišymo procesą. Chloroformas yra toksiškas tirpiklis, todėl maišymas atliekamas traukos spintoje. Tirpalas buvo paruoštas kambario temperatūroje ir naudojamas per 4 valandas po paruošimo. Paruošiamos trejos PCL koncentracijos: 10 masės %, 12 masės % ir 15 masės %.

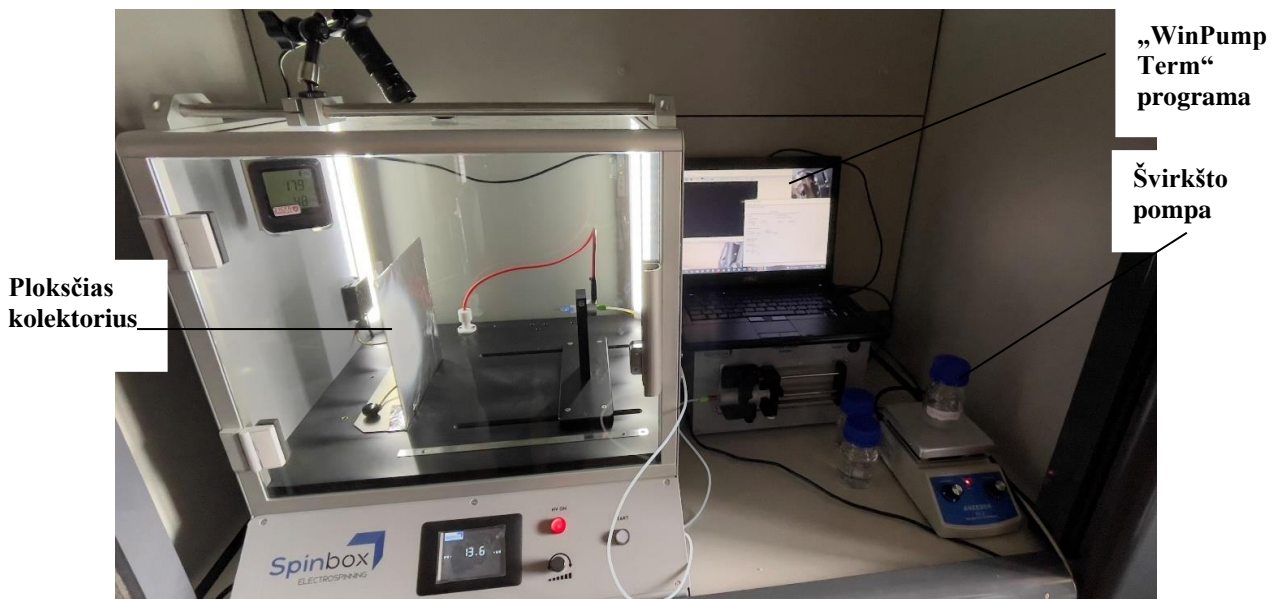


3 pav. PCL granulės ir chloroformas

Šaltinis: sudaryta autorių

Šiame darbe eksperimentams naudojama elektros verpimo įranga Spinbox (Spinbox System, Bionica S. L. Spain). Tirpalo pripildytas 20 ml švirškstas įdedamas į šviršksto pompą. Elektros potencialas pritaikytas metalinei adatai aukštos įtampos maitinimo šaltiniu. Pluoštai buvo surinkti ant nerūdijančio plieno plokščio kolektoriaus. Visi eksperimentai buvo atlikti kambario temperatūroje (18–25°C), o santykinė oro drėgmė 40–50% uždaroje kameroje. Visiems eksperimentams eksperimentinės sąlygos buvo pastovios. Taikoma 20 kV

įtampa, atstumas nuo adatos galo iki kolektoriaus – 20 cm, o kiekvieno eksperimento trukmė – 20 min. Spinbox „WinPumpTerm“ programoje nustatomi infuzijos parametrai, tokie kaip švirkšto diametras (ml); infuzijos greitis (ml/val); tikslinis tūris (ml). Švirkšto diametras parenkamas pagal naudojamą švirkštą (5ml arba 20ml), infuzijos greitis (1,5 ml/val), tačiau gali būti keičiamas pagal poreikį ir tikslinis tūris priklauso nuo elektrospiningo proceso. Elektrinio verpimo įrenginio nuotrauka parodyta 4 pav.



4 pav. Darbui paruoštas „Spinbox“ elektrinio verpimo įrenginys
Šaltinis: sudaryta autorių

PCL karkasai suformuoti „Spinbox“ elektrinio verpimo įrenginiu, yra paruošiami mechaninių savybių tyrimui. Gautų bandinių ilgis, plotis ir aukštis išmatuojami slankmačiu, kurio tikslumas 0,05 mm. Suformuotų karkasų matmenų paklaida turi būti ne didesnė nei $\pm 0,2$ mm. PCL karkasai yra labai ploni ir gležni, todėl juos sunku yra paruošti testavimui. Kad būtų išvengta bandinio pažeidimo, naudojamas popierinis rėmas (5 pav.).



5 pav. Mechaniniams bandimams paruoštų PCL bandinių pavyzdys
Šaltinis: sudaryta autorių

Tempimo bandymas atliekamas naudojant „Mecmesin MultiTest 2.5-i“ įrangą. Bandinys dedamas tarp dviejų standartinių gnybtų. Įtvirtinus bandinį, jo popierinis rėmas yra prakerpamas ir paleidžiamas

bandymas. Mechaniniai parametrai stebimi per šalia esantį kompiuterį. Kompiuterinė programa brėžia jėgos ir poslinkio kreivę, taip pat šiuos rezultatus galima išsisaugoti ir peržiūrėti .xls formatu, kuris yra patogus rezultatų analizei ir atvaizdavimui. Tempimo bandymo metu visi bandiniai buvo apkrauti 24 N jėga 15 mm/min greičiu.

Rezultatai

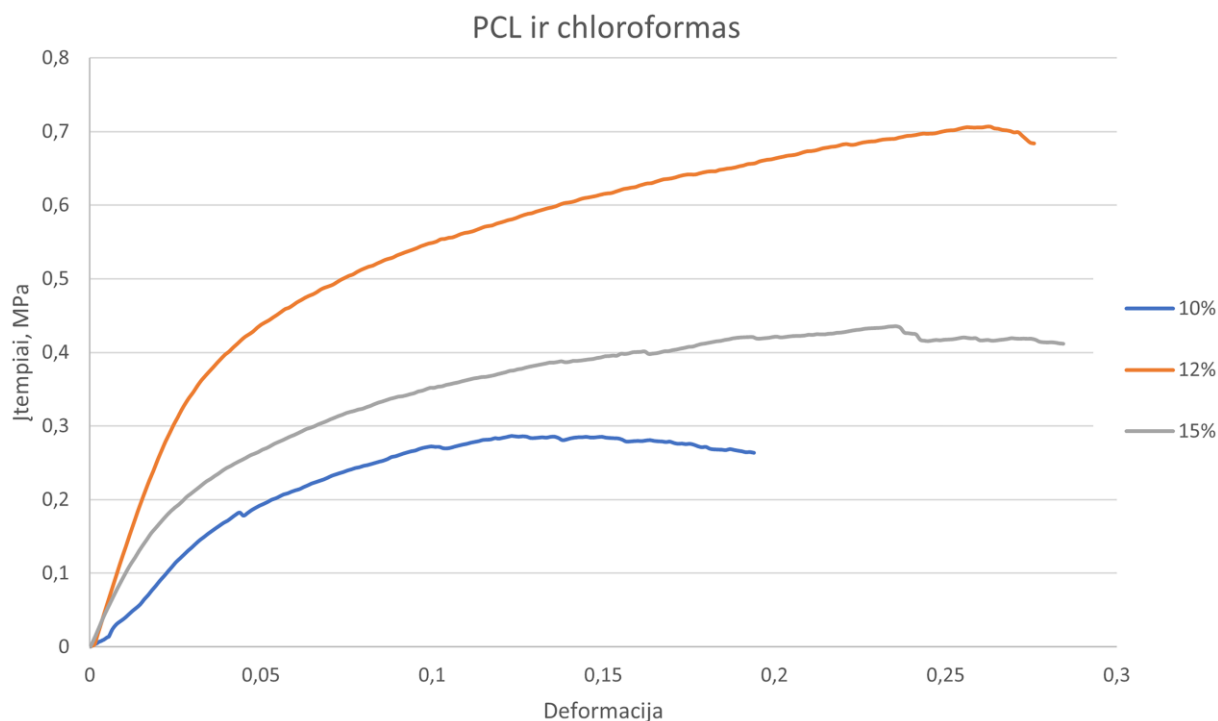
Atlikus vienašį tempimo bandymą su „Macmesin MultiTest 2.5-i“ mechaninių parametrų testavimo stendu, buvo gautos pradinės kreivės, rodančios priklausomybę tarp bandinių veikiančios apkrovos ir bandinio poslinkio. Rezultatams įvertinti, gauti poslinkio ir apkrovos duomenų masyvai perskaičiuoti į įtempių σ ir santykinės deformacijos ε reikšmes pagal (1) ir (2) formules, iš kurių sudarytos įtempių-deformacijos priklausomybės kreivės (6 pav.).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

čia F – apkrovos jėga, N; A – bandinio skerspjūvio plotas, m^2 .

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

čia ΔL – bandinio ilgio pokytis, mm; L – bandinio pradinis ilgis, mm.



6 pav. Įtempių-deformacijos priklausomybės kreivė PCL ir chloroformo bandiniams

Šaltinis: sudaryta autorių

Pastebėta, kad mechaninės savybės skiriasi priklausomai nuo tirpalo koncentracijos. Didesnės koncentracijos pluoštai turėjo didesnę stiprumą ir plastiškumą. Tyrimo rezultatai parodo, kad padidėjus tirpiklio koncentracijai, padidėja nanopluošto karkasų mechaninis stiprumas.

Apskaičiuota, kad PCL ir chloroformo bandinių tamprumo modulis yra 9,86 MPa, takumo riba, $1,11 \pm 0,32$ MPa, elastinis pailgėjimas $47,6 \pm 20$ %.

Dirbtinių audinių karkasų tinkamumas audinių inžinerijoje yra vertinamas pagal jų mechanines savybes. Pagrindinės savybės yra tamprumo modulis bei takumo riba. Audinių karkasai tinkami yra tik tuo atveju, kai mechaninės savybės yra artimos natūralaus audinio mechaninėms savybėms. Skirtingų biologinių audinių tamprumo modulio ribos ir vidutinės reikšmės pateiktos 1 lentelėje.

Biologinių audinių tamprumo modulio ribos ir vidutinės reikšmės

Audinys	Tamprumo modulio ribos, MPa	Vidutinis tamprumo modulis, MPa
Oda	21-39	~30
Kepenys ir inkstai	1-15	~10
Nugaros smegenys ir pilkoji medžiaga	0,4-3,6	~2
Arterijos ir venos	0,6-3,5	~2
Sklera (odena)	0,6-4,9	~2,7
Ragena	0,1-11,1	~3

Šaltinis: McKee, C. T., Last, J. A., Russell, P., & Murphy, C. J. (2011). Indentation versus tensile measurements of young's modulus for soft biological tissues. *Tissue Engineering - Part B: Reviews*, 17(3), 155–164. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.1089/ten.teb.2010.0520>

Lyginant biologinių audinių tamprumo modulio vidutines reikšmes su tyrimo metu gautų karkasų tamprumo modulių pastebėta, kad PCL ir chloroformo tamprumo modulis net 98,6% atitinka kepenų ir inkstų sienelių biologinių audinių tamprumo modulį.

Elektrinio verpimo metu keičiant proceso parametrus ir padidinus nanopluošto storį, be sunkumų galima pasiekti tokias struktūras, kurias galima naudoti audinių inžinerijoje pakeičiant žmogaus odą. Odos tamprumo modulio ribos yra 21-39 MPa, todėl tokias reikšmes pasiekti nebūtų sunku.

Apibendrinant tyrimo rezultatus galima teigti, kad tamprumo modulio reikšmių pakanka, kad audinių inžinerijoje šių organų audiniai galėtų būti gaminami iš elektrinio verpimo būdu gautų PCL karkasų.

Išvados

1. Polimero koncentracija turi įtakos tirpalo klampumui ir paviršiaus įtempimui, kurie abu gali turėti įtakos elektrinio verpimo procesui. Kita vertus, jei tirpalas yra per koncentruotas, didelis klampumas taip pat slopins skysčio tekėjimą į adatą ir dėl to sulėtins elektrinio verpimo procesą.

2. Tirpiklio koncentracija polikaprolaktono (PCL) tirpale, naudojamame elektrinio verpimo technologijoje, turi įtakos karkasų mechaninėms savybėms.

3. Pagamintų PCL karkasų tamprumo modulis yra 9,86 MPa, takumo riba $1,11 \pm 0,32$ MPa.

4. Elektrinio verpimo būdu pagamintų PCL karkasų mechaninės savybės yra artimos kepenų ir inkstų sienelių mechaninėms savybėms net 98,6 %. Ši medžiaga pagal savo savybes galėtų būti pritaikyta minkštųjų audinių inžinerijoje, nes atitinka šios krypties reikalavimus.

Literatūra

1. [Ameer J.M.](#), [Anil Kumar PR.](#), [Kasoju N.](#) Strategies to Tune Electrospun Scaffold Porosity for Effective Cell Response in Tissue Engineering. *J Funct Biomater*. 2019 Sep; 10(3): 30. doi: [10.3390/jfb10030030](https://doi.org/10.3390/jfb10030030)
2. [Hui Chen](#), [Shanyong Chen](#), [Youwei Guan](#), [Hengqing Yan](#), [Rong Jin](#), [Huai Zhang De Li](#), [Jian Zhong and Lu L.](#) An efficient polymer for producing electrospun transparent conducting films through simple procedures and a mild post-process. *The Royal Society of Chemistry*, 2017, 7, 46621-46628, DOI: 10.1039/c7ra08520f
3. [Malikmammadov, E.](#), [Tanir, T.E.](#), [Kiziltay, A.](#), [Hasirci V.](#), [Hasirci H.](#) PCL-TCP wet spun scaffolds carrying antibioticloaded microspheres for bone tissue engineering. *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, 2018 Vol. 29, N. 7–9, 805–824 <https://doi.org/10.1080/09205063.2017.1354671>
4. [Marín, Á. G.](#), [Loscertales, I. G.](#), & [Barrero, A.](#) Surface tension effects on submerged electrosprays. *Biomicrofluidics*, 2012, 6(4), 1–17. <https://doi.org/10.1063/1.4762854>
5. [McKee, C. T.](#), [Last, J. A.](#), [Russell, P.](#), & [Murphy, C. J.](#) (2011). Indentation versus tensile measurements of young's modulus for soft biological tissues. *Tissue Engineering - Part B: Reviews*, 17(3), 155–164. <https://doi.org/10.1089/ten.teb.2010.0520>
6. [Rim, N. G.](#); [Shin, C.S.](#); [Shin, H.](#) Current Approaches to Electrospun Nanofibers for Tissue Engineering, *Biomedical Materials*, 2013. 8(1): 1–14.
7. [Reneker D.H.](#), [Yarin A.L.](#) Electrospinning jets and polymer nanofibers. *Polymer*. 2008;49:2387–2425. doi: 10.1016/j.polymer.2008.02.002
8. [Tam, T. T.](#), [Hamid, Z. A.](#), [Cheong K.Y.](#) A Review of Mechanical Properties of Scaffold in Tissue Engineering: Aloe Vera Composites, *Journal of Physics Conference Series* 2018, 1082: 1–6.
9. [Wise J.K.](#), [Yarin A.L.](#), [Megaridis C.M.](#), [Cho M.](#) Chondrogenic Differentiation of Human Mesenchymal Stem Cells on Oriented Nanofibrous Scaffolds: Engineering the Superficial Zone of Articular Cartilage, *Tissue Engineering Part A* 2009, 15(4): 913–921
10. [Xiaohong Qin](#), [Dequn Wu.](#) Effect of different solvents on poly(caprolactone) (PCL) electrospun nonwoven membranes. *J Therm Anal Calorim.* 2012, 107:1007–1013 DOI 10.1007/s10973-011-1640-4

APPLICATION OF ELECTROSPINNING IN TISSUE ENGINEERING

Summary

Tissue engineering and regenerative medicine are rapidly developing to help people suffering from tissue loss and damage. Electrospinning is one of the most advanced methods for the production of artificial tissues, in which threads are obtained from polymer solutions or fibers from a polymer melt with a diameter of several hundred nanometers using electric voltage. These fibers are used to create fabric scaffolds. The formation of artificial tissues by electrospinning is a relatively new area. The purpose of this work is to study the mechanical properties of polycaprolactone (PCL) scaffolds obtained by electrospinning and to assess the suitability of the mechanical properties of the resulting nanofibers for tissue engineering. After carrying out the research on the mechanical test stand, it was found that the elastic modulus of the produced PCL scaffolds is 9.86 MPa, the yield strength is 1.11 ± 0.32 MPa. The results of the study showed that the mechanical properties of the electrospun PCL scaffolds are close to the mechanical properties of the walls of the liver and kidneys. According to its properties, this material could be applied in soft tissue engineering as it meets the requirements of this direction.

Keywords: electrospinning, tissue engineering, scaffolds, mechanical properties

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Andžela Šešok.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas

Darbo vietą ir pozicija: Vilniaus Gedimino technikos universiteto, Mechanikos fakulteto Biomechanikos inžinerijos katedros docentė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: gamybos technologijos, medžiagos medicinoje, inžinerinių tyrimų metodologija.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 614 82835, andzela.sesok@vilniustech.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Dovydas Cicėnas

Mokslo laipsnis ir vardas: magistras

Darbo vietą ir pozicija:

Autoriaus mokslinių interesų sritys: gamybos technologijos, medžiagos medicinoje, inžinerinių tyrimų metodologija.

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 690 38025 dovydas.cicenas@stud.vilniustech.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Andžela Šešok

Science degree and name: doctor, associated professor.

Workplace and position: Vilnius Gediminas Technical University Faculty of Mechanics, Department of Biomechanical Engineering, associated professor

Author's research interests: production technologies, materials in medicine, engineering research methodology.

Telephone and e-mail address: 8 614 82835, andzela.sesok@vilniustech.lt

Author name, surname: Dovydas Cicėnas

Science degree and name:

Workplace and position:

Author's research interests: production technologies, materials in medicine, engineering research methodology.

Telephone and e-mail address: : 8 690 38025 dovydas.cicenas@stud.vilniustech.lt

INFLUENCE OF AGRICULTURAL SYSTEMS OF DIFFERENT INTENSITY ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND PHOSPHORUS WASHOUT

Petras Milius

Kaunas University of Applied Engineering Sciences

Abstract

A characteristic feature of modern agriculture is a shift from intensive technologies to the environment, soil and resources saving production methods. Therefore, drainage drained experimental field of arable land in Central Lithuania Lowland was selected for the research to determine the tillage effect on drainage run-off and its quality. Soil density in conventional and late tillage fields was 1.21 and 1.23 g cm⁻³ respectively. Soil density increases by 2.4 – 4 % (up to 1.26 g cm⁻³ on an average) in simplified tillage fields in comparison to soil density of conventional and late tillage fields. Porosity of conventional tillage field reached 55 % and porosity of late tillage fields was equal to 54 %, i. e. 1 % less comparing to conventional tillage field. The least soil porosity (52 %) was in the fields of simplified tillage (3 % less in comparison to conventional tillage fields). When applying conventional tillage, porosity of deeper (20–40 cm) soil layers reached 44 %, i. e. 1 and 5 % higher in comparison to simplified and late tillage respectively. In spring amounts of leached total phosphorous in conventional and simplified tillage were equal and reached 0.012 kg ha⁻¹. Leach-out of above-mentioned compound in late tillage fields reduced by 8 % and reached 0.011 kg ha⁻¹. In summer larger amounts of total phosphorous are leached from simplified tillage fields (0.083 kg ha⁻¹ on an average). Application of conventional tillage has simplified leaching of total phosphorous by 18 % (to 0.068 kg ha⁻¹ on an average). The least amounts of total phosphorous are washed out from late tillage fields (up to 0.056 kg ha⁻¹ on an average). In autumn the leach-out of total phosphorous was 0.023 kg ha⁻¹ in simplified tillage and 0.016 kg ha⁻¹ and 0.013 kg ha⁻¹ in conventional and late tillage fields accordingly. In winter conventional tillage fields distinguish by amounts of leached total phosphorous. Concentration of total phosphorous leached through drainage reached 0.014 kg ha⁻¹ on an average, i. e. 21 % more comparing to late tillage field and 7 % more in comparison to simplified tillage field. In spring amounts of leached total phosphorous in conventional and simplified tillage were equal and reached 0.012 kg ha⁻¹ on an average. Leach-out in late tillage fields, where deep autumn ploughing is applied, is reduced by 8 % and reaches 0.011 kg ha⁻¹.

Key words: tillage, bulk density, porosity, drainage runoff, total phosphorus

Introduction

Over 80% of agricultural land in Lithuania is drained and large enough (39.1 score on average) productivity of land allows active participation in the EU production market of agricultural products. The cultivated land of central Lithuania is particularly fertile, its productivity exceeds 50 points. Thus, the advantage of Central Lithuania against other regions is evident. At present, special attention is paid to the operation of drainage systems, preventing the spread of diffuse agricultural pollution. A characteristic feature of modern agriculture is a shift from intensive technologies to the environment, soil and resources saving production methods (Bogužas et al., 2015; Sinkevičienė et al., 2021). Ploughing is increasingly refused even in humid climate countries, relying on a limited surface loosening and stubble sowing by inserting the seed to the uncultivated or minimally tilled soil, for example, into peeled stubble. Analysis of literature data suggests that soil physical properties change when tillage is simplified and direct stubble sowing is applied: the density of the soil increases especially during the first three years of implementation. It can be found quite various literature data about the density of the soil in global databases: from completely identical to fundamentally inconsistent with each other.

It was determined by the researches made in Lithuania (Baigys et al., 2006; Buragienė et al., 2011) that existing soil bulk density of the 0–20 cm layer in no-till tillage field after sowing spring barley and peas is 13 and 12% respectively larger than in conventional tillage field and 5 and 7% larger than in simplified tillage field.

Similar results were obtained by other researchers: (Šimanskaitė, 2007; Fabrizzi et al., 2005; Pikul et al., 2001; Lampurlanes et al., 2003). For example, Fabrizzi et al. (2005) established by research, that soil density in both 3–8 cm and 13–18 cm depth was larger in no-till tillage field than in minimum tillage field.

Stancevicius et al., 2003 determined by research on medium loam *Endohypogleyic-Eutric Planosol – Ple-gln-w* soil that soil bulk density and soil moisture content at different growth stages of spring barley essentially did not change when changing deep ploughing (23–25 cm) to shallow (12–14 cm) or deep and shallow plough less tillage. Romanekas et al., 2006 determined that bulk density and porosity of silt loam, loam and clay soils were similar in both tillage systems or higher in conventional tillage variant.

Drainage of agricultural fields is not only the modern means of disposal of excess water, but also a significant water balance component of open water.

Studies in Central Lithuanian lowland have shown that the time of tillage affects the drainage run-off (Baigys et al., 2010). The run-off coefficient was 2.17 in the field ploughed early in autumn and 1.59 in the treatment ploughed late in autumn.

Soil physical properties change when tillage is simplified (especially soil bulk density and porosity) (Feiza et al., 2014). In conventional tillage case, the volume of naturally laid dry soil (with air gaps) decreased when operating the arable (0-20 cm) soil layer up to 25 cm depth and increasing the volume of its pores and gaps. In mentioned case the down percolation of water is fast but the amount of percolated water is smaller than with reduced tillage field.

A lot of extensive researches are made in Lithuania where drainage run-off is analyzed in various soils. But it was not analyzed consistently how tillage systems (conventional, simplified, no-till and late tillage) affect drainage run-off through the changed physical and hydro physical characteristics of the soil. More detailed research on how tillage systems affect the drainage run-off were made in Pilkeliai object located in Central Lithuanian lowland (Baigys, 2009; Baigys et al., 2010). Research showed that in simplified tillage fields the drainage run-off during wet vegetation period was 13 % larger and 15 % smaller during dry vegetation period than in the case of conventional soil tillage (Baigys, 2009).

Research made by foreign scientists have showed that in case of conventional tillage a smaller amount of rainfall is drain by drainage in comparison to simplified tillage ([Williams et al., 2010](#); [Williams and Wuest, 2011](#); [Endale et al., 1999](#)).

Generally, there was more drainage from NT than CT plots-often between 2 and 3 times ([Endale et al., 1999](#)). About 34 % of the rainfall between June 1997 and February 1998 was partitioned to drainage from NT dplots compared to 18 % from CT plots. In contrast, CT plots sproduced more runoff. In one event in December 1997, 67 % of the rainfall was lost as runoff from CT plots compared to 38 % from NT plots ([Endale et al., 1999](#)).

Phosphorus is one of the key elements necessary for all living beings. Phosphorus is relatively constant in contrast to some forms of inorganic nitrogen that are unstable in the soil, easily mineralizes or washes off and recharges from the air. But its only source is soil minerals and phosphorus compounds in organic matter. In Lithuanian soils, the total phosphorus concentration varies from 0.04 to 0.3 %, whilein the arable layer it is usually found at 0.1-0.2% or 1.2-6.0 t ha⁻¹. There is more phosphorus in soils with heavier granulometric composition.

Some authors (Some phosphorus..., 1998) state that additional phosphorus from fertilizer is very stable and within 24 years it all stays in the upper soil layer of 0–25 cm. The majority of other researchers indicates that in high phosphorus regions P leaching increases with surface waters and drainage and thus eutrophication of open water is stimulated (Sharpley et al., 2001, Ulen, 1998, Šileika et al.,2001, Geohring et al.,2001, Bučienė, 2003).

Bučiene (2003) determined by research in Lithuania in *gleyic calcareous brown earth* soils of various tillage systems that intensification of agriculture increases the amount of phosphorus leached through drainage to a very little extent, and basically it depends on soil texture, the amount of phosphorus and humus. But long-term research determines that the increase of phosphorus amount in the soil is noticed even in 40–60 cm depth layers depending on its acidity when fertilizing with mineral fertilizers exceeds the plants' needs (Končius et al., 2004).

Insignificant amounts of phosphorus leach-out when applying conventional and no-till tillage were estimated in Sweden, which is most similar to the Lithuanian climate and soil conditions ([Comia et al. 1994](#)). Meissner (Meissner et al., 1998) proved with research made in East Germany that extensification of agriculture faster than in one year invokes significant increase of compounds leach-off in comparison to the areas of intensive farming.

Research made in the USA in various climate and soil conditions (Chichester et al., 1992, Mostaghimi et al., 1988) showed more phosphorus is leached when applying conventional tillage than applying no-till and simplified tillage. Mostaghimi (Mostaghimi et al. 1988) determined that applied no-till tillage reduces phosphorus leaching by 91–97 % comparing with conventional tillage.

Long-term laboratory and field studies were made in an area which is polluted only by agricultural production activities to estimate the effect of various intensity agricultural systems on drainage run-off and total phosphorus leaching. Drainage run-off and total phosphorus concentration in it were observed in little fields differently tilled in natural production conditions.

The purpose of the work – to explore the influence of different tillage systems applied in the intensive agriculture on the fluctuation of drainage run-off and P_i leaching in the lowland of Central Lithuania.

Materials and methods

Central Lithuania, where major part of river-basins is occupied by drained agricultural land, distinguishes by the intensity of anthropogenic activity influencing the quality of drainage water. Research on three different tillage methods and their repetition were carried out in 2010-2015 at the Pikeliai experimental department of Aleksandras Stulginskis University (now the Academy of Agriculture of Vytautas Magnus University) near Kėdainiai, located in the lowlands of Central Lithuania, in the Graisupis river basin (14.2 sq. km). The dominant soils in the Graisupis basin according to their granulometric composition are mainly loams (57% of the basin area) and sandy loams (40%). The results of the soil tests showed that the soils in the Graisupis basin are neutral (77% of the basin) and almost neutral (21%) in terms of acidity. They have a lot of phosphorus: 86% of the territory has a lot of mobile phosphorus (>20 mg P₂O₅/100g of soil).

Experimental field of plough land was divided into nine fields (0.76–1.36 hectare) that are drained by separately mounted drainage systems (fig. 1) after reconstruction of present 11 hectares size drainage system.

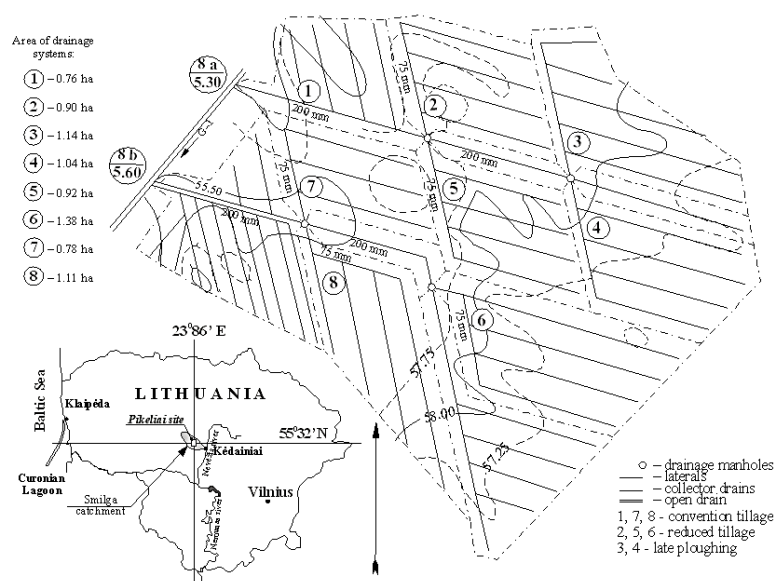


Fig. 1. Experimental fields of different tillage systems at Pikeliai experimental department (Kėdainiai district)

Source: Compiled by the author

Conventional tillage system after harvest in August – September, i. e. deep (up to 23 – 25 cm) autumn ploughing and pre-sowing (up to 8 cm) cultivation by a combined spring-tine harrow, was applied in the fields drained by drainage systems 7 and 8. The rest experimental fields every year were ploughed in late autumn (late October – early November). In the fields drained by drainage systems 2, 5 and 6, a simplified (12-15 cm deep) tillage system was applied using a disk unit with pre-sowing (up to 8 cm) tillage with combined spring harrows. Late tillage system in autumn by ploughing with PLN-3-35 plough at 23-25 cm depth, pulled by 1.4 (14) class tractor and pre-sowing (up to 8 cm) cultivation by a combined spring-tine harrow was applied in the fields drained by drainage systems 3 and 4. Tillage systems and lead times are presented in table 1 and fig. 2.

Table 1

Tillage variants and experimental fields

		Soil Tillage	
Tillage variant	Drainage system	Main	Pre-sowing
Conventional	7, 8	Deep (23–25 cm) autumn ploughing after harvest (in August – September)	Cultivation by a combined spring-tine harrow up to 8 cm
Simplified	2, 5, 6	Tilled by disk aggregates and cultivators at 12-15 cm in autumn (late October – early November)	Cultivation by a combined spring-tine harrow up to 8 cm
Late	3, 4	Deep (23–25 cm) autumn ploughing	Cultivation by a combined spring-tine harrow up to 8 cm

Source: Compiled by the author



Fig. 2. Simplified (a) and traditional (b) tillage

Source: <https://www.vaderstad.com/lt/know-how/dirvos-dirbimo-budai/>

Soil of experimental fields according to granulometric composition (determined in the Soil Department of State Enterprise Public Planning Institute using FAO/ISRIC method) is medium weight loam on medium weight loam with deeper lying sandy light loam subsoil. Soil has little skeleton (>2.0 mm), 1.40 % on an average. The most abundant is sandy fraction (0.05–2 mm) which composes 51 % on an average. Dust (0.002–0.05 mm) compose 35 % and there are 14 % of clay fractions (>0.002 mm).

Data of the closest Dotnuva weather-station were used to describe atmospheric conditions (average air temperature and monthly precipitation). Physical properties of soil (soil density and porosity) before pre-sowing hoe were analysed in the laboratory by weighing.

Drainage run-off was measured by volume method in specially mounted ferroconcrete sample wells were drainage collectors were injected. Debits were calculated using linear interpolation method, and elevation of drainage run-off were calculated according to daily debits. When measuring drainage run-off, a water sample was taken for estimation of P_i concentration. Chemical analysis was performed in chemical analysis laboratory of the Faculty of Water and Land Management, Aleksandras Stulginskis University. Concentration of total phosphorous in drainage water was estimated by spectrometric method which satisfies European standards and is approved by Ministry of Environment, using ammonium molibdate (Lietuvos...,2003). Drainage run-off, concentration and leaching of total phosphorous were grouped according to variants of research, and monthly averages were calculated. Leaching of total phosphorous from every field of experimental system was calculated according to average monthly amounts of drainage run-off and concentrations of total phosphorous. Annual leaching was obtained by summing up the leaching of every month.

Results of the research showed that among various factors determining formation and volume of drainage run-off as well as migration of pollution particularly important factors are precipitation (their amount, distribution during a year, water reserve in snow) and air temperature.

The total amount of precipitation during the research period was 3587 mm. During this period, annual precipitation ranged from 418 mm (29 % below the long-term average) up to 736 mm (25 % above the long-term average). The highest average annual air temperature reached 8.5 °C, i. e. 2.4 °C deviated from long-term norm. The lowest average annual air temperature was 7.0 °C, i.e. 0.9 °C deviated from the long-term norm (table 2).

Table 2
Precipitation (mm) and air temperature (°C) in the meteorological station of Dotnuva for the period under consideration

Period of time	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Precipitation mm	Average long-term (1991-2020) norm of precipitation is 566 mm					
	418	470	668	570	736	725
% from the norm	74	83	118	101	130	128
Average annual air temperature, t °C	Average long-term (1991-2020) norm of air temperature is 7.40°C					
	7.0	7.1	8.0	8.5	7.2	6.3
Deviation from the norm, t °C	-0.40	-0.30	+0.60	+1.10	-0.20	-1.10
% from the norm	95	96	108	115	97	85

Source: Compiled by the author

After doing the analysis of seasonal precipitation distribution it was estimated that the largest amount of precipitation was in summer (154–325 mm) and reached 27–57% of annual precipitation norm. June and July are characterized by large deviations from the average: the amount of precipitation varied from 7 mm to

168 mm and from 41 mm to 142 mm, respectively (figure 3). Average monthly precipitation for the rest of the year is close to the long-term average.

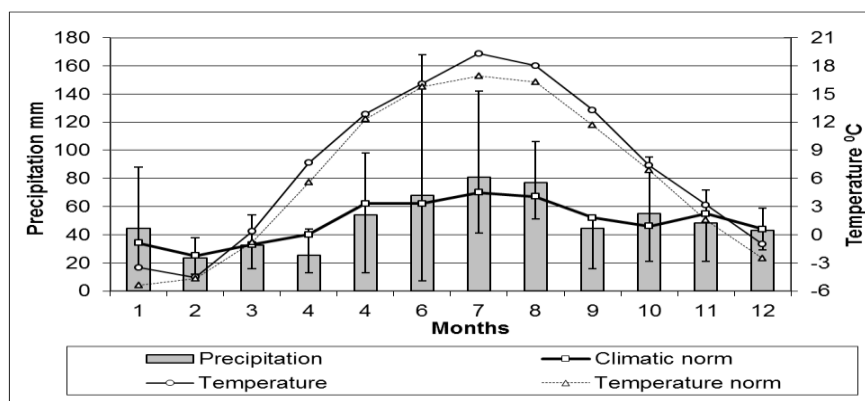


Fig. 3. Seasonal diagram and fluctuation amplitude of mean multiannual precipitation during the study period
Source: Compiled by the author

Results and discussion

Soil density and porosity of experimental fields

The data of the conducted studies showed that during the period of six years, tillage systems did not have a significant influence on changes in soil density and porosity (table 3). The ploughed soil layer (0–20 cm) was optimally dense (1.21–1.26 g cm⁻³) in all tillage systems. The volume of naturally packed dry soil (with air gaps) is simplified in the fields of conventional and late tillage where soil layer is ploughed up to 25 cm depth and the volume of pores and gaps in the soil is expanded. Soil density in the above-mentioned tillage systems was 1.21 and 1.23 g cm⁻³ respectively. Soil density increases accordingly by 4 % and 2.40 % (up to 1.26 g cm⁻³) when simplified tillage is applied. Lampurlanes (Lampurlanes et al., 2003) has determined in the studies that in the deep soil, no-tillage showed the largest bulk densities (mean of 1.34 Mg m⁻³), followed by minimum tillage (mean of 1.27 Mg m⁻³) and subsoil tillage (mean of 1.22 Mg m⁻³).

The density of subsoil 20 – 40 cm layer reached: 1.50 g cm⁻³ for deep (23–25 cm) autumn ploughing (late October – early November); 1.46 g cm⁻³ for simplified tillage and 1.47 g cm⁻³ for deep (23–25 cm) autumn ploughing (in August – September).

Table 3

Fluctuations in soil density (g cm⁻³) during the study period with the application of various tillage systems

Tillage system	Soil density, g cm ⁻³	
	Ploughed layer (0-20 cm)	Subsoil layer (20-40 cm)
Conventional	1.21	1.47
Simplified	1.26	1.46
Late	1.23	1.50

Source: Compiled by the author

Soil porosity is an important characteristic, determining water and air regime as well as conditions of plants growth and nutrition. Volume of pores and gaps (porosity) of the soil in conventional tillage field cultivated up to 25 cm depth increases in comparison to simplified tillage field. It was estimated by measurements that porosity of conventional tillage field is equal to 54.3 %. Porosity of late tillage fields was equal to 53.5 % or 0.8 % less comparing to conventional tillage field. The least soil porosity was in simplified tillage fields – 51.6 % (2.7 % less in comparison to conventional tillage field) (table 4).

When applying conventional tillage, porosity of deeper layers reached 44.1 %, i.e. 0.45 % and 4.54 % higher in comparison to simplified and late tillage respectively.

Table 4

Fluctuations in porosity (%) during the research period when applying various tillage systems

Tillage system	Porosity (%)	
	Ploughed layer (0-20 cm)	Subsoil layer (20-40 cm)
Conventional	54.3	44.1
Simplified	51.6	43.9
Late	53.5	42.1

Source: Compiled by the author

Influence of different soil tillage systems on drainage run-off

In summer (June – August) a larger amount of precipitation is fallen (33 – 44 % of average annual precipitation of research period) but evaporation and transpiration are increased and therefore soil pores in all tillage systems are not filled to the extent that field moisture receptivity would be exceeded. A small amount of water filters through drainage within above-mentioned period, i. e. 4 % of annual drainage run-off in case of deep (23 – 25 cm) autumn ploughing in August – September and 7 and 6 % of annual drainage run-off in case of simplified and late tillage accordingly (fig. 4).

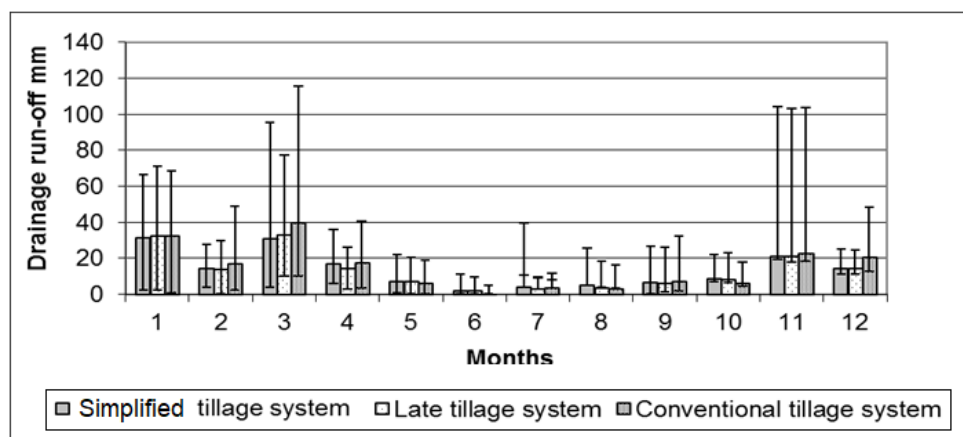


Fig. 4. Average monthly distribution of drainage runoff and fluctuation amplitudes in various tillage systems during the research period

Source: Compiled by the author

It was established during analysis of different tillage systems that in case of simplified tillage system (cultivating with disks is used) the thinner layer of soil is loosened, and the macro pore network between that surface soil layer and deeper soil layers saturated with gravitational water remains untouched. Through this network the major part of seeping precipitation water goes down to drainage. Measurements of drainage run-off have showed that run-off elevation in June, July and August in simplified tillage field was 2.12, 3.94 and 5.08 mm respectively, i. e. 49, 16 and 36 % higher than in conventional tillage field and 17, 19 and 36 % higher comparing to late tillage field. Macro pores formed in conventional tillage fields and fields ploughed in late autumn (deep 23–25 cm autumn ploughing) have not direct contact with macro pores of subsoil layer so the water cannot go down to deeper soil layers through these macro pores. Surface soil layer in the above-mentioned tillage variants accumulates the major part of seeping water and therefore the smaller part of filtering precipitation water goes down to drains.

In winter (from December to February) and spring (from March to May) there are less pores in the fields cultivated with disks or heavy cultivators at 12 – 15 cm depth in late October – early November but with 14–27.0 and 13–23 % of average annual precipitation amount accordingly these pores do not fill up to the point of exceeding field moisture receptivity. A larger amount of precipitation goes down by drains within above-mentioned periods (run-off coefficients reach 0.54–0.63 and 0.49–0.56 respectively).

In winter conventional tillage field accumulate such amount of moisture that with above-mentioned amount of precipitation a larger part of precipitation water goes down by drains (run-off coefficient is equal to 0.63).

Due to the reduction of evaporation from tilled soil in August-September due to cooler weather, the height of drainage runoff in the conventional tillage field in winter and spring was 70.2 and 63.3 mm, respectively, i. e. 14 and 13% higher than in the case of simplified tillage and 14% higher compared to the late variant of tillage. In autumn (September–November) when 16–37 % of average annual precipitation amount had fallen the drainage run-off elevation in conventional tillage field reached 22.8 mm. Drainage run-off elevation was marginally larger in simplified and late tillage fields (23.8 and 23.0 mm accordingly).

Analysis of drainage run-off data shows that seasonal run-off distribution distinguishes by large deviations from the average, especially in March and November. Larger run-off deviation in March was in conventional tillage field and ranged from 29.5 to 75.8 mm. In late and simplified tillage variants run-off elevation fluctuated from 22.9 to 44.2 mm and from 27.0 to 64.6 mm respectively. In November run-off deviation in conventional tillage field varied from 15.5 to 70.5 mm. Drainage run-off elevation ranged from 22.9 to 44.2 mm in simplified tillage variant and from 27.0 to 64.6 mm in late tillage field.

Concentrations of total phosphorous in drainage water of experiment fields drainage systems

It was determined during analysis of total phosphorous concentrations in drainage water that in summer, when only 4–7 % of average annual drainage run-off for the research period flowed through drainage, the larger amounts of total phosphorous are washed out from the soil and concentrations of total phosphorous in the drainage water were 29–89 % higher than in winter, spring and autumn (fig. 5).

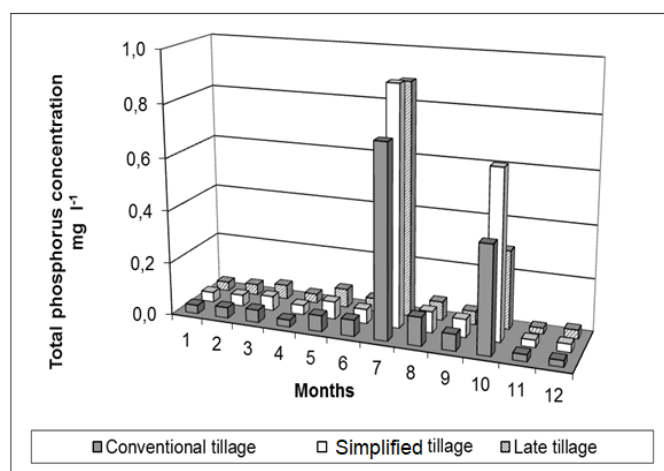


Fig. 5. Average monthly distribution of total phosphorus concentrations in various tillage systems during the research period

Source: Compiled by the author

Total phosphorous concentration in drainage water in summer reached 0.35 mg l⁻¹ when applying simplified tillage. In case of deep (23–25 cm) autumn ploughing in August – September and in late October – early November concentrations of total phosphorous reached 0.34 and 0.30 mg l⁻¹ respectively.

In winter, spring and autumn when amount of precipitation is less (14–27.0, 13–23 and 16–37 % of average annual precipitation amount accordingly) and evaporation from soil surface is simplified a notably larger part of precipitation water goes down to drainage comparing to summer (run-off coefficients reach 0.54–0.63, 0.47–0.52 and 0.24–0.32 respectively) but smaller amount of total phosphorous is leached from the soil in all tillage systems (18–21, 17–22 and 17.0–23 % of average annual total phosphorous amount accordingly).

While assessing the influence of different tillage systems it was determined that less amount of precipitation seeped through drains in winter and autumn in simplified tillage (run-off coefficients are 0.54 and 0.24 accordingly) leached from the soil 14 and 33 % more of total phosphorous comparing to conventional tillage system and 3 % and 50 % more of total phosphorous in comparison to late tillage.

Total phosphorous concentration in drainage water in spring was higher in case of late tillage and reached 0.080 mg l⁻¹, i. e. 15 % higher comparing to deep autumn ploughing in August – September and only 1 % higher than in case of simplified tillage.

Leaching of total phosphorous through the drainage when applying different tillage systems

While analyzing generalized data research it was found that amounts of leached total phosphorous vary similarly to total phosphorous concentrations in drainage water. Summer period distinguishes by the largest amounts of leached total phosphorous (62–63 % of the average annual amount of total phosphorous of the whole research period) when larger amount of precipitation had fallen (33 – 44 % of average annual precipitation). When assessing the dependence of the size of total phosphorous leach-out from tillage system, it was estimated that larger amounts of this element are leached from simplified tillage fields (0.083 kg ha⁻¹ on an average) (fig. 6). 49–54 % larger amount of water is drained through the drainage system of these fields comparing to deep autumn ploughing in August–September, and therefore the larger amount of total phosphorous is leached from the soil. Application of conventional tillage has simplified leaching of total phosphorous by 18 % (to 0.068 kg ha⁻¹ on an average). The least amounts of total phosphorous are washed out from late tillage fields (up to 0.056 kg ha⁻¹ on an average).

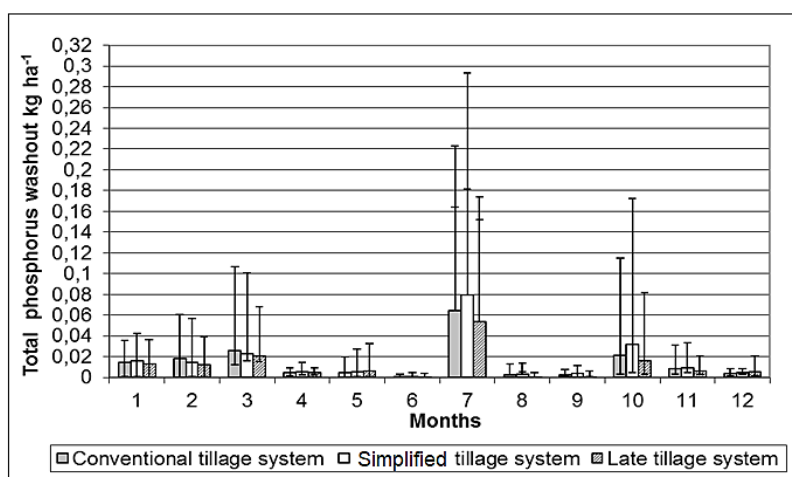


Fig. 6. Average monthly distribution and fluctuation amplitude of leached total phosphorous amounts in various soil tillage systems

Source: Compiled by the author

In winter and spring, when 29.0–32 and 28–34 % of annual precipitation went down through drainage but concentrations of total phosphorous in the drainage water were lower (accordingly 0.032–0.038 and 0.068–0.080 mg l⁻¹), minimal amounts of leached total phosphorous (0.030–0.036 and 0.032–0.034 kg ha⁻¹, i. e. 18–21 and 17–22 % of average annual amount of research period) were found in all tillage systems.

In spring amounts of leached total phosphorous in conventional and simplified tillage were equal and reached 0.012 kg ha⁻¹. Leach-out of above-mentioned compound in late tillage simplified by 8 % and reached 0.011 kg ha⁻¹.

In winter conventional tillage fields distinguish by amounts of total phosphorous leached through drainage when 0.014 kg ha⁻¹ is washed out on an average, i. e. 21 % more comparing to late tillage field and 7 % more in comparison to simplified tillage field.

In autumn the leach-out of total phosphorous was 0.023 kg ha⁻¹ in simplified tillage and 0.016 kg ha⁻¹ and 0.013 kg ha⁻¹ in conventional and late tillage fields accordingly.

Within the period of research larger fluctuations (0.021–0.12 kg ha⁻¹) of total phosphorous leaching from the average were observed in conventional, simplified and late tillage fields in October. Simplified tillage field distinguished by larger fluctuations (from 0.043 to 0.12 kg ha⁻¹) of leached total phosphorous concentration. The least fluctuations of leached total phosphorous concentration was found in late (from 0.021 to 0.058 kg ha⁻¹) and conventional (from 0.028 to 0.083 kg ha⁻¹) tillage fields.

Conclusions

1. The data of the conducted studies showed that during the period of six years, tillage systems did not have a significant influence on changes in soil density and porosity. The ploughed soil layer (0–20 cm) was optimally dense (1.21–1.26 g cm⁻³) in all tillage systems.

2. Simplified tillage field distinguishes by largest drainage run-off in summer as the run-off elevation fluctuated from 3.18 to 21.5 mm, i. e. 36–60 % higher than in conventional tillage field and 17–62 % higher than in late tillage field. Average drainage run-off elevation in winter and spring reached 25.9 and 21.5 mm in conventional tillage variant, i. e. 15 and 12 % larger than in case of simplified tillage system and 15 and 13 % larger than in late tillage system respectively. In autumn larger run-off was in simplified and late tillage fields.

3. Total phosphorous concentration in drainage water in summer reached 0.35 mg l⁻¹ when applying simplified tillage and also 0.34 and 0.30 mg l⁻¹ in case of deep (23–25 cm) autumn ploughing in August – September and in late October – early November accordingly. In winter and autumn in simplified tillage fields total phosphorous concentrations in drainage water were accordingly 14 and 33 % larger comparing to conventional tillage fields and 3 and 50 % larger in comparison to late tillage fields. In spring the highest total phosphorous concentration (0.080 mg l⁻¹) was found in case of deep autumn ploughing in late October – early November, i. e. 15 % higher concentration is observed comparing to deep autumn ploughing in August – September and only 1 % higher in comparison to simplified tillage.

4. In summer simplified tillage fields distinguished by higher concentration of leached total phosphorous (0.083 kg ha⁻¹ on an average). Application of conventional and late tillage reduced leaching of

total phosphorous respectively by 18 % (to 0.068 kg ha⁻¹) and 32 % (0.056 kg ha⁻¹). In spring amounts of leached total phosphorous in conventional and simplified tillage were equal and reached 0.012 kg ha⁻¹ on an average. Leach-out in late tillage fields, where deep autumn ploughing is applied, is simplified by 8 % and reaches 0.011 kg ha⁻¹. In winter conventional tillage fields distinguish by amounts of leached total phosphorous when 0.014 kg ha⁻¹ is washed out on an average, i. e. 21 % more comparing to late tillage field and 7 % more in comparison to simplified tillage field. In autumn the leach-out of total phosphorous was 0.023 kg ha⁻¹ in simplified tillage and 0.016 kg ha⁻¹ and 0.013 kg ha⁻¹ in conventional and late tillage fields accordingly.

References

- Baigys G., Gaigalis K., Kutra G. 2006. The influence of reduced tillage on water regime and nutrient leaching in a loamy soil // *Žemdirbystė=Agriculture*. Vol. 93, No. 4, p. 130-145.
- Baigys G. and Milius P. 2010. Drainage run-off and nitrate nitrogen leaching in different tillage systems. *Vagos* No. 87 (40):90-99 (in Lithuanian).
- Baigys, G. 2009. The influence of reduced soil tillage on drainage runoff and leaching of phosphates // *Vandens Ūkio Inžinerija*. Vol. 36 No. 56 p. 33-40.
- Baigys G., Feiza V., Kutra G., Feiziene D. 2006. Physical soil properties and moisture impact on productivity on spring barley and peas after application of different tillage // *Water Management Engineering, LUA and LWI Transactions*. 3 (6), p. 24–32.
- Bogužas V., Mikučionienė R., Šlepetienė A., Sinkevičienė A., Feiza V., Steponavičienė V., Adomavičienė A. 2015. Long-term effect of tillage systems, straw and green manure combinations on soil organic matter. *Zemdirbyste-Agriculture*, 102(3):243-250. IF – 0,523
- Bučienė A. 2003. Ecological relations of cropping systems. *Klaipėda* (in Lithuanian).
- Buragienė S. ir kt. 2011. Skirtingų žemės dirbimo technologijų įtaka dirvožemio mechaninėms-fizikinėms savybėms. *Žemės ūkio inžinerija*. Nr. 43(3). P. 24–42.
- Chichester F. W. and Richardson C. W. 1992. Sediment and nutrient loss from clay soils as affected by tillage // *J. Environ. Qual.* Vol. 21, p. 587-590.
- Comia R. A., Stenberg M., Nelson P., Rydberg T., Håkansson I. 1994. Soil and crop responses to different tillage systems // [Soil and Tillage Research](#). Vol. 29, p. 335-355.
- Endale D. M., Steiner J. L., Radcliffe D. E., Cabrera M. L. 1999. Drainage and Runoff Differences under Contrasting Tillage Systems in a Cecil Soil of the Southern Piedmont: American Society of Agricultural Engineers Meetings Papers.
- Fabrizzi K. P., Garcia F. O., Costa J. L., Picone L. I. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina // *Soil & Tillage Research*. 81, p. 57-69.
- Feiza V., Feizienė D., Deveikytė I., Seibutis V., Antanaitis Š., Povilaitis V., Lazauskas S., Janušauskaitė D., Supronienė S. 2014. Soil pore-water environment and CO₂ emission in a *Luvisol* as influenced by contrasting tillage. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B: Soil and Plant Science*, 64(4):350-359. IF – 0.705
- Geohring L. G., McHugh O. V., Walter M. T. et al. 2001. Phosphorus transport into subsurface drains by macropores after manure applications // *Spil Science*. Vol. 166, iss. 12, p. 896-909.
- Končius D., Bernotas S. 2004. Kalkinimo ir tręšimo įtaka vasarinių rapsų derlingumui bei fosforo, kalio ir kalcio kiekiui dirvožemyje // *Žemdirbystė: mokslo darbai / LŽI, LŽŪU. – Akademija (Kėdainių r.)*. T. 85, p. 56-67. (in Lithuania)
- Lampurlanes J., and Cantero-Martinez C. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth // *Agronomy Journal*. No. 95. p. 526-536.
- Lietuvos aplinkos ministro 2003 m. gruodžio 5 d. įsakymas Nr. 624 "Dėl aplinkos apsaugos normatyvinių dokumentų LAND 58:2003 IR LAND 59:2003 patvirtinimo". (in Lithuania).
- Meissner R., Seeger J., Rupp H. 1998. Lysimeter studies in East Germany concerning the influence of set aside of intensively farmed land on the seepage water quality // [Agriculture, Ecosystems & Environment](#). Vol. 67, p. 161-173.
- Mostaghimi S., Dillaha T. A., Shanholtz V. O. 1988. Influence of tillage systems and residue levels on runoff, sediment, and phosphorus losses // *TRANSACTIONS of the ASABE*. 31 (1), p. 0128-0132.
- Pikul J. L., Carpenter-Boggs L., Vigil M., Schumacher T. E., Lindstrom M. J., Riedell W. E. 2001. Crop yield and soil condition under ridge and chisel-plow tillage in the northern Corn Belt, USA // *Soil and Tillage Research*. 60, p. 21-33.
- Romanekas K., Romaneckienė R., Šarausis E. 2006. The effect of primary soil tillage methods on sugar beet growth on a light loam *luvisol* // *Agriculture LIA Scientific articles*. 93 (4), p. 81-87.
- Sharpley A.N., Mc Dowell R. W., Kleinman P. J. A. 2001. Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management // *Plant and Soil*. Vol. 237, iss. 2, p. 287-307.
- Sinkevičienė A., Skinulienė L. ir kt. 2021. Žemės dirbimo technologijų poveikis dirvožemio agrofizikinėms savybėms, CO₂ emisijai ir žieminių rapsų derlingumui // *Žemės ūkio mokslai*. T. 28. Nr. 2. P. 60–69.

23. Some phosphorus research work funded by the Royal Swedish Academy of agriculture and forestry // Phosphorus Balance and Utilization Agriculture Towards Sustainability. – 1998, p. 235-236.
24. Stancevičius A., Jodaugienė D., Špokienė N. ir kt. 2003. Ilgamečio arimo ir beplūgio žemės dirbimo įtaka dirvožemiui ir miežių pasėliui // Žemdirbystė: LŽI, LŽŪU mokslo darbai, Akademija. T. 83. p. 40-51. (in Lithuania)
25. Šileika A. S., Kutra S., Berankienė L. 2000. Nevėžio taršos fosfatais priežasčių tyrimai // Vandens ūkio inžinerija: mokslo darbai LŽŪU, VŪI. – Vilainiai. T. 13 (35), 31-39 p. (in Lithuania)
26. Šimanskaitė D. 2007. Arimo ir beplūgio žemės dirbimo įtaka dirvožemio fizikinėms savybėms ir augalų produktyvumui // Žemės ūkio mokslai. Nr. 1, 9–19 p. (in Lithuania)
27. Ulen B. 1998. Phosphorus losses to water from arable fields and reference water catchments in relation to phosphorus status of soils // Phosphorus Balance and Utilization Agriculture. Towards Sustainability. 165-175 p.
28. Williams J.D., Dun S., Robertson D.S., Wu J.Q., Brooks E.S., Flanagan D.C., McCool D.K. 2010. WEPP simulations of dry land cropping systems in small drainages of northeastern Oregon // Journal of Soil and Water Conservation. 65(1), p. 22-33.
29. Williams J. D., and Wuest S. B. 2011. Tillage and no-tillage conservation effectiveness in the intermediate precipitation zone of the inland Pacific Northwest, United States // Journal of Soil and Water Conservation. 66(4), p. 242-249.

SKIRTINGO INTENSYVUMO ŽEMĖS ŪKIO SISTEMŲ ĮTAKA DIRVOŽEMIO FIZIKINĖMS SAVYBĖMS IR FOSFORO IŠPLOVIMUI

Santrauka

Būdingas šiuolaikinės žemdirbystės bruožų – perėjimas nuo intensyvių technologijų prie aplinką, dirvą ir išteklius tausojančių gamybos būdų. Todėl nustatant žemės dirbimo įtaką drenažo nuotėkiui ir jo kokybei, tyrimams buvo pasirinktas drenažu nusausintas eksperimentinis ariamos žemės laukas Vidurio Lietuvos žemumoje. Tradicinio bei vėlyvo žemės dirbimo laukuose dirvožemio tankis buvo atitinkamai 1.21 ir 1.23 g cm⁻³. Laukuose, kuriuose taikomas supaprastintas žemės dirbimas, dirvožemio tankis padidėja 2.4 – 4 % (vidutiniškai iki 1.26 g cm⁻³) lyginant su tradicinio bei vėlyvo žemės dirbimo laukų dirvožemio tankiu. Tradicinio žemės dirbimo laukų poringumas siekė 55 %, o vėlyvo žemės dirbimo – 54 %, t. y. 1 % mažesnis nei tradicinio žemės dirbimo laukų. Mažiausias (52 %) dirvožemio poringumas buvo laukų, kuriuose vykdomas supaprastintas žemės dirbimas (3 % mažesnis nei tradicinio žemės dirbimo laukų). Gilesnių (20-40 cm) dirvožemio sluoksnių poringumas siekė 44 % taikant tradicinį žemės dirbimą, t. y. atitinkamai 1 ir 5 % didesnis lyginant su supaprastinto ir vėlyvo žemės dirbimais. Pavasarį išplaunamo bendro fosforo kiekiai iš tradicinio ir supaprastinto žemės dirbimų buvo vienodi ir siekė 0.012 kg ha⁻¹. Taikant vėlyvą žemės dirbimą minėto junginio išplovos kiekis sumažėja 8 % ir siekia 0.011 kg ha⁻¹. Vasarą bendro fosforo didesni kiekiai išplaunami iš supaprastinto žemės dirbimo laukų (vidutiniškai 0.083 kg ha⁻¹). Taikant tradicinį dirbimą bendro fosforo išplova sumažėja 18 % (vidutiniškai iki 0.068 kg ha⁻¹). Mažiausi bendro fosforo kiekiai išplaunami iš laukų, kuriuose buvo taikomas vėlyvas žemės dirbimas (vidutiniškai iki 0.056 kg ha⁻¹). Rudenį išplovos dydis sudarė 0.023 kg ha⁻¹ taikant supaprastintą žemės dirbimą, o taikant tradicinį ir vėlyvą žemės dirbimus atitinkamai 0.016 kg ha⁻¹ bei 0.013 kg ha⁻¹. Žiemą išplaunamo bendro fosforo kiekiu išsiskiria tradicinio žemės dirbimo laukai. Drenažu išplaunamo bendro fosforo kiekis vidutiniškai siekė 0.014 kg ha⁻¹, t. y. 21 % daugiau negu vėlyvo žemės dirbimo lauke ir 7 % daugiau nei supaprastinto žemės dirbimo lauke.

Raktiniai žodžiai: žemės dirbimas, dirvožemio tankis, poringumas, drenažo nuotėkis, bendras fosforas

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Petras Milius

Science degree and name: Doctor, Associated Professor

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Associate Professor of Aircraft Mechanism Technical Maintenance Study Program Committee

Author's research interests: agroecology, pond monitoring, deformations and damages of building structures

Telephone and e-mail address: +370 61149432, petras.milius@edu.ktk.lt

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Petras Milius.

Mokslo laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.

Darbo vieta ir pozicija: VšĮ Kauno technikos kolegijos, orlaivių mechanizmų techninio eksploatavimo studijų programos komiteto docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: agroekologija, tvenkinių monitoringas, hidrotechnikos statinių deformacijos ir pažaidos.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 61149432, petras.milius@edu.ktk.lt

MARIJAMPOLĖS APSKRITYJE ESANČIŲ HIDROMAZGŲ ATRAMINIŲ SIENŲ TEMPERATŪRINIŲ-DEFORMACINIŲ SIŪLIŲ BŪKLĖS VERTINIMAS

Raimondas Šadzevičius, Dainius Ramukevičius, Regina Motienė, Birutė Požėrienė
Kauno technikos kolegija

Anotacija

Įvairiais laikotarpiais Lietuvoje pastatyta nemažai hidrotechnikos statinių. Jais buvo reguliuojama upių tėkmė, gaminama elektros energija, sukauptas vanduo tvenkiniuose naudojamas žemės ūkyje (laukų laistymui, žuvininkystėje). Pastatytų statinių amžius siekia 50 metų ir daugiau. Tokie statiniai statomi su ilgalaike perspektyva, todėl juos būtina reguliariai stebėti ir atskirais atvejais atlikti reikiamus konstrukcijų ir elementų tyrimus.

Veikiant aplinkos poveikiams, grunto, vandens bei ledo apkrovoms, hidrotechnikos statinių atraminėse sienose atsiranda deformacijos, mažinančios jų laikomąją galią. Tyrimų metu įvertinta hidromazgų, esančių Marijampolės apskrityje, atraminių sienų temperatūrinių-deformacinių siūlių techninė būklė. Techninė būklė vertinta balais, taip kaip numatyta statinių techninę ir naudojimo priežiūros tvarką reglamentuojančiame statybos techniniame reglamente.

Straipsnyje pateikiama hidromazgų apžiūros metu fiksuotos atraminėse sienose esančių temperatūrinių-deformacinių siūlių pažaidos. Pagal atlikus analitinius skaičiavimus nustatyta plyšių atsivėrimo priklausomybė nuo aplinkos poveikių.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI. atraminės sienos, būklė, deformacinės siūlės.

Įvadas

Hidrotechnikos statiniai statomi su ilgalaike perspektyva, todėl juos būtina reguliariai stebėti ir atskirais atvejais atlikti reikiamus konstrukcijų ir elementų tyrimus. Lietuvoje statinių techninę ir naudojimo priežiūros tvarką reglamentuoja statybos techninis reglamentas STR 1.07.03:2017. Hidrotechnikos statinio, kaip ir bet kurio kito statinio, priežiūra prasideda po jo statybos užbaigimo ir tęsiasi iki statinio naudojimo pabaigos arba, kol statinys pradedamas griauti. Statinius būtina prižiūrėti tam, kad būtų užtikrinta gera statinio būklė, taip kaip to reikalauja Statybos įstatymas bei techniniai dokumentai, kad per visą statinio eksploatavimo laiką maksimaliai sumažinti avarijų tikimybę.

Per hidrotechnikos statinio apžiūras tikrinama statinio techninė būklė, nustatomos deformacijos (lokalinės ir bendros), defektai, jų susidarymo kilmė ir galimos pasekmės statinio stabilumui ir patikimumui. Statinių apžiūros susideda iš nuolatinių (ne rečiau kaip kartą per mėnesį), kasmetinių (pavasarij ir rudeni), specializuotų (atliekama likus ne mažiau kaip trims mėnesiams iki garantinio laikotarpio pabaigos) ir neeilinių. Neeilinės apžiūros atliekamos keičiantis statinio naudotojui, po gamtinių įvykių, galinčių sukelti hidrotechnikos statinių pavojingas deformacijas, dėl kurių gali įvykti statinio avarija, kilti grėsmė aplinkai bei žmonių gyvybei. Neeilinės apžiūros metu apžiūrima pagrindiniai elementai, kurie galėjo būti pažeisti, arba visos hidrotechnikos statinys, taip pat atkreipiant dėmesį į temperatūrinių-deformacinių siūlių techninę būklę.

Darbo tikslas – įvertinti Marijampolės apskrityje esančių hidromazgų atraminių sienų temperatūrinių-deformacinių siūlių techninę būklę.

Darbo uždaviniai:

1. Įvertinti atraminių sienų būklę;
2. Nustatyti pagrindines atraminių sienų temperatūrinių-deformacinių siūlių pažaidas ir siūlių būklės atitikimą norminiams reikalavimams;
3. Analitiniais skaičiavimais įvertinti plyšių atsivėrimą atraminių sienų siūlėse įtakojančius veiksnius.

Literatūros analizė

Gelžbetonis yra patvari medžiaga, tačiau ilgai nei išvengti, tačiau ilgai nei išvengti dėl įvairių priežasčių konstrukcijose, pagamintose iš šios medžiagos, atsiranda pažaidos, bloginančios statinio eksploatacines savybes. Temperatūrų kaita, UV spinduliuotė, krituliai (sniegas, lietus), įvairių veiksnių sukeltos vibracijos, šarmų, rūgščių ir įvairių cheminių medžiagų poveikis gelžbetoninėse konstrukcijose sukelia deformacijas, kurios gali viršyti leistinas ribas (Liang et al, 2021, Šadzevičius et al, 2013). Siekiant išvengti neleistinų deformacijų ir konstrukcijų elementuose atsirandančių papildomų įrašų, įrengiamos deformacinės siūlės (Wang et al, 2020). Hidrotechnikos statinių atraminėse sienose įrengiamos deformacinės siūlės kartu su temperatūrinėmis siūlėmis (Different types of waterstop profiles, Ferdous et al, 2018). Temperatūrinių-deformacinių siūlių paskirtis – suskirstyti didelio ploto konstrukcijas į mažiau įtemptus plotus, taip kontroliuojant ir numatant galimas trūkių vietas. Projektuojant temperatūrines-deformacines siūles konstrukcijose turi būti taikomi statybos techniniuose reglamentuose numatyti reikalavimai ir laikomasi bendrų projektinių sprendimų

(Different types of waterstop profiles, Ferdous et al, 2018, Oskouie et al, 2016): sandariklio medžiaga turi būti glaudžiai prigludusi prie betono ir įtempiai tarp sandariklio medžiagos ir betono turi būti ne mažesni kaip hidrostatinis vandens slėgis.

Tačiau bėgant laikui ir senėjant medžiagoms keičiasi sandariklio medžiagų struktūra (Savalle et al, 2020). Pakitę temperatūrinių-deformacinių siūlių sandarikliai ir atsiradusios sienose deformacijos neišlaiko pirminio sandarumo ir atsiradę plyšiai sudaro specifinę geofiltraciją (Ramonas, 2003). Taip pat plyšių atsiradimas mažina elementų patikimumą, pastovumą, skatina armatūros koroziją, o tuo pačiu mažina ir konstrukcijų laikomąją galią (Haefliger, Kaufmann, 2023). Šiame darbe pagrindinis dėmesys skiriamas hidrotechnikos statinių atraminių sienų temperatūrinių-deformacinių siūlių techninės būklės įvertinimui.

Darbo metodika

Tyrimų objektai parinkti remiantis ilgalaikiais hidrotechnikos statinių stebėjimais. 2016-2020 metais buvo stebėti 8 hidromazgai (1 lentelė), esantys Marijampolės apskrityje. Pagal statybos techninį reglamentą STR 2.02.06:2004 pasirinkti hidromazgai priklauso CC1 pasekmių klasei.

1 lentelė

Duomenys apie hidrotechnikos statinius

Nr.	Hidromazgo pavadinimas	Statybos metai
1	Valiulių	1988
2	Virbalio	1986
3	Sintautų	1985
4	Ritinių	1983
5	Karklinių	1982
6	Miknaičių	1975
7	Lukšių	1970
8	Kuniškių	1969

Šaltinis: sudaryta autorių

Atraminių sienų konstrukcijų būklei ir temperatūrinių-deformacinių siūlių pažaidoms nustatyti naudoti natūriniai ir analitiniai metodai:

- vizualinis ir instrumentinis metodas;
- neardantis metodas betono stipriui nustatyti pagal LST EN 12504-2:2012 metodiką.

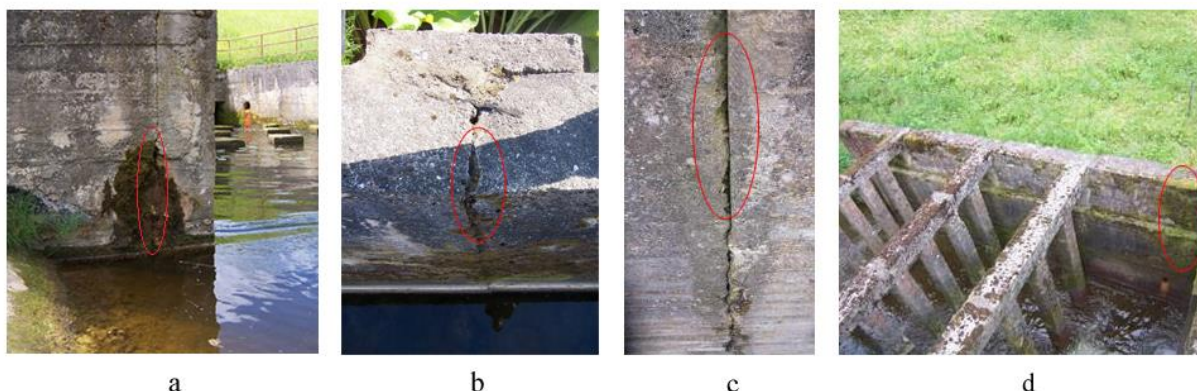
Atraminių sienų techninė būklė vertinta pagal statybos techninio reglamento STR 1.07.03:2017 nuostatas.

Neardančiuoju būdu nustatytas atraminių sienų betono gniuždomasis stipris šalia temperatūrinių-deformacinių siūlių. Naudojantis Šmidto plaktuko taravimo kreive nustatytas betono gniuždomasis stipris. Betono tyrimo rezultatų gautų verčių išsibarstymas nustatomas naudojantis statistiniais rodikliais: dispersija; vidutiniu kvadratinu nuokrypiu ir variacijos koeficientu apskaičiuoti standartinėmis formulėmis (LST EN 12504-2:2012). Atliekant tyrimus neardančiuoju metodu Šmidto plaktuku, gautos reikšmės nėra patikimos ir matavimų paklaida gali siekti 15 proc. Matavimų paklaidas nulemia daugelis veiksnių: betono amžius bei jo paruošimas matavimams; bandinio padėtis erdvėje; betono drėgnumas; konstrukcijos matmenys (Jokūbaitis, 2007).

Analitiniams skaičiavimams atlikti panaudoti natūrinių tyrimų (Černevičius, 2015) metu gauti rezultatai. Siekiant nustatyti ryšį tarp temperatūrinių-deformacinių siūlių plyšių atsivėrimo ir atraminės sienos storio, aukščio bei betono gniuždomojo stiprio, naudotas dvinarės koreliacijos metodas. Parametrų ryšiams nustatyti taikyta, tiesinė, kvadratinė, rodiklinė regresijos lygtys.

Rezultatai ir jų aptarimas

Siekiant įvertinti atraminių sienų temperatūrinių-deformacinių siūlių techninę būklę 8 hidromazguose, tyrimų metu fiksuotos deformacijos bei pažaidos. Vizualinės apžiūros metu nustatytos pažastos vietos, įtrūkimai. Išmatuoti atraminių sienų matmenys, posvyriai. Siūlės bei plyšiai fiksuoti fotoaparatu. Atlikti plyšių matavimai siūlėse. Tyrimų metu užfiksuotos dažniausiai nustatytos pažaidos atraminių sienų temperatūrinėse-deformacinėse siūlėse patektos 1 paveiksle.



1 pav. Hidromazgo atraminės sienos temperatūrinių-deformacinių siūlių pažaidos: a – vandens filtracija, b – plyšių atsivėrimai, c – betono ištrupėjimas, d – biokorozija

Šaltinis: sudaryta autorių

Neardančiuoju būdu nustatytas 8 hidromazgų atraminių sienų betono gniuždomasis stipris, išmatuotas atraminių sienų aukštis, storis, plyšių atsivėrimai, posvyris. Apskaičiuotas vidutinis gniuždomasis stipris, variacijos koeficientas ir kvadratinis nuokrypis. Pagal STR 1.07.03:2017 įvertinta ištekejimo dalies būklė balais. Gauti duomenys ir rezultatai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė

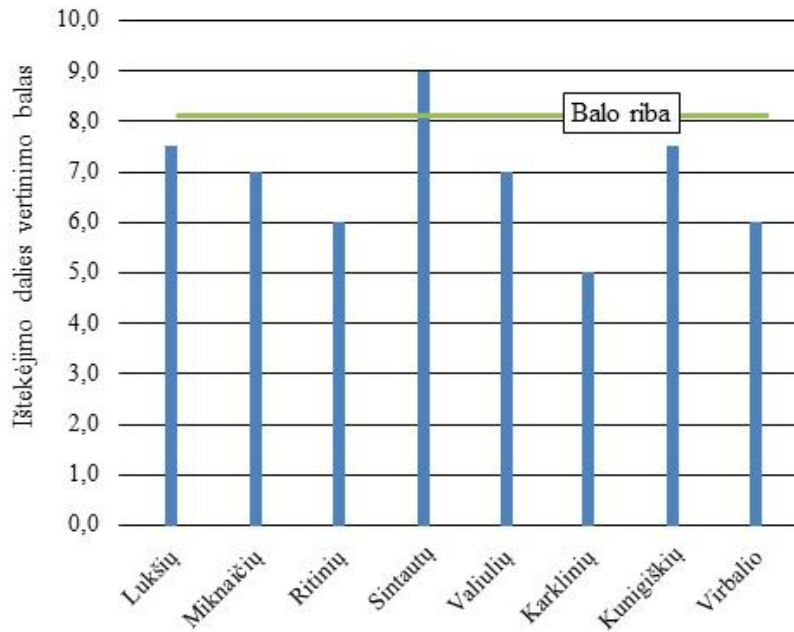
Duomenys apie hidrotechnikos statinių statybos ir tyrimo metus

Nr.	Hidromazgo pavadinimas	AS aukštis, m	AS storis, cm	Atsivėrę plyšiai, mm	Sienos posvyriai, cm,	Garantuotas gniuždomasis stipris f_{ct} Mpa	Variacijos koef.	Betono klasė	Ištekejimo dalies vertinimo balas
1	Valiulių	7	32	0	2,5	20,30	20,86	C16/20	3,5
2	Virbalio	2,5	30	0	0	20,97	23,14	C16/20	2,0
3	Sintautų	2,9	25	130	13	12,49	28,75	C6/7,5	9,0
4	Ritinių	2	32	0	0	12,90	21,48	C6/7,5	1,5
5	Karklinių	3	32	5	1,5	20,14	20,55	C16/20	4,0
6	Miknaičių	3	30	0	0	12,16	23,91	C6/7,5	2,0
7	Lukšių	2,5	30	5	0	5,55	35,22	-	6,0
8	Kunigiškių	2,2	30	2	0	8,98	34,37	C6/7,5	5,0

Šaltinis: sudaryta autorių

Remiantis atliktų matavimų rezultatais (2 lentelė) ir STR 1.03.01:2016 nurodytais avarinės būklės požymiais nustatyta, kad Sintautų hidromazgo atraminės sienos posvyriai (13,0 cm) viršija ribinius (5,8 cm) ir atraminės sienos yra avarinės būklės.

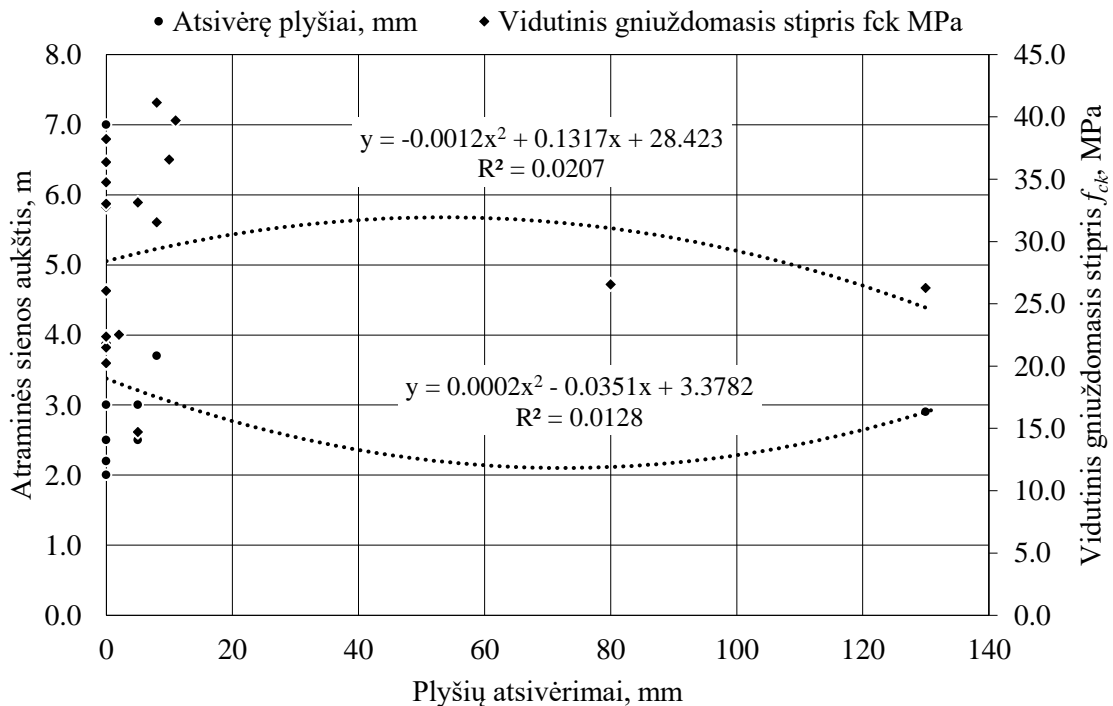
Naudojantis STR 1.07.03:2017 pateikta būklės vertinimo metodika, įvertinta hidromazgų ištekejimo dalies būklė balais. Pagal gautus rezultatus (2 lentelė) geriausia ištekejimo dalies techninės būklė yra Ritinių hidromazge. Blogiausia ištekejimo dalies techninė būklė yra Sintautų hidromazge (2 pav.).



2 pav. Hidromazgų PVP ištekėjimo dalies techninės būklės vertinimas
Šaltinis: sudaryta autorių

Iš 2 paveiksle pateiktų rezultatų matyti, kad Sintautų hidromazgo PVP ištekėjimo dalies techninės būklės vertinimo balas viršija 8,1 balo ribą, kurią nulėmė viršyti ribiniai atraminių sienų posvyriai, todėl būklė yra labai bloga ir galima viso statinio griūtis dėl didelių elemento defektų. Tokios būklės hidromazgo defektai ir pažaidos žymiai sumažina hidromazgų patikimumą bei pastovumą, todėl, siekiant pagerinti hidromazgo būklę, būtina atlikti rekonstravimo darbus.

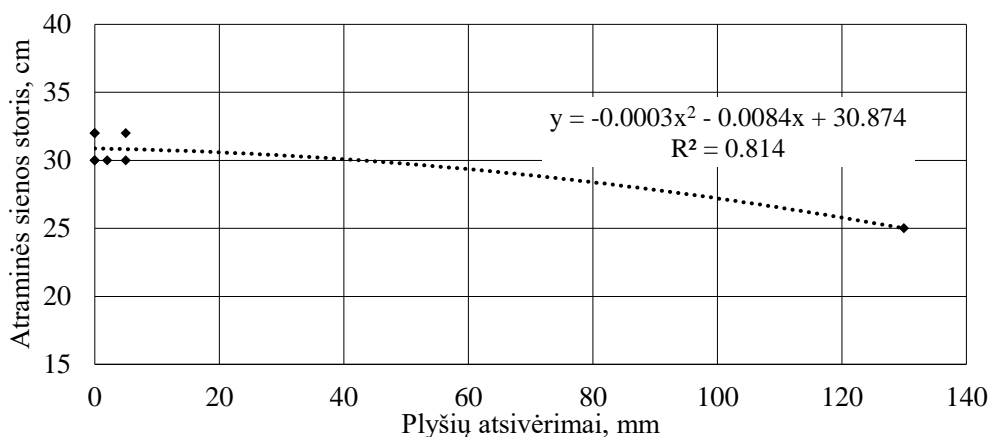
Pagal 2 lentelėje gautus rezultatus – sienos aukštį, plyšių atsivėrimus, posvyrius bei gniuždomąjį betono stiprį, nustatytos plyšių atsivėrimo priklausomybės nuo sienos aukščio ir gniuždomojo stiprio (3 pav.).



3 pav. Atraminių sienų plyšio atsivėrimo priklausomybė nuo atraminės sienos aukščio bei gniuždomojo stiprio
Šaltinis: sudaryta autorių

Pagal gautus duomenis nustatyta, kad priklausomybė tarp atraminės sienos aukščio ir temperatūrinių- deformacinių siūlių plyšių atsivėrimų stipriausia naudojant antro laipsnio polinominę lygtį. Determinacijos koeficientas $R = 0,0207$ ir galima teigti, kad ryšio tarp nagrinėjamų parametru nėra. Plyšių atsivėrimų priklausomybę atraminių sienų temperatūrinėse-deformacinėse siūlėse nuo gniuždomojo betono stiprio geriausiai charakterizuoja antro laipsnio polinominė lygtis, tačiau determinacijos koeficientas $R = 0.0128$, todėl galima teigti, kad priklausomybės duotiems parametrams nėra. Plyšių atsivėrimų priklausomybės nuo atraminės sienos aukščio ir betono gniuždomojo stiprio yra labai silpnos, todėl galima teigti, kad plyšio atsivėrimai temperatūrinėse deformacinėse siūlėse priklauso nuo kitų parametru, tai galėtų būti atraminės sienos storis, posvyris ir kt.

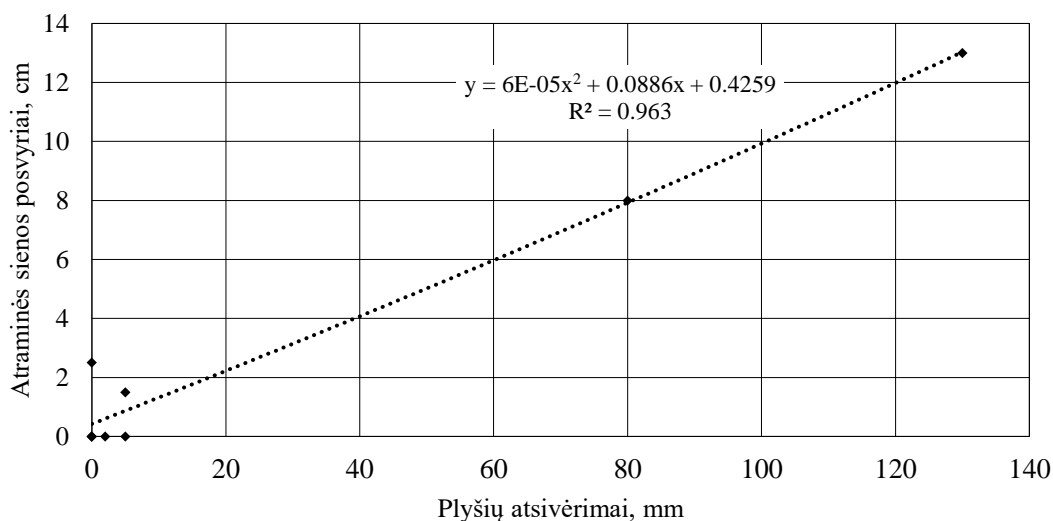
Siekiant įvertinti, koks ryšys tarp hidromazgų atraminių sienų temperatūrinių-deformacinių siūlių plyšių atsivėrimo dydžio ir sienos storio, sudaryta grafinė priklausomybė. Pagal artimiausią vienetai determinacijos koeficientą, nustatyta, kad stipriausias ryšys nustatytas naudojant polinominės priklausomybės lygtį. Determinacijos koeficientas $R^2 = 0,814$, todėl galima teigti, kad nagrinėti požymiai (atraminės sienos storis) 81,4 proc. turi įtakos atraminių sienų temperatūrinių-deformacinių siūlių plyšių atsivėrimams (4 pav.).



4 pav. Priklausomybė tarp temperatūrinėse-deformacinėse siūlėse esančių plyšių ir atraminių sienų storio

Šaltinis: sudaryta autorių

Natūrinių tyrimų metu pastebėta, kad fiksuoti didžiausi plyšių atsivėrimai yra pasvirusiose atraminėse sienose, dėl to, siekiant nustatyti šių parametru ryšį, sudaryta plyšių atsivėrimo priklausomybė nuo atraminės sienos posvyrio (5 pav.)



5 pav. Priklausomybė tarp temperatūrinėse-deformacinėse siūlėse esančių plyšių ir atraminių sienų posvyrio

Šaltinis: sudaryta autorių

Pagal artimiausią vienetui determinacijos koeficientą, nustatyta, kad ryšys stipriausias naudojant polinominės priklausomybės lygtį. Determinacijos koeficientas $R^2 = 0,963$ ir nagrinėti požymiai (atraminės sienos posvyris) 96,3 proc. turi įtakos atraminėse sienose esančių temperatūrinių-deformacinių siūlių plyšių atsivėrimams.

Išvados

1. Natūriniais tyrinėjimais nustatyta, kad Ritinių hidromazgo atraminės sienos techninė būklė yra geriausia (1,5 balo), o blogiausia – Sintautų hidromazgo (9,0 balai).
2. Tirtuose hidromazguose nustatyta 16 temperatūrinių-deformacinių siūlių. Hidrozoliaciniai deformaciniai profiliai sudaro 28 proc. tirtų siūlių. Pagrindinės atraminių sienų temperatūrinių-deformacinių siūlių pažeidimo yra betono nutrupėjimai, biokorozija, nesandarumai pasireiškiantys vandens filtracija.
3. Natūriniais tyrinėjimais nustatyta, kad 9 proc. tirtų siūlių neatitinka keliamų reikalavimų dėl neleistinų plyšių atsivėrimų. Didžiausi plyšių atsivėrimai fiksuoti siūlėse be hidrozoliacinio tarpiklio.
4. Analitiniais skaičiavimais įvertinta, kad plyšių atsivėrimą atraminių sienų siūlėse labai įtakoja atraminių sienų posvyriai.

Literatūra

1. Černevičius, J. 2015. Hidromazgų atraminių sienų temperatūrinių- deformacinių siūlių būklės tyrimai. Magistro baigiamasis darbas. Kaunas-Akademija. 51 p.
2. Different types of waterstop profiles. [žiūrėta 2023–05–09]. Prieiga per internetą: <http://www.jointwaterstop.com/product/waterstop-profile.html>
3. Ferdous, W., Bai, Y., Almutairi, A. D., Satasivam, S., & Jeske, J. 2018. Modular assembly of water-retaining walls using GFRP hollow profiles: Components and connection performance. *Composite Structures*, 194, 1-11.
4. Haefliger, S., Kaufmann, W. 2023. Load-deformation behavior of locally corroded reinforced concrete retaining wall segments: Experimental results. *Structural Concrete*, 24(1), 288-317.
5. Jokūbaitis, V. 2007. Statinių gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų techninės būklės tyrimai ir vertinimas. Mokomoji knyga. Vilnius.
6. Liang, Y., Long, W., Su, P., Yang, F. 2021. Causes and treatment measures for deformation of retaining soil and slope. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-13.
7. LST EN 12504-2:2012. Betono bandymas konstrukcijose. 2 dalis. Neardomieji bandymai. Atšokimo rodiklio nustatymas. Lietuvos standartizacijos departamentas. Vilnius, 2012.
8. Nathanaël, S., Éric, V., Hans, S. 2020. Correction to: Experimental and numerical studies on scaled-down dry-joint retaining walls: Pseudo-static approach to quantify the resistance of a dry-joint brick retaining wall. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(2), 607-608.
9. Oskouie, P., Becerik-Gerber, B., Soibelman, L. 2016. Automated measurement of highway retaining wall displacements using terrestrial laser scanners. *Automation in Construction*, 65, 86-101.
10. Ramonas, Č. 2003. Geofiltracija ties laidžiomis hidrotechnikos statinių atraminių sienų siūlėmis. Lietuvos žemės ūkio universiteto Vandens ūkio mokslo darbai. Kaunas, p. 23-26.
11. Savalle, N., Vincens, É., Hans, S. 2020. Experimental and numerical studies on scaled-down dry-joint retaining walls: Pseudo-static approach to quantify the resistance of a dry-joint brick retaining wall. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18, 581-606.
12. STR 1.03.01:2016 „Statybiniai tyrimai. Statinio avarija“. Vilnius, 2016.
13. STR 1.07.03:2017 „Statinių techninės ir naudojimo priežiūros tvarka. Naujų nekilnojamojo turto kadastro objektų formavimo tvarka“. Vilnius, 2017.
14. STR 2.02.06:2004 „Hidrotechnikos statiniai. Pagrindinės nuostatos“. Vilnius, 2004.
15. Šadzevičius, R., Sankauskienė, T., Mikuckis, F. 2013. Limit Deformations of Retaining Walls in Lithuanian Hydro-schemes. In *Proc. of 4th International Conference Civil Engineering* (pp. 336-340).
16. Wang, K., Li, Z., Xu, X., Shi, L., Zhang, F. 2020. The Influence of Complex Subway Station Construction on High Retaining Walls and Appropriate Countermeasures. *Advances in Civil Engineering*.

TECHNICAL STATE OF THE TEMPERATURE-DEFORMATION JOINTS OF RETAINING WALLS IN MARIJAMPOLE COUNTY HYDROSCHEMES

Summary

A number of hydraulic structures were built in Lithuania in different periods. They regulated the flow of rivers, produced electricity, and used the accumulated water in ponds for agriculture -irrigating fields, fishing. The age of the constructed structures reaches 50 years and more. Such structures are built with a long-term perspective, so it is necessary to regularly monitor them and, in individual cases, carry out the necessary studies about technical state of structures and elements.

Under the influence of environmental impacts: soil, water and ice loads, deformations occur in the retaining walls of hydraulic structures, reducing their bearing capacity. The technical state of the temperature-deformation joints of the retaining walls in Marijampolė county hydroschemes was evaluated during the research. The technical state was evaluated in points, as provided in the construction technical regulation regulating the technical and use maintenance procedure of buildings.

The article presents the damage of the temperature-deformation joints in the retaining walls fixed during the inspection of hydroschemes. The dependence of the crack opening under the environmental effects was determined according to the analytical calculations.

Key words: Retaining walls, technical state, temperature-deformation joints

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Raimondas Šadzevičius.

Mokslų laipsnis ir vardas: daktaras, docentas.

Darbo vieta ir pozicija: Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, statybos inžinerijos studijų programos docentas.

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

Telefonas ir el. pašto adresas: +37060097176, raimondas.sadzevicius@edu.ktk.lt.

Autoriaus vardas, pavardė: Dainius Ramukevičius.

Mokslų laipsnis ir vardas: magistras.

Darbo vietą ir poziciją: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, statybos inžinerijos studijų programos lektorius.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: vietinės statybinės medžiagos, statinių konstrukcijos.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 69995740, dainius.ramukevicius@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Regina Motienė.

Mokslų laipsnis ir vardas: magistras.

Darbo vietą ir poziciją: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, kelių inžinerijos studijų programos lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: socialinių mokslų tyrimai, apskaita ir finansai.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 699 44575, regina.motiene@edu.ktk.lt

Autoriaus vardas, pavardė: Birutė Požerienė.

Mokslų laipsnis ir vardas: magistras.

Darbo vietą ir poziciją: VšĮ Kauno technikos kolegijos, Inžinerijos mokslų fakulteto, statybos inžinerijos studijų programos lektorė.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: inžinerinė grafika.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 65253211, birute.pozeriene@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Raimondas Šadzevičius.

Science degree and name: Doctor, Associated Professor.

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

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

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

Author name, surname: Dainius Ramukevičius.

Science degree and name: Master's degree.

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

Author's research interests: building materials and constructions.

Telephone and e-mail address: +3709995740, dainius.ramukevicius@edu.ktk.lt

Author name, surname: Regina Motienė.

Science degree and name: Master's degree.

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, Faculty of Engineering Sciences, lecturer of Road Engineering Study Program Committee.

Author's research interests: social sciences research, accounting and finance.

Telephone and e-mail address: +370 699 44575, regina.motiene@edu.ktk.lt

Author name, surname: Birutė Požerienė.

Science degree and name: Master's degree.

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

Author's research interests: engineering graphics.

Telephone and e-mail address: +370 65253211, birute.pozeriene@edu.ktk.lt

SKAITMENINIO PARAŠO VIZUALIZAVIMO TAIKYMAS MOKYMO PROCESĖ

Petras Nefas

Kauno technikos kolegija

Anotacija

Skaitmeninis parašas yra svarbi kriptografinio saugumo dalis. Tai yra elektroninis variantas įprasto ranka rašyto parašo, kuris naudojamas tikrinti asmenų tapatybę ir autentiškumą interneto erdvėje. Tačiau skaitmeninio parašo supratimas gali būti sunkus, ypač jei vartotojai yra nauji šioje srityje.

Šiame straipsnyje nagrinėjama, kaip skaitmeninio parašo vizualizacija gali padėti suprasti šį kriptografinį procesą. Aptariama, kaip vizualizacija gali būti naudinga mokymo procese ir kaip tai gali būti naudinga kriptografijos ir programavimo mokymui. Pateikiama skaitmeninio parašo realizacijos pavyzdžių, kurie gali padėti studentams ar mokiniams geriau suprasti kriptografinius procesus.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI: maišos funkcija, RSA, asimetrinė kriptografija, edukacija, Java, programavimas.

Įvadas

Šiame straipsnyje nagrinėjama, kaip skaitmeninio parašo vizualizacija gali padėti suprasti kriptografinį procesą. Skaitmeninis parašas yra svarbus ir nepakeičiamas elektroninės autentifikacijos įrankis, kurio pagrindinis tikslas yra užtikrinti asmenų tapatybę ir autentiškumą interneto erdvėje, taip pat padėti išvengti klastojimo ir sukčiavimo. Tačiau daugeliui vartotojų skaitmeninio parašo veikimo principų supratimas gali būti komplikotas, ypač jei jie yra nauji šioje srityje.

Šio straipsnio tikslas yra sukurti skaitmeninio parašo vizualizacijos modelį, kuris padėtų vartotojams suprasti, kaip skaitmeninis parašas veikia ir kokia yra jo svarba. Norint pasiekti šį tikslą, šiame straipsnyje bus nagrinėjami šie uždaviniai:

1. Išnagrinėti skaitmeninio parašo kriptografinius primityvus – maišos funkcijas ir asimetrinę kriptografiją.
2. Sukurti skaitmeninio parašo vizualizavimo koncepciją, kuri būtų aiški ir suprantama vartotojams.
3. Realizuoti maišos funkcijų ir šifravimo ir dešifravimo spalvomis algoritmus, kurie būtų įtraukti į sukurtą vizualizacijos modelį.
4. Sukurti skaitmeninio parašo vizualizavimo modelio realizaciją Java kalba.
5. Ištirti, kaip sukurtas skaitmeninio parašo vizualizacijos modelis gali padėti mokymosi procesui, padedant studentams ar mokiniams geriau suprasti kriptografinius procesus.

Šio darbo objektas yra skaitmeninis parašas ir jo kriptografiniai primityvai – maišos funkcijos ir asimetrinė kriptografija. Pagrindinis metodas naudojamas šiame straipsnyje yra vizualizacija, kuri padeda vartotojams lengviau suprasti, kaip skaitmeninis parašas veikia ir kokia yra jo svarba. Vizualizacijos modelyje yra įgyvendinami maišos funkcijų ir šifravimo ir dešifravimo spalvomis algoritmai, kurie parodomi kaip teksto svėrimo procesas ir kaip teksto maskavimas 2D figūromis, nudažytomis slapta ir vieša spalva.

Pagal gautus darbo rezultatus, galima teigti, kad sukurtas skaitmeninio parašo vizualizavimo modelis gali būti naudingas mokymo procese, kadangi tai gali padėti mokiniams ar studentams lengviau suvokti skaitmeninio parašo kriptografinius procesus.

Vizualizavimo svarba mokymo procese

Vizualizacija yra svarbi priemonė mokymo procese, nes padeda besimokantiems geriau suprasti sudėtingus koncepcijas ir procesus. Ši priemonė taip pat padeda paversti abstrakčias idėjas konkrečiomis ir palengvina studentams suvokti ir įsiminti mokomąją medžiagą[1]. Vizualizacija taip pat gali būti naudinga kriptografijos mokymo procese, nes kriptografijos procesai dažnai yra abstraktūs ir sunkiai suprantami.

Vizualizacija padeda aiškiau suprasti abstrakčius kriptografinius procesus, nes vizualiniai vaizdai gali padėti studentams suvokti, kaip skirtingi kriptografijos metodai veikia ir kaip jie yra naudojami. Pavyzdžiui, diagrama, kurioje pateikiamas viešo ir privataus rakto derinys, gali padėti studentams suprasti, kaip šie raktai yra susieti ir kaip jie veikia kartu, kad būtų užtikrintas skaitmeninio parašo autentiškumas. Įdomus ir efektyvus pavyzdys yra vizualizacija, parodanti kaip RSA algoritmas naudoja matematikos teoremas, kad sukurtų viešo ir privataus rakto derinį. Ši vizualizacija gali padėti studentams suprasti kaip RSA algoritmas veikia ir kaip jis užtikrina skaitmeninio parašo autentiškumą.

Be to, vizualizacija taip pat gali būti naudinga suprantant kriptografijos saugumo reikalavimus ir problemas. Pavyzdžiui, vizualinė priemonė, parodydama kaip lengva gali būti atkurti slaptas raktas, jei naudojamas per mažas raktų ilgis, gali būti naudinga, kad studentai suvoktų, kodėl ilgesnis raktas yra saugesnis.

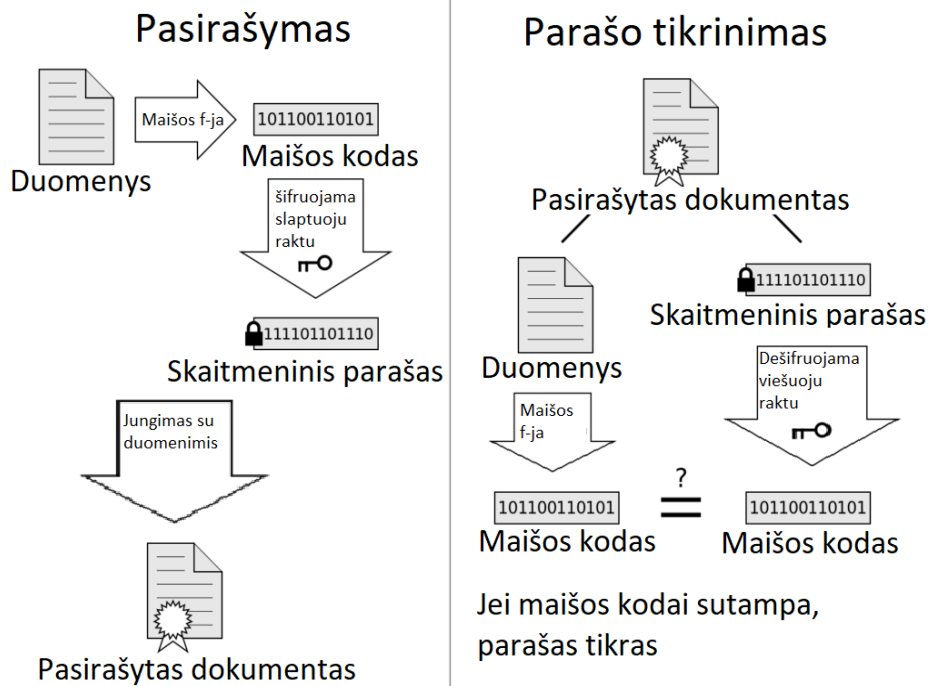
Galų gale, vizualizacija yra labai svarbi mokymo procese, nes padeda studentams įsiminti mokomąją medžiagą. Skaitmeninio parašo kriptografijos mokymas gali būti sunkus ir daug pastangų reikalaujantis, todėl vizualizacija yra puiki priemonė, kad studentai galėtų lengviau suprasti, kaip kriptografiniai algoritmai veikia ir kaip jie užtikrina skaitmeninio parašo autentiškumą

Skaitmeninis parašas ir jo taikymas

Skaitmeninis parašas yra vienas iš būdų, kaip užtikrinti dokumentų ir pranešimų autentiškumą. Skaitmeninis parašas yra elektroninis parašas, kuris naudojamas patvirtinti dokumentų autentiškumą ir apibrėžti jų kilmę. Skaitmeninio parašo kriptografijos taikymai yra platus, įskaitant elektroninę bankininkystę, elektroninio parašų keitimo, elektroninių dokumentų pasirašymo, elektroninio balsavimo ir kitų sričių[2].

Skaitmeninio parašo kriptografijos taikymas apima viešo ir privataus raktų derinį, kuris užtikrina skaitmeninio parašo autentiškumą ir apibrėžia jo kilmę. Skaitmeninio parašo kūrėjo asmenybė yra patvirtinama naudojant viešąjį raktą, o patvirtinimas arba teisėtumas patikrinamas naudojant privatų raktą. Tai leidžia pasiekti didelę saugumo lygį, nes skaitmeninis parašas yra nepakeičiamas ir negali būti suklastotas.

Vienas iš pavyzdžių, kaip naudojamas skaitmeninis parašas yra elektroninės bankininkystės atvejis. Elektroninės bankininkystės sistemos leidžia vartotojams atlikti bankinius pavedimus tiesiogiai per internetą. Norint patvirtinti bankinio pavedimo autentiškumą, būtina naudoti skaitmeninį parašą. Vartotojas, norintis pasirašyti pavedimą, naudoja savo privatų raktą, o viešasis raktas naudojamas patikrinti parašo autentiškumą.



1 pav. Skaitmeninio parašo realizavimo schema
Šaltinis: sudaryta autoriaus

Skaitmeninis parašas gali būti realizuojamas dviem kriptografiniais primityvais: maišos funkcija ir šifravimas /dešifravimas asimetrine kriptografija(1pav.).

Maišos funkcija

Maišos funkcija yra kriptografinis primityvas, kuris yra naudojamas tam, kad būtų galima patikrinti, ar duomenys yra buvę keičiami. Maišos funkcija yra algoritmas, kuris atlieka tekstinių duomenų sumažinimą iki tam tikro fiksuoto dydžio, kuris vadinamas maišos reikšme. Tai yra vienkryptis procesas, tai reiškia, kad iš maišos reikšmės negalima atkurti pradinių duomenų.

Maišos funkcija turi turėti kelias savybes, kad būtų laikoma saugia[3]. Pavyzdžiui, maišos funkcijos turėtų būti deterministinė, tai reiškia, kad su tais pačiais pradiniais duomenimis maišos funkcija visada turėtų grąžinti tą pačią maišos reikšmę. Be to, tai turėtų būti greitas algoritmas, kad jis galėtų apdoroti didelius duomenų kiekius per trumpą laiką.

Taip pat yra svarbu, kad maišos funkcijos būtų neprognozuojamos ir atsparios kolizijoms. Tai reiškia, kad yra maža tikimybė, jog dviem skirtingiems pradiniam duomenims būtų sugeneruota ta pati maišos reikšmė. Be to, maišos funkcija turi būti atspari tam tikriems atakų tipams, tokiems kaip preimage attack, kai bandoma atkurti pradinis duomenis iš maišos reikšmės.

Viena iš populiariausių maišos funkcijų yra SHA (Secure Hash Algorithm) [6]. Pavyzdžiui, SHA-256 yra maišos funkcija, kuri sumaišo pradinis duomenis ir grąžina 256 bitų ilgio maišos reikšmę. Tai yra saugi ir efektyvi maišos funkcija, kuri dažnai naudojama saugumo sistemose.

Asimetrinė kriptografija

Asimetrinė kriptografija yra viena iš svarbiausių modernios kriptografijos šakų, kuri naudoja viešo ir slapto rakto poras užtikrinti duomenų saugumą. Asimetrinė kriptografija taikoma daugelyje skaitmeninės saugos srityje, tokiose kaip skaitmeniniai parašai, elektroninė bankininkystė, el. paštas ir kt. Pagrindinis asimetrinės kriptografijos principas yra tai, kad saugumas užtikrinamas naudojant dvi raktų poras - viešąjį raktą ir privatų raktą. Viešasis raktas yra prieinamas visiems ir jis naudojamas šifruoti pranešimus, o privatusis raktas yra naudojamas jau užšifruotų pranešimų dešifruoti.

Viena iš populiariausių asimetrinės kriptografijos algoritmų yra RSA (Rivest-Shamir-Adleman), kuris yra naudojamas šifruoti ir atšifruoti pranešimus bei sukurti skaitmeninius parašus. RSA algoritmas veikia pagal matematinius principus ir yra paremtas dviejų didelių pirminių skaičių, kurių daugyba yra naudojama generuoti viešąjį ir privačius raktus.

Be RSA, egzistuoja daug kitų asimetrinės kriptografijos algoritmų. Kai kurie iš jų yra [4]:

1. ElGamal - šis algoritmas, kaip ir RSA, naudoja matematinius sunkiai atvirkštinius algoritmus tam, kad būtų sudarytas skaitmeninis parašas. Tačiau šio algoritmo stiprybė yra ta, kad jis yra pritaikytas ne tik šifruoti, bet ir parašui. Skaitmeninio parašo generavimo procesas ElGamal algoritmu yra panašus į RSA algoritmo šifravimo procesą.

2. DSA - šis algoritmas buvo sukurtas specialiai skaitmeninių parašų generavimui. Jis pagrįstas sudėtinga matematika, panaudojant skaičių teorijos savybes. DSA yra labai efektyvus algoritmas, kai reikia generuoti skaitmeninius parašus.

3. ECDSA - šis algoritmas naudoja elipsės šifravimo principus, kurie yra labai populiarūs asimetrinės kriptografijos srityje. ECDSA yra labai efektyvus ir lengvai pritaikomas įvairioms platformoms.

4. EdDSA - šis algoritmas yra pagrįstas diskrečiųjų algebrinių sistemų teorija ir yra labai efektyvus skaitmeninių parašų generavimui.

Skaitmeninio parašo vizualizavimo koncepcija

Kaip ir realioje kriptografijoje mūsų vizualizacijos modelis realizuoja du kriptografinius elementus: maišos funkciją ir asimetrinę kriptografiją.

Maišos funkcija yra realizuojama imituoju teksto svėrimu, t.y. taikant tam tikrus svėrimo algoritmus teksto raidėms ir sumuojant visų raidžių svorius. Šis algoritmas yra paremtas raidžių pozicija tekste ir jų vietos abėcėlėje.

Konkrečiai, kiekviena raidė yra įvertinama pagal jos vietą abėcėlėje ir vietą tekste, naudojant sandaugą šių dviejų reikšmių. Visų raidžių svoris yra sumuojamas, o gautas skaičius yra apskaičiuojamas moduliui, kad būtų užtikrintas sveikųjų skaičių reikalavimas. Tad tekstinio pranešimo M svorį galima išreikšti šią išraiška:

$$f(M) = \left(\sum_{n=1}^k (a_n \cdot b_n) \right) \bmod 2^{32} - 1, \quad (1)$$

Kur - a_n raidės pozicija tekste, b_n raidės pozicija abėcėlėje, k raidžių skaičius tekste.

Tokios maišos funkcijos privalumas yra tai, kad yra paprasta bei lengvai suvokiama, tuo pačiu sugeneruotas maišos kodas yra unikalus ir neturi jokių tiesioginių ryšių su įvesties duomenimis. Pakeitus bent vieną teksto simbolį, maišos funkcijos reikšmė pasikeis. Tai reiškia, kad jį galima naudoti kaip patvirtinimą, kad duomenys nebuvo pakeisti arba kad yra autentiški. Maišos funkcijos taikymas skaitmeniniam parašui yra svarbus, nes jis užtikrina, kad parašas yra unikalus ir nebuvo klastojamas.

Asimetrinės kriptografijos vizualizavimas šiame modelyje realizuojamas spalvų panaudojimu, kaip analogija slaptam ir viešam raktui asimetrinėje kriptografijoje. Vartotojas sugeneruoja porą spalvų - vieną slaptą ir kitą viešą. Slapta spalva parenkama atsitiktinai, o vieša spalva yra sekantis skaičiavimo baigtinio žiedo slaptos spalvos elementas. Kadangi kompiuterinėje grafikoje spalvą galima išreikšti kaip 8 bitų RGB triadą, tad spalvų parinkimą galima išreikšti tokiomis išraiškėmis:

$$\begin{cases} R_s = \text{random}(255) \\ G_s = \text{random}(255) \\ B_s = \text{random}(255) \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} R_v = R_s^2 \bmod 251 \\ G_v = G_s^2 \bmod 251 \\ B_v = B_s^2 \bmod 251 \end{cases} \quad (3)$$

Čia $\{R_s G_s B_s\}$ slaptos spalvos triada, $\{R_v G_v B_v\}$ viešos spalvos triada. Parinktas skaičiavimas baigtiniame žiede, kurio dydis yra 251, todėl kad šis skaičius yra pirminis ir artimiausias 8 bitų maksimaliam skaičiui 255. Tokiu būdu nesunkiai galima išskaičiuoti viešą spalvą iš slaptos, tačiau apskaičiuoti slaptą iš viešos neįmanoma, kadangi skaičiavimai baigtiniame žiede yra vienkrypčiai[5]. Modelyje naudojamos 2D figūros uždažytos slapta ir vieša spalva. Taip pat modelyje yra realizuotas toks dviejų 2D figūrų sąveikos mechanizmas:

Tik slaptos spalvos figūra gali būti užvilкта ant viešos spalvos nudažytos figūros, o kitos figūros, kurios yra prisilietusios prie slaptos spalvos figūros yra perkeliomos į apačią. Taigi, prisilietusios figūros gali būti perkeltos atgal į pradinę poziciją.

Kai vartotojas nori užšifruoti pranešimą, jis naudoja tekstui viešą slaptą spalvą ir ją uždeda ant viešos spalvos nudažytos figūros. Pranešimas yra saugomas viešos spalvos figūroje ir jis tampa nematomas, nes raidžių spalva ir figūros spalva sutampa. Tik figūra su slaptą spalvą gali būti užvilкта ant viešos spalvos figūros, o kiti objektai, prie kurių prisilietė slaptos spalvos figūra, yra atstumiami į apačią. Jei užvelkame figūrą su slapta spalva, tai dėl šio mechanizmo figūra su slapta spalva yra sluoksnyje tarp viešos spalvos figūros ir teksto, tad tekstas tampa matomas.

Šis algoritmas užtikrina, kad kiti vartotojai negali pamatyti, kas yra užšifruota, kol neturi slaptos spalvos figūros. Tikslas yra apsaugoti slaptą informaciją nuo neautorizuoto prieigos. Spalvų naudojimas šifruojant dešifruojant yra lengvai suvokiamas ir akivaizdus.

Skaitmeninio parašo vizualizavimo programinis realizavimas

Mūsų sukurtas vizualizavimo modelis buvo realizuotas Java kalba panaudojant JavaFx technologija.

Programos fragmentas pavaizduotas 2 paveikslėlyje.

```

129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
System.out.println("pick"+s2);

if(s1.equals(s2)){
    c2.toFront();
    lb1.toFront();
} else{
    c2.toBack();
}

private Tooltip makeBubble(Tooltip tooltip) {
    tooltip.setStyle(
        "-fx-font-size: 16px; -fx-background-color: yellow; -fx-text-fill: red; -fx-shape: \"\" + SQUARE
    tooltip.setAnchorLocation(PopupWindow.AnchorLocation.WINDOW_BOTTOM_LEFT);
    tooltip.setShowDelay(Duration.millis(250));
    return tooltip;
}

private Color createPublicColor(Color secretColor){
    double red, green, blue;
    green = secretColor.getRed()+1/2;
    blue = secretColor.getGreen()/2;
    red = (secretColor.getBlue()+1)/2;

    Color color = Color.color(red, green, blue);

```

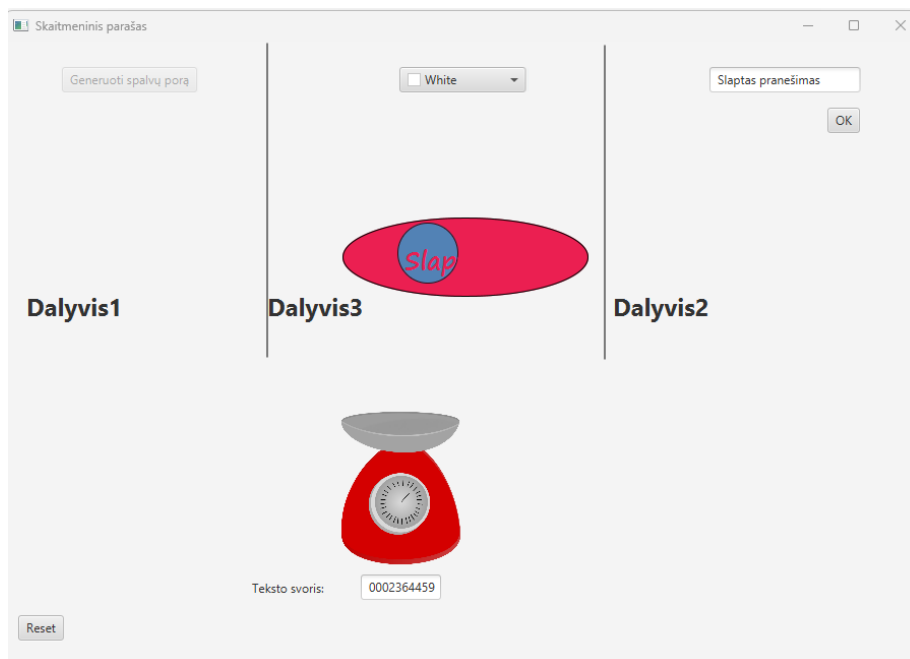
2 pav. Programos fragmentas

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Maišos funkcijos algoritmas:

1. Įvesti tekstą, kuriam norime sukurti maišos reikšmę.
2. Nuskaiciuoti kiekviena tekstą simbolį ir priskirti jam svorį pagal jo vietą abėcėlėje ir vietą tekste.
3. Sudėti visų simbolių svorius, kad gautume bendrą teksto svorį.
4. Suskaiciuoti teksto svorį moduliui tam tikros reikšmės, pavyzdžiui $2^{32}-1$, kad gauti fiksuotą dydį.

5. Gražinti maišos reikšmę.



3 pav. Teksto dešifravimo procedūra

Šaltinis: sudaryta autoriaus

Panaudojus vizualizaciją, šis algoritmas gali būti pavaizduotas kaip svarstyklės, kurios pateikia teksto svorį. Kiekviena raidė gali būti pavaizduota atskirame sveriamajame svarelyje ir ją sveria pagal jos poziciją tekste ir vietą abėcėlėje. Galiausiai, visos raidės svoriai yra sudedami ir gautas svoris yra vaizduojamas pagrindiniame svarstyklės skyriuje.

Šifravimo ir dešifravimo spalvomis algoritmas:

1. Sugeneruoti slaptą spalvą, pasinaudodami atsitiktinių skaičių generatoriumi.
 2. Apskaičiuoti viešą spalvą, pasinaudojant skaičiavimais baigtiniuose žieduose
 3. Nudažyti viešo rakto spalva 2D figūrą ir pateikti ją viešai.
 4. Nudažyti slapta spalva kitą figūrą ir laikyti ją sau.
 5. Užšifruoti pranešimą, uždedant jį ant vieša spalva nudažytos figūros. Pranešimas yra ne matomas, nes teksto simbolių spalva ir vieša spalva sutampa.
 6. Norėdami atkurti pranešimą, reikia užvesti figūrą su slapta spalva ant pirmosios figūros, taip atkuriant pranešimą.
 7. Jei reikia, galima atnaujinti slapta spalva, pasirinkdami naują atsitiktinį skaičių.
- Slapto pranešimo dešifravimo procesas parodytas 3pav.

Išvados

1. Šiame straipsnyje buvo išnagrinėti skaitmeninio parašo kriptografiniai elementai - maišos funkcija ir asimetrinė kriptografija. Tai padėjo geriau suprasti, kaip šie procesai veikia ir kaip jie užtikrina duomenų saugumą.
2. Buvo sukurta aiški ir suprantama skaitmeninio parašo vizualizavimo koncepcija, kuri padeda mokiniams ar studentams lengviau suvokti, kaip skirtingi duomenys yra transformuojami naudojant maišos funkcijas ir asimetrinę kriptografiją.
3. Realizuoti maišos funkcijų ir šifravimo bei dešifravimo algoritmai, kurie buvo įtraukti į sukurta vizualizacijos modelį.
4. Buvo sukurtas skaitmeninio parašo vizualizavimo modelis Java programavimo kalba.
5. Straipsnyje buvo aptarta, kaip sukurta vizualizavimo modelis gali padėti mokymosi procesui, paskatinti studentus ar moksleivius geriau suprasti kriptografinius procesus.

Literatūra

1. Adomaitienė, J., Zubrickienė, I. (2016). Projektai mokymosi procese: andragoginės sąveikos optimizavimo aspektas. Klaipėdos universiteto leidykla.

- Ferguson, N., Schneier, B., & Kohno, T. (2010). *Cryptography Engineering: Design Principles and Practical Applications*. Wiley Publishing.
- Menezes, A., van Oorschot, P., & Vanstone, S. (1996). *Handbook of Applied Cryptography*. CRC Press.
- Paar, C., & Pelzl, J. (2010). *Understanding Cryptography: A Textbook for Students and Practitioners*. Springer.
- Stinson, D. R. (2006). *Cryptography: Theory and Practice (3rd ed.)*. Chapman & Hall/CRC.
- Skersys, G. (2011). *Informacijos sauga*. Kauno technologijos universitetas.

APPLICATION OF DIGITAL SIGNATURE VISUALIZATION IN THE LEARNING PROCESS

Summary

Digital signature is an important part of cryptographic security. It is an electronic version of a handwritten signature, used to verify people's identity and authenticity in the online space. However, understanding digital signatures can be difficult, especially for new users in this field.

This article explores how visualizing digital signatures can help to understand this cryptographic process. It discusses how visualization can be useful in the learning process and how it can be beneficial for teaching cryptography and programming. Examples of digital signature implementations are presented, which can help students better understand cryptographic processes.

KEY words: Hash function, RSA, asymmetric cryptography, education, Java, programming.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Petras Nefas.

Mokslo laipsnis ir vardas: mokslų daktaras.

Darbo vietą ir pozicija: Kauno technikos kolegija, Elektronikos technikos studijų programos docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: telekomunikacinių tinklų ir duomenų perdavimo saugumas, kriptografija.

Telefonas ir el. pašto adresas: +370 630 01115, petras.nefas@edu.ktk.lt

Author name, surname: Petras Nefas.

Science degree and name: doctor.

Workplace and position: University of Applied Engineering Sciences, studies program of Electronics Engineering, associated professor.

Author's research interests: security of telecommunication networks and data transmission, cryptography.

Telephone and e-mail address: +370 630 01115, petras.nefas@edu.ktk.lt

TEISĖS GAUTI PASLAUGAS, ĮGALINANČIAS ASMENĮ SU NEGALIA GYVENTI SAVARANKIŠKAI, UŽTIKRINIMAS

Kęstutis Vitkauskas
Kauno technikos kolegija

Anotacija.

Lietuvos Respublika 2010 m. yra ratifikavusi JT Neįgaliųjų teisių konvenciją, 2012 m. parengė *Pirminę ataskaitą dėl Konvencijos įgyvendinimo* JT Neįgaliųjų teisių komitetui. 2016 m. Komitetas apsvarstė pateiktą ataskaitą ir pateikė savo rekomendacijas dėl tolesnio Konvencijos įgyvendinimo Lietuvoje. Šios rekomendacijos tapo Lietuvos neįgaliųjų socialinės integracijos į visuomenę politikos įgyvendinimo gairėmis.

Straipsnyje siekiama įvertinti ar Lietuvoje asmenims su negalia tinkamai užtikrinamos galimybės gauti paslaugas, įgalinančias juos gyventi bendruomenėje savarankiškai. Tuo tikslu aptariami neįgalumo sampratos teoriniai ir teisiniai aspektai, negalią turinčio asmens teisinio statuso ypatumai Lietuvoje, analizuojamos teisės į socialinių paslaugų gavimą ir į aplinkos (fizinės ir transporto) prieinamumą užtikrinimas.

Straipsnyje daroma išvada, kad neįgaliųjų socialinės integracijos politika Lietuvoje keičiasi nuo šalpos ir palaikymo link pačių asmenų su negalia gebėjimo integruotis į socialinį gyvenimą. Priimti neįgaliųjų lygiateisiškumą įtvirtinantys teisės aktai vertinami kaip pažangūs. Tačiau asmenų su negalia integracija nepakankamai užtikrina galimybes gyventi savarankiškai bendruomenėje ir gauti individualias paslaugas pagal poreikius, vis dar pastebima visuomenės segregacinė elgsena neįgaliųjų atžvilgiu, susiduriama su neįgalių asmenų teisių įgyvendinimo sunkumais. Paslaugų plėtra vykdoma neturint patikimų duomenų ir yra nepakankama, socialinės paslaugos planuojamos ir teikiamos kompleksiskai neįvertinus individualių poreikių.

Reikšminiai žodžiai: negalią turinčių asmenų teisės, socialinė neįgaliųjų integracija.

Įvadas

2006 m. priimta *Jungtinių Tautų neįgaliųjų teisių konvencija* (toliau – JT Konvencija) įtvirtino naują požiūrį į negalią, grįstą pagarba žmogaus teisėms, asmens autonomijai bei prigimtiniam orumui ir įpareigojo valstybes kurti tokią teisėkūrą, kad asmenys, turintys negalią, gautų tinkamą pagalbą ir paramą, užkertančią kelią diskriminacijai, sudarytų sąlygas visaverčiai dalyvauti bendruomenės gyvenime - švietimo, sveikatos, kultūros, darbo rinkos ir kituose visuomenės sektoriuose, veiklose ir organizacijose.

Tarp esminių Konvencijos nuostatų paminėtinos šios joje įtvirtintos negalią turinčių asmenų teisės: 1) *teisė į nediskriminavimą negalios pagrindu* (4 str.) - įpareigoja valstybes užtikrinti, kad įstatymai, teisės aktai, papročiai, institucijos, prekės, paslaugos, informacija nediskriminuotų asmenų su negalia; 2) *negalią turinčio asmens teisė savarankiškai gyventi bendruomenėje* (19 str.) - gyvendinant šią teisę būtina atsižvelgti į tai, ar asmenys, turintys negalią, gali lygiai su kitais asmenimis pasirinkti savo gyvenamąją vietą, ar gali pasinaudoti įvairiomis bendruomenėje teikiamomis paslaugomis, atitinkančiomis jų individualius poreikius; 3) *teisė į aplinkos prieinamumą* (9 str.) reikalauja įvertinti, ar asmenys su negalia gauna tos pačios kokybės viešąsias socialines paslaugas, atitinkančias jų poreikius ir jiems suprantamu būdu pateiktą informaciją, kaip kiti žmonės ir įpareigoja valstybes imtis priemonių, kad užtikrintų tiek fizinės, tiek informacinės aplinkos prieinamumą asmenims su negalia.

2010 m. Lietuva ratifikavo šią JT Konvenciją ir įsipareigojo įgyvendinti jos nuostatas. 2016 m. *JT Neįgaliųjų teisių komitetas* (toliau – JT Komitetas), vertindamas Lietuvoje įgyvendinamą negalią turinčių asmenų socialinės integracijos politiką, išreiškė susirūpinimą dėl jos efektyvumo ir rekomendavo suderinti nacionalinės teisės aktus, su žmogaus teisių principais grindžiamomis JT Konvencijos nuostatomis.

Šios JT Komiteto rekomendacijos turėjo tapti Lietuvos neįgaliųjų socialinės integracijos į visuomenę politikos bei jų įgyvendinimui vykdytos *Nacionalinės neįgaliųjų socialinės integracijos 2013–2020 m. programos* (Nacionalinė neįgaliųjų, 2012) gairėmis.

Tačiau sociologiniai tyrimai, žiniasklaidos informacija, valstybės audito ataskaitos ir kiti šaltiniai rodo, kad asmenų su negalia faktinė padėtis Lietuvoje negerėja. Socialinės apsaugos ir darbo ministerijos (SADM) duomenimis, 2019 m. Lietuvoje 8 proc. šalies gyventojų (236 tūkst.) turėjo negalią (vaikai su negalia 2020 m. sudarė 3 proc. nuo bendro vaikų skaičiaus). Nors didžioji negalią turinčiųjų dalis (2019 m. -158 000., o 2020 m. – 160 588) buvo darbingo amžiaus, tik apie 29 proc. iš jų dirbo ir šis skaičius per pastaruosius penkerius metus nepadidėjo. Net 34-iose savivaldybėse 2019 m. nebuvo nė vienos viešojo transporto priemonės, pritaikytos asmenims su negalia, o 32 savivaldybėse - viešųjų pastatų, pritaikytų neįgaliesiems, dalis neviršijo 30 proc. Asmenų su negalia skurdo rizikos lygis 2019 metais buvo 10,7 proc. didesnis už bendrą skurdo rizikos lygį (Valstybės kontrolė, 2020: 4). Šie faktai kelia abejonių, ar Lietuva nuosekliai laikosi JT Konvencijos nuostatų įgyvendindama neįgaliųjų asmenų socialinę integraciją?

Tyrimo tikslas: Remiantis teisės aktų bei specialiosios literatūros analize įvertinti, ar Lietuvoje asmenims su negalia užtikrinamos galimybės gauti paslaugas, įgalinančias gyventi savarankiškai. Tikslui pasiekti keliami uždaviniai:

- 1) atskleisti neįgalumo sampratos teorinius ir teisinius aspektus, negalią turinčio asmens teisinio statuso ypatumus Lietuvoje;
- 2) įvertinti teisės į socialinių paslaugų gavimą ir į aplinkos (fizinės ir transporto) prieinamumą užtikrinimą.

Neįgalumo sampratos teoriniai aspektai

Neįgalumo sampratos traktuotė visuomenės sąmonėje ir mokslo doktrinoje pastarąjį šimtmetį kito nuo negalios suvokimo išimtinai biologine prasme iki pripažinimo, kad žmogaus neįgalumas labiau yra socialinė (kultūrinė) kategorija. Ilgą laiką žmogaus *negalia* tiek šnekamojoje kalboje, tiek ir teisės aktuose dažniausiai buvo suvokiama biologine prasme, todėl asmens negalios samprata buvo atskleidžiama biomedicinos mokslo terminais (Kazakevičius, 1991: 25-27).

Klinikinio mąstymu grindžiamas požiūris į negalią sudarė prielaidą susiformuoti taip vadinamam mechanistiniam modeliui, aiškinančiam ligą, kaip tam tikrą nukrypimą nuo rūšiai būdingų funkcinų sistemų, palaikančių tos rūšies pagrindinius gyvybinius mechanizmus (Wulff, 2001: 55). Ligos kontekste neįgalumo sampratai atskleisti mokslinėje doktrinoje buvo taikomi įvairūs žmogaus būseną apibrėžiantys kriterijai. Pavyzdžiui, remiantis „*vystymosi - funkcionavimo sutrikimo*“ kriterijumi, žmogus laikomas sergančiu, jeigu atitinkamuose individo raidos etapuose (ypač vaikystėje) jo organizmas funkcionuoja blogiau negu įprasta rūšiai. Šiuo pagrindu buvo išskiriami tokie žmogaus vystymosi sutrikimai: intelekto, pažinimo, ribojančio vaikų gebėjimą mokytis, klausos ir regos, judėjimo, semantinių ir kompleksinių sutrikimų (Bagdonas, 1995). Kiti autoriai, funkcijos sutrikimus traktuodami kaip bet kokius psichologinius, fiziologinius ar anatomicinės struktūros pažeidimus, negalią siejo su individo veiklos ar galimybių apribojimu (Kriščiūnas, 1993:7) Kai kurie mokslininkai negalios sampratą siūlė apibrėžti pagal tai, ar žmogaus funkcinis sutrikimas pastovus (aklumas, kurtumas, galūnių deformacija ir kt.), ar kintantis, t. y. gali paūmėti arba išnykti (*kintamumo – pastovumo kriterijus*). Šis kriterijus ypač svarbus įvardijant psichinę negalią kaip ligą, kurią reikia gydyti (pvz., ar kaip tam tikrą individo būklę, kuri reikalauja ne tiek gydymo, kiek atitinkamos reabilitacijos programos (Pūras, 1995: 7). Pastaruoju metu daugelyje šalių protiniu atsilikimu ar intelekto sutrikimu pasižymintys asmenys nelaikomi ligoniais, nes neserga jokia liga, kadangi medicininėmis priemonėmis panaikinti turimos negalios negalima, todėl, pavyzdžiui, neteisinga būtų Dauno sindromą turintį asmenį vadinti „sergančiu“. Atskirų tyrėjų nuomone, klinikiniu požiūriu normalumas sietinas su statistiniais rodikliais (*normos - ypatingumo kriterijus*), t.y. normalu laikoma tai, kas yra bendra daugumai, o socialinėje grupėje retos ligos ar funkcinų sutrikimų apraiškos jau gali būti traktuojamos kaip negalios atvejai, t.y. nukrypimai nuo normų (Wulff, 2001:56) Tačiau asmens neįgalumo nustatymas remiantis statistiniu kriterijumi kai kurių mokslininkų nuomone negali būti laikomas patikimu, nes neaišku, kokiais kriterijais remiantis turėtų būti išrinkta „sveikų žmonių“ grupė, kuri taptų atskaitos tašku vertinant atskirų individų ar grupių neįgalumą. Pavyzdžiui, vidutinio amžiaus vyrams aterosklerozė labai dažna, todėl kuo tai laikyti – norma ar nukrypimu? Tačiau, reikia pastebėti, jog kasdieniniame gyvenime individo funkcinė negalia dažniausiai įvardijama priklausomai nuo jos paplitimo masto visuomenėje, pavyzdžiui, žmonės, nešiojantys klausos aparatus dažniau priimami kaip turintys negalią, nei nešiojantys akinius ar dantų implantus (akiniai net nelaikomi protezais).

Negalios aiškinimo teorijose greta termino *vystymosi sutrikimai* pradėtas naudoti terminas *vystymosi ypatingumas*, kuris negalią traktuoja kaip asmenų individualių skirtumų visuomenėje įvairovės pripažinimą. Toks požiūris ypač įsitvirtino švietimo sistemoje, kur ugdymo tikslais vartojamas toks apibrėžimas: „*ypatingieji vaikai ir jaunuoliai yra tie, kurių žmogiškosioms galioms visiškai realizuoti reikia specialių ugdymo ir papildomų paslaugų*“ (Hallahan,2003: 7). Šio požiūrio šalininkai teigia, kad dėl individualių skirtumų įvairovės šių asmenų poreikiams nepakanka tradicinių visuomenės siūlomų lavinimo būdų, todėl šie poreikiai vadinami specialiaisiais.

Apibendrintai vertinant negalios suvokimo biologine prasme teorijas, galima teigti, kad šios koncepcijos sudarė prielaidas visuomenėje formuotis atitinkamiems neįgaliojo asmens teisiniams pagrindams bei paramos modeliams, kuriuose - priklausomai nuo ekonominių, socialinių bei politinių valstybės charakteristikų – buvo derinama *atskyrimo politika* (neįgalusis laikomas visuomeninio gyvenimo paraštėse) ir *saugojimo - reabilitacinė politika* (jais buvo rūpinamasi, jie buvo saugomi). Pavyzdžiui, žmonės su negalia buvo apgyvendinami specialiuose internatuose, mokomi bei lavinami, kad galėtų geriau save aptarnauti. Ir nors daugelis jų turėjo geras materialines sąlygas, galimybę lavintis, tačiau iš esmės vykdyti paramos modeliai formavo neįgaliųjų nuostatas, kad „*likusiai visuomenės daliai jie nereikalingi, kad jie turi gyventi*

tarp tų pačių sienų, bendraujant vieniems su kitais, sočiai valgant ir „nelendant“ į akis visiems kitiems“ (Lastauskienė, 2004:76). Kitaip tariant, visuomenės požiūris į asmenį su negalia, kaip į ligonį, nesudarė prielaidų jam sėkmingai integruotis į socialinę aplinką ir tapti visaverčiu subjektinių teisių ir pareigų turėtoju.

Prieš kelis dešimtmečius požiūris į individo negalią ėmė keistis pradėjus asmens kūno sandaros ar funkcijų sutrikimus labiau traktuoti kaip socialinę (kultūrinę), o ne kaip biologinę kategoriją. Mokslininkų nuomone, negalią turintis individas vienas pats negali susikurti daugelio socialinėje aplinkoje savarankiškai gyventi reikalingų priemonių, todėl valstybės pareiga padėti tokiam asmeniui integruotis į visuomeninį gyvenimą stiprinant jo galimybes gyventi savarankiškai. Šis požiūris mokslinėje doktrinoje formavo ir naują neįgalumo sampratą ir ją pagrindžiančias teorijas. Pavyzdžiui, apibrėžiant asmens neįgalumą „*atskirties – dalyvavimo*“ kriterijumi siekiama atskleisti socialinę negalios sąvokos prigimtį, tyrinėjant individo kūno sandaros ar funkcijų sutrikimą visuomeninio gyvenimo ir veiklos galimybių kontekste. Palankią socialinę aplinką lemia lankstus dviejų socialinių veiksmų – *žmogiškojo* (pagarba asmeniui, šilti santykiai ir pan.) ir *pedagoginio* (struktūrizuotos lavinimo programos) – derinimas. Tai reiškia, kad socialinė integracija negalią turinčiam asmeniui negali būti „duota ar suteikta“ – palanki socialinė aplinka yra visos visuomenės mąstymo būdas (Ambrukaitis, 2003:61-72). Remiantis moksliniais tyrimais (A. Bakk, 1997, J. Ruškus, G. Mažeikis, 2007 ir kt.) žmonės su negalia priskirtini socialinės atskirties grupei, kurios dydis atskirose valstybėse gali būti labai įvairus (SADM duomenimis Lietuvoje neįgalūs asmenys sudaro 8 proc. visų šalies gyventojų). Tyrėjai išskiria įvairius veiksmus, lemiančius neįgalųjų „išstūmimą“ į socialinės atskirties grupę. Pavyzdžiui, J. Ruškus, nurodydamas kultūrinius, istorinius socialinės atskirties grupių atsiradimo veiksmus, teigė, kad žmonių su negalia socialinis atmetimas būdingas vakarietiški kultūrai, kurioje nuo antikos laikų buvo vertinamas kūno grožis, o vaikai su fiziniais trūkumais buvo atskiriami nuo socialinės grupės, vėliau, naujaisiais amžiais, protui tapus vertybe, nepalankiai imta žiūrėti į proto negalią turinčiuosius (Ruškus, 2001).

2006 metais priėmus JT Konvenciją, buvo nustatytas naujas žmogaus teisių standartas negalios srityje - bet kuri negalią turinti asmenį traktuojant esant oriu ir turinčiu lygias teises su kitais žmonėmis. Pagal šią sampratą neįgaliaisiais laikomi asmenys, turintys ilgalaikių fizinių, psichinių ar jutimo sutrikimų, kurie sąveikaudami su aplinkoje esančiomis kliūtimis gali trukdyti jiems veiksmingai dalyvauti bendruomenės gyvenime lygiomis sąlygomis su kitais asmenimis. Prisijungusios prie Konvencijos valstybės skatinamos plėtoti negalią turinčių asmenų įgūdžių, pasiekimų ir gebėjimų pripažinimą visose visuomeninio gyvenimo srityse bei jų indėlio darbinėje veikloje pripažinimą. Neįgalumo, kaip socialinės atskirties, suvokimas ir iš to išplaukiantis siekis asmenis su negalia integruoti į visuomenę pastaruoju metu tampa prioritetiniu uždaviniu daugelyje visuomenių, įskaitant ir Lietuvą.

Negalią turinčio asmens samprata Lietuvos teisinėje sistemoje. JT Konvencijos 4 str. valstybės įpareigotos imtis visų priemonių, įskaitant įstatymų leidybą, kad būtų pakeisti ar panaikinti galiojantys įstatymai, kiti teisės aktai, papročiai ir praktika, diskriminuojantys neįgaliuosius (Konvencija, 2006: 4str. 1d.). JT Komitetas 2016 m. *Baigiamosiose pastabos dėl pirminės Lietuvos ataskaitos išreiškė pastabas dėl neįgalumo sąvokos apibrėžties ir supratimo Lietuvos įstatymuose ir reglamentuose, kuriuose daugiausia dėmesio skiriama fiziologiniams sutrikimams, o ne neįgalumo socialinei ir santykių dimensijai, ypač kliūtimis, su kuriomis susiduria neįgalieji. Buvo išreikštas susirūpinimas dėl teisės aktuose vartojamų menkinamą konotaciją turinčių žodžių, kaip antai „kurčėnėbylys“ ir „sutrikimas“, kas, JT Komiteto nuomone, įtvirtina neigiamą požiūrį į neįgaliuosius. Lietuvai rekomenduota pakeisti neįgalumo teisinę apibrėžtį pagal kriterijus ir principus, nurodytus JT Konvencijos 1–3 straipsniuose, ir veiksmingai pritaikyti ją visuose įstatymuose ir reglamentuose. (JT Komitetas, 2016:2).*

Minėtų JT Konvencijos nuostatų reikšmę ir aktualumą patvirtina teiginys jog vieno ar kito reiškinio ar problemos įvardinimas (sąvokos formulavimas) mokslinio straipsnio ar teisiniame tekste parodo įstatymų leidėjų, reprezentuojančių visuomenę, ir pačios visuomenės požiūrį į tą problemą. Sąvokos formuluoatė teisės aktuose ypač aktuali kontinentinės teisės tradicijos visuomenėms, kuriose teisės normos prasmės atskleidimas paprastai pradedamas nuo lingvistinės teisinio teksto analizės. Šiuo požiūriu, asmens, turinčio negalią sąvokos traktuotės apžvalga atskleistų visuomenės požiūrį į negalia turintį žmogų ir jo teisinį statusą valstybėje.

Jei tarptautinės teisės aktuose *turinčio negalią žmogaus* sąvoka pradėta naudoti XX amžiaus antroje pusėje, tai Lietuvoje ilgą laiką vietoj žodžio „neįgalus“ naudotas – „invalidas“, kaip „*bejėgis, ligotas žmogus, visai ar iš dalies netekęs darbingumo dėl sužeidimo, suluošinimo, ligos arba senatvės*“ (Dabartinės Lietuvių kalbos žodynas). Šio termino vartojimas teisės aktuose netolimoje praeityje liudija jo „išsaknijimą“ visuomeninėje sąmonėje. Pavyzdžiui, LR Konstitucijos 52 str. įtvirtinta, jog „valstybė laiduoja piliečių teisę gauti senatvės ir *invalidumo* pensijas...“. *LR Invalidų socialinės integracijos įstatymas* (šiuo pavadinimu galiojo iki 2004 metų), apibrėždamas asmens su negalia teisinį statusą, *invalidą* apibūdino kaip asmenį dėl įgimtų ar įgytų fizinių ar psichinių trūkumų visai arba iš dalies negalintį pasirūpinti savo asmeniniu ir

socialiniu gyvenimu, įgyvendinti savo teisių ar vykdyti pareigų (Invalidų socialinės integracijos įstatymas, 1991).

1999 m. *Socialinės apsaugos terminų žodyne* pirmą kartą Lietuvoje oficialiai panaudotas *negalios* (*disability*) terminas, apibrėžiant jį kaip „ribotą žmogaus pajėgumą atlikti įprastus ir normalius kiekvienam sveikam asmeniui veiksmus“. Dabartinės lietuvių kalbos žodyne *neįgalusis* apibrėžiamas kaip visai ar iš dalies negalintis dirbti, nesveikas arba turintis fizinių ar psichikos sutrikimų (Keinys (red.), 2003: 417). Visuotinėje lietuvių enciklopedijoje *neįgalusis asmuo* apibrėžiamas kaip „*asmuo, turintis fizinių arba (ir) psichinių sutrikimų ir negalintis gyventi įprasto, normalaus savo amžiaus, lyties, socialinio ir kultūrinio aplinkos žmonių gyvenimo*“ (Visuotinė lietuvių enciklopedija). Taigi, rašytiniuose šaltiniuose pateiktų žodžių prasmė šnekamojoje kalboje dažniausiai suvokiama biologine prasme, todėl turintį negalią žmogų priimta traktuoti kaip ligonį.

2005 m. LR Neįgaliųjų socialinės integracijos įstatyme *invalido* sąvoka pakeista į *neįgaliojo*, įvardinant jį kaip žmogų, „*kuriam įstatymo tvarka nustatytas neįgalumo lygis arba 55 procentų ir mažesnis darbingumo lygis, arba specialiųjų poreikių lygis*“, o pats *neįgalumas* apibrėžtas kaip „*dėl asmens kūno sandaros ir funkcijų sutrikimo bei nepalankių aplinkos veiksnių sąveikos atsiradęs ilgalaikis sveikatos būklės pablogėjimas, dalyvavimo visuomenės gyvenime ir veiklos galimybių sumažėjimas*“ (Neįgaliųjų socialinės integracijos įstatymas, 2005: 2 str. 9 d.) Naujos įstatymo formuluotės neįgalumą sieja jau ne tik su asmens sutrikimo medicininio vertinimu, bet ir su aplinkos, t.y. kultūriniais veiksniais, kas rodo požiūrio į šį reiškinį pokyčius.

Nors „*neįgaliojo*“ terminas prigijo oficialioje vartosenoje, tačiau ar iš tiesų pakeitus sąvokos formuluotę įvyko esminis perėjimas prie pagarbaus negalią turinčio asmens įvardijimo? Deja, net ir įtvirtinus „*negalios*“ terminą įstatymų ir žodynų tekstuose, poįstatyminiuose teisės aktuose, valstybinių įstaigų dokumentuose dar vartojamas ir *invalido* terminas (pavyzdžiui, SADM tinklalapyje vis dar vartojamas *invalidumo* pensijų terminas), rodantis visuomenės sąmonėje giliai įsišaknijusią nuostatą negalią turinčiame asmenyje matyti pirmiausiai ligonį. Asmens su negalia sąvokos įsitvirtinimo visuomenėje problema matoma ir vykusiose viešosiose diskusijose dėl terminų „*invalidas*“ ir „*neįgalus*“ vartojimo. Pavyzdžiui, 2014 m. žiniasklaidoje Valstybinės lietuvių kalbos komisijos atstovė teigė, kad „*abiejų žodžių reikšmės tokios pačios ir šie žodžiai gali būti vartojami sinonimiškai*“. Kalbininkės nuomone, žodis *invalidas* neturi menkinančios reikšmės, kadangi Dabartiniame lietuvių kalbos žodyne prie menkinančią ar niekinančią reikšmę turinčių žodžių būna žyma „*menk.*“ ar „*niek.*“, o prie minėto žodžio tokių žymų nėra (Jonaitytė, 2014:1). Pastebėtina, jog dauguma autorių (Ambrukaitis J., Bagdonienė V., Lastauskienė G., Ruškus J., Udrienė ir kt.) *invalido* sąvoką vertino, kaip menkinančią ir nepagarbią.

Aptariamo klausimo kontekste reikšminga yra JT Komiteto nario J. Ruškaus nuomonė, jog pakeitus žodžius *invalidas* į *neįgalųjį* esminių pokyčių turinyje neįvyko, nes terminas *neįgalus* verstas iš angliškojo žodžio *disabled*, kurio reikšmė kilusi iš Anglijoje veikiančio socialinio negalios modelio, pagal kurį neįgalus asmuo – tai socialinių aplinkybių *nugalintas* žmogus. Taigi, tinkamų aplinkos sąlygų nepritaikymas apriboja žmogaus galimybes, jį paverčiant *neįgalium*. Kadangi Lietuvoje yra įsišaknijęs medicininis negalios modelis, asmenį vertinantis iš patologijos pozicijų, todėl žodžio *neįgalus* vartojimas pirmiausiai siejamas su fiziniais ar funkciniais sutrikimais, o ne su socialinės aplinkos poveikiu – o tai reiškia, kad turinio prasme iš esmės niekas nesikeičia. Mokslininko nuomone, JT Konvencijoje naudojamos asmens su negalia arba negalią turinčio asmens sąvokos (ang. Person with disability) tiksliausiai išreiškia negalios sampratą, todėl derėtų kvestionuoti *neįgaliojo* terminą ir vartoti kitą – *negalią turinčio asmens* (Ruškus, 2019).

Apibendrintai galima teigti, jog terminai yra kolektyvinės sąmonės turinys, susiformavęs istorijos eigoje, todėl formalus jų pakeitimas teisės aktuose nekeičia iš esmės jų turinio suvokimo, todėl reikia pripažinti, kad negalią ir ją turintį asmenį apibrėžiančios terminologijos klausimai dar nėra galutinai išspręsti, ką iš dalies patvirtina ir „*JT Neįgaliųjų teisių konvencijos 2020 m. stebėsenos ataskaitos*“ teiginys, kad į JT Komiteto 2016 m. pateiktas pastabas nebuvo tinkamai atsižvelgta: „*Lietuvoje vis dar yra vartojamas „invalidumo“ terminas, kuris ne tik visiškai neatitinka, bet ir prieštarauja Konvencijos nuostatoms ir standartams, kadangi yra nepagarbus ir menkinantis žmonių, turinčių negalią, atžvilgiu*“ (Žmonių su negalia stebėsenos ataskaita, 2021: 5).

Žmonių su negalia teisės gyventi savarankiškai bendruomenėje užtikrinimas

JT Konvencijos 19 str. pripažįstama, kad visi asmenys su negalia turi teisę gyventi bendruomenėje, turėti galimybę rinktis kur ir su kuo gyventi, naudotis namuose ir bendruomenėje teikiamomis paslaugomis (įskaitant asmeninę pagalbą, padedančią integruotis į bendruomenę), kurios atitiktų jų poreikius. Valstybė turi imtis visų veiksmingų priemonių, kad užtikrintų asmenims su negalia sąlygas gyventi ir būti įtrauktiems į visuomenę ir užkirstų kelią segregacijai, izoliavimui ar atskyrimui nuo bendruomenės (Konvencija,

2006:19 str.). Kaip viena šios teisės įgyvendinimo priemonių laikytina *JT Konvencijos* 9 str. nuostata, įpareigojanti valstybes užtikrinti negalią turintiems asmenims fizinės ir informacinės aplinkos prieinamumą: pastatus, kelius, transporto priemones, vidaus ir lauko objektus (mokyklas, būstus, įstaigas, darbo vietas, informacijos, ryšių ir viešąsias paslaugas) pritaikyti šių asmenų poreikiams.

2016 m. JT Komitetas, vertindamas savarankiškumui ugdyti skirtas socialines paslaugas Lietuvoje, atkreipė dėmesį į „*nedidelį mastą priemonių, kurių buvo imtasi <...> bei nepakankamą pažangą*“ užtikrinant paslaugų prieinamumą, ypač jį gerinant viešuose ir privačiuose pastatuose ir jų prieigose, transporto aplinkoje (traukinių ir autobusų stotyse, platformose, stovėjimo aikštelėse, taksi, keltuose ir kt.). Komitetas rekomendavo Lietuvai, sąveikoje su neįgaliesiems atstovaujančiomis organizacijomis, *parengti ir įgyvendinti* veiksmų planus ir reikalingus teisės aktus, užtikrinančius fizinį, aplinkos, informacijos ir komunikacijos prieinamumą visiems neįgaliesiems, *skirti* pakankamai žmogiškųjų ir finansinių išteklių šių uždavinių įgyvendinimui (JT Baigiamosios pastabos, 2016: 6).

Siekdama užtikrinti negalią turinčių asmenų teises į savarankišką gyvenimą bendruomenėje ir aplinkos prieinamumą, Lietuvos valstybė, atsižvelgdama į pateiktas jai rekomendacijas, tobulina įstatyminę bazę, įgyvendina įvairias priemones. JT Komiteto pareiktų pastabų ir rekomendacijų kontekste nagrinėtinas Lietuvoje užsibrėžtų tikslų užtikrinti negalią turinčių asmenų teisę savarankiškai dalyvauti bendruomeniniame gyvenime įgyvendinimo efektyvumas.

Teisės į socialinių paslaugų gavimą užtikrinimas. Lietuvoje užtikrinti socialinių paslaugų teikimą įstatyminėmis normomis pavesta savivaldybėms, kurios turi planuoti, organizuoti ir kontroliuoti bendrųjų socialinių paslaugų ir socialinės priežiūros kokybę (Socialinių paslaugų įstatymas, 2006: 13 str.). 2020 m., priėmus įstatymo pataisas, buvo išplėstos savivaldybių teisės teikiant socialines paslaugas: savivaldybė organizuoja socialines paslaugas asmenims (šeimoms), t. y. finansuoja socialinę priežiūrą ir socialinę globą, kontroliuoja jos teritorijoje teikiamų bendrųjų socialinių paslaugų ir socialinės priežiūros kokybę, akredituoja socialinių paslaugų įstaigų teikiamą socialinę priežiūrą ir kt. Sėkmingą šių uždavinių įgyvendinimą didele dalimi lemia vietinės valdžios veiklos efektyvumas bei socialines paslaugas teikiančių institucijų veiksmų koordinavimas.

Vienas iš JT Konvencijoje valstybėms keliamų uždavinių - rinkti ir analizuoti duomenis apie teikiamų asmenims su negalia paslaugų būklę, nustatyti su kokiomis problemomis jie susiduria ir kokios sąlygos jiems būtinos savarankiškam gyvenimui bendruomenėje užtikrinti (Bendroji pastaba, 2017: 19 str.). Tačiau reikiamai surinkti informaciją apie negalią turinčius asmenis savivaldybėms trukdo tai, kad ji renkama iš įvairių šaltinių: seniūnijų, socialinių darbuotojų, gydymo įstaigų, nevyriausybinių organizacijų, bendruomenės ir kt. – todėl savivaldybės praktiškai apie visus jos teritorijoje gyvenančius asmenis su negalia būtinos informacijos neturi (Valstybės kontrolė, 2019:19). Apie 90 proc. savivaldybių disponuoja informacija tik apie tuos asmenis, kurie patys kreipiasi į jas dėl socialinės paramos (Valstybės kontrolė, 2020: 7). Tačiau nevyriausybinių organizacijų (NVO) duomenimis ne visi asmenys su negalia kreipiasi į savivaldybes dėl paslaugų suteikimo: apie 35 proc. asmenų, kuriems 2019 m. Neįgalumo ir darbingumo nustatymo tarnyba (NDNT) buvo nustačiusi mažesnę nei 55 proc. darbingumo lygį, nesikreipė į savivaldybę dėl socialinės paramos, o socialinės tarnybos su jais nesusisiekė, todėl nežinojo, ar šie asmenys buvo gavę paramą iš NVO ir ar jiems reikalinga kokia nors pagalba (Valstybės kontrolė, 2020: 20). Darytina prielaida, kad ne visi teritorijoje gyvenantys asmenys su negalia vietinei valdžiai yra žinomi, todėl nežinodamos tikslaus jų skaičiaus, savivaldybės negali tinkamai įvertinti socialinių paslaugų poreikio ir įgyvendinimo galimybių.

JT Konvencija, akcentuodama asmenų su negalia teisę gyventi lygiai su kitais bendruomenėje ir būti pilnaverte visuomenės dalimi, valstybes įpareigoja sukurti įvairių bendruomeninių paslaugų spektrą, kad žmonės turėtų socialinėms paslaugoms gauti alternatyvinių pasirinkimų galimybę. Tuo tikslu Lietuvoje pradėta diegti naujas socialinių paslaugų formas. Pavyzdžiui, 2020 m. apsaugoto būsto paslaugą gavo – 136 asmenys; socialinių dirbtuvių veiklos – 447, įdarbinimo su pagalba – 134, asmeninio asistento paslaugą – 85, laikino atokvėpio paslaugą – 233, grupinio gyvenimo namuose buvo apgyvendinti – 27 vaikai ir 201 suaugęs asmuo su negalia (Žmonių su negalia socialinės integracijos, 2020: 79). Nežiūrint plėtėjančio paslaugų tinklo, Lietuvoje negalią turintys asmenys ar jų globėjai dažniausiai priima sprendimą kreiptis dėl globos poreikio nustatymo, kad galėtų apsigyventi segreguotuose socialinės globos namuose, todėl juose gyvenančių negalią turinčių asmenų skaičius nelinkęs mažėti: socialinės globos įstaigose (kuriose yra daugiau nei 40 vietų ir gyvena daugiau nei 2/3 asmenų su psichikos negalia) 2017 metais gyveno 6378 žmonės, 2020 m. - 6008 asmenys, grupinio gyvenimo namuose 2017 m. gyveno 5 asmenys, o 2020 m. – 33. Pastebėtina, kad 2019 m. į socialinės globos namus buvo nusiųsti 681 negalią turintys asmenys, tuo tarpu iš jų gyventi savarankiškai bendruomenėje (ne į grupinio gyvenimo namus, o į savo namus, pas gimines ar globėjus) išėjo – 41asmuo (Žmonių su negalia socialinės integracijos, 2020: 80).

Reikšminga, kad įvairios žmogaus teisių NVO, taip pat Žmonių, turinčių negalią, teisių stebėsenos komisija laikosi pozicijos, kad grupinio gyvenimo namai, kaip jie formuojami Lietuvoje įgyvendinant socialinės globos pertvarką, neatitinka JT Konvencijos nuostatų. Teigiama, kad kuriant grupinio gyvenimo namus, didesnės institucijos tiesiog yra keičiamos mažesnėmis, neužtikrinant žmonių su negalia savarankiškumo gyvenant bendruomenėje bei tinkamai teikiant jiems efektyvios pagalbos paslaugas. Grupinio gyvenimo namai nesudaro sąlygų žmogui pačiam pasirinkti, kur ir su kuo gyventi, taigi, neužtikrina konvencijos nuostatų įgyvendinimo.

Galimybę rinktis alternatyvines bendruomenines paslaugas lemia keletas aplinkybių, pavyzdžiui, globėjų, galinčių rūpintis psichosocialinę negalią turinčiu asmeniu, trūkumas. Nors įstatymu savivaldybės įpareigos surasti asmenį, kuris teismo sprendimu galėtų būti paskirtas asmens su negalia globėju, tačiau jo neradus, asmuo apgyvendinamas globos įstaigoje ir įstaiga tampa šio asmens globėja. Taip pat dažnai pasirinktoje įstaigoje ne visada pavyksta apsigyventi, dėl susidariusių patekimo į jas eilių. Augant pagalbos poreikiui dėl visuomenės senėjimo ir nedidėjant bendruomeninių paslaugų apimtims taip, kad jomis būtų galima pakeisti institucinės globos paslaugas, savivaldybėse eilės ilgalaikiai socialinei globai gauti institucijoje nuolat ilgėja. Pavyzdžiui, 2017 - 2020 metais eilės į globos namus išaugo 1,8 karto. Šias aplinkybes galima vertinti kaip sisteminę spragą, rodančią, kad dar trūksta reikalingų ir prieinamų paslaugų teikiamų bendruomenėje įvairovės

JT Neįgaliųjų teisių komitetas yra pažymėjęs, kad neįgalus asmuo įsitraukimo į bendruomenės gyvenimą galimybėms didinti svarbu jam suteikti tokias paslaugas, *kurios realiai atitiktų jo poreikius* (Bendroji pastaba, 2017). Šiuo požiūriu svarbus yra socialines paslaugas teikiančių subjektų pasirengimas tinkamai nustatyti tokias paslaugas ir visaverčiai jas suteikti.

Paslaugų poreikius asmenims su negalia nustato įvairios institucijos: savivaldybės, Neįgalumo ir darbingumo nustatymo tarnyba (NDNT), užimtumo tarnyba, nevyriausybinės organizacijos – tačiau teisės aktuose nenumatytas minėtų institucijų veiksmų koordinavimas. Pavyzdžiui, savivaldybės vertina tik konkrečios paslaugos, kurios prašė asmuo, poreikį, tačiau kompleksiskai nevertina ir nesūlo kitų galimai reikalingų žmogui paslaugų. Taip pat teisės aktai savivaldybių neįpareigoja sudaryti asmeniui veiksmų plano įtraukiant skirtingų sričių specialistus, atsakingas institucijas ar artimuosius. NDNT vertina pagalbos poreikį darbingo amžiaus asmenims ir teikia jiems rekomendacijas, tačiau šiame procese teisės aktuose nenumatytas savivaldybių dalyvavimas, todėl institucijos šia informacija nesikeičia. Tik 13 proc. asmenų, kuriems NDNT teikė rekomendacijas, kreipėsi ir gavo savivaldybėje specialiasias paslaugas ir kitą pagalbą (Valstybės kontrolė, 2020:7). Taigi galima sakyti, kad asmenims su negalia paslaugos teikiamos kompleksiskai neįvertinus visų poreikių ir nestebint, ar teikiama pagalba įgalina gyventi savarankiškai. Apibendrintai galima teigti, kad siekiant efektyviai formuoti socialinių paslaugų politiką ir priimti pagrįstus sprendimus, leidžiančius nustatyti teikiamų paslaugų poreikį bei pobūdį, svarbu surinkti ir naudoti patikimus duomenis apie asmenis su negalia ir socialines paslaugas. Deja, savivaldybės dar nedisponuoja visa informacija apie asmenų su negalia skaičių pagal jų neįgalumo, savarankiškumo lygius ir pagalbos poreikius, todėl pilnai negali pasirūpinti visais asmenimis, kuriems reikalinga socialinė pagalba.

Siekiant suvienodinti teikiamų socialinių paslaugų turinį ir susisteminti jų skyrimą visoje Lietuvoje, 2006 m. buvo patvirtintas *Socialinių paslaugų katalogas*, kuriame rekomenduojamų paslaugų rūšys apibūdinamos pagal kriterijus (tikslas, gavėjai, teikimo vieta, paslaugos sudėtis ir teikimo trukmė, ją teikiantys specialistai ir kt.). (Socialinės apsaugos ir darbo ministro įsakymas, 2006). Savivaldybės iš kataloge pateikto paslaugų sąrašo skiria jas pagal asmens poreikius ir savo galimybes. Reikšminga tai, kad praktiškai nė viena savivaldybė neteikia visų rūšių paslaugų, numatytų kataloge. Pavyzdžiui, paslauga „*apgyvendinimas apsaugotame būste*“ numato asmens apgyvendinimą namų aplinkoje suteikiant jam reikalingą paramą, organizavimą bendruomeninių paslaugų plėtojant socialinius ir savarankiško gyvenimo įgūdžius, tačiau šios paslaugos 2020 metais neteikė net 56 savivaldybės, paslaugos „*apgyvendinimas savarankiško gyvenimo namuose*“, kurios tikslas sukurti namų aplinkos sąlygas ir suteikti paslaugas asmeniui, kuriam nebūtina intensyvi priežiūra, sudarant jam galimybę savarankiškai tvarkytis asmeninį gyvenimą, - neteikė 28 savivaldybės (Valstybės kontrolė, 2020:21). Šių paslaugų „nepopuliarumą“, manytina, gali paaiškinti tai, jog savivaldybės dažniausiai skiria socialines paslaugas asmenims, kuriems būtina intensyvi priežiūra, o paslaugos orientuotos į visiško savarankiškumo nepradariusius žmones teikiamos rečiau.

Apibendrintai galima teigti, kad asmenims paslaugos teikiamos kompleksiskai neįvertinus visų poreikių ir nestebint, ar teikiama pagalba įgalina gyventi savarankiškai. Siekiant, kad asmenys gautų reikalingas paslaugas, įgalinančias gyventi savarankiškai, turi būti kompleksiskai ir koordinuotai vertinami asmens individualūs poreikiai tarp skirtingų institucijų, o pagal nustatytus poreikius planuojamos paslaugos ir veiksmai.

Teisės į aplinkos prieinamumą užtikrinimas. Siekiant sukurti neįgaliųjų asmenų poreikius atitinkančią aplinką ir sąlygas visaverčiam gyvenimui bendruomenėje, Lietuvoje nuo 2013 m. vykdoma Nacionalinė neįgaliųjų socialinės integracijos programa (LR Vyriausybės nutarimas, 2012)– pagrindinis Konvencijos nuostatas įgyvendinantis dokumentas. LR Vyriausybė „2021 -2030 m. nacionaliniame pažangos plane“ išskėlė uždavinį „geriau pritaikyti aplinką žmonėms su negalia, atliepiant negalios poreikius“ (LR Vyriausybės nutarimas, 2020). Šio uždavinio įgyvendinimui SADM numatė, kad 2025 m. negalią turintiems asmenims fizinės ir informacinės aplinkos prieinamumo sieks 50 proc., o 2030 m. - 70 proc. (SADM, 2023). Beje, 2020 m. fizinės infrastruktūros prieinamumo lygis siekė apie 30 proc., o informacinės infrastruktūros ir informacijos pritaikymo lygis - vos 5 proc. Plėtros programos įgyvendinimui buvo numatyta skirti 79600 tūkst. Eurų

Fizinės aplinkos prieinamumui didinti 2017 m. LR Statybos įstatyme įtvirtinta, kad vykdant statybos darbus pastatuose ir inžineriniuose statiniuose kurių sąrašą tvirtina Vyriausybė ar jos įgaliota institucija, tokius statinius būtina pritaikyti specialiesiems neįgaliųjų poreikiams, pagal normatyvinius statybos techninių dokumentų reikalavimus (Statybos įstatymas, 6 str. 3 d.). Įstatymas įpareigoja, kad statinių architektūra atitiktų universalaus dizaino reikalavimus normatyviuose statybos techniniuose, statinio saugos ir paskirties dokumentuose (Statybos įstatymas, 5 str. 5 d. 6 p.) 2021 m. buvo priimtos šio įstatymo pataisos, pagal kurias statinių (34 str. 1 d.), kurie turi būti pritaikomi specialiesiems poreikiams ar finansuojami iš valstybės ar ES biudžetų, yra privaloma projektų ekspertizė, taip pat buvo praplėsta su statyba susijusio viešojo intereso samprata (52 str. 7 p.), nurodant, kad jį sudaro „aplinkos prieinamumas, įskaitant aplinkos atitiktą negalią turinčių asmenų poreikiams“.

Tikslu didinti statinių fizinį prieinamumą ir negalią turinčių asmenų poreikių patenkinimą priimtos naujos statybos techninių reglamentų nuostatos. 2020 m. sausio 1 d. patvirtintas naujas Statybos techninis reglamentas STR 2.03.01:2019 „Statinių prieinamumas“ (Aplinkos ministro, 2019.11.04), kuris įtvirtino pareigą projektuojant statinius vadovautis Tarptautinės standartizacijos organizacijos standarto ISO 21542:2011 bendraisiais reikalavimais (Žmonių su negalia stebėsenos ataskaita, 2020: 36). Pagal naująjį Reglamentą prie statinių, kurie turi būti pritaikyti negalią turinčių asmenų poreikiams priskiriami: gyvenamieji pastatai (trijų ir daugiau butų), administracinės paskirties pastatai, viešbučiai, prekybos ir poilsio paskirties pastatai, transporto paskirties pastatai, visų paslaugų srities pastatai ir kt. Reglamente reikalaujama asmenų su negalia automobilių stovėjimo vietas įrengti ne toliau kaip 50 metrų nuo pastato, kai tam nėra galimybių, ne toliau kaip 30 metrų atstumu nuo pastato įrengti specialias išlaipinimo aikšteles. Įrengiant tokias aikšteles, reikalaujama įrengti iki pastato ir specialų taką, atitinkantį tarptautinius standartus. Dokumente įtvirtinta nauja sąvoka „riboto judumo asmuo“, reiškianti „asmenį, kuris dėl sutrikusio funkcionalumo ar kitų priežasčių savarankiškai judėti ir naudotis jo poreikiams nepritaikyta fizine aplinka gali tik ribotai“. Visuomeninės paskirties pastatuose šiems asmenims turi būti įrengiamos atitinkamos patalpos (tualetai, laiptai ir pan.), pavyzdžiui, viešbučiai, poilsio namai, sanatorijos turi turėti nurodytą minimalų skaičių kambarių su dušais, pritaikytais neįgaliųjų poreikiams.

Atlikti teisinio reglamentavimo pakeitimai turėtų sudaryti palankesnes sąlygas neįgaliųjų teisių į fizinės aplinkos prieinamumo užtikrinimui gerinti. Greta to, paminėtini ir kai kurie teisinio reglamentavimo trūkumai, kurie gali apsunkinti šio proceso įgyvendinimą.

Nors Statybos įstatymo 5 str. numatyta, jog statinio architektūra turi būti tokia, kad statiniai atitiktų universalaus dizaino reikalavimus, nustatomus normatyviuose statybos techniniuose dokumentuose, normatyviuose statinio saugos ir paskirties dokumentuose, pastebėtina, kad reikalavimas statiniams taikyti universalaus dizaino principus nebuvo įtvirtintas STR 2.03.01:2019. Trūksta universalaus dizaino principų reglamentavimo ir taikymo gairių, todėl dažnai susiduriama su situacija, kad kiekvienas architektas universalaus dizaino principus interpretuoja savaip. Į minėtą problemą buvo atkreiptas dėmesys ir JT Konvencijos įgyvendinimo stebėsenos 2020 metų ataskaitoje, kurioje siūlyta įteisinti universalaus dizaino principų gaires, kad būtų išvengta universalaus dizaino principų taikymo neapibrėžtumo (Žmonių su negalia stebėsenos ataskaita, 2020: 38-40). Tačiau, reikia pastebėti, kad 2023 metų pradžioje, minėtu klausimu jokių naujų pakeitimų nebuvo padaryta.

Galima teigti, kad Statybos įstatymas neįpareigoja esamų pastatų pritaikyti pagal asmenų su negalia poreikius. Pastatų pritaikymas pagal specialiuosius poreikius privalomas tik tada, kai yra reikalinga pastato rekonstrukcijos, atnaujinimo ar kitokio pobūdžio remonto darbai. Tačiau specialiųjų poreikių pritaikymas ne visada garantuoja, kad sudarytas prieinamumas bus naudojamas pagal paskirtį. Nors statybų įstatymo 49 straipsnio 1 dalies 3 punkte nurodyta, kad statinių naudojimo priežiūrą atlieka savivaldybių administracijos, tačiau įstatyme nėra įpareigotų institucijų, kurios užtikrintų specialiųjų poreikių, prieinamumo elementų priežiūrą.

Transporto aplinkos prieinamumas. JT neįgaliųjų teisių komiteto rekomendacijų įgyvendinimo 2016–2020 m. priemonių plane yra numatytos transporto prieinamumui didinti įvairios priemonės, kurių dalis buvo sėkmingai įgyvendinta. 2016–2021 m. vykdytas ES investicinis projektas „*Specialaus transporto, pritaikyto neįgaliesiems, įsigijimas ir paslaugų teikimas savivaldybių teritorijoje*“, 2019 m. buvo inicijuotas projektas „*Geležinkelių paslaugų pritaikymas pagal universalus dizaino principus*“, kurio tikslas – iki 2024 m. įgyvendinti ES reikalavimus suteikti galimybę keliauti geležinkelių transportu *visiems keleiviams*. 2020 m. Neįgaliųjų reikalų departamento užsakymu, Nacionalinis socialinės integracijos institutas atliko „*Transporto paslaugų asmenims su negalia pakankamumo ir efektyvumo Lietuvoje tyrimą*“

Atkreiptinas dėmesys, kad už daugelio numatytų priemonių įgyvendinimą atsakinga Susisiekimo ministerija, bet plane nenumatyta, kokius rodiklius planuojama pasiekti gerinant transporto prieinamumą ir kokie bus laukiami rezultatai, pokytis įgyvendinus priemones, ministerija neįpareigota atlikti transporto prieinamumo vertinimo skirtingose transporto srityse. Taip pat Aplinkos ir Susisiekimo ministerijos tiesiogiai neįpareigotos rinkti duomenis ir vertinti transporto objekto prieinamumą.

2020 metais Lietuvos savivaldybėse iš viso buvo 8145 žemagrindžiai autobusai ir troleibusai, iš kurių tik 19 proc. buvo pritaikyti specialiųjų poreikių asmenims (Stebėsenos ataskaita, 2020:41). Jeigu 5 didžiųjų miestų savivaldybėse viešojo transporto prieinamumas didėja ir siekia 56 proc. tai kitose savivaldybėse – 12 proc., o 34 savivaldybėse nepritaikyta nė viena viešojo transporto priemonė. Pastebėtina, kad 32 savivaldybės, įsigydamos transporto priemonių ir pirkdamos paslaugas, techninėje specifikacijoje nenurodo kriterijų dėl transporto priemonių prieinamumo, reikalavimai yra nurodyti tik vykdomuose ES projektuose (Valstybės kontrolė, 2020: 61).

2020 metais Nacionalinis socialinės integracijos institutas, įvertinęs Lietuvos teisinę bazę, aplinką, eksploatuojamą viešąjį transportą, konstatavo, kad transporto prieinamumo srityje žmonės su negalia Lietuvoje vis dar patiria tiesioginę ir netiesioginę diskriminaciją, kuri ne tik izoliuoja žmones su negalia, bet ir didina jų socialinę atskirtį (Nacionalinis socialinės, 2020). Šio instituto bei valstybės kontrolės audito atlikėjų nuomone, pagrindinės transporto prieinamumo problemų priežastys yra: 1) šalyje nėra teisės akto, kuris apimtų visų galimų transporto prieinamumo didinimo sprendinius, todėl pavienių ministerijų formuojama politika skiriasi; 2) prastas vietinių ir tolimųjų reisų susisiekimo reglamentavimas – dauguma savivaldybių neturi privalomų techninių reikalavimų transporto priemonių pritaikymui, todėl kiekvienoje savivaldybėje jis skiriasi, transportui skiriamos lėšos yra naudojamos neefektyviai; 3) nėra mechanizmo, leidžiančio įvertinti žmonių su negalia keliavimo ypatumus viešajame transporte. Viešojo transporto bilietų nuolaidos, taikomos žmonėms su negalia, taip pat taikomos ir kitoms socialinėms grupėms, todėl neaišku kokia žmonių su negalia dalis naudojasi viešuoju transportu; 4) žmonių su negalia mobilumo problemos Lietuvoje tiriamos minimaliai: žmonės su negalia į teikiamų paslaugų vertinimą įtraukiami retai, atlikti tyrimai dažniausiai kiekybiniai ir neatskleidžia individualesnės bei išsamesnės transporto paslaugų vartotojų patirties; taip pat tyrimai dažniausiai reprezentuoja fizinę negalią turinčių asmenų padėtį, daug mažiau dėmesio skiriama kitiems negalios situacijų pobūdžiams; 5) renkami duomenys apie socialinę transporto organizavimo paslaugą yra nepatikimi, nes renkami skirtingais būdais ir metodais; 6) iš savivaldybių nereikalaujama įsigyjant naujas transporto priemones ar perkant paslaugas iš privačių vežėjų nurodyti reikalavimus dėl šių priemonių prieinamumo. Tokie reikalavimai apibrėžti tik ministerijos vykdomuose ES investicijomis finansuojamose priemonėse

Taigi, darytina išvada, jog darnaus transporto prieinamumo sistemos nebuvimas yra viena didžiausių kliūčių. Žmonių su negalia ir riboto judumo asmenų mobilumas gali būti užtikrintas tik tuomet, kai visoje šalyje yra kuriamos vienodos arba panašios transporto prieigos sąlygos.

Išvados

1. 2010 metais Lietuvai ratifikavusi JT Neįgaliųjų teisių konvenciją, įsipareigojo vykdyti negalią turinčių asmenų teisių užtikrinimo politiką, atitinkančią Konvencijos nuostatas. Tuo tikslu vykdyta Nacionalinė neįgaliųjų socialinės integracijos 2013–2020 m. programa. 2016 m. JT Neįgaliųjų teisių komitetas išreiškė didelį susirūpinimą dėl Lietuvoje nepakankamo užtikrinimo asmenims gyventi savarankiškai ir įtraukimo į bendruomenę, mažo užimtumo, aplinkos prieinamumo ir pateiktė rekomendacijas.

2. Lietuva, siekdama įgyvendinti JT Neįgaliųjų teisių komiteto rekomendacijas, 2016–2022 metais atliko eilę teisės aktų pakeitimų, kurie turėjo užtikrinti, kad teisės aktai, papročiai, institucijos, paslaugos, informacija nediskriminuotų asmenų su negalia, sudaryti negalią turinčiam asmeniui galimybę gyventi savarankiškai bendruomenėje ir pagerinti fizinės aplinkos (statinių, transporto) prieinamumą negalią turintiems asmenims.

3. Neįgaliųjų socialinės integracijos politika Lietuvoje pastaraisiais metais keičiasi nuo šalpos ir palaikymo link pačių asmenų su negalia gebėjimo integruotis į socialinį gyvenimą.

3. Priimti neįgaliųjų lygiateisiškumą ir socialinį kompromisą neįgaliųjų atžvilgiu įtvirtinantys teisės aktai (neįgaliųjų integracijos, švietimo, socialinės apsaugos ir kt. srityse) vertinami kaip pažangūs, tačiau mokslinių tyrimų duomenimis Lietuvoje vis dar pastebima visuomenės segregacinė elgsena neįgaliųjų atžvilgiu, susiduriama su neįgaliųjų asmenų teisių įgyvendinimo sunkumais, pasireiškia skeptiškas visuomenės požiūris į neįgaliųjų socialinės integracijos galimybes.

4. Asmenų su negalia integracija nepakankamai užtikrina galimybes gyventi savarankiškai bendruomenėje ir gauti individualias paslaugas pagal poreikius. Visuomenėje nėra visiškai atsisakyta žmogaus orumą žeminančio termino „invalidas“/„invalidumas“/„invalidumo pensija“, panaikinant jo vartojimą visuose teisės aktuose, negalios politikos ir kituose oficialiuose valstybės dokumentuose, institucijose bei įstaigose. Paslaugų plėtra vykdoma neturint patikimų duomenų ir yra nepakankama, socialinės ir užimtumo paslaugos planuojamos ir teikiamos kompleksiskai neįvertinus individualių poreikių. Ne visi viešieji pastatai, transportas, interneto svetainės pritaikyti asmenims su negalia, o mobiliųjų programų pritaikymas nevertinamas.

Literatūra

1. Ambrukaiš J., Ruškus J., Bagdonienė V., Udrienė G. (2003). Specialiųjų poreikių vaikas bendrojo lavinimo mokykloje: ugdymo kokybės kriterijų identifikavimas// Specialūs ugdymas. Nr. 2 (9).
2. Bagdonas, A. (1995). Vystymosi sutrikimų klasifikacija. Vilnius: Vilniaus universitetas;
3. Bendroji pastaba dėl 19 straipsnio: gyvenimas savarankiškai ir įtrauktis į bendruomenę. JT Neįgaliųjų teisių komitetas Aštuonioliktoji sesija 2017 m. rugpjūčio 14-31 d. Prieiga per internetą. [CRPD/C/18/R.1 in English \(Word\) \(ndt.lt\)](#)
4. Dabartinis lietuvių kalbos žodynas. Prieiga per internetą: [neįgalus, ~iai, ~uma... | Dabartinės lietuvių kalbos žodynas \(ekalba.lt\)](#) [žiūrėta 2023.01.19].
5. Hallahan D., Kauffman J. (2003). Ypatieji mokiniai: specialiojo ugdymo įvadas. Vilnius: Alma litera.
6. Jonaitytė U. „Negalia“ ar „invalidumas“? *Kauno diena*, 2014.08.129 .
7. Jungtinių Tautų neįgaliųjų teisių konvencija ir jos Fakultatyvus protokolai, 19 str. *V.Ž. 2010-06-19, Nr. 71-3561*
8. JT Neįgaliųjų teisių komiteto baigiamosios pastabos dėl pirminės Lietuvos ataskaitos (CRPD/C/LTU/1).
9. Kazakevičius R., Vileišis A. ir kt. (1991). Patologinė fiziologija. Vilnius: Mokslas.
10. Kriščiūnas, A. (red.) (1993). Reabilitacija. Kaunas: Kauno medicinos akademija.
11. Lastauskienė G. Neįgalus asmuo žmogaus teisių apsaugos požiūriu. *Jurisprudencija*, 2004, t.54(56).
12. Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2019 m. lapkričio 04 d. įsakymas Nr. D1-653 „Dėl statybos techninio reglamento STR 2.03.01:2019 „Statinių prieinamumas“ patvirtinimo“. TAR, 2019-11-05, Nr. 17624
13. Lietuvos Respublikos Konstitucija, *Valstybės Žinios*, 1992, Nr. 33-1014 (1992-11-30).
14. LR Neįgaliųjų socialinės integracijos įstatymas (*Nauja redakcija nuo 2005-07-01*), *Žin. 2004, Nr. 83-2983, 2*
15. LR Socialinių paslaugų įstatymas, *Žin. 2006, Nr. 17-589*.
16. LR Socialinės apsaugos ir darbo ministerija. *Neįgaliesiems tinkamos aplinkos visose gyvenimo srityse plėtros programą*. Prieiga per internetą: [Plėtros programos | Lietuvos Respublikos socialinės apsaugos ir darbo ministerija \(lrvt.lt\)](#) [žiūrėta 2023.03.07].
17. Lietuvos Respublikos statybos įstatymas. *TAR 2016-07-13, i. k. 2016-2030*
18. Nacionalinis socialinės integracijos institutas, Transporto paslaugų asmenims su negalia pakankamumo ir efektyvumo Lietuvoje tyrimas (2020): <http://www.ndt.lt/wp-content/uploads/Transporto-paslaugu%CC%A8-pakankamumo-ir-efektyvumo-studija.pdf>
19. Pūras, D. (Sud. ir red.) (1997). Negalios žmonės sugrįžta į visuomenę. Vilnius: Petro ofsetas.
20. Ruškus, J. (2001). Negalės psichosociologija. Šiauliai: Šiaulių universitetas.
21. Ruškus J. Apie klaidingą, bet alternatyvos neturintį žodį „neįgalus“. VDU, 2019 m. sausio 4 d. prieiga per internetą: <https://www.vdu.lt/lt/apie-klaidinga-bet-alternatyvos-neturinti-zodi-neigalus/> [žiūrėta 2023.01.19]
22. Socialinės apsaugos terminų žodynas. [Terminai lietuvių kalba | Socialinės apsaugos terminų žodynas \(sec.lt\)](#) [žiūrėta 2023.02.19]
23. Socialinės apsaugos ir darbo ministro 2006 m., balandžio 5 d. įsakymas Nr. A1-93 *Dėl socialinių paslaugų katalogo patvirtinimo*. *Žin.*, 2006-04-20, Nr. 43-1570
24. Valstybės kontrolė. Valstybinio audito ataskaita „Ar socialinė parama užtikrina skurdžiai gyvenančių asmenų minimalius vartojimo poreikius ir skatina įsitraukti į darbo rinką“, 2019-07-29 Nr. VA-5
25. Valstybės kontrolė. Valstybinio audito ataskaita „Asmenų su negalia socialinė integracija“, 2020 m. rugsėjo 7 d. Nr. VAE-9.
26. LR Vyriausybės 2012 m. lapkričio 21 d. nutarimas Nr. 1408 *Dėl Nacionalinė neįgaliųjų socialinės integracijos 2013–2020 m. programos patvirtinimo*, Valstybės žinios, 2012-11-27, Nr. 137-70.
27. Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2020 m. rugsėjo 9 d. nutarimas Nr. 998 „Dėl 2021 -2030 metų nacionalinio pažangos plano patvirtinimo“
28. Wulff F. R., Pedersen S. A., Rosenberg R. (2001). Medicinos filosofija (įvadas). Vilnius: Charibdė;

29. Žmonių su negalia socialinės integracijos veiklos rezultatų bei JT Neįgaliųjų teisių konvencijos ir jos fakultatyvaus protokolo 2020 m. stebėsenos ataskaita.. Vilnius, 2021, Prieiga per internetą: [ZTSI-Stebesenos-Ataskaita-9.pdf \(ndt.lt\)](#) [žiūrėta 2023.02.19].

INSURANCE OF THE RIGHT TO RECEIVE SERVICES THAT ENABLE A PERSON WITH A DISABILITY TO LIVE INDEPENDENTLY

Summary

Republic of Lithuania having ratified the UN Convention on the Rights of Persons with Disabilities in 2010, prepared the *Initial Report on the Implementation of the Convention* for the UN Committee on the Rights of Persons with Disabilities in 2012. In 2016 The Committee considered the submitted report and presented its recommendations regarding the further implementation of the Convention in Lithuania. These recommendations became the guidelines for the implementation of the policy of social integration of the people with disabilities into society in Lithuania.

The aim of the article is to assess whether persons with disabilities in Lithuania are adequately provided with opportunities to receive services that enable them to live independently in the community. For that purpose, the article discusses theoretical and legal aspects of the concept of disability, the peculiarities of the legal status of a person with a disability in Lithuania, and analyzes the right to receive social services and the right to access the environment (physical and transport).

The article concludes that the policy of social integration of the people with disability in Lithuania is changing from aid and support towards the ability of this social group to integrate into social life. Adopted legal acts consolidating the equality of the persons with disability are considered progressive. However, the integration of this social group does not sufficiently ensure opportunities to live independently in the community and receive individual services according to needs, the society's segregation behavior towards the people with disability is still noticeable, difficulties are encountered in the implementation of the rights of these persons. The development of services is carried out without reliable data and is insufficient, social services are planned and provided without comprehensive assessment of individual needs.

Key words: rights of persons with disabilities, social integration of persons with disabilities.

AUTORIŲ LYDRAŠTIS

Autoriaus vardas, pavardė: Kęstutis Vitkauskas

Mokslo laipsnis ir vardas: mokslų daktaras, docentas

Darbo vieta ir pozicija: Kauno technikos kolegija, Kelių inžinerijos studijų programa, docentas.

Autoriaus mokslinių interesų sritys: žmogaus teisės, edukologija

Telefonas ir el. pašto adresas: 8 687 53779, kestutis.vitkauskas@edu.ktk.lt

A COVER LETTER OF AUTHORS

Author name, surname: Kęstutis Vitkauskas.

Science degree and name: doctor, associated professor

Workplace and position: Kaunas University of Applied Engineering Sciences, associate Professor of Road Engineering study programme .

Author's research interests: human rights, educology.

Telephone and e-mail address: 8-687 53779, kestutis.vitkauskas@edu.ktk.lt

ISSN 2029-9303

**INŽINERINĖS IR EDUKACINĖS TECHNOLOGIJOS
2023 Nr. 1**

Lietuvių kalbos redaktorė **Sonata Paulauskienė**
Užsienio kalbos redaktorė **Judita Štreimikienė**

Tiražas 70 egz. 108 psl. Parengimo spaudai data 2023-06-30
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