

# TECHNOLOGIJOS IR MENAS

# TECHNOLOGY AND ART

2021 / 12

TYRIMAI IR AKTUALIJOS  
RESEARCH AND TOPICALITIES



VILNIAUS TECHNOLOGIJŲ IR DIZAINO KOLEGIJA

VILNIUS COLLEGE OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

---

VILNIUS 2021

**ŽURNALO „TECHNOLOGIJOS IR MENAS.  
TYRIMAI IR AKTUALIJOS“  
REDKOLEGIJOS NARIŲ SĄRAŠAS**

**VYRIAUSIOJI REDAKTORĖ**

**Dr. Asta Anikėnienė**

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija / Vilnius College of Technologies and Design (LTU)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**ATSAKINGAS SEKRETORIUS**

**Dr. Marija Vaičienė**

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija / Vilnius College of Technologies and Design (LTU)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**REDAKTORIŲ KOLEGIJA / EDITORIAL BOARD:**

**Prof. Habil. Dr. Jozsef GAL**

Šegedo universitetas / University of Szeged, Hungary (HUN)  
Socialiniai mokslai / Social Sciences

**Prof. Habil. Dr. Máté Zöldy**

Budapešto technologijos ir ekonomikos universitetas / Budapest University of Technology and Economics, Hungary (HUN)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**Prof. Habil. Dr. Sławomir Wierbicki**

Warmia ir Mazury universitetas Olštine / University of Warmia and Mazury in Olsztyn, (POL)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**Prof. Habil. Dr. Vytautas Bučinskas**

Vilniaus Gedimino technikos universitetas / Vilnius Gediminas Technical University (VILNIUS TECH) (LTU)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**Dr. Donatas Rekus**

Kauno Technologijos universitetas / Kaunas University of Technology (LTU)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**Prof. Habil. Dr. Šarūnas Paulikas**

Vilniaus Gedimino technikos universitetas / Vilnius Gediminas Technical University (VILNIUS TECH) (LTU)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**Dr. Aušra Stankiuviėnė**

Vilniaus Gedimino technikos universitetas / Vilnius Gediminas Technical University (VILNIUS TECH) (LTU)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**Doc. Dr. Alfredas Rimkus**

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija / Vilnius College of Technologies and Design (LTU)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**Dr. Mindaugas Grigonis**

UAB „Kiwa Inspecta“ Sertifikavimo ekspertas / JSC „Kiwa Inspecta“ Certification expert (LTU)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**Dr. Aurelijus Pitrėnas**

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija / Vilnius College of Technologies and Design (LTU)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**Dr. Ela Jarmolajeva**

Vilniaus Gedimino technikos universitetas / Vilnius Gediminas Technical University (VILNIUS TECH) (LTU)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**Dr. Andrius Buska**

UAB „ROCKWOOL“ techninis vadovas / JSC "ROCKWOOL" Technical head (LTU)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**Dr. Vytenis Surblis**

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija / Vilnius College of Technologies and Design (LTU)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

**Doc. Dr. Saugirdas Pukalskas**

Vilniaus Gedimino technikos universitetas / Vilnius Gediminas Technical University (VILNIUS TECH) (LTU)  
Technologijos mokslai / Technological Sciences

# TURINYS

<i>Jurijus Tretjakovas, Sanja Ožvat, Svetlana Toropovienė, Audrius Čereška</i> Gembinės statiškai neišsprendžiamos sijos lenkimo momentų skaičiavimo būdų analizė .....	4
<i>Rengim Ozokutgen, Vytenis Surbllys</i> An overview of the possibility of road surface determination methods.....	8
<i>Audrius Čereška, Jelena Selivonec</i> Srieginės jungties su specialios konstrukcijos veržle įtempių nustatymas ir analizė .....	13
<i>Roma Rinkevičienė, Bronė Mitkienė</i> Modeling of vector-controlled six-phase induction drive with PI, PD and PD-I fuzzy logic controllers .....	18
<i>Audrius Matulis, Alfredas Rimkus</i> Variklio degimo proceso analizė keičiant tarpinio oro aušinimo intensyvumą .....	25
<i>Aušra Stankiuvienė, Jurgita Šakėnaitė and Irina Vinogradova-Zinkevič</i> Safety technologies: evaluation of fire alarm sirens by multi-criteria decision-making methods .....	32
<i>Jelena Mamčenko, Brigita Šustickienė</i> Bekontakčių mokėjimų technologijos ir jų problematika .....	40
<i>Anna Glinskienė</i> 3D spausdinimas – naujas galimybes atvėręs gamybos būdas .....	45
<i>Brigita Šustickienė, Egidijus Valma</i> Skaitmeninio funkcinio signalo generatoriaus galimybių tyrimas .....	54
<i>Natalija Augūnienė, Asta Anikėnienė</i> Šilo tilto nuosėdžių tyrimas.....	58
<i>Daniel Žukovski, Eva Skliaustė, Indrė Sprogytė</i> Krovinių automobilių taršos svarba žaliajai logistikai .....	62
<i>Irina Briuchoveckaja Julius Gaidys</i> Lietuvos geležinkelių sistemos infrastruktūros posistemės normatyvinių dokumentų analizė įgyvendinant Europos Sąjungos reikalavimų tikslus .....	68
<i>Goras Jokimčius, Jūratė Romeikienė</i> Vilniaus šiaurės vakarų dalies transporto ir infrastruktūros apžvalga 2018–2021 metų laikotarpiu .....	75
<i>Jaroslav Daveiko, Veronika Žvirblė</i> Lauko klasės projektas – mokymo lauke galimybės Eksperimentinės plėtros studija .....	81
<i>Daiva Makutėnienė, Olga Ovtšarenko</i> Virtualių technologijų taikymas statybos inžinerijos studijose VirSTEM projekte .....	89
<i>Arturas Bukauskas</i> Kas yra virtualios realybės kaukė? .....	94

# GEMBINĖS STATIŠKAI NEIŠSPRENDŽIAMOS SIJOS LENKIMO MOMENTŲ SKAIČIAVIMO BŪDŲ ANALIZĖ

Jurijus Tretjakovas<sup>1</sup>, Sanja Ožvat<sup>2</sup>, Svetlana Toropovienė<sup>1</sup>, Audrius Čereška<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

<sup>2</sup>University of Novi Sad, Dr Zorana Đinđića 1, Novi Sad

**Anotacija.** Statiškai neišsprendžiamos sijos ir atramosė įtvirtinti elementai yra plačiai naudojami mechanikos, transporto ir statybos inžinerijoje. Jų įrašos skaičiuojamos sprendžiant kanoninių lygčių sistemą įvairiais būdais: grafo analitiniu, naudojant tipines formules, kompiuterines programas ir kt. Kiekvienas šių būdų turi privalumų ir trūkumų. Straipsnyje pristatomas vieną kartą statiškai neišsprendžiamos lenkiamos sijos kai kurių būdų praktinis pritaikymas.

**Pagrindinės sąvokos:** gembinė sija, statiškai neišsprendžiama sija, skaitiniai metodai.

## Įvadas

Daug lenkiamų strypinių sistemų yra statiškai neišsprendžiamos. Tokios sijos yra standesnės ir patikimesnės, tačiau turi ir neigiamų ypatybių: dėl temperatūros pokyčių ar netikslaus montavimo tokiose sijos gali atsirasti nepageidaujamų įrašų, įtempių ar deformacijų (Atkočiūnas ir Nagevičius, 2004, Čižas, 2011).

Tokioms sijoms skaičiuoti yra įvairių metodų: jėgų metodas, poslinkių metodas ir kt.

Vienas universaliausių ir populiariausių yra jėgų metodas (Hibbeler, R.C, 2011., Vislavičius, K. 2008 m.), kurio algoritmas toks:

- nustaciūs, kiek kartų  $k$  sija neišsprendžiama, atpalaiduojama  $k$  perteklinių ryšių ir gaunama pagrindinė sistema;
- prie pagrindinės sistemos vietoje atpalaiduotų ryšių pridėdame nežinomas jėgas ar nežinomus momentus  $X$ ;
- apskaičiuojame pagrindinės sistemos įrašas;
- apskaičiuojame pagrindinės sistemos įrašas nuo vienietinės apkrovos, pridėtos vietoj atpalaiduoto ryšio;
- parašoma jėgų metodo kanoninių lygčių sistema, kuri perteikia teiginį, jog ekvivalentinės pagrindinės sistemos poslinkis (tiek įlinkis, tiek deviacija) atpalaiduotojo ryšio kryptimi  $j$  privalo būti lygus nuliui.

$$\Delta_j = 0 \quad (1)$$

Šis poslinkis paprastai reiškiamas superpozicijos principu – suma poslinkio nuo tikrosios apkrovos  $\Delta_j^*$  pagrindinėje sistemoje ir poslinkio  $\Delta_{ji}$  nuo pridėtos apkrovos  $X_i$  pagrindinėje ekvivalentinėje sistemoje bus lygi nuliui.

Tačiau pridėtoji apkrova  $X_i$  nėra žinoma, todėl jos poslinkio dalis iš pradžių skaičiuojama nuo vienietinės apkrovos  $\bar{X}_i$  arba vienietinio momento  $\bar{M}_i$  ir gaunama  $\Delta_{ji} = \delta_{ji} \cdot X_i$ .

Taigi

$$\Delta_j = \Delta_j^* + \delta_{ji} \cdot X_j = 0 \quad (2)$$

ir visa kanoninė lygtis, kai sija vieną kartą statiškai neišsprendžiama, atrodo taip:

$$\delta_{ji} \cdot X + \Delta_j^* = 0 \quad (3)$$

čia  $\Delta_j^*$  – pagrindinės sistemos poslinkis atpalaiduotojo ryšio kryptimi;

$\delta_{ji}$  – pagrindinės sistemos poslinkis atpalaiduotojo ryšio kryptimi nuo vienietinės apkrovos (vienietinės jėgos  $\bar{X}_i$  arba vienietinio momento  $\bar{M}_i$ ).

Apskaičiavę poslinkius bet kuriuo metodu galime rasti ryšio jėgą arba momentą  $X$ .

*Temos aktualumas.* Tema aktuali tuo, kad inžinieriui, atliekančiam statiškai neišsprendžiamų sijų skaičiavimus, būna keblu pasirinkti. Darbe bus apžvelgti kai kurių metodų taikymo privalumai.

*Tyrimo objektas.* Darbe nagrinėjama vieną kartą statiškai neišsprendžiama sija.

*Darbo tikslas* – pritaikyti įvairius metodus statiškai neišsprendžiamos sijos kanoninei lygčiai spręsti.

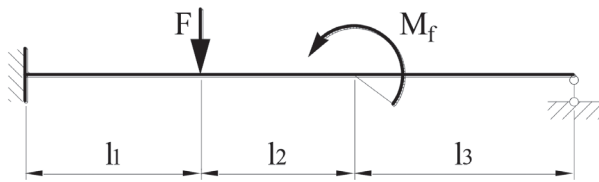
Šiam tikslui pasiekti buvo iškelti tokie *uždaviniai*:

1. Sukurti statiškai neišsprendžiamos sijos skaičiuojamąjį modelį;
2. Skaičiuoti pagrindinės sistemos poslinkius grafoanalitiškai, tipinėmis formulėmis ir skaitiškai.
3. Gauti nežinomas ryšio jėgas superpozicijos principu ir palyginti jas apskaičiavus skirtingais metodais.
4. Pritaikyti skaičiuojamąją programą.

*Tyrimo metodika.* Statiškai neišsprendžiamos sijos kanoninės lygties poslinkiai skaičiuojami grafoanalitiniu, analitiniu ir skaitiniu metodais (5).

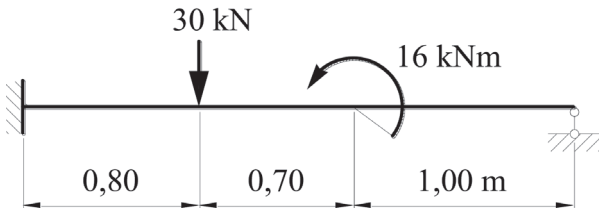
## Statiškai neišsprendžiamos sijos su konsole skaičiuojamoji schema

Analizei pasirinkta gembiškai įtvirtinta trijų ruožų (ilgiai  $l_1$ ,  $l_2$ , ir  $l_3$ ) sija su paslankiu lankstu dešinėje 1 pav. Sija apkrauta koncentruota jėga  $F$  ir koncentruotu momentu  $M_j$ .



1 pav. Statiškai neišsprendžiamos sijos pradinė schema

Sijos skaičiuojamoji schema generuojama pasirenkant parametrų reikšmes: ilgis  $l_1=0,80$  m,  $l_2=0,70$  m,  $l_3=1,00$  m, jėg  $F=30$  kN ir momentas  $M_f=16$  kNm.

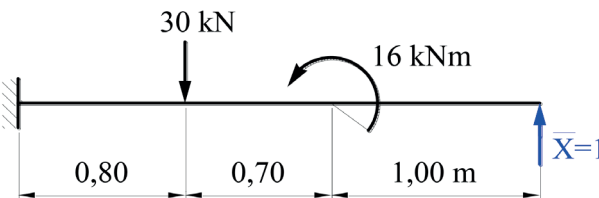


2 pav. Statiškai neišsprendžiamos sijos skaičiuojamoji schema

Statiškai neišsprendžiamų sijų analizės atvejais (Atkočiūnas ir Nagevičius, 2004, Čižas, 2011) sijos standis  $E \cdot I_x$  laikomas *const*.

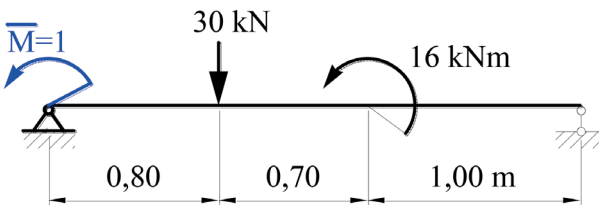
### Pagrindinės sistemos variantai

Pagrindinės sistemos variantų yra keletas: *Pirma-sis*. Atpalaiduoti galima nepaslankų lankstą pridendant vienetinę jėgą  $\bar{X} = 1$  ir gaunant statiškai išsprendžiamą gembinę siją (3 pav.).



3 pav. Pagrindinės sistemos 1-asis variantas

*Antrasis*. Šalinti vieną ryšį standžiam įtvirtinime ir atramą kairėje keisti nepaslankiu lankstu (4 pav.). Tokiu atveju vietoj pašalinto ryšio privalo pridėti vienitinį momentą  $\bar{M} = 1$ .



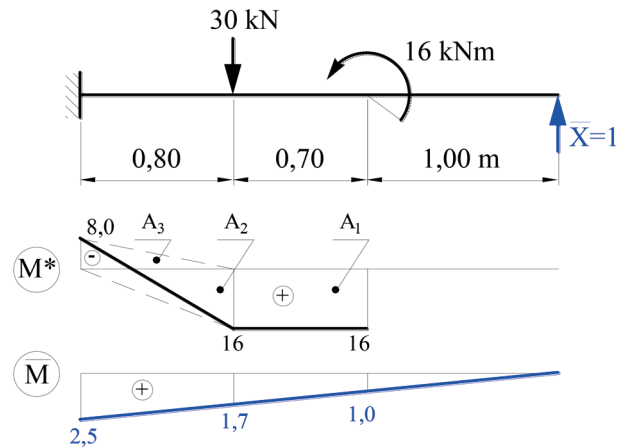
4 pav. Pagrindinės sistemos 2-asis variantas

Tokiu būdu gaunama statiškai išsprendžiama dviatramė sija.

### Pirmojo varianto pagrindinės sistemos sprendimas

Grafoanalitinis metodas

Sudaroma sijos tikrųjų lenkimo momentų diagrama ir lenkimo momentų diagrama nuo vienutinės jėgos. Diagramos pavaizduotos 5 pav.



5 pav. Lenkimo momentų diagramos

Skaičiuojami kanoninės lygties nariai: Pagrindinės sistemos poslinkis

$$\Delta^* = \left[ 16 \cdot 0,70 \cdot \left( \frac{1,7+1,0}{2} \right) \right] + \left[ \frac{1}{2} \cdot 16 \cdot 0,80 \cdot \left( \frac{2}{3} \cdot 1,7 + \frac{1}{3} \cdot 2,5 \right) \right] + \left[ \frac{1}{2} \cdot (-8,0) \cdot 0,80 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot 1,7 + \frac{2}{3} \cdot 2,5 \right) \right] = 20,6$$

Sistemos poslinkis nuo vienutinės jėgos:

$$\delta = \left[ \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 2,5 \cdot \left( \frac{2}{3} \cdot 2,5 \right) \right] = 5,21$$

Kanoninės lygties sprendinys:

$$X = \frac{\Delta^*}{\delta} = \frac{-20,6}{5,21} = -3,95.$$

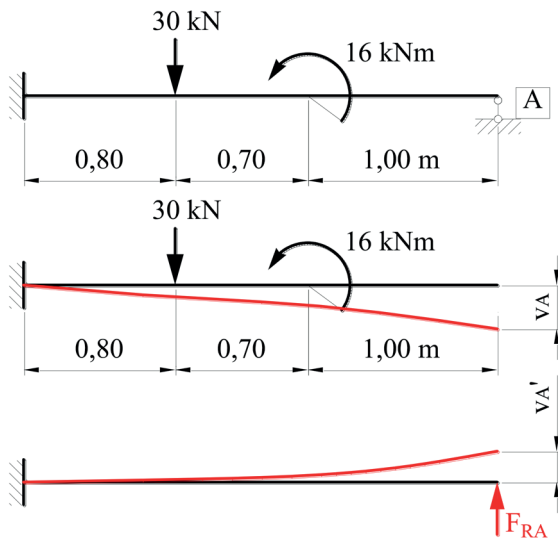
### Analitinis metodas

Šis metodas paremtas superpozicijos principo taikymu įlinkiui ties atrama A skaičiuoti (6 pav.).

Koncepcija aiškinama tuo, kad įlinkis ties atrama privalo būti lygus nuliui:

$$v_A + v_A' = 0 \tag{4}$$

Šiems įlinkiams rasti taikome analitinės poslinkių skaičiavimo formules:



6 pav. Sijų įlinkiai

Pagrindinės sistemos įlinkis:

$$v_A = \frac{1}{E \cdot I_x} \cdot \left( \frac{30 \cdot 0,8^2 \cdot (3 \cdot 2,5 - 0,80)}{6} - \frac{16 \cdot 1,5 \cdot (2 \cdot 2,5 - 1,50)}{2} \right) = \frac{-20,6}{E \cdot I_x}$$

Įlinkis nuo atraminės reakcijos:

$$v_A' = \frac{-F_{RA} \cdot 2,5^3}{3 \cdot E \cdot I_x} = \frac{-5,21 \cdot F_{RA}}{E \cdot I_x}$$

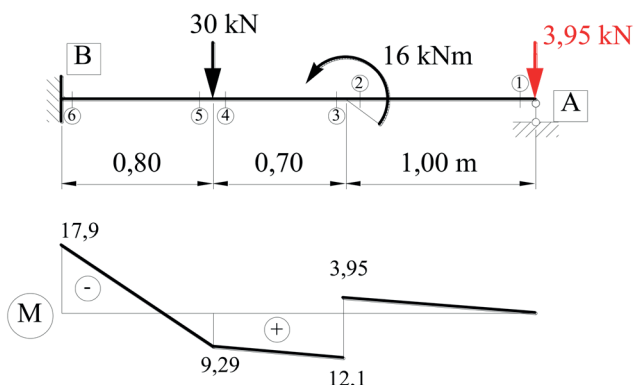
Lygties (4) pavidalas su reikšmėmis:

$$\frac{-20,6}{E \cdot I_x} + \frac{-5,21 \cdot F_{RA}}{E \cdot I_x} = 0$$

ir sprendinys

$$F_{RA} = -\frac{-20,6}{5,21} = -3,95 \text{ kN.}$$

Sprendžiant abiem metodais gautas identiškas rezultatas. Žinant atramą veikiančią jėgą sija sprendžiama pjūvio metodu ir gauta statškai neišsprendžiamos sijos lenkimo momentų diagrama pavaizduojama 7 pav.

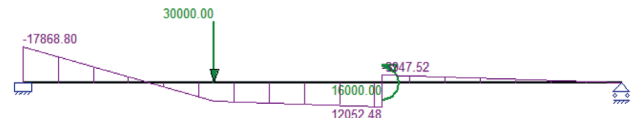


7 pav. Statškai neišsprendžiamos sijos lenkimo momentų diagrama

## Kompiuterinės programos naudojimas

Klasikinius skaičiavimo metodu pakeičia kompiuteriniai metodai: baigtinių elementų, baigtinių skirtumų ir kt. (Zienkiewicz O.C. 2000.)

Naudojame įrašoms skaičiuoti skirtą programą *MatrixFame* [www.matrix-software.com] ir gautą diagramą pavaizduojame 8 pav.

8 pav. Lenkimo momentų diagrama, gauta *MatrixFrame*

Skaičiuojame analitiniu ir skaitiniu metodais gautų lenkimo momentų paklaidas ir pateikiame rezultatus 1 lent.

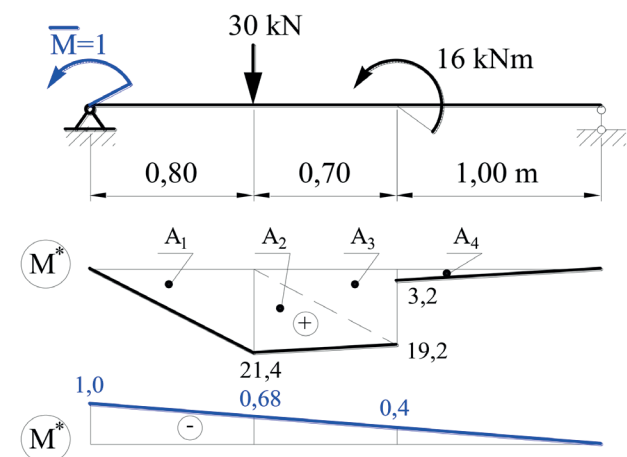
1 lentelė. Paklaidos

Pjūvis	Analitinis	Skaitinis	Paklaida, %
1	0	0	0
2	3,95	3,947	0,08
3	12,1	12,052	0,40
4	9,29	-	-
5	9,29	-	-
6	17,9	17,869	0,17

Maksimali paklaida yra 0,40 %.

## Antrojo varianto pagrindinės sistemos sprendimas

Sudaroma dvitramės sijos diagrama  $M^*$  ir lenkimo momentų diagrama  $\bar{M}$  nuo vienetinio momento (8 pav.).



9 pav. Antrojo varianto lenkimo momentų diagramos

Skaičiuojami kanoninės lygties nariai:

Sistemos poslinkis nuo vienetinio momento:

$$\delta = \left[ \frac{1}{2} \cdot 1,0 \cdot 2,5 \cdot \left( \frac{2}{3} \right) \cdot 1,0 \right] = 0,833$$

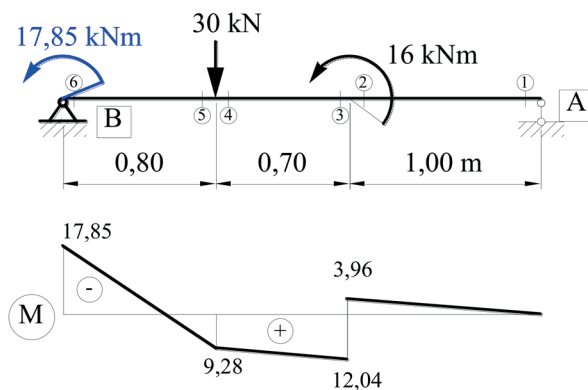
Pagrindinės sistemos poslinkis:

$$\begin{aligned} \Delta^* &= \left[ \frac{1}{2} \cdot 21,4 \cdot 0,80 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot (-1,0) + 2 \cdot (-0,68) \right) \right] + \\ &+ \left[ \frac{1}{2} \cdot 21,4 \cdot 0,70 \cdot \left( \frac{2}{3} \cdot (-0,68) + \frac{1}{3} \cdot (-0,40) \right) \right] + \\ &+ \left[ \frac{1}{2} \cdot 19,2 \cdot 0,70 \cdot \left( \frac{1}{3} \cdot (-0,68) + \frac{2}{3} \cdot (-0,40) \right) \right] + \\ &+ \left[ \frac{1}{2} \cdot 3,2 \cdot 1,00 \cdot \frac{2}{3} \cdot (-0,40) \right] = -14,87 \end{aligned}$$

Kanoninės lygties sprendinys:

$$X = \frac{\Delta^*}{\delta} = \frac{14,87}{0,833} = -17,85.$$

Žinant atraminį momentą dvitramė sija sprendžiama pjūvio metodu ir gauta statiskai neišsprendžiamos sijos lenkimo momentų diagrama pavaizduojama 9 pav.



10 pav. Antrojo varianto M diagrama

Paklaida tarp gautų sprendinių grafoanalitiniu 17,85 ir analitiniu 17,86 metodais tesudaro 0,06 %.

## Apibendrinimai ir išvados

Darbe atlikus vieną kartą statiskai neišsprendžiamos sijos analizę dviem variantais įvairiais skaičiavimo būdais daromos tokios išvados:

1. Skaičiuojamasis sijos modelis klasikiniu atveju gali turėti du variantus.

2. Tipines formules naudoti įmanoma tik pritaikius superpozicijos principą ir tai sudaro iki 0,06% paklaidą

3. Skaičiuojamoji komercinė ir edukacinė kompiuterinė programa gautas rezultatas su 0,4 % paklaida yra identiškas grafo analitinio ir analitinio skaičiavimo rezultatams.

4. Nežinomais ryšiais sistemoje gali būti atraminė reakcijos jėga arba atraminis reakcijos momentas.

## Literatūra

1. Atkočiūnas, J., Nagevičius, J. *Tamprumo teorijos pagrindai*. Vilnius: Technika, 2004.
2. Čižas, A. *Medžiagų atsparumas. Konstrukcijų elementų mechanika*. Vilnius: Technika, 1993.
3. Hibbeler, R.C. *Mechanics of materials*. Prentice Hall, 2011.
4. Vislavičius, K. et al. *Medžiagų atsparumo elektroninis vadovėlis*. Vilnius, 2008 m.
5. Zienkiewicz O.C. ir R.L. TAYLOR *The Finite Element Method. The Basis. Vol. 1. Fifth edition*, Butterworth Heinemann, Oxford, 2000.
6. [www.matrix-software.com/](http://www.matrix-software.com/)

## REVIEW OF METHODS FOR CALCULATING OF BENDING MOMENTS OF STATICALLY INDETERMINATE CANTILEVER BEAM

Jurijus Tretjakovas<sup>1</sup>, Audrius Cereska<sup>1</sup>, Svetlana Toropoviene<sup>1</sup>, Sanja Ožvat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vilnius College of Technologies and Design  
<sup>2</sup>University of Novij Sad

**Abstract:** Statically indeterminate beams and elements embedded in supports are widely used in mechanical engineering, transport and civil engineering. Their internal forces are calculated by solving the system of canonical equations in various ways: graphical-analytical, using standard formulas, a computer program, etc. Each of these methods has advantages and disadvantages. The article reveals the practical application of some methods of a once statically indeterminate bending beam.

**Key words:** cantilever beam, statically indeterminate beam, methods of calculation

# AN OVERVIEW OF THE POSSIBILITY OF ROAD SURFACE DETERMINATION METHODS

Rengim Ozokutgen<sup>1,3</sup>, Vytenis Surbllys<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Gazi University, Teknikokullar 06500 Ankara

<sup>2</sup>Vilnius College of Technologies and Design, Antakalnis str. 54, LT-10303 Vilnius

<sup>3</sup>Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekis av. 11, LT-10303 Vilnius

**Abstract.** Highways are an important component that provides comfort and safety to road users while driving. For this reason, it is very important for the authorities responsible for road operation that the service levels of the pavements are in good condition. There are three different approaches to ensure highway safety. These approaches are image-based, 3D rendering based and vibration-based. Today, with the development of technology, sensors of smartphones have started to be used in vibration-based approaches. However, all approaches have different advantages and disadvantages. In this study, studies of these 3 approaches are listed together with their pros and cons.

**Keywords:** road surface damage, condition estimation, road surface condition, road roughness index.

## Introduction

Highways are one of the indispensable elements for the development of a country. Having a road network of sufficient length, with good geometric and physical standards, and a balanced spread throughout the country plays a major role in the social and economic development of the country.

Especially in developing countries, limited financial opportunities should be evaluated most effectively and investments in different sectors, including the transportation sector, should be made depending on detailed and long-term planning. For this reason, during the planning of the construction of a new road or the improvement of an existing road, besides meeting the traffic needs of the future in the most appropriate way.

It is also extremely important to follow a road that has been built and to improve its quality regularly. In parallel with technological developments, transportation has become easier today. Thanks to the rapidly developing vehicles because of the strain arising from the need for travel and transportation, daily business, shopping and touristic travels and transportations between countries have become normal. With this new normalization, road quality and tracking have gained importance. Although the human factor is the primary factor in the occurrence of accidents, the relationship between road condition and topography is also important. Speed data is collected and processed in many countries to ensure road safety. Typically, two types of velocity data are collected: "instantaneous (spot) velocity" and "average velocity". The instantaneous speed of a vehicle is the independent vehicle speed measured as that vehicle passes a certain point on the road. Average speed is the corridor speed of a vehicle between two points separated by a certain distance (Alonso et al., 2013). The application of an average speed detection system involves placing two or more cameras at multiple locations along a road network section. An image of the license plate and/or ve-

hicle and vehicle registration data of each vehicle that enters the system from the first camera location is taken, and additional images and data taken at subsequent camera locations within the system are added and matched with the initial data. Next, Automatic License Plate Recognition (ALPR) and Optical Character Recognition (OCR) technology are used to match vehicle registration information (Tapani Mäkinen, David M. Zaidel et al., 2003; Hosking et al., 2009; Cameron, 2003).

Although the average speed or instantaneous speed is determined according to the road quality (asphalt, soil, gravel), the number of lanes, and traffic barriers, the effect of the weather on the speed is known according to the topographic condition of the road. If the road is uneven and unsuitable, it will be difficult to reach a high speed safely. Road surfaces that are well-maintained improve road user safety and comfort. As a result, it is critical to continuously monitor road conditions to sustain and improve the transportation system in terms of driving safety and comfort. In Canada, for example, authorities responsible for road surface maintenance must deal with complaints about poor road surface conditions, particularly during the winter months. The density of road surface anomalies is one of the main indicators used to determine road surface conditions (Strutu et al., 2013). The International Roughness Index (IRI) will be explained in detail later in this article, but it is one of the values commonly used to understand the unevenness of the road, or in other words, it is the value that helps us understand how safe it is for vehicles on the road to travel at high speed.

Recently, many studies have been carried out to detect disturbances on the road. The studies carried out with the developing technology are evaluated in different scopes. Recently, many studies have been carried out to detect disturbances on the road. The studies carried out with the developing technology are evaluated in different scopes. For example, sensors of smartphones have started to be used in vibration-based approaches. Also, with the neural network



and artificial intelligence systems, the prediction methods are studied commonly. Even if there are numerous different methods are available to detect disturbances, these can be differentiated into three main approaches: vision-based approaches, vibration-based approaches, and 3D modeling approaches. This study aims to make an evaluation of the recent road surface tracing techniques and to investigate the usage of the different techniques together. However, all approaches have different advantages and disadvantages. In this study, studies of these three main approaches are listed together with their pros and cons.

## 1. Literature Review

In the literature searches, it has been seen that the methods that are frequently studied today and that we have started to see frequently in all areas of our lives are also encountered in the improvement and follow-up of road quality. In other words, it is seen that low IRI values are tried to be established and preserved. For example, artificial intelligence can be guided to detect road conditions based on the visual content with GPS tagging (Chun & Ryu, 2019). Or for the same case, big data can be used to guide machine learning to detect anomalies such as cracks, potholes, etc. (Sattar et al., 2021).

There are mainly three different approaches to detect road surface quality:

- Vision-based approaches
- 3D modeling (reconstruction) approaches
- Vibration-based approaches

Vision-based approaches can be expensive, due to the cost of high-quality vision detection systems such as a camera or a series of sensors like LIDAR. Also, vision detection systems need high computation power, so powerful machines can be needed for some cases which also affects the cost too. In addition to the cost is real-time vision-based approaches may be challenging and may not be feasible for all cases, such as the snowy or rainy season (Fan et al., 2020; Wu et al., 2014). However even if it can be costly, the accuracy of the projects is around 90 percent which is reasonably high (Nguyen et al., 2008; Wu et al., 2014; Yadav et al., 2018; Torbaghan et al., 2020; Fan et al., 2020; Khan & Ahmed, 2021).

3D modeling approaches totally depend on the 3D scanner, usually a laser scanner, to create the 3D image of the surrounding vehicle. This technique is quite accurate, percent. In this approach, the created model compared a base model to detect the road anomalies. This approach requires the expensive initial cost to buy such lasers and it can be excessively expensive to create the 3D image of the big city (Moazzam et al., 2013; Guo et al., 2015; Zhao et al., 2019; Hu & Furukawa, 2020).

Vibration-based approaches detect road defects or road quality by analyzing or recording the vehicles' vibrations by using one or more sensors like an accelerometer or gyroscope. The vehicle vibrates more when it's going on a bad

quality road or road defects like potholes or cracks, at least theoretically. In this theory, using a smartphone to detect and record vibration is a popular research topic lately. Depending on the desired application criteria, various combinations of sensors (physical or virtual) may be used for each smartphone-based application. Motion sensor data can be tracked to detect any possible shake or tilt caused by road surface anomalies in a moving vehicle when developing an application for road surface anomaly detection. Previous research into road surface anomaly detection using smartphone sensors has extensively used motion sensors (accelerometers and gyroscopes). Accelerometer sensors measure acceleration force, including gravity force, on all three physical axes ( $m/s^2$ ). Gyroscope sensors measure the rate of rotation of a device around each of its three physical axes ( $rad/s$ ). Previous studies frequently used accelerometer sensor data to detect anomalies because road surface anomalies have a greater influence on, and are primarily detectable from, the acceleration force applied to the vehicles, rather than the rotation rate caused by vehicle vibration (Harikrishnan & Gopi, 2017; Singh et al., 2017). Only a few studies (Douangphachanh & Oneyama, 2014; Sattar et al., 2018), who investigated the frequency range combined with gyroscope sensor data, especially accelerometer data, have improved detection accuracy (as supplementary sensor data).

In the vibration-based approach, it is also important the smartphone's orientation and location. To investigate a large-scale road-mapping with Global Positioning System, the smartphone's sensors have to detect the vibrations regardless of the location or orientation. Otherwise, the data may not be accurate to evaluate the vibrations accurately (Douangphachanh & Oneyama, 2014; Sattar et al., 2018).

## 2. International Roughness Index (IRI)

The roughness of a pavement surface is generally called "unevenness" and is defined as the variation of the elevation of the evaluation points on the surface from an ideal reference plane (Sayers et al., 1998). Unevenness can be measured using different methods with portable inclinometers, response-type road roughness gauges, or various other section measuring devices. Common road roughness measurements methods are as follows:

- Long Beam: In this method, the unevenness can be detected easily by putting the long beam on the road. Even if it is a simple and reliable data collection method, this method is not efficient and lacks sustainability. Because this technique requires a long beam for measurement, the long beam must be carried every time (Du et al., 2014).
- Transit level and leveling rod: In this technique, transit level and leveling rod should be put with a unit distance (can be determined for each case) to calculate and see the angle difference. It is efficient,

relatively cheap and it is a commonly used way to calculate the road roughness (Hyla, 2019).

- **Bump Integrator:** It is also known as Roughometer or Automatic Road Unevenness Recorder. The machine which consists of a single wheel and pneumatic tire must be driven on the road. By doing so, a pneumatic tire records the change of the pressure while going on the road, which can be easily readable. However, this technique is simple and relatively fast, the machine has to be driven at the same speed and may be affected by the towing vehicle (Prasad et al., 2013).
- **The laser road surface tester:** This technique is conceptually different and more complicated from them. The tester which consists of several laser units is mounted to the chassis of the car. While driving the car, the lasers by the laser units were sent to the road, and with absorbing the reflection of the laser beams the road roughness was calculated (Arnberg et al., 1983).
- **Profilometer:** A profilometer is not only used to calculate road roughness but also can be used to calculate any surface of the roughness. This technique needs a white light source and according to the reflected light system analyses the wavelengths to determine the road roughness level. Even if it gives an accurate result, the initial and maintenance cost is expensive (Pierce et al., 2013).

Today, the cross-section measurement method, which is carried out by means of remote sensors (laser or ultrasonic sensors), is widely used. In this method, the distance between the road surface and the measuring rod from a vehicle moving at relatively high speed and the relative displacements between an inertial reference system by means of accelerometers placed on the rod are evaluated. In general, the vertical section of the pavement is measured along two lines per lane, corresponding to each rut of a vehicle (Perera & Kohn, 2005). IRI, which was developed to evalu-

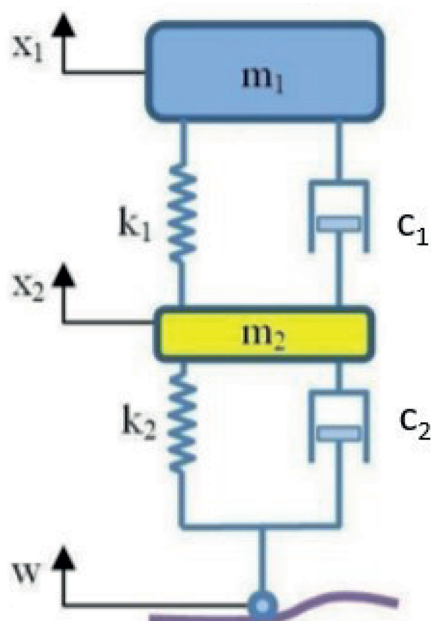


Fig 1. Quarter-Car Model (Tusset et al., 2009)

ate the unevenness of the superstructures and thus the ride comfort, and has international validity, was created by the World Bank in 1986 (Terzi, 2013). The IRI value is determined by properly measuring the cross-section of the pavement, then processing the roughness inputs through an algorithm that simulates the sum of the suspension displacements of a reference vehicle (Sayers et al., 1998).

The system shown in Fig.1 is a quarter car system where  $m_1$  - is the sprung mass,  $m_2$  - is the unsprung mass,  $k_1$  - is the stiffness coefficient of the suspension,  $k_2$  - is the vertical stiffness of the tire,  $c_1$  - is the damping coefficient of the suspension,  $c_2$  - is the damping coefficient of the tire,  $x_1$  - the vertical displacement of sprung mass,  $x_2$  - is the vertical displacement of unsprung mass,  $w$  - is the road excitation. This type of model is most commonly used in theoretical studies of car suspension dynamics (Negash et al., 2021).

## Conclusion and Future Works

To summarize, these three approaches mainly help to assess the IRI of the existing road. As stated, it can be said that the road with lower IRI is safer for high speeds. Lately, efforts have been made to implement various methods of detecting road surface anomalies using data from smartphone sensors. However, these approaches continue to face some challenges. Regarding the performance of related algorithms, it is difficult to compare the accuracy and performance of different approaches due to the limited availability of reported algorithms and datasets. With many threshold-based approaches, it remains unclear how the threshold was set. In addition, the supervised or unsupervised learning method requires a large amount of data to train the cognitive model.

The vision-based approach needs to be analyzed in detail to get an understandable view of projection. It needs a huge amount of computing power and coding in order to get accurate results in real-time. However, usually, its results are mostly accurate.

The 3D reconstruction approach is totally based on software and big data. After creating the image, the data must be evaluated carefully in order to get an accurate result. Also, it may not be feasible to apply this approach to a large city.

For future work, one of the approaches can be evaluated in detail, especially for the ones with smartphone applications. With smartphone features, anyone can record the road conditions and send the exact location to the authorized personnel to do maintenance or for further inspection.

## References

- Alonso, F., Esteban, C., Calatayud, C., & Sanmartín, J. (2013). Speed and Road Accidents: Behaviors, Motives, and Asses-

- sment of the Effectiveness of Penalties for Speeding, *American Journal of Applied Psychology*, 1(3), 58-64.
- Arnberg, P., Magnusson, G., Råhs, K., Sandberg, U., Sjögren, L., Ohlsson, E., & Alm, L. (1983). The laser road surface tester - A system for simultaneous measurement of rut depth, roughness, macrotexture and friction. <https://www.diva-portal.org/>. Retrieved from <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:674537/FULLTEXT02.pdf>.
- Cameron, M. (2003). Scientific basis for the strategic directions of the safety camera program in Victoria, *Monash University Accident Research Centre*: 53-59.
- Chun, C., & Ryu, S. (2019). Road Surface Damage Detection Using Fully Convolutional Neural Networks and Semi-Supervised Learning, *Sensors* 19(24). <https://doi.org/10.3390/s19245501>
- Douangphachanh, V., & Oneyama, H. (2014). Exploring the Use of Smartphone Accelerometer and Gyroscope to Study on the Estimation of Road Surface Roughness Condition. *Proceedings of the 11th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics*. doi:10.5220/0005117407830787
- Du, Y., Liu, C., Wu, D., & Jiang, S. (2014). Measurement of International Roughness Index by Using Z-Axis Accelerometers and GPS, *Mathematical Problems In Engineering*: 1-10. <https://doi.org/10.1155/2014/928980>
- Eskandari Torbaghan, M., Li, W., Metje, N., Burrow, M., Chapman, D., & Rogers, C. (2020). Automated detection of cracks in roads using ground penetrating radar, *Journal Of Applied Geophysics*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104118>
- Fan, R., Ozgunalp, U., Hosking, B., Liu, M., & Pitas, I. (2020). Pothole Detection Based on Disparity Transformation and Road Surface Modeling, *IEEE Transactions On Image Processing*, 29: 897-908. <https://doi.org/10.1109/tip.2019.2933750>
- Guo, J., Tsai, M., & Han, J. (2015). Automatic reconstruction of road surface features by using terrestrial mobile lidar, *Automation In Construction*, 58: 165-175. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.017>
- Harikrishnan, P., & Gopi, V. (2017). Vehicle Vibration Signal Processing for Road Surface Monitoring, *IEEE Sensors Journal*, 17(16): 5192-5197. <https://doi.org/10.1109/jsen.2017.2719865>
- Hosking, Simon G., Kristie L. Young, and Michael A. Regan. (2009). The Effects of Text Messaging on Young Drivers, *Human Factors* 51(4): 582-92. <https://doi.org/10.1177/0018720809341575>.
- Hu, Y., & Furukawa, T. (2020). Degenerate Near-Planar 3D Reconstruction from Two Overlapped Images for Road Defects Detection. *Sensors*, 20(6). <https://doi.org/10.3390/s20061640>
- Hyla, P. (2019). Overhead Travelling Crane Construction Deflection Measurements with Telematic Approach. *Journal of KONES* 26(3): 53-60. <https://doi.org/10.2478/kones-2019-0057>
- Khan, M. N., & Ahmed, M. M. (2021). Weather and surface condition detection based on road-side webcams utilizing AlexNet, GoogleLeNet, and ResNet: Application of pre-trained Convolutional Neural Network, *International Journal of Transportation Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2021.06.003>
- Strutu, M., Stamatescu, G. & Popescu, D. (2013). A mobile sensor network based road surface monitoring system, *2013 17th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)*: 630-634. [10.1109/ICSTCC.2013.6689030](https://doi.org/10.1109/ICSTCC.2013.6689030).
- Mäkinen, T., Zaidel, D., Andersson, G., Biecheler-Fretel, M., Christ, R., & Cauzard, J. et al. (2003). Traffic enforcement in Europe: effects, measures, needs and future. *Ec.europa.eu*. Retrieved from [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/projects\\_sources/escape\\_final\\_report.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/projects_sources/escape_final_report.pdf).
- Moazzam, I., Kamal, K., Mathavan, S., Usman, S., & Rahman, M. (2013). Metrology and visualization of potholes using the microsoft kinect sensor, *In 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*: 1284-1291. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/ITSC.2013.6728408>.
- Negash, B. A., You, W., Lee, J., Lee, C., & Lee, K. (2021). Semi-active control of a nonlinear quarter-car model of hyperloop capsule vehicle with Skyhook and Mixed Skyhook-Acceleration Driven Damper controller, *Advances in Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.1177/1687814021999528>
- Nguyen, T., Avila, M., Begot, S., & Bardet, J. (2008). Detection of Defects in Road Surface by a Vision System. In *Electrotechnical Conference, The 14th IEEE Mediterranean*: 847 - 851. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00666928>.
- Perera, R., & Kohn, S. (2005). Quantification Of Smoothness Index Differences Related To LTPP Equipment Type. *Fhwa.dot.gov*. Retrieved from <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/05054/05054.pdf>.
- Pierce, L., McGovern, G., & Zimmerman, K. (2013). Practical Guide for Quality Management of Pavement Condition Data Collection. *Fhwa.dot.gov*. Retrieved from [https://www.fhwa.dot.gov/pavement/management/qm/data\\_qm\\_guide.pdf](https://www.fhwa.dot.gov/pavement/management/qm/data_qm_guide.pdf).
- Prasad, J., Kanuganti, S., Bhanegaonkar, P., Sarkar, A., & Arkatkar, S. (2013). Development of Relationship between Roughness (IRI) and Visible Surface Distresses: A Study on PMGSY Roads, *Procedia - Social And Behavioral Sciences*, 104, 322-331. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.125>
- Sattar, S., Li, S., & Chapman, M. (2018). Road Surface Monitoring Using Smartphone Sensors: A Review, *Sensors* 18(11), 3845. <https://doi.org/10.3390/s18113845>
- Sattar, S., Li, S., & Chapman, M. (2021). Developing a near real-time road surface anomaly detection approach for road surface monitoring, *Measurement*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109990>
- Sayers, M. W. & Karamihas, S. W., (1998). The little book of profiling – basic information about measuring and interpreting road profiles.
- Singh, G., Bansal, D., Sofat, S., & Aggarwal, N. (2017). Smart patrolling: An efficient road surface monitoring using smartphone sensors and crowdsourcing, *Pervasive And Mobile Computing*, 40: 71-88. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2017.06.002>
- Terzi, S. (2013). Modeling for pavement roughness using the ANFIS approach, *Advances In Engineering Software*, 57: 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2012.11.013>
- Tusset, A. M., Rafikov, M., & Balthazar, J. M. (2009). An Intelligent Controller Design for Magnetorheological Damper Based on a Quarter-car Model, *Journal of Vibration and Control*, 15(12): 1907-1920. <https://doi.org/10.1177/1077546309102677>
- Wu, M., Lam, S., & Srikanthan, T. (2014). Nonparametric Technique Based High-Speed Road Surface Detection, *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, 16(2): 874 - 884. <https://doi.org/10.1109/tits.2014.2345413>

- Yadav, M., Lohani, B., & Singh, A. (2018). Road surface detection from mobile lidar data, *ISPRS Annals Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, IV-5: 95-101. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-iv-5-95-2018>
- Zhao, B., Nagayama, T., & Xue, K. (2019). Road profile estimation, and its numerical and experimental validation, by smartphone measurement of the dynamic responses of an ordinary vehicle, *Journal Of Sound And Vibration*, 457: 92-117. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2019.05.015>

## GALIMŲ KELIO PAVIRŠIAUS NUSTATYMO METODŲ APŽVALGA

Rengim Ozokutgen<sup>1,3</sup>, Vytenis Surblys<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*Gazi universitetas*

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

<sup>3</sup>*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

**Anotacija.** Kokybiški keliai yra svarbus veiksnys, užtikrinantis eismo dalyviams komfortą ir saugumą vairuojant. Dėl šios priežasties už kelių eksploatavimą atsakingoms institucijoms labai svarbu, kad kelio dangų aptarnavimo lygis būtų tinkamas. Yra trys skirtingi metodai kelių būklei nustatyti. Šie metodai yra pagrįsti vaizdų analize, 3D atvaizdavimu ir vibracijų matavimu. Šiandien, tobulėjant technologijoms, išmaniųjų telefonų jutikliai pradėti naudoti kelio paviršiaus būklei nustatyti. Tačiau visi metodai turi skirtingus privalumus ir trūkumus. Šiame tyrime išvardyti šių 3 metodų tyrimai kartu su jų privalumais ir trūkumais.

**Reikšminiai žodžiai:** kelio dangos pažeidimas, būklės įvertinimas, kelio paviršiaus būklė, kelio nelygumo indeksas.

# SRIEGINĖS JUNGTIES SU SPECIALIOS KONSTRUKCIJOS VERŽLE ĮTEMPIŲ NUSTATYMAS IR ANALIZĖ

Audrius Čereška<sup>1,2</sup>, Jelena Selivonec<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Basanavičiaus g. 28, LT-03224 Vilnius

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

**Anotacija.** Inžinerijoje naudojama daug elementų jungimo būdų: kniedijimas, litavimas, virinimas, klijavimas ir t. t. Populiariausias yra srieginis jungimas, taikomas statiškai ir dinamiškai veikiančiose sistemose. Nors srieginis junginys populiarus, tačiau turi ir nemažai trūkumų, pavyzdžiui, srieginio junginio atsipalaidavimas dėl išorinio poveikio, pvz. virpesių, dinaminės apkrovos nuovargio arba korozijos ir t. t. Tačiau prieš tiriant atsipalaidavimo priežastis reikia nustatyti, kokie įtempiai susidaro srieginėje jungtyje. Šiame darbe pateikta srieginės jungties su specialios konstrukcijos veržle įtempimų pasiskirstymo tyrimas, sudarytas srieginio junginio su specialios konstrukcijos veržle modelis, apskaičiuoti tiriamos jungties įtempimų skirstiniai. Gauti rezultatai apibendrinti ir suformuluotos išvados.

**Pagrindinės sąvokos:** srieginis junginys, specialios konstrukcijos veržlė, įtempiai, modelis, baigtinių elementų metodas (BEM).

## Įvadas

Srieginis junginys – vienas populiariausių elementų, būtų labai sunku rasti mechanizmą be varžtinio junginio. Junginys, veržlė, varžtas naudojami maži dinamiškai aktyvių ir padidintų virpesių ir dinaminų apkrovų inžineriniuose objektuose: lengvuosiuose automobiliuose, sunkvežimiuose, laivų varikliuose, kompresoriuose ir dyzeliniuose generatoriuose; geležinkelio transporte ir bėgių konstrukcijose; aviacijoje, elektroenergetikoje, pramoniniuose ventiliatoriuose, šaldymo įrenginiuose, staklėse, presuose, matavimo prietaisuose, konvejeriuose, kalnakasybos mechanizmuose ir kt (1 pav.) (Peairs et al., 2004, Heston 1998, Čelič & Boltežar, 2008).



1 pav. Objektai, kuriuose naudojami srieginiai junginiai

Toks platus srieginių junginių naudojimas rodo, kad problema aktuali.

Nors srieginis junginys labai populiarus, tačiau turi ir trūkumų: atsipalaidavimas savaime ir dėl išorinio poveikio, pvz., virpesių, dėl dinaminės apkrovos, nuovargio arba korozijos ir t. t. (Pai & Hess, 2002, Kerley 1982, Dong & Hess, 1988, Dong & Hess, 2003). Jungimo kokybei turi įtakos ir jungiamųjų elementų techninės charakteristikos (Gao et al., 2008, Hester & Gonzalez, 2012, Yuan et al., 2010, Биргер и Иосилевич, 1990).

Sraigčių jungčių, turinčių skersinę apkrovą, mechaninė elgsena buvo tirta darbuose (Jiang et al., 2013, Wentzel & Huang, 2015, Thanwerdas et al., 2017). Bhattacharya (Bhattacharya et al., 2010) rezultatai parodė, kad skersinės arba šlyties apkrovos yra pagrindinės vibracijos sukkelto atsipalaidavimo priežastys. Straipsnyje (Milanese et al., 2008) parodyta, kad esant didelėms apkrovoms yra svarbus varžto ilgio ir skersmens santykis, kad būtų išvengta slydimo tarp sriegių.

Kontaktinio slėgio pasiskirstymo poveikis buvo analizuotas darbuose (Zhao et al., 2016). (Dinger & Friedrich, 2011) ir nustatyta, kad sraigtinė jungtis atsipalaiduoja dėl kontaktinio ploto slydimo ir nuo mažesnių apkrovų nei tikėtasi.

Papildomi srieginio junginio apsaugos nuo atsipalaidavimo priemonės: spyruokliuojančios poveržlės, kontrveržlės nepakankamai efektyvios, todėl siūloma naujos konstrukcijos dviejų dalių veržlė.

Srieginių junginių su siūlomos specialios konstrukcijos veržle atliktų tyrimų nėra. Šiame straipsnyje pateiktas srieginio junginio su specialios konstrukcijos veržle modelis, įtempimų pasiskirstymo skaičiavimai, gauti rezultatai ir jų analizė.

**Straipsnio objektas** – srieginė jungtis su specialios konstrukcijos dviejų dalių veržle.

**Straipsnio tikslas** – nustatyti, kaip pasiskirsto įtempiai varžto sujungime su specialios konstrukcijos veržle.

**Uždaviniai:**

- Sudaryti varžto, specialios konstrukcijos veržlės jungties skaičiuojamąjį modelį.
  - Nustatyti įtempimų pasiskirstymą jungties detalėse.
- Darbe taikytas baigtinių elementų metodas (BEM) (Barauskas ir kiti, 2004, Zienkiewicz & Taylor, 2000). Sudarytas skaičiuojamasis modelis gali būti taikomas įvairių specialios paskirties veržlių atsipalaidavimo veiksnių įtakai nagrinėti.

**1. Tiriamasis objektas**

Tiriamas srieginis junginys su specialios konstrukcijos veržle. Srieginės jungties pagrindiniai parametrai: M10x1, vijų profilio kampas  $\alpha = 60^\circ$ .

Veržlė – tai gaminy su sriegine kiauryme ir sukamojo momento perdavimo elementu. Veržlės konstrukcinį sukimo momentą perduoda daugiabriaunės ar kitokios formos elementas. Specialios konstrukcijos veržlės nuotrauka pateikta 2 pav.



2 pav. Specialios konstrukcijos veržlės M10x1 bendro vaizdo nuotrauka

Šaltinis: sudaryta autorių

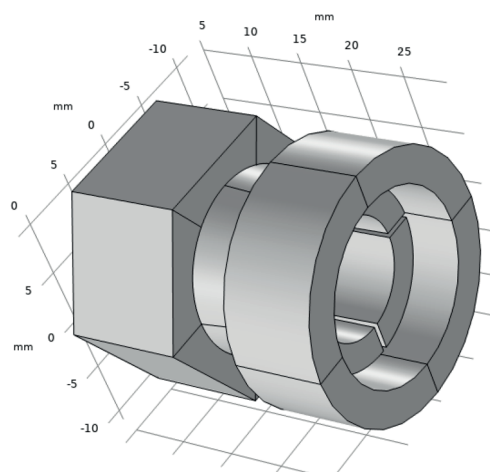
Ji išsiskiria iš kitų veržlių konstrukcija. Kaip matoma 2 pav., tokia veržlė sudaryta iš dviejų dalių, 1 dalis, kaip ir visos kitos standartinės veržlės, srieginė kiaurymė su sukamojo momento perdavimo elementu, 2 dalis – canginė-srieginė kiaurymė su sukamojo momento perdavimo elementu.

**2. Srieginio junginio modeliavimas**

Prieš modeliuojant srieginį junginį sumodeliuota veržlė. Specialios konstrukcijos veržlės modelis pateiktas 3 pav.

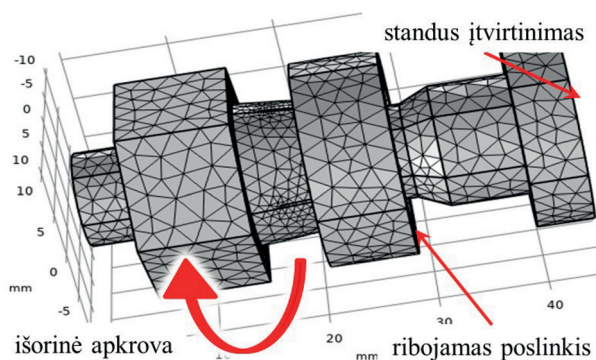
Sudarius varžto ir specialios veržlės modelius sudarytas srieginės jungties modelis, padalintas į baigtinius elementus. Srieginio junginio modelio baigtinių elementų dispersiškumas ir jų skaidymo žingsnis, pagal nutylėjimą, priimtas toks kokį pasiūlė kompiuterinė programa. Modeliavimui naudota kompiuterinė programa COMSOL. Srieginio junginio modelis padalintas į baigtinius elementus ir kraštinėmis sąlygomis pateiktas 4 pav.

Sudarius modelį atlikti srieginio junginio skaičiavimai siekiant nustatyti Mizeso įtempimų pasiskirstymus.



3 pav. Specialios konstrukcijos veržlės modelis

Šaltinis: sudaryta autorių



4 pav. Baigtinių elementų modelis su kraštinėmis sąlygomis

Šaltinis: sudaryta autorių

**3. Skaičiavimo rezultatai ir jų analizė**

Srieginės jungties M10x1 su standartiniu vijų profilio kampu  $\alpha = 60^\circ$  gauti skaičiuojamojo modelio rezultatai iliustruojami Mizeso įtempimų pasiskirstymais.

5 pav. pateikti varžto įtempimų pasiskirstymai išilgai sujungimo simetrijos ašies. Kiekvienos kreivės didžiausi įtempiai atsiranda toje varžto dalyje, kur veržlė turi kūginę dalį ties įpjovomis. Pagal kreivės mažiausias įtempimų reikšmes matoma, kaip pasiskirsto įtempiai tiesėje, nutolusioje per 1,25 mm (paveiksle atitinka „distance=0“) nuo išilginės simetrijos ašies. Kreivės didžiausias įtempimų reikšmės rodo, kaip pasiskirsto įtempiai tiesėje ties varžto vijų įdubomis. 5 pav. matomi maksimalūs Mizeso įtempiai kinta nuo 26 MPa iki 78 MPa.

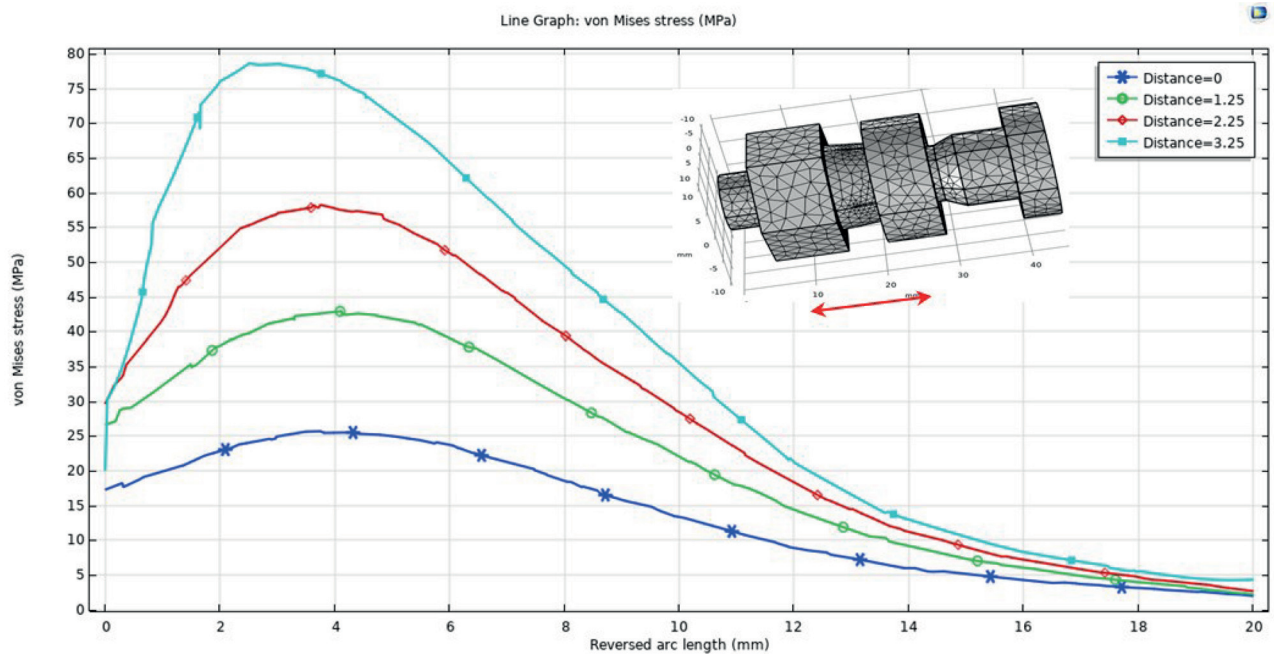
Mizeso įtempimų pasiskirstymas veržlėje išilgai simetrijos ašies parodytas 6 pav. Kreivė su mažiausiomis įtempimų reikšmėmis rodo, kaip pasiskirsto įtempiai nutolusioje per 4 mm (paveiksle atitinka „distance=0“) nuo išilginės simetrijos ašies tiesėje, t. y. ties veržlės vijų įdubomis. Toliau atstumai rodomi nuo šitos pradinės tiesės. Kiekvienos kreivės didžiausi įtempiai atsiranda veržlės kūginėje dalyje ties įpjovomis. 6 pav. matoma, kad veržlės standartinėje dalyje (veržlės aukštyje nuo 20 mm iki 12 mm) įtempiai kinta pamažu ir yra panašūs, o plonesnėje kūginėje dalyje kinta greičiau ir

didėja nuo veržlės vijų įdubų išorinio paviršiaus link. Didžiausias 382 MPa įtempis atsiranda dviejų veržlės dalių kontakto vietoje.

7 pav. pateiktas Mizeso įtempių pasiskirstymas varžto skerspjūviuose. Čia horizontali ašis rodo atstumą nuo varžto vijų įdubų iki centro. Skerspjūviai padaryti kas 2,5 mm toje varžto dalyje, kur yra kontaktas su veržle. Kai varžtas kontaktuoja su veržlės standartinė dalimi (paveiksle atitinka „distance=0, 2.5, 5.0, 7.5“), įtempiai lėtai didėja sriegio įdubų link ir pokyčiai yra nuo 3 iki 10 kartų. Kai varžtas kontaktuoja su veržlės kūgine dalimi (paveiksle atitinka „distance=10.0; 12.5, 15.0“), įtempių didėjimas intensyvesnis ir yra nuo 15 iki 29 kartų.

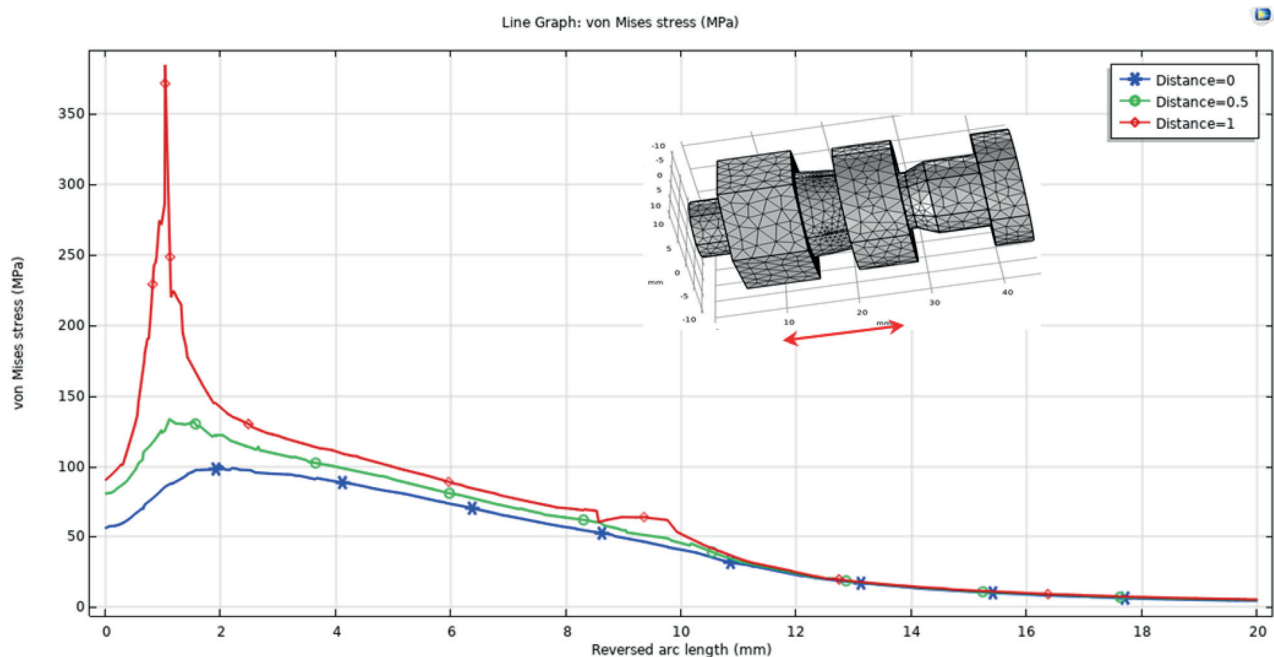
Mizeso įtempių pasiskirstymas veržlės skerspjūviuose parodytas 8 pav. Kaip ir varžto, visi skerspjūviai padaryti jungties detalių kontakto aukštyje. Horizontali ašis rodo atstumą nuo veržlės vijų įdubų iki išorinio paviršiaus. Veržlės standartinėje dalyje (paveiksle atitinka „distance=0; 2.5; 5.0; 7.5“) įtempiai yra panašūs, o plonesnėje kūginėje dalyje (paveiksle atitinka „distance=10.0; 12.5; 15.0“) kinta greičiau ir didėja nuo veržlės išorinio paviršiaus vijų įdubų link. Čia įtempiai didėja 1.7, 1.3 ir 1.19 kartus.

Varžto ir veržlės skerspjūviai padaryti arti dviejų veržlės dalių kontakto vietos („distance=17.5“), todėl įtempių pasiskirstymo pobūdis čia skiriasi nuo kitų pjūvių.



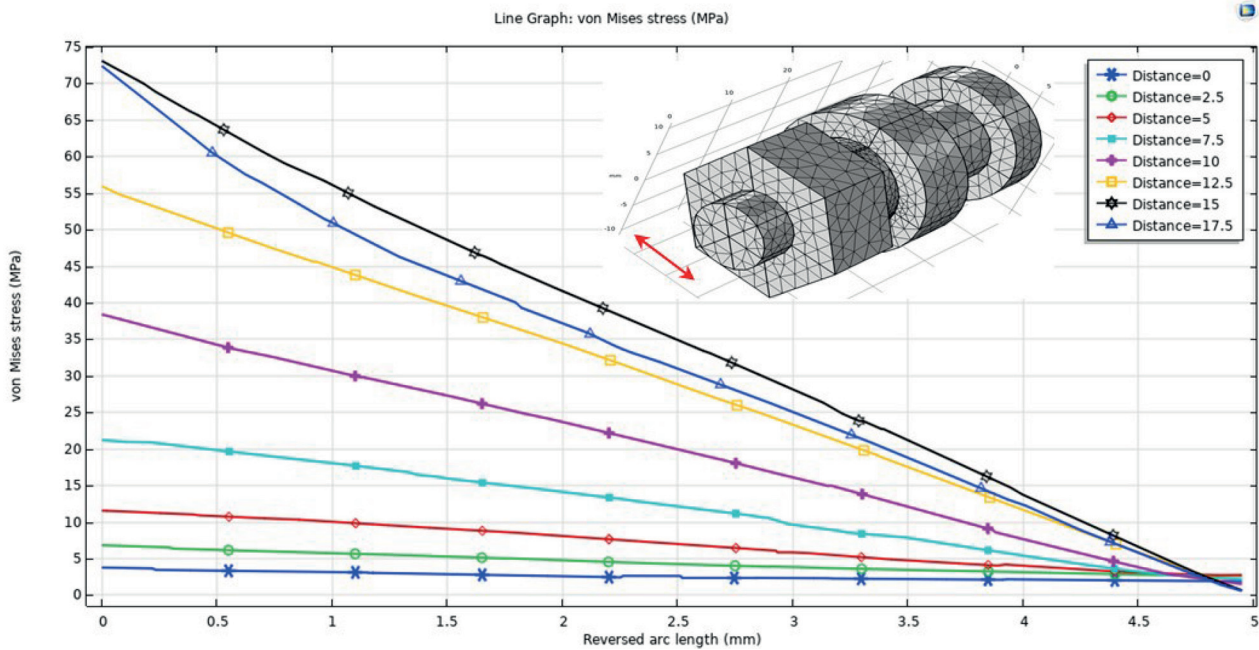
5 pav. Mizeso įtempių pasiskirstymas išilgai modelio simetrijos ašies

Šaltinis: sudaryta autorių

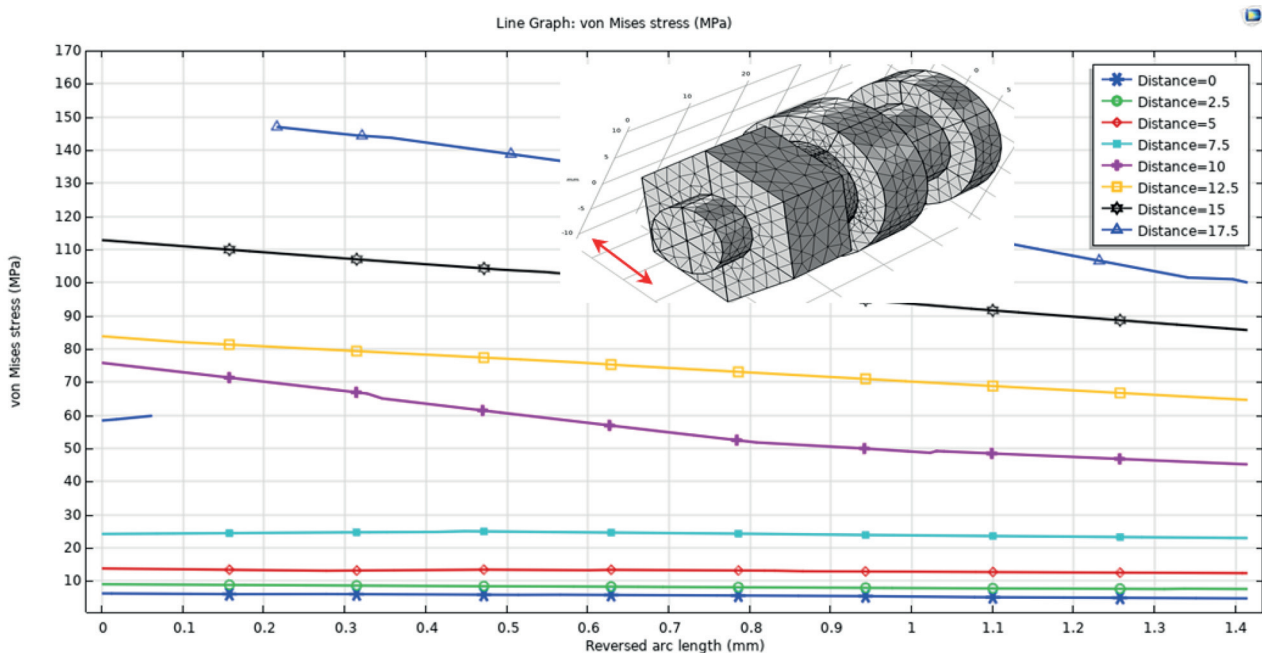


6 pav. Mizeso įtempių pasiskirstymas išilgai modelio simetrijos ašies veržlėje

Šaltinis: sudaryta autorių



7 pav. Mizeso įtempių pasiskirstymas varžto skerspjūviuose  
Šaltinis: sudaryta autorių



8 pav. Mizeso įtempių pasiskirstymas veržlės skerspjūviuose  
Šaltinis: sudaryta autorių

## Išvados

Literatūros analizė rodo problemos aktualumą. Taikant baigtinių elementų metodą gauti varžto ir specialios konstrukcijos veržlės Mizeso įtempių skirstiniai. Remiantis gautais rezultatais padarytos tokios išvados.

1. Varžto skerspjūvyje Mizeso įtempiai veržlės kūginės dalies aukštyje didėja 15, 22,4 ir 29 kartus įvairiuose skerspjūviuose nuo storiausios kūgio dalies iki ploniausios.

2. Veržlės skerspjūvyje Mizeso įtempiai veržlės kūginės dalies aukštyje didėja 1,7, 1,3 ir 1,19 kartus įvairiuose skerspjūviuose nuo storiausios kūgio dalies iki ploniausios.

riuose skerspjūviuose nuo storiausios kūgio dalies iki ploniausios.

## Literatūra

- Barauskas R., Belevičius R., Kačanauskas R. (2004). *Baigtinių elementų metodo pagrindai*. Vilnius: Technika. (Knyga).
- Bhattacharya A., Sen A., Das S. (2010). An investigation on the anti-loosening characteristics of threaded fasteners under vibratory conditions, *Mechanism and Machine Theory* 2010, 45, 1215–1225. doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2008.08.004. (Straipsnis moksliniame žurnale).



- Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. (1990). *Резьбовые и фланцевые соединения*. Москва: Машиностроение, 1990. (Knyga).
- Čelič D., Boltežar M. (2008). Identification of the dynamic properties of joints using frequency–response functions, *Journal of Sound and Vibration* 317, 158–174. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Dinger G., Friedrich C. (2011). Avoiding self-loosening failure of bolted joints with numerical assessment of local contact state. *Engineering Failure Analysis* 18, 2188–2200. doi.org/10.1016/j.engfailanal.2011.07.012. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Dong Y., Hess D.P. (1988.). Optimum placement of fastener in structures based on dynamic shear, *Journal of Sound and Vibration*. 217, 396–404. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Dong Y., Hess D.P. (2003). Influence of fastener placement on vibration-induced loosening. *Journal of Sound and Vibration*. 268, 617–626. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Gao Q., Duan C., Fan H., Meng Q. (2008). Rotating machine fault diagnosis using empirical mode decomposition, *Mechanical Systems and Signal Processing*. 22, 1072–1081. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Hester D., Gonzalez A. (2012). A Wavelet-Based Damage Detection Algorithm Based on Bridge Acceleration Response to a Vehicle. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 28, 145–166. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Heston A.W. (1998). *Handbook of Bolts and Bolted Joints*. New York: Marcel Dekker. VDI joint design procedures. (Knyga).
- Yuan S.X., Zhang Y.Y., Zhang Y.C., Jiang X.J. (2010). Stress distribution and contact status analysis of a bolted rotor with curvic couplings. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 224, 1–15. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Jiang X., Zhu Y., Hong J., Chen X., Zhang, Y. (2013). Investigation into the loosening mechanism of bolt in curvic coupling subjected to transverse loading. *Engineering failure analysis* 32, 360–373. doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.04.005. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Kerley J.J. (1982). *An application of retrodution to analyzing and testing the backing off of nuts and bolts Loading*, NASA Technical Memorandum 4001, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD. (Knyga).
- Milanese A., Marzocca P., Nichols J.M., Seaver M., Trickey S.T. (2008). Modeling and detection of joint loosening using output-only broad-band vibration data. *Structural Health Monitoring* 7, 309–328. doi.org/10.1177/1475921708090565. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Pai N.G., Hess D.P. (2002). Experimental study of loosening of threaded fastener due to dynamic shear loads, *Journal of Sound and Vibration*. 253 (3), 585–602. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Peairs D.M., Park G. Inman D.J. (2004). Practical issues of activating self-repairing bolted joints. *Smart Material Structures*. 13, 1414–1423. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Thanwerdas R., Rodriguez E., Daidie A. (2017). Stiffness and slip laws for threaded fasteners subjected to a transversal load. *Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing* 517–529. doi.org/10.1007/978-3-319-45781-9\_52. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Wentzel H., Huang X. Y. (2015). Experimental characterization of the bending fatigue strength of threaded fasteners. *International Journal of Fatigue* 72, 102–108. doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2014.11.005. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Zhao Y., Yang C., Cai L., Shi W., Hong Y. (2016). Stiffness and Damping Model of Bolted Joints with Uneven Surface Contact Pressure Distribution. 62 (11), 665–677. doi.org/10.5545/sv-jme.2016.3410. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. (2000). *The Finite Element Method. The Basis. Vol. 1. Fifth edition*. Butterworth Heinemann, Oxford. (Knyga).

## INVESTIGATION OF STRESSES IN THREADED JOINT WITH SPECIAL CONSTRUCTION NUT

Audrius Čereška<sup>1,2</sup>, Jelena Selivonec<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Vilnius Gediminas Technical University

<sup>2</sup>Vilnius College of Technology and Design

**Summary.** In engineering, a great many ways of joining individual elements are used. These are: riveting, soldering, welding, gluing, etc. The most popular and widely used threaded connection. Threaded connection is used in static and dynamic systems. Although the threaded compound is the most popular, it has a number of drawbacks. One of the disadvantages is the relaxation of the threaded compound due to external influences, for example vibration, dynamic load fatigue or corrosion, etc. However, before investigating the causes of loosening, it is necessary to determine what stresses are generated in the threaded joint. In this work, a study of the stress distribution of a threaded connection with a nut of a special design is presented. A model of a threaded connection with a nut of special construction is made. The stress distributions of the investigated joint were calculated. The obtained results are summarized and conclusions are formulated.

**Key words:** threaded joint, special design nut, stress, model, finite element method (FEM).

# MODELING OF VECTOR-CONTROLLED SIX-PHASE INDUCTION DRIVE WITH PI, PD AND PD-I FUZZY LOGIC CONTROLLERS

Roma Rinkevičienė<sup>1</sup>, Bronė Mitkienė<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Vilnius College of Technologies and Design, Antakalnio str. 54, LT-10303 Vilnius

**Abstract.** The paper presents developed MATLAB Simulink model with PI, PD PD-I fuzzy controllers of symmetrical six phase electric drive and analyses its transients and performance at set up complex speed reference. Simulink model of the motor was based on the actual parameters of real six-phase motor having displacement of phase windings sets of 60 electrical degrees. The model of the six-phase motor is realized on d-q mathematical model and indirect field-oriented control. The simulation results are presented and analysed. Fuzzy controllers with 49 rules are considered and elaborated. Simulation results indicate the robustness of developed system with six-phase motor to disturbance and with great accuracy in following of reference input. Response of fuzzy controlled system to complex reference input including acceleration, steady state, deceleration and reverse indicates a small speed delay at beginning of process and accurate following the response input. Response to disturbance is small, less than 1 % for system with PI and PD controllers and 0.5 % for PD-I controller proves the robustness and accuracy of the system.

**Key words:** six-phase motor, field oriented control, fuzzy controllers, model, simulation.

## Introduction

Interest in design and application of multiphase motors began with fast development of power electronics and design of multiphase converters.

Multiphase drives have some advantages over conventional three-phase ones, such as lower torque pulsation, reduction in harmonic currents, reduced current per phase without the need to increase the phase voltage, greater reliability and fault tolerant feature. (Barrero and Duran, 2016).

The multiphase motors divide the controlled power on more converter legs and reduce the current of power electronic switches as well as on the larger number of electric motor phase windings and possesses minimization of electric drives and control power converters.

Multiphase motors are currently used where both the machine and its control electronics are designed as a system, rather than as individual components. They have been found to be ideally matched, for example for the direct drives in marine applications, where their fault tolerance, high efficiency, low acoustic noise and the ability to distribute the drive electronics are seen as particularly advantageous (Zabaleta, Levi, and Jones, 2016).

Multiphase induction motors are used in the area of high degree reliability demand as in more electric aircrafts, electric ship propulsion, electric vehicles (Bugade V. and Pradeep Katti K., 2018), and multiphase drives for automotive traction applications (Salem and Narimani 2019). The submarine industry also began application of multiphase motors. Normally, every submarine is driven by two or more propulsion motors and the motors have their different control panels. It was found that application of the six-phase motors has more advantages due its simplicity in converting a conventional three phase machine to six-phase (Akpama E.J., 2018).

Six phase induction motor was designed to drive a centrifugal pump system with scalar V/f closed-loop six-phase induction motor control (Abdelwanis and Selim, 2018).

Multiphase motors are not produced by the industry; therefore, design and investigation of multiphase motors became an important problem. It was proposed (Venter P. et. al., 2014) to develop a prototype of “3 & 6 phase” induction machine removing the three-phase stator winding of a conventional three phase machine and apply a newly designed six phase winding wound in the stator slots. Both sides of all six windings proposed to be terminated externally.

New research (Nanoty and Chudasama 2011) implemented novel design and development of six phase induction motor. This motor was fed by two three phase inverters.

Steady-state or dynamic characteristics of six-phase motor drive can be analysed by solving of the motor state-space equations describing dynamic performance. They can be expressed in matrix form and be solved by elaborated computer program. Otherwise, the Simulink model, made from typical Simulink blocks can be used and simulation results can be analysed. Both methods are used to analyse dynamics of the multiphase drives. The first method is used (Levi et al., 2007, Nabi et al., 2011, Renukadevi, Rajambal 2012, and Sumit, 2015). Applications of these methods depend on problem to be solved.

A d-q model of six-phase induction machine is the main mathematical basis in considering the dynamics of the drive (Levi 2008 ; Nabi et al. 2011 ; Renukadevi, Rajambal 2012 ; Mandal 2015) Six-phase induction machine fed by a multilevel inverter was analysed (Ben Slimene, 2020) to observe voltage and current total harmonic distortion and the torque ripple rate.

Due to motor state-space equations containing

variable coefficients and non-linearity of the controlled system, application of numerical methods to solve these equations becomes complicated. Simulation models are more convenient and more universal (Renukadevi and Rajambal, 2011).

Simulation models, elaborated in *Simulink* can be applied for real time control systems.

Elaboration of controlled six-phase electric drive demands to model the motor and its control system. Nevertheless, many researches in modelling of six phase electric drives do not consider models of power electronic devices assuming supply of the motor by sine wave sources.

Application of fuzzy controllers gives some advantages for the systems, having no mathematical model of the plant. Even a well-defined plan such as a d-q dynamic model of an induction motor can have a parameter variation problem. The controlled drive system is a higher-order nonlinear system.

Advantages and proper design of fuzzy logic controllers indicate getting adaptive and robust control for a drive system with parameter variation and load disturbance (moment of inertia or load torque) (Rinkeviciene, Mitkiene, and Udris 2020).

The paper analysis developing of controlled six-phase drive model, corresponding to real electric drive controlled by frequency converter. The model block diagram and Simulink model of indirect rotor flux-oriented control for six phase drive with designed fuzzy controllers, having 49 rules is presented with PI, PD and PD-I controllers and analysed. Simulation results at complex speed reference law are discussed.

Advantages and proper design of fuzzy logic con-

trollers indicate getting adaptive and robust control for a drive system with parameter variation and load disturbance (moment of inertia or load torque).

## 1. Dynamical Model of Six-Phase Motor

Dynamics of multiphase electric drive is described by nonlinear differential equations with time varying coefficients.

An equivalent circuit of symmetrical six-phase machine with an arbitrary displacement between two winding sets together with generalized d-q model of n-phase induction motor is given in (Renukadevi, Rajambal 2012). Stator of equivalent circuit has two direct current supply voltages  $v_{qs1}$  and  $v_{qs2}$  and  $v_{ds1}$  and  $v_{ds2}$  in arbitrary reference frame with  $d$  and  $q$  axis. Rotor is supplied by voltages  $v'_{qr}$  and  $v'_{dr}$ . They are assumed equal to zero for cage type rotor.

Six-phase voltage system was split to two three phase reference frames:  $A - B - C$  and  $D - E - F$ . The reference frame  $D - E - F$  is shifted by 60 electrical degrees with respect to reference frame  $A - B - C$ .

The mathematical model of the motor in synchronously rotating reference frame is expressed as voltage drops  $v_{qs1}$  and  $v_{ds1}$  as well as  $v_{qs2}$  and  $v_{ds2}$  across two sets of stator windings and single common rotor winding voltages  $v'_{qr}$  and  $v'_{dr}$ , referred to a stator. Six-phase motor model is designed in synchronously rotating reference frame. The block diagram in Fig. 1 presents Simulink model of six-phase motor with indirect field-oriented control and fuzzy controller.

Reference speed, denoted as  $\omega^*$  is compared with motor actual (calculated) speed  $\omega$  in fuzzy controller.

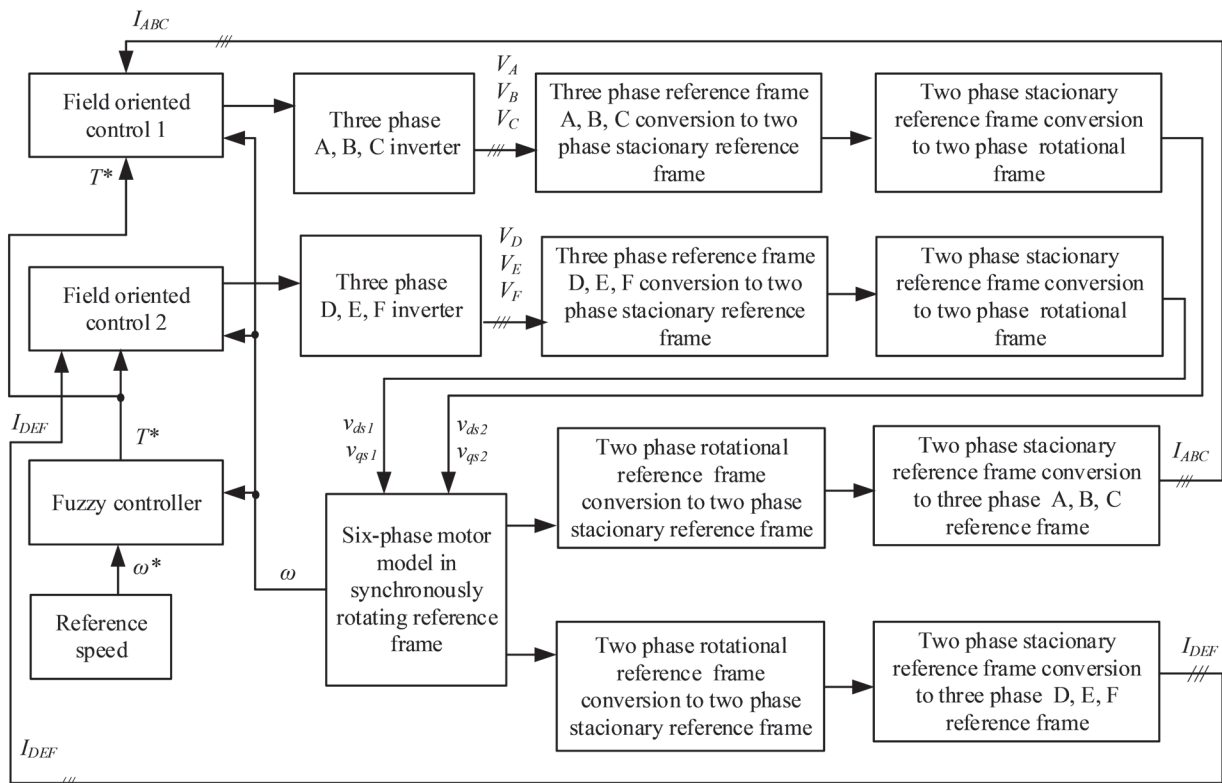


Fig. 1. Structure of fuzzy controlled system with six-phase motor

This block amplifiers and integrates error signal, producing input to fuzzy logic controller, as shown in Fig. 2. Fuzzy controller elaborates reference torque input  $T^*$  to two field-oriented control blocks. These generate control pulses to three phase inverters, separately producing two voltage sets  $A - B - C$  and  $D - E - F$  shifted by 60 electrical degrees. The voltages in each set are shifted by 120 degrees apart.

The synchronously rotating  $d - q$  axes rotate with synchronous speed  $\omega_e$  with respect to stationary  $d^s - q^s$  axes and form the angle  $\theta_e = \omega_e t$ .

Simulink model of six phase motor elaborated in synchronously rotating reference frame with PI and PD fuzzy controllers is discussed in (Rinkevičienė, Mitkienė, and Udris, 2020).

## 2. Indirect rotor flux vector control

In indirect field-oriented control rotor flux vector is aligned with axis  $d$  of revolving  $d - q$  reference frame. Two reference frames stationary  $d^s - q^s$  and revolving at synchronous speed  $d - q$  (Bose B.K. ; Jones, 1987).

$\theta_e$  is angle between two reference frames. It changes with rotor rotation. Rotor flux  $\bar{\Psi}_r$  is aligned with  $d$  axis and its projection to  $d$  axis  $\Psi_{rd} = |\bar{\Psi}_r|$  and  $\Psi_{rq} = 0$ . Then torque, delivered by induction motor is calculated as:

$$T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m}{L'_r} (\Psi_{rd} i_{sq}), \quad (1)$$

where  $P$  is number of poles and  $i_{sq}$  is torque producing current,  $L_m$  is magnetizing inductance,  $L'_r$  is rotor inductance, referred to stator.

In rotating reference frame current  $i_{sq}$  is calculated from given speed reference  $\omega^*$ , and current  $i_{sd}^*$  from given flux reference  $\Psi_r^*$ , rotating at synchronous speed  $\omega_0$ .

The angular position of  $\Psi_r$  is reference frame orientation angle and is calculated as:

$$\theta = \int \omega_0 dt. \quad (2)$$

In vector control, flux orientation angle must be obtained at every instant of time and conversion formulas from rotating  $d - q$  to stationary  $d^s - q^s$  reference frame is used.

Motor synchronous speed  $\omega_0$  is sum of slip speed  $\omega_{sl}$  and electrical rotor speed  $\omega_r$ :

$$\omega_0 = \omega_{sl} + \omega_r \quad (3)$$

and angle

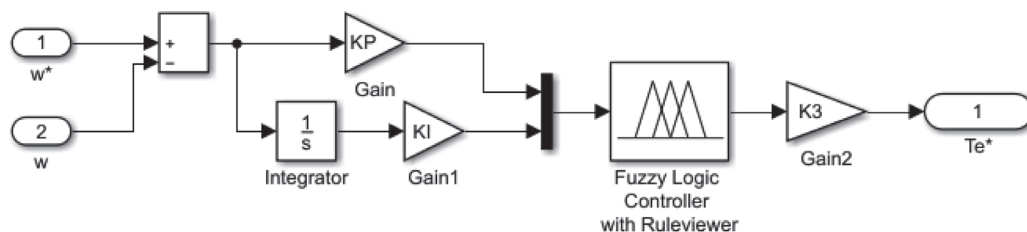


Fig. 2. Model of fuzzy PI controller

$$\theta_e = \int (\omega_{sl} + \omega_r) dt. \quad (4)$$

Slip speed is calculated from equation (Bose, 2002):

$$\omega_{sl} = \frac{L_m}{L'_r} \frac{R_r}{\Psi_{rd}} i_{sq} = \frac{L_m i_{sq}}{\tau_r \Psi_{rd}}, \quad (5)$$

where  $\tau_r = \frac{L'_r}{R_r}$  is rotor time constant and  $R_r$  is rotor resistance.

Closed loop implementation under constant flux condition requires to calculate reference current  $i_{sd}^*$  from reference flux  $\Psi_r^*$ :

$$i_{sd}^* = i_{mrd}^* = \frac{\Psi_r^*}{L_m} \quad (6)$$

Current component  $i_{sq}^*$  in revolving reference frame is proportional to reference torque  $T_m^*$  and is calculated as:

$$i_{sq}^* = \frac{T_m^*}{k_1 i_{sd}^*} = \frac{T_m^*}{k_1 \Psi_r^*} \quad (7)$$

where  $k_1 = \frac{3}{2} \frac{P}{2} \frac{L_m}{L'_r}$  and  $i_{sd}$  is field producing current.

The angular position of flux vector is obtained on the base (3-5) equations:

$$\theta_e = \int \omega_0 dt = \int (\omega_{sl}^* + \omega_r) dt = \int \left( \frac{i_{sq}^*}{\tau_r i_{sd}^*} + \frac{P}{2} \omega_m \right) dt \quad (8)$$

where  $\omega_m$  is measured mechanical speed of the motor.

Blocks in Fig. 1 “Vector control 1” “Vector control 2” correspondingly are based on the same equations (1- 8). The model was simulated with fuzzy controllers.

Thus, inputs into Vector control blocks are: torque reference  $T^*$ , motor speed  $\omega$  and three currents:  $I_A, I_B, I_C$  and correspondingly  $I_D, I_E$  and  $I_F$ .

## 3. Fuzzy controller

Model of fuzzy PI controller is shown in Fig. 2. Operation of fuzzy logic controller is based on fuzzy sets. Each set represents some linguistic variables defining the possible state of the output. Each possible state of the input and the degrees of change of the state are a part of the set, depending upon which the output is predicted.

The controlled drive system is a higher-order nonlinear system. The fuzzy controller inputs of the system are crisp values (error, cumulative error or error derivative) are divided into fuzzy sets. An elaborated fuzzy set is ascribed by a linguistic variables NB (negative big), NM (negative medium), NS (negative small)

ZE (zero), PS (positive small), PM (positive medium), PB (positive big).

They are defined by membership functions shown in Fig. 3.

Error is the difference between speed reference and actual speed, and derived error is a cumulative error for fuzzy PI controller and error derivative for fuzzy PD controller.

The fuzzy rule base is formulated by assigning relationship between fuzzy input and output.

The forty-nine IF-THEN rules relate input signals and output. Two input signals listed in the Table 1.

Model of PD fuzzy controller is shown in Fig. 4 and model of PD-I fuzzy controller is presented in Fig. 5.

## 4. Simulation results with PI, PD and PD-I fuzzy controllers

### 4.1. Tracking the reference signal with acceleration, steady state, deceleration and reverse with PI controller

Model of fuzzy PI controller is shown in the Fig. 2. Model parameters  $K_P = 5$ ,  $K_I = 0.05$ , and  $K_3 = 8$ . Output scaling factor having strong influence on the per-

formance and stability of the system is chosen  $K_3=8$ .

Simulation results are presented in Fig. 6, 7, 8 and 9. Motor speed (1), motor torque (2), reference speed (3) and load torque (4) are presented in Fig. 6.

Figure 6 presents six-phase motor reference speed with acceleration, steady state, deceleration and reverse stages. Motor accelerates at no-load. Load is applied at speed steady state, after 0.3 s. At this time short time decrease of motor speed can be noticed. It does not exceed 1%. There is no any impact to motor speed when load is taken off. At reverse motor torque follows the speed reference without error, speed changes its direction and after steady state comes back to zero. Small error (3) appears only in initial stage of starting. It does not exceed 2.5 rad/s and lasts 0.12 s (Fig.7). In this figure output of fuzzy controller (4) does not exceed unity value according to prescribed membership functions and has nonlinear shape. Output of fuzzy controller depends on error and integral error (6) and appears only in if they exist – at beginning of starting and at instant of load application.

Scaled fuzzy controller output signal is torque reference (2) input of field-oriented control block. It is nonlinear signal, producing the motor torque, which depends on the error – difference between reference speed and actual motor speed. Motor produces torque

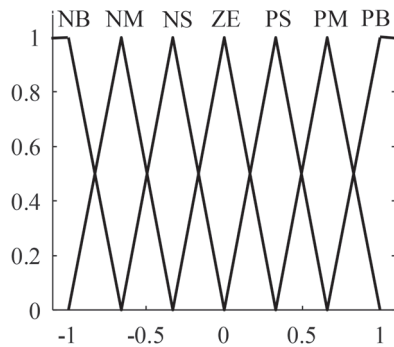


Fig. 3. Input and output membership functions

Table 1. Rule base for field oriented control of six-phase drive with fuzzy controller

		Error						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
Derived error	PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB
	PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
	PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
	ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
	NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
	NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE

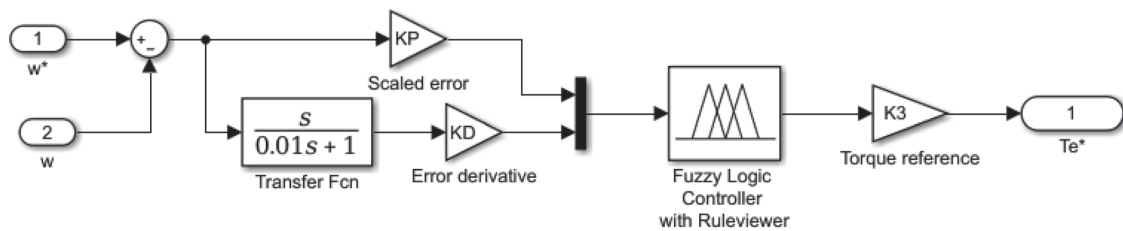


Fig. 4. Model of PD fuzzy controller

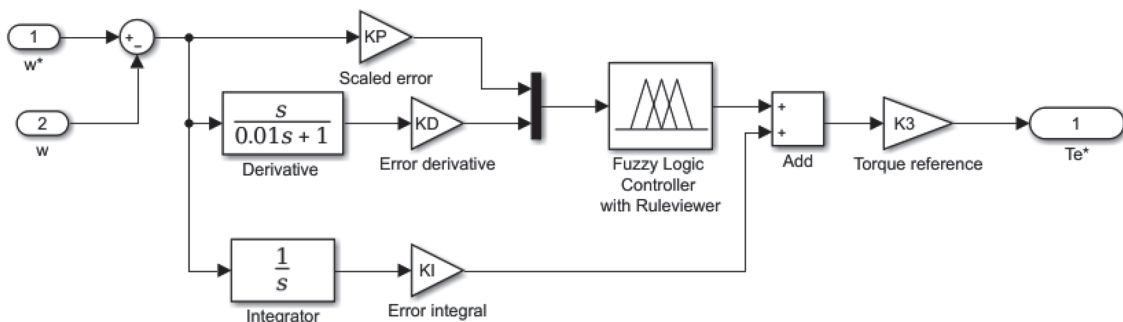


Fig. 5. Model of fuzzy PD-I controller

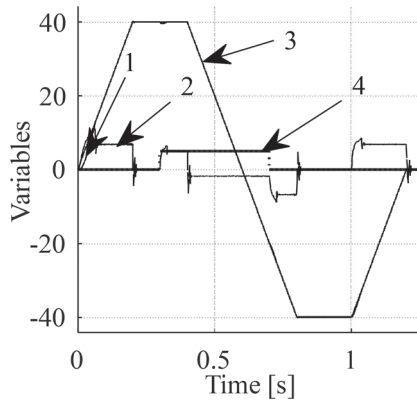


Fig. 6. Motor speed (1), motor torque (2), reference speed (3) and load torque (4)

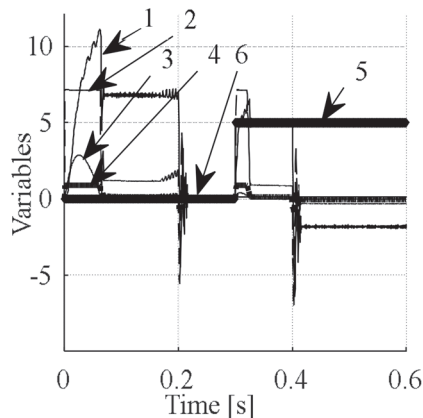


Fig. 7. Motor torque (1), torque reference (2), error (3), fuzzy controller output (4), load (5) and integral error (6)

(1) which tries to follow reference torque and at steady state it is equal to applied load of 5 Nm.

The change of six-phase motor phase current is shown in Fig. 8 and all six currents are shown in Fig. 9.

At initial starting stage they reach the maximum value, then reduces and later increase slightly to accelerate the motor. When the motor speed reaches the steady state, the currents reach the smallest values. Deceleration is performed with produced negative torque, as shown in Fig. 9, caused by changed direction of currents.

#### 4.2. Tracking the reference signal with acceleration, steady state, deceleration and reverse with PD controller

Model of PD fuzzy controller is presented in Fig. 4. Error derivative calculates real differentiating transfer function with small time constant  $G(s) = \frac{s}{0.01s+1} \cdot KD$ . Gain  $KP = 1$ ,  $KD = 0.01$  and  $K3 = 25$ . Simulation results indicated the smaller  $KD$  slowing down the transients.

The simulation results with PD fuzzy controller are presented in Fig. 10 and Fig. 11. Fig. 10 presents motor speed, reference speed and load torque stepwise changing at  $t=0.3$  s. Small short time speed error less than 1 % appears at application of load.

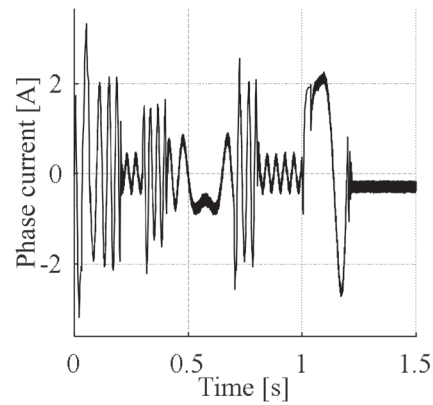


Fig. 8. Six-phase motor phase current at acceleration, steady state and deceleration with PI fuzzy controller

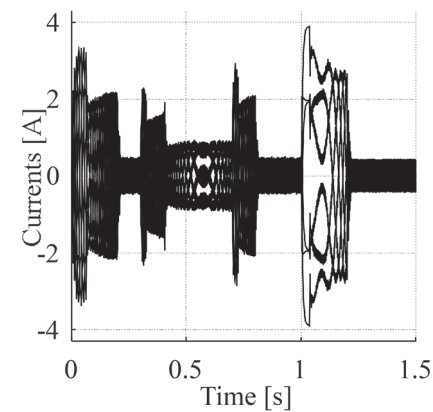


Fig. 9. Six-phase motor phase currents at acceleration, steady state and deceleration with PI fuzzy controller

Fuzzy controller elaborates control signal (4) in Fig. 11 to calculate reference torque  $T^*$  (variable 1) of field-oriented control system.

Motor speed follows the reference input (dotted line) starting from 0.05 s approximately without error. Error (2) and error derivative appears only at initial motor starting time and with application and decreasing of load. Fuzzy controller elaborates nonlinear signal, shown by thick solid line. Torque reference repeats this shape, but is 25 times greater. Initial speed error does not exceed 3 rad/s.

#### 4.3. Simulation results with PD-I controller

Model of PD-I controller is given in Fig. 5.

The same differentiating transfer function with small time constant  $G(s) = \frac{s}{0.01s+1} \cdot KD$  is used to calculate error derivative. Gain  $KP = 1$ ,  $KD = 0.015$ ,  $KI = 0.8$  and  $K3 = 25$ .

Motor speed, speed error and delivered torque at different acceleration, speed steady state value and deceleration are shown in Fig. 12. Load torque is applied at  $t=0.3$  s. Load torque for short time causes error, not exceeding 0.5 % of steady state value, afterwards the system is tracking reference input.

Due to multiple control signals observed in this system, they are given separately in Fig. 12 and Fig. 13

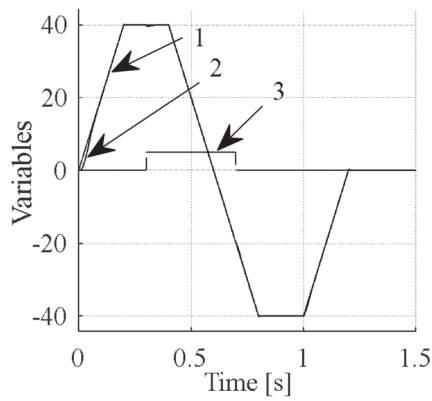


Fig. 10. Reference speed (1), actual speed (2) and load torque (3)

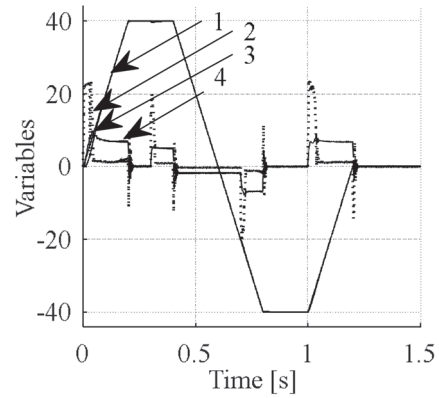


Fig. 12. Motor speed (1), torque reference (2), speed reference (3) and delivered torque (4)

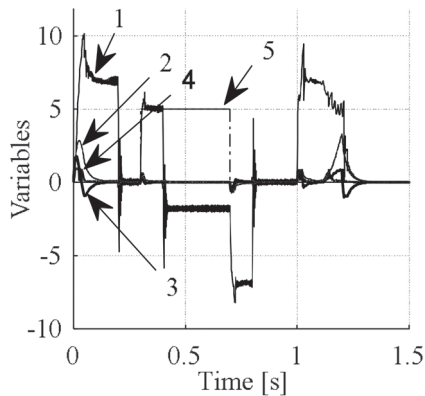


Fig. 11. Motor torque (1), error (2), error derivative (3), fuzzy controller output (4) and load (5)

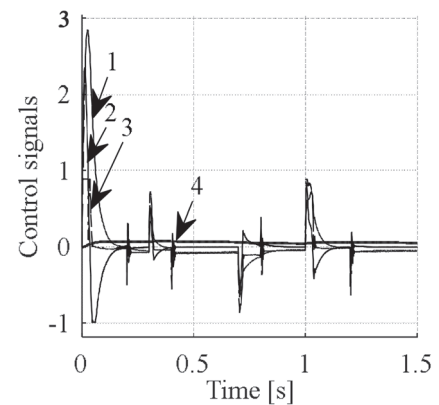


Fig. 13. Error (1), error derivative (2), fuzzy controller output (3) and integral error (4)

for most important time interval during beginning of tracking.

Comparison of both Fig. 11 and Fig. 13 allows concluding, that the system with PD-I fuzzy controller, tracking reference input, has the same initial error and amplified error value, the same output of fuzzy controller, as well as torque reference and motor produced torque. Nevertheless, response to load torque, applied at 0.3 s after starting at motor rotating with constant speed in both cases causes increase of torque, produced by motor. The final value – speed of the motor has a negligible up to 0.5 % short time decrease at instant of load application PD-I fuzzy controller and about 1 % for PD and PI fuzzy controllers.

## Conclusions

Designed Simulink model of six-phase vector-controlled drive with PI, PD and PD-I fuzzy controllers allow simulation of the system and analysing its response to complex speed reference.

Application of load torque causes short time error, not exceeding 0.5 % of steady state value for PD-I fuzzy controller, as for PD and PI controllers it does not exceed 1 %.

PD, PI and PD-I fuzzy controllers creates robust control system of six-phase drive.

## References

- Abdelwanis, Mohamed I., and F. Selim. 2018. "A Sensorless Six-Phase Induction Motor Driving a Centrifugal Pump System." *2017 19th International Middle-East Power Systems Conference, MEPCON 2017 - Proceedings* 2018-Febru(December): 242–47.
- Akpama E.J. 2018. "Six Phase Induction Motor Modelling For Submarine Application." 13(1): 61–66.
- Barrero, Federico, and Mario J. Duran. 2016. "Recent Advances in the Design, Modeling, and Control of Multiphase Machines - Part I." *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 63(1).
- Bose B.K. *Modern power engineering and electric drives*. [www.EngineeringBooksPdf.Com](http://www.EngineeringBooksPdf.Com).
- Jones, B.L. 1987. "Power Electronics and AC Drives." *Power Engineering Journal* 1(3): 125.
- Levi, Emil. 2008. "Multiphase Electric Machines for Variable-Speed Applications." *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 55(5): 1893–1909.
- Mandal, Sumit. 2015. "Performance Analysis of Six-Phase Induction Motor." 4(02): 589–93.
- Nabi, Hamidreza Pairodin, Pooya Dadashi, and Abbas Shoulaie. 2011. "A Novel Structure for Vector Control of a Symmetrical Six-Phase Induction Machine with Three Current Sensors." *2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEEIC.EU 2011 - Conference Proceedings* 1: 23–29.
- Nanoty, Archana, and A. R. Chudasama. 2011. "Design and Con-

- trol of Multiphase Induction Motor.” *2011 IEEE International Electric Machines and Drives Conference, IEMDC 2011* (May 2011): 354–58.
- Renukadevi, G., and K. Rajambal. 2011. “Generalized Model of Multi-Phase Induction Motor Drive Using Matlab/Simulink.” In *2011 IEEE PES International Conference on Innovative Smart Grid Technologies-India, ISGT India 2011*, , 114–19.
- Renukadevi, G, and K Rajambal. 2012. “Generalized D-q Model of n-Phase Induction Motor.” *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical and Computer Engineering* 6(9): 1066–75.
- Rinkeviciene, R., Mitkiene B. and Udris D. 2020. “Design and Comparison of Fuzzy Controllers for Six-Phase Drive.” *2020 IEEE Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences, eStream 2020 - Proceedings*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/eStream50540.2020.9108786>
- Salem, Ahmed, and Mehdi Narimani. 2019. “A Review on Multiphase Drives for Automotive Traction Applications.” *IEEE Transactions on Transportation Electrification* 5(4), 1329.
- Ben Slimene, Marwa. 2020. “Performance Analysis of Six-Phase Induction Machine-Multilevel Inverter With Arbitrary Displacement.” *Electrical Engineering & Electromechanics* 0(4): 12–16.
- Zabaleta, M., E. Levi, and M. Jones. 2016. “Modelling Approaches for an Asymmetrical Six-Phase Machine.” In *IEEE International Symposium on Industrial Electronics (Vol. 2016-November, pp. 173–178)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ISIE.2016.7744885> 2016-.

## PI, PD ir PD-I NERAIŠKIOSIOS LOGIKOS REGULIATORIŲ MODELIŲ SUDARYMAS ŠEŠIAFAZEI KINTAMOSIOS SROVĖS PAVARAI

Roma Rinkevičienė<sup>1</sup>, Bronė Mitkienė<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Vilniaus Technologijų ir dizaino kolegija*

**Anotacija.** – Straipsnis nagrinėja šešiafazio variklio, valdomo vektoriniu būdu su neraiškiosios logikos reguliatoriais modelio sudarymą ir analizuoja pavaros pereinamųjų vyksmų imitacijų rezultatus. Variklio modelis yra sudarytas sinchroniškai besisukančioje koordinacių sistemoje. Šešiafazio variklio valdymui sudaryti PI, PD ir PD-I neraiškiosios logikos reguliatoriai, formuojantys momento nuostatą vektorinio valdymo blokams. Pavaros modelyje panaudoti galios elektronikos įtaisai, leidžiantys nagrinėti pavaros veikimą esant realioms valdymo sąlygoms. Sudaryti neraiškiosios logikos reguliatorių su 49 taisyklėmis modeliai. Pateikti ir išnagrinėti šešiafazės pavaros, veikiančios esant sudėtingiems greičio nuostatams, formuojantiems greitėjimą, nusistovėjusį režimą, lėtėjimą ir reversą. Išanalizuoti variklio momento, greičio ir srovės pereinamieji vyksmai. Variklio greitis tiksliai seka nuostatą, paklaida dėl apkrovos nesiekia 1 % su PI ir PD reguliatoriais ir 0, 5 % su PD-I reguliatoriumi.

**Prasminiai žodžiai:** šešiafazis variklis, rotoriaus srauto vektorinis valdymas, neraiškiosios logikos reguliatorius, modelis, imitacija.



# VARIKLIO DEGIMO PROCESO ANALIZĖ KEIČIANT TARPINIO ORO AUŠINIMO INTENSYVUMĄ

Audrius Matulis<sup>1</sup>, Alfredas Rimkus<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

<sup>2</sup>Vilniaus Gedimino technikos universitetas: Vilniaus TECH, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius

**Anotacija.** Literatūros apžvalgoje nagrinėti eksperimentiniai ir teoriniai tyrimai tobulinant vidaus degimo variklių tarpinį oro aušinimą parodo teigiamą variklio rodiklių pokytį. Eksperimentinių tyrimų metu slėginio uždegimo variklio oro tiekimo sistemoje sumontuotas tarpinis oro aušintuvas, aušinamas skysčiu. Tyrimo metu reguliuojamas tarpinio oro aušintuvo aušinimo intensyvumas keičiant aušinimo skystčio (vandens) tekėjimo per aušintuvą debitą. Matuojama į tarpinį oro aušintuvą įtekančio ir ištekančio skystčio temperatūra bei oro patenkančio iš turbino į tarpinį oro aušintuvą ir iš tarpinio oro aušintuvo į variklį temperatūra. Išmatuotos variklio degalų ir oro sąnaudos, slėgis cilindre per darbo ciklą. Siekiant atlikti išsamesnę degimo proceso analizę ir paaiškinti variklio energetinių bei emisijos rodiklių pokyčius keičiant tarpinio oro aušintuvo aušinimo intensyvumą, AVL BOOST programa sukurtas tiriamojo variklio skaitinis modelis. Naudojant eksperimentinio tyrimo rezultatus paprograme AVL BURN atlikta degimo proceso skaitinė analizė ir nustatyti degimo rodiklių pokyčiai keičiant oro aušinimo intensyvumą varikliui veikiant be išmetamųjų dujų recirkuliacijos (angl. EGR – Exhaust Gas Recirculation) ir įjungus EGR.

**Reikšminiai žodžiai:** slėginio uždegimo variklis, tarpinis oro aušintuvas, degimo procesas, šilumos išsiskyrimas

## ĮVADAS

Įsiurbimo sistemos paskirtis yra aprūpinti variklį švari, filtruotu oru, reikalingu degalams deginti. Tiekiant į variklio cilindrus orą, reikia iš jo išvalyti dulkes, nes nuo kietų dalelių dyla cilindrai, stūmokliai ir žiedai. Įsiurbimo sistema konstruojama taip, kad užtikrintų cilindrų pripildymą optimalios temperatūros oru (Giedra et al., 2006; Heywood, 2018; Rahnejat, 2010). Vėsesnis oras yra „tankesnis“, dėl to didėja jo masė, į cilindrą galima tiekti didesnę degalų kiekį, gerėja degimo kokybė degimo kameroje. Tačiau per žema oro temperatūra mažina degalų garavimą ir blogėja degiojo mišinio kokybė (Mollenhauer & Tschoke, 2010; Reif, 2014).

Analizuoti moksliniai tyrimai, kuriais siekiama geresnių dyzelinių variklių rodiklių, tobulinant tarpinį oro aušintuvą. Mokslininkų atliktų tyrimų tikslumas ir sudėtingumas labai įvairus.

Indijos Mahavir Tirthanker universiteto mokslininkai tyrė tarpinio aušintuvo efektyvumo mažėjimo problemą šalyse, kuriose vasarą oro temperatūra įkaista iki 40 °C (Muqem et al., 2013). Tyrimams atlikti naudojamas automobilio keturių taktų keturių cilindrų turbokompresorinis slėginio uždegimo variklis su tarpiniu oro aušintuvu. Temperatūros reikšmės dviem termistoriais buvo užregistruotos varikliui veikiant skirtingais sūkais tarpinio aušintuvo įėjimo ir išėjimo angose. Palaipsniui buvo didinami variklio apsisukimai, laiko intervalas tarp tyrimų – 5 minutės. Buvo atlikti 6 matavimai 20 °C aplinkos temperatūroje. Kai tarpinis aušintuvas įkaista, tada yra pasiekiamas didžiausias temperatūros kitimo efektyvumas. Gauti rezultatai surašyti 1 lentelėje.

Didinant variklio sukimosi greitį nuo 2800 iki 4800 min<sup>-1</sup>, variklio į cilindrą tiekama oro masė pa-

didėja 1,43 karto, o kai aušintuvas yra aušinamas, oro masė padidėja 2,62 karto dėl išaugusio ataušinto oro tankio ir inercijos. Proporcingai išauga degime dalyvaujantis deguonies kiekis, padidėja degimo greitis ir galimybė pilniau sudegti degalams.

Oro temperatūrai kylant, tarpinio aušintuvo efektyvumas sumažėja. Antra mokslininko tyrimų išvada – tarpinis aušintuvas veikia efektyviai, kai automobilis važiuoja dideliu greičiu. Mokslininkas teigia, kad automobiliui pradėjus važiuoti, temperatūros kritimas prie tarpinio aušintuvo gali būti 40° C – oro srauto iš turbokompresoriaus arba kompresoriaus yra 90° C, tarpinis aušintuvas jį sumažina iki 50° C (Muqem et al., 2013).

**1 lentelė.** Oro tarpinio aušinimo tyrimų duomenys (Muqem et al., 2013)

Variklio sūkiai n, min <sup>-1</sup>	Oro temperatūra prieš tarpinį oro aušintuvą, (T1) °C	Oro temperatūra tarpinio aušintuvo išėjime, (T2) °C	Temperatūros kitimas tarpiniame oro aušintuve, °C
2800	89	45	44
3200	93	55	38
3600	99	68	31
4000	105	77	28
4400	111	86	25
4800	118	99	19

Žilinos universiteto mokslininkai Vladimir Hlavna ir kiti (2011) tyrimus atliko bandymų stende su vandeniu aušinamu šešių cilindrų varikliu, kurį stabdė sukurių srovių dinamometras, keičiant tarpinio aušintuvo aušinimo intensyvumą. Degalų sąnaudos matuojamos masės metodu. Tyrimai buvo atliekami su dviejų pakopų tarpiniais aušintuvais. Pirmajame etape buvo naudojamas oro – oro tarpinis aušintuvas, antrajame etape buvo naudojamas oro – vandens tarpinis aušintuvas. Išmetamųjų dujų sudėtis (CH, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>)

ir dūmingumas buvo išmatuoti naudojant išmetamųjų dujų analizatorių ir dūmomatį. Be techninių ir ekonominių variklio parametrų pagerėjimo, pastebėtas ženklus jo ekologinių parametrų pagerėjimas (sumažėjo variklio dūmingumas ir išmetama azoto oksidų emisija). Naudojant oro – vandens tarpinį aušintuvą nustatytas į cilindrus įsiurbiamo oro temperatūros sumažėjimas vidutiniškai apie 28° C, iš cilindrų išmetamo oro temperatūra sumažėjo apie 8° C. Išmetamų azoto oksidų emisija sumažėjo ~14 %, anglies dvideginio emisiją sumažėjo ~7 % (Hlavna et al., 2011).

Aleksandro Stulginskio universiteto magistranto Václovo Kurkauskio tyrime (2012) nagrinėjamas į variklio įsiurbimo įpurškiamo vandens garų poveikis dyzelinio variklio rodikliams. Vandens pagalba mažina degimo temperatūrą. Įvedant maksimalų 13 g/min vandens garų kiekį lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos vidutinių apkrovų zonoje nustatytos ~12 % didesnės, maksimalių apkrovų zonoje ~5 % mažesnės. Iki 8 % išaugo CO koncentracija, NO<sub>x</sub> koncentracija sumažėjo iki 26 % (Kurkauskas, 2012).

Naser Lajqi ir kiti Kosovo Prishtinos universiteto mokslininkai (2016) teigia, kad yra daug dyzelinių variklių skaitinio modeliavimo būdų. Jų tikslumas ir sudėtingumas labai skiriasi. Autoriai programinės įrangos Matlab pagalba atliko Cummins N-14 variklio cilindrų ir kolektorių temperatūrų ir slėgių, dujų masės srautų mainų, šilumos perdavimo greičio skaitinį modeliavimą variklio. Remiantis gautais rezultatais, galima daroma išvada, kad prognozuojamus procesus, vykstančius vidaus degimo variklyje, galima nustatyti labai mažais pokyčiais, kurių neįmanoma atlikti eksperimentiškai dėl matavimo klaidų. Naudojant sukurtą variklio skaitinį modelį galima stebėti šių parametrų įtaką: degalų įpurškimo paskubos kampo, tarpinio aušintuvo efektyvumo, turbokompresoriaus charakteristikų, įsiurbimo ir išmetimo kolektoriaus tūrių ir kt., kurie tiesiogiai įtakoja energetinius variklio parametrus (Naser et al., 2016).

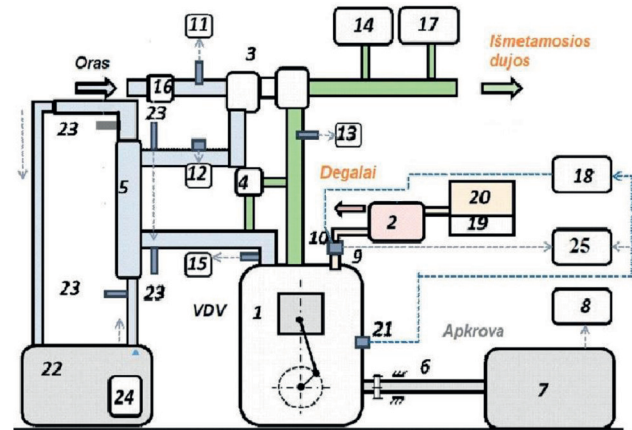
Atlikto tyrimo tikslas – sukurti tiriamo variklio skaitinį modelį, kuriuo remiantis atlikti degimo proceso analizę. Gauti rezultatai suteikia galimybę atlikti išsamesnę variklio energetinių ir ekologinių rodiklių analizę.

## 1. Tyrimo įranga ir metodika

### 1.1. Eksperimentinio tyrimo įranga

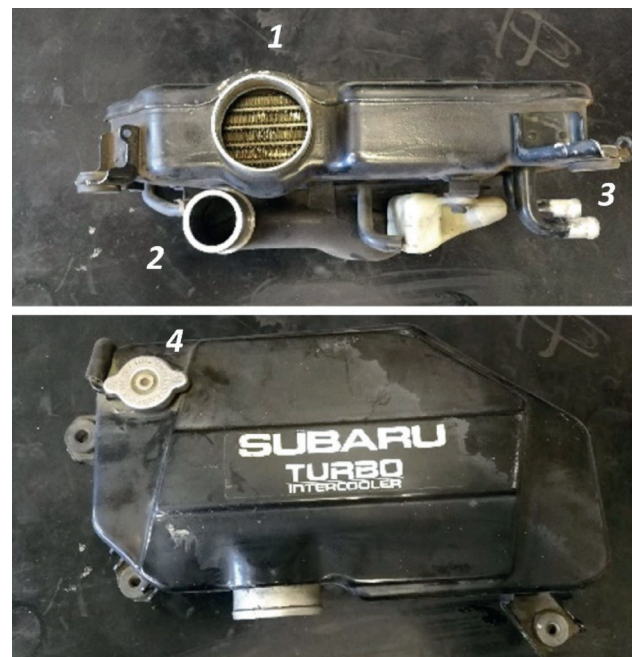
Eksperimentiniam tyrimui atlikti naudojamas 4 cilindrų, 1896 cm<sup>3</sup> darbinio tūrio TDI (kodas – 1Z) slėginio uždegimo variklis. Išvystoma maksimali variklio galia 66 kW esant 4000 min<sup>-1</sup>, maksimalus sukimo momentas 202 Nm esant 1900 min<sup>-1</sup>. Eksperimentinių tyrimų stendo schema pateikta 1 pav. Variklio sukuriama sukimo momentui nustatyti naudotas elektrinis variklių bandymų stendas KI-5543 su dinamometru. Variklis su stendu sujungtas velenu, kurio abiejose

galuose yra lygių kampinių greičių lankstai. Stabdymo režimu stendas veikia 1600 – 3000 min<sup>-1</sup> sūkais ir šiame sūkių diapazone vidaus degimo variklis gali būti apkraunamas. Stendo sukimo momentas, reguliuojamas skystiniu reostatu, keičiant elektros srovės dydį statoriaus apvijose. Apkrovos momento matavimo paklaida ± 1,23 Nm. Įsiurbiamo oro masė (kg/h) nustatyta matuokle BOSCH HFM 5 kurios tikslumas 2 %. Turbokompresoriaus išvystytas oro slėgis nustatytas matuokle Delta OHM HD 2304.0 kurios matavimo paklaida ± 0,002 bar.



1 pav. Variklio tyrimų įrangos schema: 1 – variklis; 2 – degalų siurblys; 3 – turbokompresorius; 4 – EGR vožtuvas; 5 – tarpinis oro aušintuvas; 6 – jungiamasis velenas; 7 – variklio apkrovos įrenginys; 8 – apkravos rodiklis; 9 – įpurškimo pradžios jutiklis; 10 – cilindro slėgio jutiklis; 11 – įsiurbiamo oro temperatūros jutiklis; 12 – oro slėgio už kompresoriaus jutiklis; 13 – išmetamųjų dujų temperatūros jutiklis; 14 – dūmomatis; 15 – įsiurbiamųjų dujų temperatūros jutiklis; 16 – oro masės matuoklis; 17 – dujų analizatorius; 18 – cilindro slėgio fiksavimo įranga; 19 – svarstyklės; 20 – degalų talpa; 21 – alkūninio veleno padėties jutiklis; 22 – aušinimo skysčio talpa; 23 – „K-tipo“ termopora; 24 – aušinimo skysčio siurblys; 25 – įpurškimo momento kontrolės įranga

Šaltinis: sudaryta autorių



2 pav. Subaru Impreza 2.0T tarpinis oro aušintuvas

Šaltinis: sudaryta autorių

Variklio oro tikrinimo sistemoje sumontuotas automobilio Subaru Impreza 2.0T skysčiu aušinamas tarpinis oro aušintuvas (2 pav.). Aušintuvas turi oro įtekėjimo (1) ir ištekėjimo (2) atvamzdžius ir aušinimo skysčio įtekėjimo ir ištekėjimo atvamzdžius (3). Aušinimo skysčiui įpilti ir oro „kamščiu“ pašalinti iš tarpinio aušintuvo aušinimo sistemos naudojamas užsukamas dangtelis (4). Eksperimentinio tyrimo metu keičiamas tarpinio oro aušintuvo aušinimo intensyvumas t. y. keičiamas aušinimo skysčio (vandens) tekėjimo per aušintuvą debitas. K – tipo termoporomis matuojama tarpinio oro aušintuvo skysčio temperatūra prieš aušintuvą  $T_1$  (°C) ir už aušintuvo  $T_2$  (°C) bei oro patenkančio iš turbinos į tarpinį oro aušintuvą  $T_3$  (°C) ir iš tarpinio oro aušintuvo į variklį temperatūra  $T_4$  (°C) (3 pav.). Temperatūros matavimo tikslumas  $\pm 1,5^\circ\text{C}$ .

Eksperimentui parinkti variklio sūkliai  $n = 2000 \text{ min}^{-1}$ , nes šiais sūkliais variklis dažnai dirba važiuojant miesto sąlygomis ir užmiestyje, o apkrova ( $M_e$ ) keičiama nuo 30 Nm iki 90 Nm tai yra 6,3 – 18,9 kW. Apskaičiavus automobilio riedėjimo ir oro pasipriešinimo jėgas nustatyta, kad panašios apkrovos tenka varikliui, kai automobilis važiuoja ~50...~90 km/h greičiu. Bandymų metu išmetamųjų dujų recirkuliacija (EGR) buvo įjungta ir išjungta.

## 2.2. Variklio rodiklių skaičiavimo metodika

Išmatavus valandines degalų sąnaudas, skaičiuojamos lyginamosios efektyviosios degalų sąnaudos, g/kWh, pagal formulę (Butkus, 2009):

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

čia:  $B_d$  – valandinės degalų sąnaudos, kg/h.  $P_e$  – variklio efektyvioji galia, kW.

Variklio efektyvusis naudingumo koeficientas nustatomas pagal formulę (Butkus, 2009):

$$\eta_e = \frac{P_e \cdot 3,6}{B_d \cdot H_z} \quad (2)$$

čia:  $H_z$  – degalų žemutinis šilumingumas, MJ/kg.

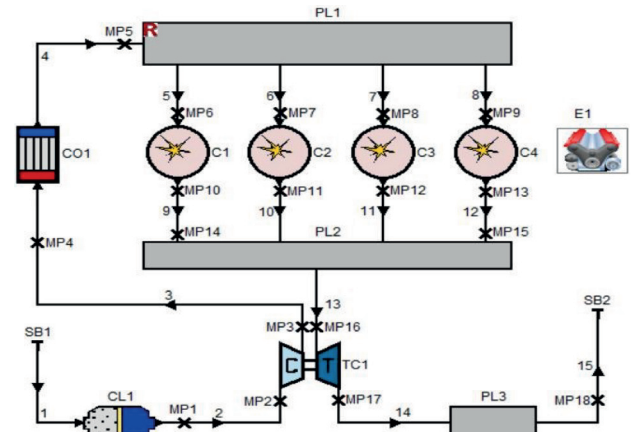
## 2.3. Skaitinis modeliavimas AVL BOOST programa

Tiriamąjį variklio degimo proceso matematinis modelis kuriamas pritaikant Vibe vienos zonos modelį, nes jis yra orientuotas į slėginio uždegimo variklio degimo kinematiką. Šilumos išsiskyrimas  $\frac{dx}{d\varphi}$ , kur  $(x = f(\varphi))$  nustatomas panaudojant Vibe modelio formulę (AVL, 2011):

$$\frac{dx}{d\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)} = 6,908(m+1) \left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^m e^{-6,908\left(\frac{\varphi}{\varphi_z}\right)^{m+1}} \quad (3)$$

čia:  $m$  – degimo proceso intensyvumo parametras;  $\varphi$  – alkūninio veleno (AV) padėtis nuo degimo proceso pradžios, °AV;  $\varphi_z$  – degimo proceso trukmė, °AV.

Siekiant išsamesnės variklyje vykstančio degimo proceso analizės AVL BOOST programoje buvo sukurtas tiriamojo variklio skaitinis modelis (3 pav.). Skaitinis modeliavimas susideda iš dviejų dalių: degimo proceso analizės ir variklio darbo ciklo rodiklių sintezės. Degimo proceso analizės metu naudojami eksperimentiniai duomenys (slėgis cilindre, degalų sąnaudos, degalų savybės, oro sąnaudos, pripūtimo slėgis ir kiti).



3 pav. Tiriamojo variklio skaitinis modelis: SB1-2 – aplinkos sąlygos; PL1 – įsiurbimo kolektorius; PL2 – išmetimo kolektorius; PL3 – duslintuvas; CL1 – oro filtras; MP1-18 – matavimo vietos; C1-4 – variklio cilindrai; 1-15 – jungiamieji vamzdžiai; TC1 – turbokompresorius; CO1 – tarpinis oro aušintuvas

Šaltinis: sudaryta autorių

Degimo proceso skaitinės analizės metu nustatomi degimo procesą aprašantys rodikliai rodikliai – degimo pradžia ( $\varphi_p$ ), degimo trukmė ( $\varphi_z$ ), degimo intensyvumas ( $m$ ).

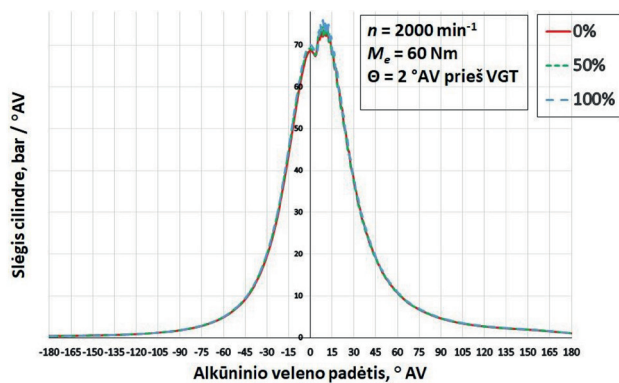
## 3. Degimo proceso skaitinės analizės tyrimas

Siekiant atlikti išsamesnę degimo proceso analizę ir paaiškinti variklio emisijos rodiklių (dūmingumo, CO, CO<sub>2</sub>, CH, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) bei energetinių rodiklių pokyčius keičiant tarpinio oro aušintuvo aušinimo intensyvumą, AVL BOOST programa sukurtas tiriamojo variklio skaitinis modelis. AVL BURN paprograme atlikta degimo proceso skaitinė analizė ir nustatyti degimo rodiklių pokyčiai. Skaitinės analizės grafikuose yra pateikti degimo proceso rodikliai, varikliui veikiant  $n = 2000 \text{ min}^{-1}$  sūkliais, 60 Nm apkrovai su EGR ir be EGR.

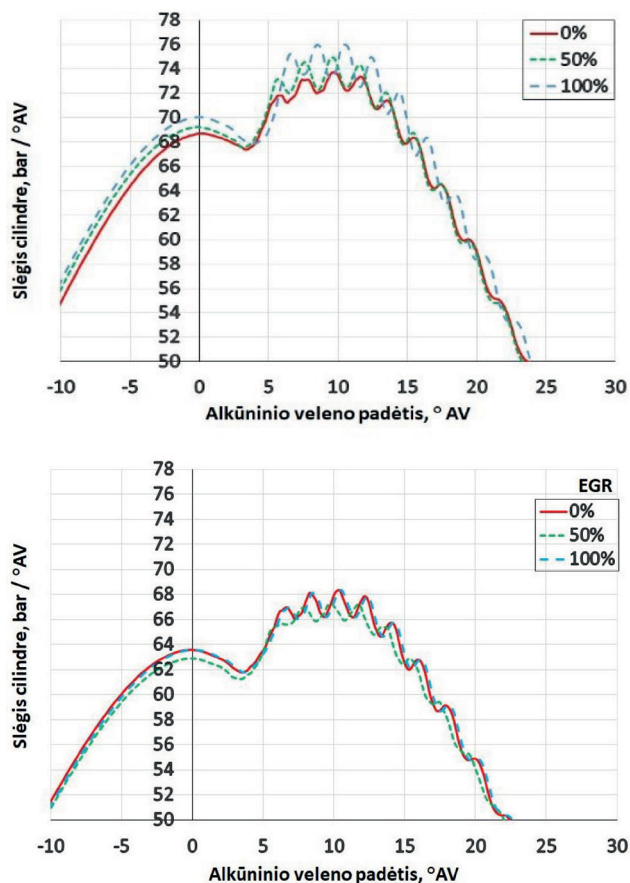
Slėgio cilindre pokytis, kai keičiamas įsiurbiamo oro aušinimas, yra matomas tik tada, kai užsiliepsnoja darbinis mišinys (4 pav.). Degalai pradeda įpurkšti stūmokliui esant 2° AV prieš viršutinį galinį tašką (VGT). Degalai užsiliepsnoja po tam tikros gaisties – apie 5° AV po VGT, tačiau visais aušinimo atvejais skirtingai. Analizuojant degimo slėgio tyrimo rezultatus, esant variklio apkrovai 60 Nm, matyti, kad didinant tarpinio oro aušintuvo aušinimą maksimalus degimo slėgis cilindre padidėja. Tai lemia geresnis cilindro pripildymas dėl padidėjusio įsiurbiamo oro tankio.

Iš eksperimento metu gautų kreivių nustatyta, kad maksimalus degimo slėgis cilindre su atidarytu EGR vožtuvu ir 100 % aušinimu yra 8 bar, t. y. 10 % mažesnis nei išjungus EGR (5 pav.). Taip yra todėl, kad veikiant EGR į cilindrą įsiurbiamas mažiau „šviežio“ oro jį dalinai pakeičiant sudegusiomis išmetamosiomis dujomis.

Kai vyksta suspaudimo taktas, įsiurbus ataušintą didesnio tankio orą, matomas slėgio didėjimas. Degiam mišiniui, nenaudojant EGR, užsiliepsnojus, degimo metu, susidaro gerokai didesnis slėgis, nes dėl žemesnės temperatūros prailgėja užsiliepsnojimo gaištis ir išauga šilumos išsiskyrimas pradinėje intensyvaus degimo fazėje (Heywood, 2018). Padidėjęs slėgis sukelia alkūninio mechanizmo papildomas apkrovas, todėl



4 pav. Tiriama variklio slėgio eksperimentinė kreivė  
Šaltinis: sudaryta autorių

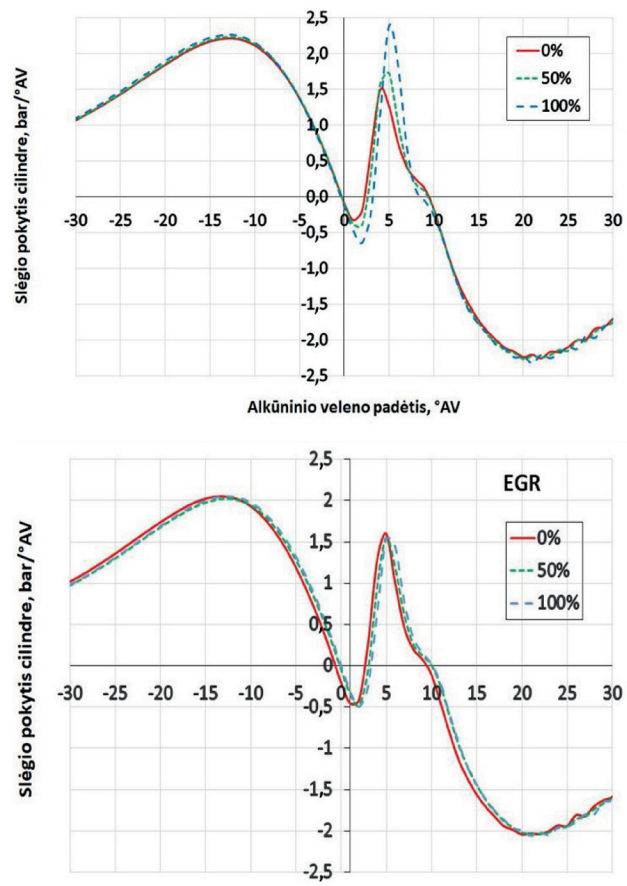


5 pav. Degimo slėgis cilindre degimo proceso metu  
Šaltinis: sudaryta autorių

svarbu, kad detalės būtų atsparios padidėjusioms mechaninėms apkrovoms.

6 pav. pateikti slėgio prieaugio cilindre grafikai. Aušinant tarpinį oro aušintuvą 50 % – slėgio prieaugis cilindre padidėja apie 0,2 bar/°AV. Tai lemia didesnis oro tankis ir dėl žemesnės temperatūros užsitęsusi užsiliepsnojimo gaištis. Tas pats vyksta ir atvėsinant tarpinį oro aušintuvą 100 % aušinimu. Pokytis yra beveik 50 % didesnis – iki 1 bar/°AV.

Šilumos išsiskyrimo intensyvumo rezultatai, apskaičiuoti su AVL BOOST programos paprograme BURN, koreliuoja su bandymų metu gautais tarpinio oro aušintuvo aušinimo rezultatais. Analizuojant gautus rezultatus grafikuose (8 pav.), šilumos išsiskyrimo intensyvumas pirmoje intensyvaus degimo fazėje (esant pastoviam tūriui) be tarpinio aušintuvo aušinimo 31,5 J/°AV, o tarpinį oro aušintuvą aušinant 50 % ir 100 % šilumos išsiskyrimo intensyvumas išauga ~3,5 J/°AV ir ~9 J/°AV. Intensyviausias šilumos išsiskyrimas vyksta 2 – 3°AV vėliau. Kuo šaltesniu oru yra pripildomas cilindras, tuo, esant ilgesniam užsidegimo gaišties periodui, cilindre susikaupia daugiau nesudegusių degalų ir jiems pradėjus degti pirmoje intensyvaus degimo fazėje išsiskiria daugiau energijos (šilumos). Šilumos išsiskyrimo kreivės pakilimas su EGR siekia iki 29 J/°AV, naudojant 100 % aušinimą pakyla iki 32 J/°AV. Analizuojant gautus rezultatus, matomas ir „antrasis kalnelis“ (7 pav.), Antrasis šilumos išsiskyrimo šuolis atsiranda tada, kai tęsiantis degalų iš-



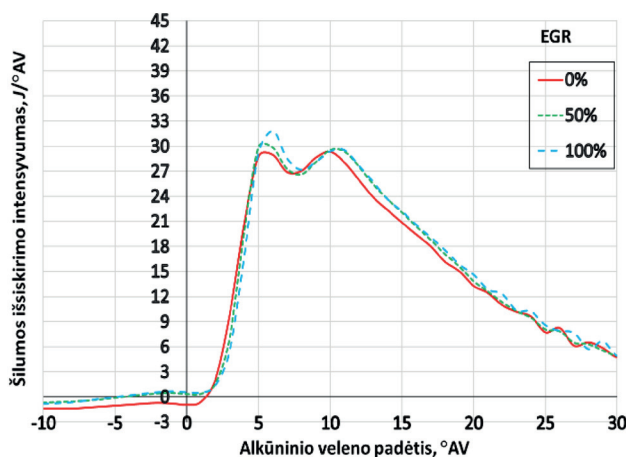
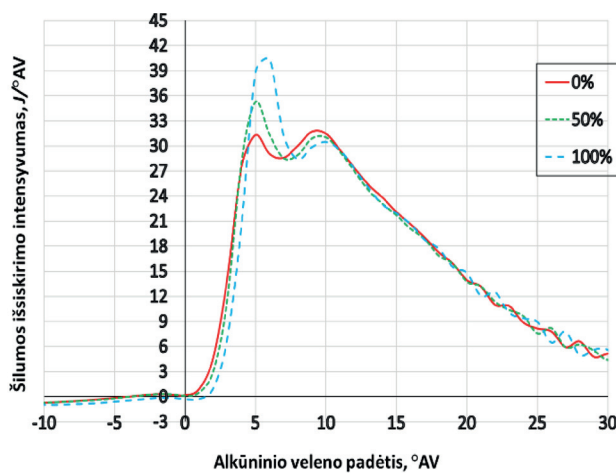
6 pav. Slėgio prieaugis cilindre degimo proceso metu  
Šaltinis: sudaryta autorių

purškimui, jų slėgis dar padidėja ir nuspaudžia antrą purkštuvą spyruoklę. Purkštuvų adata daugiau pakyla ir atidaro degalų išpurškimo angą, dėl to degalų išpurškimo našumas išauga ir tada vyksta degimas antrą intensyvaus degimo fazėje – esant pastoviam slėgiui. Šioje degimo fazėje išdeginami pirmoje fazėje susidarę ir nepilnai sudegę suodžiai – kietosios dalelės.

Remiantis degimo proceso analizės, atliktos AVL BOOST programa rezultatais, matoma, kad maksimali degalų degimo temperatūra cilindre pasiekama esant 22° AV už VGT (8 pav.). Analizuojant 0 % aušinimo kreivę, nenaudojant EGR, stebima, kad suslėgtas oras cilindre yra karštesnis apie 20 K lyginant su 50 % aušinamo tarpinio oro aušintuvu, dėl to, kad įsiurbiamas mažiau atšaušintas oras. Užsilepsnojus mišiniui pasiekama temperatūra 1250 K, o aušintuvą aušinant 50 % temperatūra pakyla mažiau – iki 1150 K. Tarpinį oro aušintuvą aušinant 100 % temperatūra pakyla tik iki 1100 K. Naudojant EGR suslėgtas oras yra tik apie 10 K karštesnis lyginant su 50 % aušinamu. Tarpinį oro aušintuvą aušinant 100 % temperatūra pakyla mažiau – iki 900 K. Tokių degimo temperatūrų skirtumą lemia pradinė įsiurbiamo oro temperatūra ir mažesnis degimo intensyvumas dėl slopinančio EGR dujų poveikio. Žemesnė degimo temperatūra lemia mažesnes NO<sub>x</sub> emisijas tačiau gali išaugti deginių dūmingumas (Shahridzuan Abdullah et al., 2021).

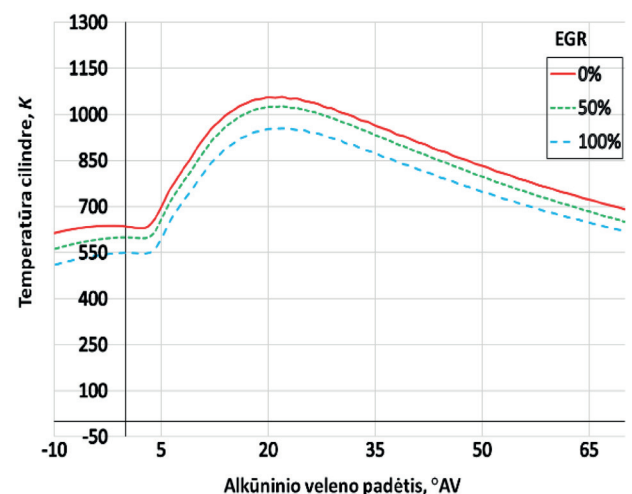
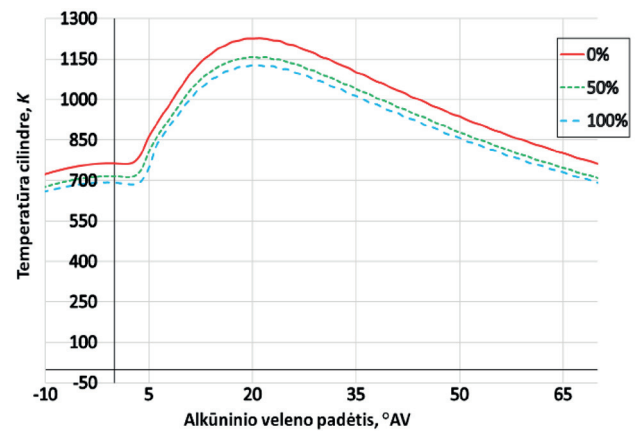
Remiantis tyrimo duomenimis ir atlikus rezultatų analizę, galima teigti, kad, nenaudojant EGR, tarpinį oro aušintuvą aušinant 100 % esant variklio apkrovai 60 Nm azoto oksidų (NO<sub>x</sub>) koncentracija sumažėja vidutiniškai iki 60 %, EGR NO<sub>x</sub> koncentraciją sumažina vidutiniškai 40 %. Temperatūra cilindre gaunama mažesnė, nors šilumos išsiskyrimas, intensyviau aušinant tarpinį oro aušintuvą, yra didesnis. Taip yra todėl, kad pradinė įsiurbiamo oro temperatūra yra gerokai žemesnė. Matoma, kad temperatūros pokytis (prieaugis) atšaušinus įsiurbiamą orą be EGR degimo metu išauga akivaizdžiai – nuo 50 iki 62 K/°AV (9 pav.). Pagrindinės didesnio temperatūros prieaugio priežastys: žemesnė įsiurbiamo oro temperatūra ciklo pradžioje bei ilgesnė degalų garavimo gaisis ir intensyvesnis šilumos išsiskyrimo intensyvumas pirmoje intensyvaus degimo fazėje. Temperatūros cilindre pokytis su EGR aušinant tarpinį oro aušintuvą 100 % palyginus su neaušinamu temperatūra sumažėja 8 K/°AV. Ir čia lemiamą reikšmę turėjo žemesnė temperatūra degimo pradžioje.

Analizuojant gautus sudegusios degalų masės dalies duomenis (10 pav.) pastebima, kad nenaudojant EGR ir tarpinį oro aušinimą aušinant iki 100 % dėl didesnės užsilepsnojimo gaisies degimas prasideda stūmokliui esant 5° AV už VGT. Mažiau (0 % ir 50 %) tarpinio oro aušintuvo atšaušintas oras įgalina degalus užsilepsnoti anksčiau – stūmokliui esant 3° – 4° AV už VGT.



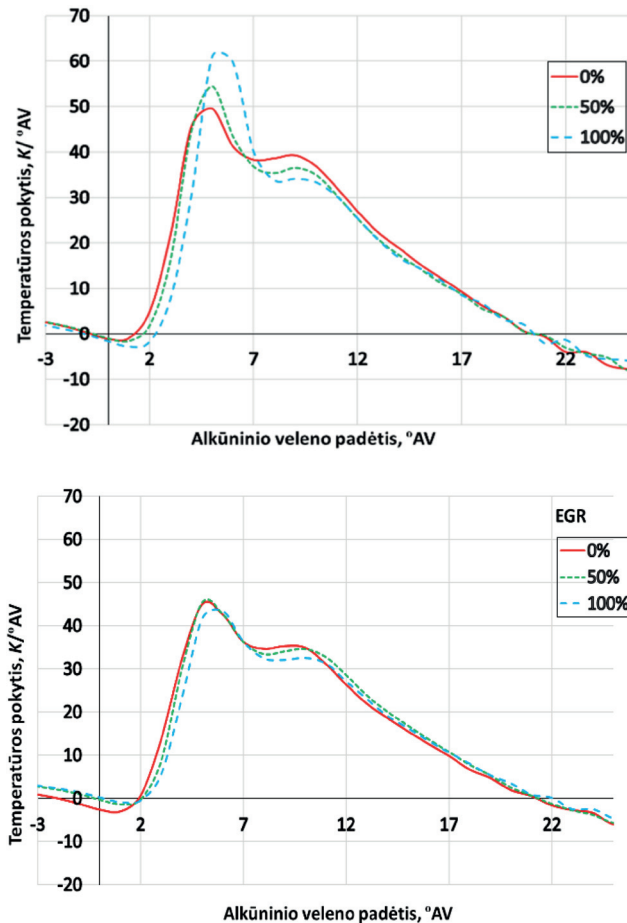
7 pav. Šilumos išsiskyrimo intensyvumas cilindre degimo proceso metu

Šaltinis: sudaryta autorių



8 pav. Temperatūra cilindre degimo proceso metu

Šaltinis: sudaryta autorių



9 pav. Temperatūros pokytis cilindre degimo proceso metu  
Šaltinis: sudaryta autorių

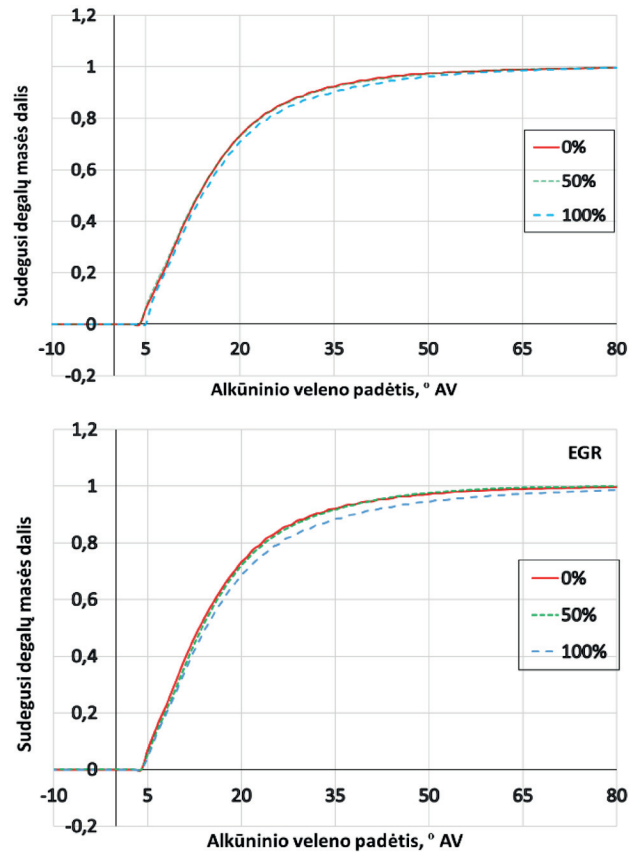
Naudojant EGR ir tarpinį oro aušintuvą aušinant 100 %, degimas prasideda panašiai kaip ir be aušinimo, tačiau dėl EGR dujų sudėtyje esančių  $\text{CO}_2$  dujų degimas sulėtėja, degusis mišinys dega ilgiau. Užsitęsęs degimas gali turėti neigiamos įtakos degalų sąnaudoms ir sumažinti variklio energetinį efektyvumą. Tačiau esant žemesnei temperatūrai variklis turi mažesnius šiluminius nuostolius, sumažėja  $\text{NO}_x$  emisija, didesnis degime dalyvaujantis oro kiekis sumažina dūmingumą.

## Išvados

Ekspirimentiniu ir skaitinės analizės būdu (AVL BOOST programa) ištyrus pastovia apkrova veikiančio slėginio uždegimo variklio degimo proceso rodiklių pokyčius keičiant įsiurbiamo oro aušinimo intensyvumą bei išjungus ir įjungus EGR nustatytos šios variklio rodiklių pokyčių tendencijos:

1. Intensyvesnis įsiurbiamo oro aušinimas didina dujų tankį ir reikšmingiau gerina cilindrų pripildymą varikliui veikiant be EGR. Naudojant EGR cilindrų pripildymas dėl geresnio oro aušinimo gerėja mažiau, nes į cilindrą grąžinant išmetamąsias dujas sumažėja įsiurbiamo oro masė.

2. Naudojant intensyvių įsiurbiamo oro aušinimą slėgio prieaugis cilindre degimo metu be EGR išauga



10 pav. Degimo proceso metu sudegusi degalų masės dalis  
Šaltinis: sudaryta autorių

iki 50 % kas reikšmingai padidina maksimalų slėgį cilindre. Išausgų slėgio prieaugį paaikšina šilumos išsiskyrimo grafikas, kur matomas iki  $2^\circ$  AV ilgesnis užsiliepsnojimo gaišties periodas į variklį įsiurbiant šaltesnį orą. Tai didina degalų kiekį ir šilumos išsiskyrimo intensyvumą (iki 29 %) pradinėje intensyvaus degimo fazėje (prie pastovaus tūrio). Įjungus EGR degimas ir maksimalus šilumos išsiskyrimo intensyvumas yra iki 8 % mažesnis dėl EGR dujose esančio didelio  $\text{CO}_2$  dujų kiekio, slopinančio degimą. Intensyviau aušinant įsiurbiamą orą pastebimas nežymus šilumos išsiskyrimo padidėjimas intensyvaus degimo metu ir prie pastovaus tūrio (iki 10 %) ir prie pastovaus slėgio.

3. Taikant intensyvesnį įsiurbiamo oro aušinimą temperatūros prieaugis degimo metu yra iki 20 % didesnis. Ypač tai pastebima varikliui veikiant be EGR. Tačiau šiuo atveju maksimali degimo temperatūra nustatyta iki 12 % mažesnė nes degimo pradžioje cilindre yra žemesnė temperatūra.

4. Žemesnė degimo temperatūra leidžia sumažinti variklio šiluminius nuostolius ir  $\text{NO}_x$  emisiją, bei degime dalyvaujant daugiau oro sumažėja dūmingumas, bei nepilno degimo produktų emisija.

## Literatūra

- AVL. (2011). AVL BOOST. Theory. AVL LIST GmbH, Graz, Austria.  
Butkus, A. (2009). Vidaus degimo variklių projektavi-

- mo pagrindai. Vilnius Gediminas Technical University. <https://doi.org/10.3846/1076-S>
- Giedra, K., Kirka, A., & Slavinskas, S. (2006). *Automobiliai*. "Smaltijos" leidykla.
- Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals* (Second edition). McGraw-Hill Education.
- Hlavna, V., Kovačik, A., Krakovský, J., & Labuda, R. (2011). The influence of intensity of charge air intercooling on diesel engine gas. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 18(2), 8.
- Kurkauskas, V. (2012). *Įsiurbiamo oro parametrų įtakos dyzelinio variklio rodikliams tyrimas*. Aleksandro Stulginskio universitetas, Akademija.
- Mollenhauer, K., & Tschoke, H. (Eds.). (2010). *Handbook of diesel engines*. Springer.
- Muqem, M., Kumar, M., & Tech, M. (2013). Design of an intercooler of a turbocharger unit to enhance the volumetric efficiency of diesel engine. *International Journal Of Mechanical Engineering and Technology (Ijmet)*, 4(3).
- Naser, L., Ilir, D., & Shpetim, L. (2016). Modelling and Simulation of the Turbocharged Diesel Engine with Intercooler. *IFAC-PapersOnLine*, 49(29), 237–242. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.058>
- Rahnejat, H. (Ed.). (2010). *Tribology and dynamics of engine and powertrain: Fundamentals, applications and future trends*. Woodhead Pub.
- Reif, K. (Ed.). (2014). *Diesel Engine Management: Systems and Components* (2014th edition). Springer.
- Shahridzuan Abdullah, I., Khalid, A., Jaat, N., Saputra Nursal, R., Koten, H., & Karagoz, Y. (2021). A study of ignition delay, combustion process and emissions in a high ambient temperature of diesel combustion. *Fuel*, 297, 120706. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120706>

## ANALYSIS OF THE ENGINE COMBUSTION PROCESS BY CHANGING THE AIR COOLING INTENSITY

Audrius Matulis<sup>1</sup>, Alfredas Rimkus<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Vilnius College of Technologies and Design

<sup>2</sup>Vilnius Gediminas Technical University (VILNIUS TECH)

**Abstract.** The experimental and theoretical studies on the improvement of intercooling of internal combustion engines, analyzed in the literature review, show a positive change in engine performance. During the experimental tests, a liquid-cooled intercooler was installed in the air supply system of the compression-ignition engine. During the test, the cooling intensity of the air cooler is regulated by changing the flow rate of the coolant (water) through the cooler. The temperature of the liquid entering and leaving the intercooler and the temperature of the air entering the intercooler from the turbine and from the intercooler to the engine shall be measured. Engine fuel and air consumption as well as pressure in the cylinder over the operating cycle is measured. In order to perform a more detailed analysis of the combustion process and to explain the changes in engine energy and emission parameters by changing the cooling intensity of the intercooler, a numerical model of the investigated engine was developed by the AVL BOOST program. Using the results of the experimental study, the numerical analysis of the combustion process was performed in the subprogram AVL BURN and the changes of combustion parameters were determined by changing the air cooling intensity with the engine running without exhaust gas recirculation (EGR) and switching on the EGR.

**Key words:** compression ignition engine, intercooler, combustion process, heat release.

# SAFETY TECHNOLOGIES: EVALUATION OF FIRE ALARM SIRENS BY MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING METHODS

Aušra Stankiuvienė<sup>1</sup>, Jurgita Šakėnaitė<sup>2</sup> and Irina Vinogradova-Zinkevič<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Department of Building Materials and Fire Safety, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius

<sup>3</sup>Department of Information Technologies, Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius

**Abstract:** The effectiveness level of proper safety technologies depends on numerous quantitative and qualitative indicators affecting the sustainable process. As the most dangerous element, confronting humans is fire, with the aim to ensure human life and property of the building is important for the government, building project managers, contractors, building owners, insurers, rescue services, etc. It is very important to know which of the fire protection measures, depending on its characteristics and criteria, are the most effective or economic and can most effectively ensure fire safety. The fire protection problem which can be solved using a multi-criteria decision-making (MCDM) approach has been presented in this paper. The complex comparison of fire alarm sirens carried out by means of the following MCDM methods: Additive Ratio Assessment (ARAS), Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Complex Proportional Assessment (COPRAS), and Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS). The results of the study showed that four applied MCDM methods were practical for ranking solution in problems related with fire safety.

**Key words:** safety technology, fire safety, risk management, MCDM, civil engineering, construction industry.

## Introduction

Safety technology is a complex discipline that integrates achievements of different fields of science in the designing, planning, civil engineering and management of infrastructures. The application of elements in any safety technology process increases the overall level of building sustainability (Allen, McAleer, Singh, 2017). The most common and dangerous elements, confronting humans – is fire. Fire is an uncontrolled combustion process and fires cause direct and indirect losses, leaves major social and economic consequences (Tan, Farid, Akashah, Mahyuddin, 2016). Many fires could be prevented with proper fire safety management (Zhang, 2016; Lee & Lin, 2018). In common, it is the totality of legal, technical and organizational measures to prevent fires and necessity to plan simple preventive measures.

## 1. Fire safety technologies

Fire safety is a component of general safety in a building. In the event of a fire, it is first necessary to ensure the preservation of human life and to insure employees' safety. Fire protection is the combination of legal, technical and organizational measures to prevent the occurrence and spread of fires, and to mitigate their potential consequences. Requirements for the design of buildings, spatial planning and operation of objects are set for fire protection, e. g. they are intended to prevent fires, foresee and enable fire extinguishing, rescue of people and property. The decisions on building fire safety can be taken by many administrators: the government representatives, rescue services represen-

tatives, firefighting professionals, customers, building project managers, contractors, subcontractors, OSH specialists, OSH coordinators, building owners and insurers. Each participant in fire safety process plays an own and specific role in the execution process of a buildings life cycle and stands against various risks.

People need to be aware that they are safe not only subjectively or psychologically, but also objectively or practically. On one hand, fire detection and alarm systems in all buildings must be operational at all times and under all conditions. The use of safe and effective emergency and emergency management concepts, as well as the successful implementation of additional measures, require expertise and practical experience (Moreira, Bernardes, Rebelo, Vilar, Noriega, Borges, 2015; Cuesta, Abreu, Balboa, Alvear, 2017; Ma, Li, Zhang, Chen, 2017; Stankiuvienė & Šakėnaitė, 2017). Their primary purpose – warn people about a fire in the building to reduce the risk that threatens life. Firstly, fire alarm sirens are necessary to protect human life in case of fire. Most people do not experience frequent fires. For this reason, integrated sound evacuation systems are important (Liu, Zhang, Zhu, 2012; Haichao, Lihua, Xiaozhi, 2014; Wu & Kang, 2015). Secondly, fire alarm sirens can also help protect property as its complex early warning systems increase the time it takes to extinguish fires in the initial stages (Vaidogas & Šakėnaitė, 2011; D'Orazio, Longhi, Olivetti, Bernardini, 2015; Vaidogas & Šakėnaitė, 2015). Thirdly, this is an effective, fast and safe guide to evacuation in an emergency (Papinigis, Geda, Lukošius, 2010; Ma et al., 2017; Zhang, 2017). Finally, fire alarm sirens are equipped with a backup evacuation booster to increase survivability and reduce other emergencies that can prevent safe evacuation (Ishizaka & Labib, 2014; Ristić &



Radosavljević, 2015; Marzouk & Basma, 2019).

Technical installation of fire protection measures cost money, but the amount spent will be significantly lower than that of the damage caused by fire. The administrators as decision-makers play significant role on proper selection of the right fire protection measures and to better protect people/employees. The administrators should understand the functions and limitations of the equipment selected for maximum efficiency and safety.

The protection of buildings against fire disasters may require a comparison of alternative fire safety equipment. The solutions are not completely known, half of them are uncertain and insecure. The uncertainty and insecurity emerge from a host of ever-changing demands, and how many different perspectives, rights, abilities and responsibilities in the fire prevention are caused by mental factors, until the implementation of the solution in practice becomes practicable and reasonable. The fire safety solutions can be compared by means of a general methodology known as methods of multi-criteria decision-making (MCDM). The alternative fire designs can be described by many of attributes which characterize each of the alternatives.

This paper presents an attempt to formulate and solve an MCDM problem which can be applied in a case study of evaluation and selection of a right fire alarm siren from a set of potential fire alarm sirens.

## 2. Applied MCDM Methods

MCDM methods are widely applied for making the optimal solution, selecting a single option or ranking choices from the most to the least appropriate and is an area component of mathematics-based optimization (Norris & Marshall, 1995; Zavadskas, Kaklauskas, Turskis, Kalibatas, 2009a; Zavadskas, Kaklauskas, Turskis, Tamošaitienė 2009b; Turskis, Dzitic, Stan-kiuvienė, Šukys, 2019; Vinogradova, 2019). The basic idea behind the MCDM methods is to combine the criteria values and weights to obtain a single point of reference for evaluation, i.e. the method's criterion (Trinkūnienė, Podvezko, Zavadskas, Jokšienė, Vinogradova, Trinkūnas, 2017). In order to make the evaluation more accurate, several MCDM methods are used to solve one task (Vinogradova & Kliukas, 2015). The most commonly used are Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS), Complex Proportional Assessment (COPRAS). The principle of calculating the ARAS method is the basis of any MCDM method, the weighting of the criteria is multiplied by the normalized estimate of the corresponding alternative and the results are summed up. Criterion  $K$  of the ARAS method represents the difference between real alternatives and hypothetical best alternatives. The main principle of the TOPSIS method is to find an alternative with a common mi-

nimum distance from the best criteria values and the maximum distance from the worst meanings (Hwang & Yoon, 1981). In the EDAS method the best alternative is related to the distance from an average solution (Keshavarz Ghorabae, Zavadskas, Olfat, Turskis, 2015). As shown by the sensitive analysis of MCDM methods, TOPSIS is one of the most stable methods. Stability was determined by the difference in the number of simulations, each time slightly changing the primary Decision matrix, i.e. expert estimates and weighting of the vector data, capturing the best alternative frequency. The COPRAS method evaluates separately the impact of minimized and maximized criteria on the outcome of the assessment (Zavadskas, Kaklauskas, Peldschus, Turskis, 2007).

Several MCDM methods are applied to establish the most suitable fire alarm siren. Below is a detailed description of the methods used in the publication.

### 2.1. Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)

The Fuzzy AHP method is suitable for determining the weights of the qualitative criteria, when the experts evaluate the alternatives independently of the judgements of other experts. Each expert performed the evaluation procedure applying a simple AHP method of pairwise comparison. The matrix of the expert's pairwise comparison was verified to check if the expert had not conflicted with his/her own judgment. This facilitated obtaining the weights of the qualitative criteria in a more precise way.

The weights of the criteria were determined by using the FAHP method described below.

Each expert performed pairwise comparison using the scale of the AHP method 1-3-5-7-9. The concordance (Saaty, 1980, 1993) of the data of the filled in pairwise comparison matrix was checked.

The concordance of the estimates provided by the experts of the whole group was assessed (Kendall, 1955).

The matrix  $\tilde{P}$  of the pairwise comparison data obtained from the group of experts, using the FAHP method, was developed based on the particular elements  $p_{ij}^t$  of the matrix, constructed using the AHP pairwise comparison data obtained by experts, when  $t = 1, 2, \dots, T$  and  $T$  is the number of experts.

The fuzzy triangular numbers  $\tilde{p}_{ij} = (L_{ij}, M_{ij}, U_{ij})$  of the elements of the pairwise comparison matrix  $\tilde{P} = (\tilde{p}_{ij})$  based on the data provided by the experts' group were calculated by using the offered algorithm as follows (Kurilov, Vinogradova, Kubilinskienė, 2016; Trinkūnienė et al., 2017; Vinogradova, Podvezko; Zavadskas, 2018):

$$\begin{aligned} M_{ij} &= \frac{\sum_{t=1}^T p_{ij}^t}{T} \\ L_{ij} &= \min_t p_{ij}^t \\ U_{ij} &= \max_t p_{ij}^t. \end{aligned} \quad (1)$$

Since the matrix is inversely symmetrical  $\tilde{p}_{ji} = \tilde{p}_{ij}^{-1} = (\frac{1}{U_{ij}}, \frac{1}{M_{ij}}, \frac{1}{L_{ij}})$ ;  $\tilde{p}_{ii} = (1, 1, 1)$ .

$$\bar{p} = \begin{pmatrix} (1,1,1) & (L_{12}, M_{12}U_{12}) & \dots & (L_{1m}, M_{1m}U_{1m}) \\ (\frac{1}{U_{12}}, \frac{1}{M_{12}}, \frac{1}{L_{12}}) & (1,1,1) & \dots & (L_{2m}, M_{2m}U_{2m}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (\frac{1}{U_{1m}}, \frac{1}{M_{1m}}, \frac{1}{L_{1m}}) & (\frac{1}{U_{2m}}, \frac{1}{M_{2m}}, \frac{1}{L_{2m}}) & \dots & (1,1,1) \end{pmatrix}. \quad (2)$$

To determine the weights of the criteria based on the matrix of fuzzy numbers, the extent analysis method suggested by Chang (Chang, 1992) was used. The value  $\tilde{S}_i = (l_j, m_j, u_j)$  referred to as the fuzzy synthesis extension was calculated for each criterion:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^m \tilde{p}_{ij} \otimes \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \tilde{p}_{ij} \right\}^{-1}; \quad i = 1, \dots, m \quad (3)$$

Each criterion  $j$  has the value  $\tilde{S}_i$  expressed by a fuzzy number of the triangle. Then, comparing the criteria (i.e., fuzzy numbers of the triangles), their probability levels (degrees) were determined. The probability level was calculated as follows:

$$V(\tilde{S}_j \geq \tilde{S}_i) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_j \geq m_i \\ \frac{l_i - u_j}{(m_j - u_j) - (m_i - l_i)}, & \text{if } l_i \leq u_j, i, j \\ 0, & \text{while, in other cases,} \end{cases} \quad (4)$$

$= 1, \dots, m; i \neq j.$

The smallest value of the probability level was calculated as follows:

$$V_j = V(\tilde{S}_j \geq \tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \dots, \tilde{S}_{j-1}, \tilde{S}_{j+1}, \dots, \tilde{S}_m) = \min_{i \in \{1, \dots, m; i \neq j\}} V(\tilde{S}_j \geq \tilde{S}_i), \quad i = 1, \dots, m. \quad (5)$$

The vector of the priorities of the fuzzy matrix  $w_j$  was calculated by the equation:

$$w_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j}, \quad j = 1, \dots, m. \quad (6)$$

**2.2. Additive Ratio Assessment (ARAS).** ARAS method was developed in 2010 by Zavadskas and Turskis (2010).

The first stage is forming a decision-making matrix. The following decision-making matrix of preferences for  $m$  reasonable alternatives (rows) rated on  $n$  criteria (columns) is as follows:

$$X = \begin{pmatrix} x_{01} & x_{02} & \dots & x_{0j} & \dots & x_{0n} \\ x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}; \quad i = \overline{0, m}; j \quad (7)$$

$= \overline{1, n},$

where  $m$  – number of alternatives,  $n$  – number of criteria describing each alternative,  $x_{ij}$  – value representing the performance value of the  $i$  alternative in terms of the  $j$  criterion,  $x_{0j}$  – optimal value of  $j$  criterion.

If the optimal value of  $j$  criterion is unknown, then

$$\begin{aligned} x_{0j} &= \max_i x_{ij}, \text{ if } \max_i x_{ij} \text{ is preferable;} \\ x_{0j} &= \min_i x_{ij}^*, \text{ if } \min_i x_{ij}^* \text{ is preferable.} \end{aligned} \quad (8)$$

In the second stage the initial values of all the criteria are normalized – defining values  $\tilde{x}_{ij}$  of a normalized decision-making matrix  $\tilde{X}$ :

$$\tilde{X} = \begin{pmatrix} \tilde{x}_{01} & \tilde{x}_{02} & \dots & \tilde{x}_{0j} & \dots & \tilde{x}_{0n} \\ \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1j} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{i2} & \dots & \tilde{x}_{ij} & \dots & \tilde{x}_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mj} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{pmatrix}; \quad i = \overline{0, m}; j \quad (9)$$

$= \overline{1, n},$

The criteria, whose preferable values are maxima, normalized as follows:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}}. \quad (10)$$

The criteria, whose preferable values are minima, normalized by applying two-stage procedure:

$$x_{ij} = \frac{1}{x_{ij}^*}; \quad \tilde{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}}. \quad (11)$$

When the dimensionless values of the criteria are known, all the criteria, originally having different dimensions, can be compared.

The third stage is defining normalized-weighted matrix –  $\hat{X}$ . It is possible to evaluate the criteria with weights  $0 < w_j < 1$ .

Defining normalized-weighted matrix:

$$\hat{X} = \begin{pmatrix} \hat{x}_{01} & \hat{x}_{02} & \dots & \hat{x}_{0j} & \dots & \hat{x}_{0n} \\ \hat{x}_{11} & \hat{x}_{12} & \dots & \hat{x}_{1j} & \dots & \hat{x}_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{i1} & \hat{x}_{i2} & \dots & \hat{x}_{ij} & \dots & \hat{x}_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{x}_{m1} & \hat{x}_{m2} & \dots & \hat{x}_{mj} & \dots & \hat{x}_{mn} \end{pmatrix}; \quad i = \overline{0, m}; j \quad (12)$$

$= \overline{1, n}.$

Normalized-weighted values of all the criteria calculated as follows:

$$\hat{x}_{ij} = \tilde{x}_{ij} w_j; \quad i = \overline{0, m}; j = \overline{1, n}, \quad (13)$$

where  $w_j$  is the weight (importance) of the  $j$  criterion and  $\tilde{x}_{ij}$  is the normalized rating of the  $j$  criterion.

The following task is determining the values of an optimality function:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}; \quad i = \overline{0, m}, \quad (14)$$

where  $\tilde{S}_i$  is the value of the optimality function of the  $i$ -th alternative.

The greater the value of the optimality function  $\tilde{S}_i$ , the more effective the alternative.

The degree of the alternative utility  $K_i$  determines a ratio of the analysed alternative utility function value with the optimal one  $S_0$ :

$$K_i = \frac{\tilde{S}_i}{S_0}; \quad i = \overline{0, m}, \quad (15)$$

where  $S_i$  and  $S_0$  are the optimal criterion values, obtained from Eq. (14).

**2.3. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS).** Yoon and Hwang developed

the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) based upon that the chosen alternative should be the shortest distance from the ideal solution and the farthest from negative ideal solution (Hwang & Yoon, 1981).

The method TOPSIS is based on vector normalization:

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n r_{ij}^2}} \quad (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m), \quad (16)$$

where  $\tilde{r}_{ij}$  is the normalized value of  $j$ -th criterion for  $i$ -th alternative.

The best alternative  $V^*$  and the worst alternative  $V^-$  were calculated by

$$\begin{aligned} V^* &= \{V_1^*, V_2^*, \dots, V_m^*\} = \\ &= \{(\max_i \omega_j \tilde{r}_{ij} / j \in J_1), (\min_i \omega_j \tilde{r}_{ij} / j \in J_2)\}, \\ V^- &= \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_m^-\} = \\ &= \{((\min_i \omega_j \tilde{r}_{ij} / j \in J_1), ((\max_i \omega_j \tilde{r}_{ij} / j \in J_2))\}, \end{aligned} \quad (17)$$

where  $J_1$  is a set of indices of the maximized criteria,  $J_2$  is a set of indices of the minimized criteria.

The distance  $D_i^*$  of every considered alternative to the ideal (best) solutions and its distance  $D_i^-$  to the worst solutions were calculated:

$$\begin{aligned} D_i^* &= \sqrt{\sum_{j=1}^m (\omega_j \tilde{r}_{ij} - V_j^*)^2}, \\ D_i^- &= \sqrt{\sum_{j=1}^m (\omega_j \tilde{r}_{ij} - V_j^-)^2}. \end{aligned} \quad (18)$$

The criterion  $C_i^*$  of the method TOPSIS was calculated by

$$C_i^* = \frac{D_i^-}{D_i^* + D_i^-} \quad (i = 1, \dots, n) \quad (0 \leq C_i^* \leq 1). \quad (19)$$

The largest value of the criterion  $C_i^*$  corresponds to the best alternative.

#### 2.4. Complex Proportional Assessment (COPRAS)

The criterion of the COPRAS (Complex Proportional Assessment) method (Zavadskas, Kaklauskas, Šarka, 1994; Podvezko, 2011)  $Z_i$  was calculated as follows:

$$Z_i = S_{+i} + \frac{\sum_{i=1}^n S_{-i}}{S_{-i} \sum_{i=1}^n \frac{1}{S_{-i}}} \quad (20)$$

$S_{+i} = \sum_{j=1}^m \omega_j \tilde{r}_{+ij}$  is the sum of the weighted values of the maximized criteria  $\tilde{r}_{+ij}$ ,

$S_{-i} = \sum_{j=1}^m \omega_j \tilde{r}_{-ij}$  is same for the minimized criteria,

where  $\omega_j$  is the weight of the  $j$ -th criterion and  $\tilde{r}_{ij}$  is the normalized value of the  $j$ -th criterion for the  $i$ -th alternative calculated by equation (10).

**2.5. Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS).** The idea of the EDAS (Evaluation Based on Distance from Average Solution) method is similar to the TOPSIS method. In the TOPSIS method the desirable alternative has a lower distance from an ideal solution and higher distance from a nadir solution. In the EDAS method, the best alternative is related to the distance from an average solution (Keshavarz Ghorabae et al., 2015). In this method, we have two measures dealing with the desirability of the alternatives. The first measure is the positive distance from the average (PD), and the second is the negative distance from the average (ND). The evaluation of the alternatives is made according to higher values of PD and lower values of ND. The steps for using the EDAS method are presented as follows.

Calculate the average to all criteria:

$$AV_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} / n. \quad (21)$$

Calculate the positive distance from average (PD) and the negative distance from average (ND):

$$\begin{aligned} PD_{ij} &= \frac{\max(0, (r_{ij} - AV_j))}{AV_j}, \\ ND_{ij} &= \frac{\max(0, (AV_j - r_{ij}))}{AV_j}, \end{aligned} \quad (22)$$

$j_{th}$  criterion is maximized (beneficial), and

$$\begin{aligned} PD_{ij} &= \frac{\max(0, (AV_j - r_{ij}))}{AV_j}, \\ ND_{ij} &= \frac{\max(0, (r_{ij} - AV_j))}{AV_j}, \end{aligned} \quad (23)$$

$j_{th}$  criterion is minimized (non-beneficial), where  $PD_{ij}$  and  $ND_{ij}$  denote the positive and negative distance of the  $i$ -th alternative from an average solution in terms of the  $j$ -th criterion, respectively.

Determine the weighted sum of PD and ND for all alternatives:

$$\begin{aligned} SP_i &= \sum_{j=1}^m \omega_j PD_{ij}, \\ SN_i &= \sum_{j=1}^m \omega_j ND_{ij}, \end{aligned} \quad (24)$$

where  $\omega_j$  is the weight of the  $j$ -th criterion.

Normalize the values of SP and SN for all alternatives:

$$\begin{aligned} NSP_i &= \frac{SP_i}{\max_i SP_i}, \\ NSN_i &= 1 - \frac{SN_i}{\max_i SN_i}, \end{aligned} \quad (25)$$

Calculate the appraisal score (AS) for all alternatives:

$$AS_i = \frac{1}{2}(NSP_i + NSN_i), \text{ where } 0 \leq AS_i \leq 1. \quad (26)$$

### 3. Practical problem solution: choice among fire alarm sirens

The administration of educational institution is choosing fire alarm sirens as one of the most impor-

tant components in fire safety systems for buildings. It wants to improve fire safety in the buildings where there are a lot of people. The administration seeks to reach the maximum level of fire safety, but at the same time it does not want to appear as being uneconomic in its choice of fire protection.

The alternatives used in the problem represent four alternative variants of fire alarm sirens. For simplicity, the alternatives are referred to as A, B, C and D.

Economic attributes and attributes expressing standard technical characteristics of fire protection measures can be a natural part of this problem. Fire protective measures are installed to reduce this risk and eventually their effectiveness should be measured in terms of risk reduction. The administration of the educational institution selects seven attributes  $a_1, a_2, \dots, a_7$  for evaluating the fire alarm siren. Fire alarm sirens are related to economic attributes, because fire protection measures require investments for purchasing and installing. The economics is taken into account by the first budgeted requirements of each system (attribute  $a_1$ ). They can be used along with economic attributes as well as non-economic attributes which are not directly related to fire safety. Sirens in conjunction with the flash for sound and visual representation effectively report about a fire hazard (attributes  $a_2, a_3$  and  $a_4$ ). Other important criteria, such as power supply and backup power supply, are important, so that if the main power supply is missing, the siren would still work (attributes  $a_5$  and  $a_6$ ). All sirens can be operated not only inside the premises, but also in outdoor conditions (attribute  $a_7$ ). This ensures greater security after the alarm is triggered and appropriate action can be taken (fire extinguishing, evacuating people from the building, informing the fire department).

The importance (weights) of criteria is considered together with the grades of sirens when applying the MCDM methods. MCDM methods are used when there is no one best alternative, according to all the criteria provided. In our case, of all the alternatives, there is no one dominant. A panel of 7 experts participated in the siren evaluation process. Experts were fire specialists. The evaluation of the MCDM methods consists of 2 stages:

- the alternatives evaluation according to the criteria, the estimates form the decision matrix;
- determination of the criteria weights.

First of all, a group of experts evaluated the alternatives according to the criteria listed above. The economical cost was calculated in euros based on market prices, another criterion according to the technical specifications of the sirens. The overall decision matrix of the expert group is provided in Table 1.

An important milestone in MCDM assessments is the determination of weights. The weights have a significant influence on the final result of the evaluation. The weight of the evaluation criterion reflects the experts' opinion on the criterion's importance level

**Table 1.** The decision matrix (highlighted cells) used for the choice of fire alarm siren

Alternative fire alarm siren	Economics cost, €	Sound level, 1 m	Sound tones	Image indicator (flash)	Electrical voltage, mA	Power supply battery	Terms of use
Criterion direction	min	max	max	max	min	max	max
A	7.26	105	no	no	80	yes	inside
B	25.41	114	yes	yes	92	no	inside/outside
C	25.41	105	no	no	90	no	inside/outside
D	24.20	96	no	no	250	no	inside

in comparison with the other criteria for the particular needs (Kurilov & Vinogradova, 2016). The FAHP method was used to determine the weights of the criteria. The experts independently completed the pairing comparison matrix. The consistency of the matrix was examined by determining the index and the ratio of the consistency. The consistent experts' pairwise comparison matrices were selected for the further computations. The paired comparison matrix completed by one expert is presented in Table 2.

After evaluation of the criteria describing the quality of sirens, the ranking of the obtained results and determining of the concordance of the estimates assigned by the experts of group was made. By applying the Kendall theory, it has been determined that the opinion of expert groups in evaluation is coordinated. The judgments of the experts were in agreement: the concordance coefficient was  $W = 0.75$ , while the calculated criterion value  $\chi^2 = 31.45$  was larger than the value of the table equal to 12.59 (at the significance level value  $\alpha = 0.05$ ). Expert concordance coefficient is high and it shows high level of expert consensus.

**Table 2.** Pair-wise comparison matrix constructed by expert E1

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$x_1$	1.00	2.00	2.00	3.00	3.00	3.00	3.00
$x_2$	0.50	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00
$x_3$	0.50	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00
$x_4$	0.33	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00
$x_5$	0.33	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00
$x_6$	0.33	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00
$x_7$	0.33	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00

The existing expert matrices were made up of one pairwise comparison matrix using fuzzy numbers. The calculations use triangular fuzzy numbers ( $l, m, u$ ), which estimate the range of opinions of the entire panel (Eq. 1 applies).

Since the matrix is symmetric, only the upper part of the matrix, where  $i < j$ , is filled, the other half of the matrix is inverse (Eq. 2). The FAHP matrix of the Expert Group is presented in Table 3.

**Table 3.** FAHP matrix of the Expert Group

	1.00			2.00			3.00			4.00			5.00			6.00			7.00		
1.00	1.00	1.00	1.00	0.5	2.2	5.0	2.0	2.9	4.0	2.0	3.1	5.0	2.0	4.0	5.0	2.0	3.6	5.0	2.0	4.3	6.0
2.00	0.20	0.45	2.00	1.00	1.00	1.00	1.0	2.1	4.0	1.0	2.6	3.0	2.0	3.3	6.0	1.0	2.9	5.0	2.0	3.6	7.0
3.00	0.25	0.35	0.50	0.25	0.47	1.00	1.00	1.00	1.00	0.5	1.9	3.0	1.0	2.3	3.0	1.0	1.9	3.0	1.0	2.6	4.0
4.00	0.20	0.32	0.50	0.33	0.39	1.00	0.33	0.54	2.00	1.00	1.00	1.00	1.0	2.0	4.0	0.3	1.5	3.0	1.0	2.3	5.0
5.00	0.20	0.25	0.50	0.17	0.30	0.50	0.33	0.44	1.00	0.25	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.3	0.7	1.0	1.0	1.3	2.0
6.00	0.20	0.28	0.50	0.20	0.35	1.00	0.33	0.54	1.00	0.33	0.68	3.00	1.00	1.45	3.00	1.00	1.00	1.00	1.0	2.0	3.0
7.00	0.17	0.23	0.50	0.14	0.28	0.50	0.25	0.39	1.00	0.20	0.44	1.00	0.50	0.78	1.00	0.33	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00

Equation (4) calculates the fuzzy synthesis extension for each *j*-th criterion. The results are shown in Table 4.

**Table 4.** The matrix of the values  $S_j = (l_j, m_j, u_j)$

<i>L</i>	<i>M</i>	<i>U</i>
0.099	0.302	0.798
0.070	0.228	0.721
0.043	0.149	0.399
0.036	0.115	0.425
0.028	0.064	0.180
0.035	0.090	0.322
0.022	0.052	0.154

Further comparing the numbers of fuzzy triangles, probability levels are determined (Eq. 4-5). The weights are normalized using equation (6) and the results of the criteria weights are given in Table 5.

To apply the MCMD methods, it is necessary to convert the qualitative estimates into quantitative ones. The results are shown in Table 5. The following scoring system was applied. The verbal “yes” is 1, “no” is 0. The values of the usage condition indicator are evaluated in the five-point system: 1 – bad, 5 – very good. The verbal meanings of the alternative estimates are shown in the highlighted area of Table 1.

**Table 5.** The decision matrix (highlighted cells) used for the choice of fire alarm sirens

Alternative fire alarm siren	Economics cost, €	Sound level, 1 m	Sound tones	Image indicator (flash)	Electrical voltage, mA	Power supply battery	Terms of use
	<i>a</i> <sub>1</sub>	<i>a</i> <sub>2</sub>	<i>a</i> <sub>3</sub>	<i>a</i> <sub>4</sub>	<i>a</i> <sub>5</sub>	<i>a</i> <sub>6</sub>	<i>a</i> <sub>7</sub>
	min	max	max	max	min	max	max
	Attribute weights <i>w<sub>i</sub></i> ( <i>i</i> = 1, 2, ..., 7)						
	0.242	0.216	0.160	0.153	0.062	0.124	0.044
A	7.26	105	0	0	80	1	3
B	25.41	114	1	1	92	0	5
C	25.41	105	0	0	90	0	5
D	24.2	96	0	0	250	0	3

Further calculations were made using ARAS, TOPSIS, COPRAS, EDAS methods. Calculations of the ARAS method is based on equation (7–14), and the result of the evaluation of alternatives is presented in Table 6. The value of criterion *K* is calculated using equation (15) and is equal to: 1; 0.5606; 0.6688; 0.2413;

0.2007. That is, the difference from the best available alternative to the ideal hypothetical alternative is *d* = 0.33, *d* ∈ [0,1]. The result of the TOPSIS method was calculated according to equations (16–19), COPRAS – equation (20), EDAS – equations (21–26). The numerical results of all methods are shown in Table 6.

In order to compare the results of the methods obtained at different numerical ranges, the MCDM numerical results are ranked: 1 – best result, 4 – most demanded.

**Table 6.** Numerical evaluation of alternatives by ARAS, TOPSIS, COPRAS, EDAS methods

Alternative fire alarm siren methods	A	B	C	D
ARAS	0.2099	0.2503	0.0903	0.0751
TOPSIS	0.4238	0.5859	0.1181	0.0237
COPRAS	0.3354	0.4395	0.1218	0.1033
EDAS	0.4943	0.8409	0.0802	0.0000

**Table 7.** Results of evaluation of alternatives obtained ARAS, TOPSIS, COPRAS, EDAS methods

Alternative fire alarm siren	A	B	C	D
Methods				
ARAS	2	1	3	4
TOPSIS	2	1	3	4
COPRAS	2	1	3	4
EDAS	2	1	3	4

Ranked results for all applied methods coincided.

#### 4. Conclusions

The ARAS, TOPSIS, COPRAS, and EDAS methods were applied to rank the alternatives A to D. The eigenvectors of relative importance or value of A, B, C, and D are ARAS method (0.2099, 0.2503, 0.0903, 0.0751), COPRAS method (0.3354, 0.4395, 0.1218, 0.1033), TOPSIS method (0.4238, 0.5859, 0.1181, 0.0237) and EDAS method (0.4943, 0.8409, 0.0802, 0.0000). This yields the following ranking of alternatives B > A > C > D. After the evaluation among the four alternatives using ARAS, TOPSIS, COPRAS and EDAS, alternative B which has the greatest desirability index value is determined as the best choice. All four methods yield the same results. In this study, we compared these four methods in order to compare the obtained results for

the fire alarm siren selection problem. Thus, the decision maker can apply one of the methods for choosing the right fire alarm siren. In application with all four methods, the best alternative is B.

This paper presented that the fire protection problems can be solved using a scientific MCDM approach. One MCDM problem was identified, formulated and solved as an example. As a result of the study, we found that four MCDM methods such as ARAS, COPRAS, TOPSIS and EDAS are practical for ranking solution in problems related with fire safety.

## Reference list

- Allen, D.E., McAleer, M., Singh, A.K. (2017). Risk measurement and risk modelling using applications of Vine copulas. *Sustainability*, 9(10), 17–62.
- Chang, D.Y. (1992). Extent analysis and synthetic decision. *Optimization Techniques and Applications*, 1, 352–355.
- Cuesta, A., Abreu, O., Balboa, A., Alvear, D. (2017). Real-time evacuation route selection methodology for complex buildings. *Fire Safety Journal*, 91, 947–954. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.04.011.
- D’Orazio, M., Longhi, S., Olivetti, P., Bernardini, G. (2015). Design and experimental evaluation of an interactive system for pre-movement time reduction in case of fire. *Automation in Construction*, 52, 16–28. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.02.015.
- Farahani, R.Z., Seifi, M.S., Asgari, N. (2010). Multiple Criteria Facility Location Problems: A survey. *Applied Mathematical Modelling*, 34, 1689–1709. DOI:10.1016/j.apm.2009.10.005.
- Haichao, R., Lihua, S., Xiaozhi, G. (2014). Influences of intelligent evacuation guidance system on crowd evacuation in building fire. *Automation in Construction*, 41, 78–82. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.10.022.
- Hwang, Ch.L., and Yoon, K. (1981). *Multi Attribute Decision-Making, A Methods and Applications. Lecture Series in Economics and Mathematical Systems*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Ishizaka, A., Labib, A. (2014). A hybrid and integrated approach to evaluate and prevent disasters. *Journal of the Operational Research Society*, 65(10), 1475–1489. DOI:10.1057/jors.2013.59.
- Kendall, M. (1955). *Rank Correlation Methods*. New York, NY, USA: Hafner Publishing House.
- Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E.K., Olfat, L., Turskis, Z. (2015). Multi-Criteria Inventory Classification Using a New Method of Evaluation Based on Distance from Average Solution (EDAS). *Informatica*, 26, 435–451.
- Kobes, M., Helsloot, I., De Vries, B., Post, J.G. (2010). Building safety and human behaviour in fire: A literature review. *Fire Safety Journal*, 45(1), 1–11.
- Kong, D. P., Lu, S.X., Kang, Q.S., Lo, S.M., Xie, Q.M. (2014). Fuzzy risk assessment for life safety under building fires. *Fire technology*, 50(4), 977–991.
- Kurilov, J., Vinogradova, I. (2016). Improved fuzzy AHP methodology for evaluating quality of distance learning courses. *International Journal of Engineering Education*, 32(4), 1618–1624.
- Kurilov, J., Vinogradova, I., Kubilinskienė, S. (2016). New MCEQLS fuzzy AHP methodology for evaluating learning repositories: a tool for technological development of economy. *Technological and Economic Development of Economy*, 22(1), 142–155. DOI: <https://doi.org/10.3846/20294913.2015.1074950>.
- Kuznetsova, P. V., Damiani, L., Revatria, R. (2018). Overview of technical solutions for ensuring fire security of high-rise buildings. *Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists 2018 Vol II IMECS 2018*, March 14–16, Hong Kong.
- Lee, J.Ch., Lin, T.T. (2018). A three-stage real options model on fire risk management decision-making under the fire loss frequency uncertainty. *Asia Pacific Management Review*, 23(1), 37–44. DOI: 10.1016/j.apmrv.2017.01.005.
- Liu, X., Zhang, H., Zhu, Q. (2012). Factor Analysis of High-Rise Building Fires Reasons and Fire Protection Measures. *Procedia Engineering*, 45, 643–648. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.216.
- Ma, Y., Li, L., Zhang, H., Chen, T. (2017). Experimental study on small group behavior and crowd dynamics in a tall office building evacuation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 473, 488–500. DOI: 10.1016/j.physa.2017.01.032.
- Marzouk, M., Basma, M. (2019). Integrated agent-based simulation and multi-criteria decision making approach for buildings evacuation evaluation. *Safety Science*, 112, 57–65.
- Moreira, S., Bernardes, F., Rebelo, F., Vilar, E., Noriega, P., Borges, T. (2015). Methodological approaches for use virtual reality to develop emergency evacuation simulations for training, in emergency situations. *Procedia Manufacturing*, 3, 6313–6320. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.946.
- Norris, G.A., and Marshall, H.E. (1995). *Multiattribute Decision Analysis Method for Evaluating Buildings and Building Systems, NISTIR 5663*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.
- Papinigis, V., Geda, E., Lukošius, K. (2010). Design of People Evacuation from Rooms and Buildings. *Journal of Civil Engineering and Management*, 16(1), 131–139. DOI:10.3846/jcem.2010.12.
- Podvezko, V. (2011). The Comparative Analysis of MCD A Methods SAW and COPRAS. *Inžinerinė ekonomika = Engineering economics*, 22, 134–146.
- Ristić, J.D., Radosavljević, D.B. (2015). A model of the decision-making process during pre-evacuation. *Fire Safety Journal*, 7, 168–179.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill: New York.
- Saaty, T. (1993). *Decision-making Analytic Hierarchy Process*. Radio and Communication: Moscow.
- Stankiuvienė, A., Šakėnaitė, J. (2017). Priešgaisrinės saugos praktinio mokymo tyrimas. *Inžinerinės ir edukacinės technologijos = Engineering and educational technologies*, 2, 35–39.
- Tan, Y., Farid, R., Akashah, W., Mahyuddin, N. (2016). The analysis of fire losses and characteristics of residential fires based on investigation data in Selangor, 2012–2014. *Paper presented in the 4th International Building Control Conference*, 66, 1–6.
- Trinkūnienė, E., Podvezko, V., Zavadskas, E.K., Jokšienė, I., Vinogradova, I., Trinkūnas, V. (2017). Evaluation of quality assurance in contractor contracts by multi-attribute decision-making methods. *Economic Research-Ekonomiska Istraživanja*, 30(10), 1152–1180. DOI: 10.1080/1331677X.2017.1325616.

- Turskis, Z., Dzitac, S., Stankiuvienė, A., Šukys, R. (2019). A fuzzy group decision-making model for determining the most influential persons in the sustainable prevention of accidents in the construction SMEs. *International Journal of Computers, Communications & Control (IJCCC)*, 14(1), 90–106. DOI:10.15837/ijccc.2019.1.3364.
- Turskis, Z., Keršulienė, V., Vinogradova, I. (2017). A new fuzzy hybrid multi-criteria decision-making approach to solve personnel assessment problems. Case study: director selection for estates and economy office. *Economic computation and economic cybernetics studies and research. Bucharest: Academy of Economic Studies*, 51, 211–229.
- Vaidogas, E.R., Šakėnaitė, J. (2011). Multi-attribute decision-making in economics of fire protection. *Inžinerinė ekonomika = Engineering economics*, 3(22), 262–270. DOI: 10.5755/j01.ee.22.3.516.
- Vaidogas, E.R., Šakėnaitė, J. (2015). Solving the Problem of Multiple-Criteria Building Design Decisions with respect to the Fire Safety of Occupants: An Approach Based on Probabilistic Modelling. *Mathematical problems in engineering*, 3, 1–18.
- Vinogradova, I. (2019). Multi-attribute decision-making methods as a part of mathematical optimization. *Mathematics*, 7(10), 1–21. DOI: 10.3390/math7100915.
- Vinogradova, I., Kliukas, R. (2015). Methodology for evaluating the quality of distance learning courses in consecutive stages. In *Procedia - Social and Behavioral Sciences. The proceedings of 6th World Conference on educational Sciences. Amsterdam: Elsevier Science Ltd. vol. 191*, 1583–1589.
- Vinogradova, I., Podvezko, V., Zavadskas, E.K. (2018). The recalculation of the weights of criteria in MCDM methods using the Bayes approach. *Symmetry*, 10, 1–18.
- Watts, J.M., and Hall, J.R. (2016). *Introduction to fire risk analysis*. New York, NY: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Springer.
- Wu, Y., Kang, J. (2015). Effect of the voice warning alarm on the exit choice in large indoor spaces. *Proceedings of the 22nd International Congress on Sound and Vibration: Major Challenges in Acoustics, Noise and Vibration Research, 2015*, Florence, Italy, Jul 12-16.
- Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A., Peldschus, F., Turskis, Z. (2007). Multi-attribute assessment of road design solutions by using the COPRAS method. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 2(4), 195–203.
- Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A., Šarka, V. (1994). The new method of multi-criteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 1(3), 131–139.
- Zavadskas, E.K., Turskis, Z. A. (2010). New additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159–172. DOI: <https://doi.org/10.3846/tede.2010.10>.
- Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A., Turskis, Z., Kalibatas, D. (2009a). An Approach to Multi-Attribute Assessment of Indoor Environment Before and After Refurbishment of Dwellings. *J. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 17(1), 5–11.
- Zavadskas, E.K., Kaklauskas, A., Turskis, Z., Tamošaitienė, J. (2009b). Multi-Attribute Decision Making Model by Applying Grey Numbers. *Informatika*, 20(2), 305–320. DOI:10.15388/Informatica.2009.252.
- Zhang, Y.W. (2016). Research on cost-benefit evaluation model for performance-based fire safety design of buildings. *Procedia Engineering*, 135, 537–543. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.01.096.
- Zhang, G.X. (2017). Study on rapid evacuation in high-rise buildings. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20(3), 1203–1210. DOI: 10.1016/j.jestch.2017.04.007.

## SAUGOS TECHNOLOGIJOS: GAISRINIŲ SIRENŲ VERTINIMAS DAUGIAKRITERINIAIS SPRENDIMŲ PRIĖMIMO METODAIS

**Aušra Stankiuvienė<sup>1</sup>, Jurgita Šakėnaitė<sup>1</sup> ir Irina  
Vinogradova-Zinkevič<sup>1</sup>**

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

**Anotacija:** Tinkamų saugos technologijų efektyvumo lygis priklauso nuo daugelio kiekybinių ir kokybinių rodiklių, turinčių įtakos tvariam procesui. Vienas iš pavojų žmonėms yra ugnis. Norint išsaugoti žmonių gyvybę bei pastatą, svarbu pastato projektų vadovams, rangovams, pastatų savininkams, draudikams, gelbėjimo tarnyboms ir kt. žinoti, kuri iš priešgaisrinių priemonių, priklausomai nuo jos savybių ir kriterijų, yra efektyviausia ar ekonomiškiausia ir gali efektyviausiai užtikrinti priešgaisrinę saugą. Šiame darbe pateiktas priešgaisrinės apsaugos problemos sprendimas, taikant daugiakriterinius sprendimų priėmimo (MCDM) metodus. Sudėtingas priešgaisrinių sirenų palyginimas atliktas, taikant ARAS, TOPSIS, COPRAS, EDAS metodus. Tyrimo rezultatai parodė, kad keturi taikomi MCDM metodai yra praktiški, sprendžiant su gaisrine sauga susijusias problemas.

**Raktažodžiai:** saugos technologija, priešgaisrinė sauga, rizikos valdymas, MCDM, statybos inžinerija, statybos pramonė.

# BEKONTAKČIŲ MOKĖJIMŲ TECHNOLOGIJOS IR JŲ PROBLEMATIKA

Jelena Mamčenko, Brigita Šustickienė

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

**Anotacija.** Straipsnyje analizuojamos bekontaktų mokėjimo technologijų, mokėjimų be grynųjų, mokėjimų kreditinėmis kortelėmis naudojimo galimybės šiandienos ekonomikos sąlygomis, kuri tampa vos ne esminiu vartotojų ir prekybininkų reikalavimu. Įvairūs rinkos sektoriai sparčiai adaptuoja šias technologijas ir ieško kuo patogesnių, saugesnių, spartesnių sprendimų, kurie kartu integruotų išmaniąsias duomenų apdorojimo, saugumo bei verslo valdymo funkcijas. Milijonai debito ir kredito kortelių savininkų yra suinteresuoti saugiais mokėjimais, šiuos mokėjimus gaunantys verslo subjektai – sąlygomis užtikrinti saugumą, o tokius įeinančius ir išėinančius mokėjimus apdorojantys subjektai – inovatyviais sprendimais, kurie leistų išsiskirti konkurentų tarpe.

Tikimasi, kad COVID-19 pandemijos sąlygomis, kai e-komercija auga eksponentiškai, globali sukčiavimų nustatymo ir prevencijos rinka, kurios dydis šiuo metu yra 20.9 mlrd. JAV dolerių, iki 2025 m. pabaigos išaugs iki 38.2 mlrd. JAV dolerių; kasmet rinkai išlaikant 12.8 proc. metinio augimo apimtį. Dominuojantis regionas šiame rinkos segmente išlieka JAV, tačiau ir Europos šalys vis daugiau investuoja į sukčiavimo prevencijos ir nustatymo sprendimus, kurių paklausa Europoje auga dėl išaugusių tinklo nusikaltimų, sukčiavimo ir išplėstinių kibernetinių bei robotų atakų.

**Reikšminiai žodžiai:** kredito kortelės, sukčiavimas, bekontaktis mokėjimas.

## Įvadas

Remiantis leidiniu „Nilson Report“, apimančiu kortelių ir mobiliųjų mokėjimų pramonę, pasauliniai sukčiavimo kortelėmis nuostoliai 2018 m. sudarė 31,6 mlrd. JAV dolerių, o 2019 m. padidėjo iki 32,82 mlrd. JAV dolerių. Nuo 2018 m. Europos centrinis bankas praneša, kad apgaulingų sandorių vertė sudaro apie 0,04 proc. visos sumos. Tai ir daugelis kitų ataskaitų patvirtina ankstyvo sukčiavimo operacijų kredito kortelėmis nustatymo svarbą. Tuo tarpu šiuo metu veikiančios mokėjimų sukčiavimų nustatymo algoritmai daugiausia skirti prekybos įmonėms, o bankų ir FinTech korporacijų saugumo standartus atliepiančių dirbtinio intelekto pagrindu veikiančių sukčiavimų prevencijos algoritmų yra nedaug ir jie yra funkciškai riboti.

Globalios COVID-19 pandemijos ir valstybinių sienų, o tuo pačiu ir nacionalinių rinkų užsidarymo įtakoje, skaitmeninių technologijų rinka ženkliai išsiplėtė ir tebesiplečia. Įvairių tyrimų duomenimis, daugiau nei 60–70 proc. žmonių dabar naudoja vieną ar kelias skaitmenines platformas, pvz., atlieka internetines operacijas per savo bankų mobiliąsias aplikacijas, naudojasi skaitmeninių piniginių funkcionalumais ir pan. Būtent šie mokėjimų funkcionalumai įgalina rinkas neužsidaryti visuotinių karantinų sąlygomis. Kita vertus, išauga saugaus atsiskaitymo ir sukčiavimų atliekant mokėjimus kortelėmis prevencijos poreikio mažumas. Pagrindiniai veiksniai, įgalinsiantys sukčiavimo nustatymo ir prevencijos rinką savalaikiai atliepti šiam poreikiui, yra mokėjimus apdorojančių įmonių gebėjimas integruoti pažangiausių technologijų (dirbtinio intelekto, *big data* valdymo, mašininio mokymosi, *deep learning*, elgsenos analizės algoritmų ir kt.) sprendimus savo mokėjimų apdorojimo platformose ir įrankiuose, kurių paslaugomis naudojasi galutinius vartotojus aptarnaujantys bankai. Tačiau, vieningos patikrintos ir patikimo prevencinės priemonės nėra.

## 1. Sukčiavimas banko kortelėmis

Kredito kortelių sukčiavimas apibrėžiamas kaip neteisėtas kredito/debito kortelės ar panašių mokėjimų priemonių naudojimas, siekiant apgaule gauti pinigų ar turto (An official website of the United States government, 2021).

Tai gali įvykti naudojant vieną iš jūsų esamų bankų, internetinių paslaugų paskyrų, pavogus jūsų fizinę banko kortelę arba sąskaitų numerius ir PIN kodus arba atidarius naujas kortelių sąskaitas jūsų vardu be jūsų žinios.

Bankai (kortelių savininkai) puikiai žino apie šią problemą ir nuolat kuria naujus būdus, kaip užkirsti kelią neteisėtam kortelių naudojimui. Tačiau tuo pat metu išradingi sukčiai (įskaitant tarptautinius organizuoto nusikalstamumo sindikatus) vis ieško naujų saugumo priemonių.

Kredito kortelių sukčiavimo būdai apima (Experian Information Solutions, 2021):

**Kortelės vagystė:** Kortelės pagrobimas, pvz., restorane, bare ar iš piniginės yra klasikinis būdas gauti prieigą prie kieno nors banko kortelės. Naujai išduotų kortelių vogimas iš pašto dėžučių yra šio triuko variacija. Jei jūsų kortelė dingsta arba jums pranešama, kad turėjote gauti kortelę, tačiau jos nesate gavę, nedelsdami turite informuoti kortelės išdavėją (banką).

**Paskyros perėmimas:** tokiu būdu nusikaltėlis susiekia su jūsų kortelės išdavėju ir naudoja jūsų asmeninę informaciją, kad pakeistų prieigos PIN kodus, slaptažodžius, pašto adresą ir panašiai, kad galėtų valdyti jūsų paskyrą ir jūs nebegalėtumėte prie jos prisijungti. Priklausomai nuo to, kaip dažnai naudojate kortelę, gali prireikti šiek tiek laiko, kol tą pastebėsite, ir dar ilgiau, kol tą išsiaiškinsite.

**Klonuotos kortelės:** įrenginiai, vadinami „skimmeriais“, kurie talpinami virš kortelių skaitytuvų, pvz., mažmeninės prekybos terminaluose, gali leisti vagims



nukopijuoti jūsų kortelės numerį, kai perbraukiate kortelę. EMV (angl. *Europay + MasterCard + VISA*) lustu aprūpintos kortelės šį procesą gerokai apsunkina.

*Vagystė be kortelės*: tai apgaulingas banko kortelės sąskaitos naudojimas, kai nereikia turėti kortelės fiziškai. Įprastai perkant internetu naudojamas būdas, kai vagis turi žinoti jūsų vardą, pavardę, sąskaitos numerį ir kortelės saugos kodą. Pastaraisiais metais milijonai vartotojų informacijos buvo atskleista dėl duomenų apsaugos įstatymo pažeidimų mažmenininkais ir kitomis įmonėmis, kurios turi didžiules kortelių numerių duomenų bazes.

## 2. Taikomų metodų, nustatant sukčiavimo atvejus, analizė

Sukčiavimas bankininkystėje yra viena iš tų sričių, kurioje sukčiavimo schemos nuolat atnaujinamos, todėl ir sukurtos priemonės, metodai bei kitos prevencijos tampa neaktualios ir reikalauja naujų sprendimų, norint sumažinti bankų patiriamas išlaidas bei sukčiavimų atvejus.

Egzistuoja įvairūs bankinių kortelių sukčiavimo būdai, tačiau nėra nustatyta ar apibrėžta tokių neteisėtų veikų taksonomija, nustatant jų aptikimų prioritetą.

Sukčiavimo prevencijai yra naudojamos kelios technologijos pvz., adresų tikrinimo sistema (angl. *Address Verification System, AVS*), PIN - kodo bei kortelės kodo (angl. *Credit Verification Value, CVV*) patvirtinimas. Tačiau net ir šie pažangūs būdai nėra pakankamai veiksmingi, norint minimizuoti sukčiavimų atvejus. Taigi sukčiavimo nustatymo metodų kūrimas yra nepaprastai svarbus.

Sukčiavimo nustatymas yra sudėtinga problema, nes sukčių atliekami veiksmai ir elgesys labai dažnai atrodo teisėti. Kita problema yra tai, kad teisėtų transakcijų įrašų yra žymiai daugiau nei sukčiavimo atvejų skaičių ((Jha, Guillen, Westland, 2012). Tokie nesubalansuoti duomenų rinkiniai reikalauja papildomų duomenų apdorojimo priemonių. Tyrėjai, kurdami mašininio mokymosi algoritmus, randa vis sudėtingesnius būdus aptikti sukčiavimus, tačiau praktinis jų įgyvendinimas lieka neatskleistas.

Todėl norint tiksliai nustatyti sukčiavimo atvejus reikia kurti dinamines sistemas, galinčias prisitaikyti prie naujų sukčiavimo būdų (Carneiro, Figueira, Costa, 2017), kas reiškia, jog sukčiavimų nustatymas turi vystytis greičiau nei sukčių kuriamos schemos.

Anot Carneiro ir kt. (2017) šiuo metu naudojami metodai gali būti suskirstyti į dvi pagrindines kategorijas: rankinis aptikimo būdas (pvz., Asmens tapatybės patvirtinimas) ir automatinis (dažniausiai naudojama duomenų gavyba). Kai duomenų kiekiai yra milžiniški, rankinis aptikimas tampa nelabai veiksmingas dėl daugelių priežasčių, todėl duomenų gavybos technologijų (arba šių dviejų būdų integracija) taikymas suk-

čiavimams aptikti yra būtinas. Šių autorių siūlomas metodas yra rizikos vertinimo sistemos sukūrimas pagrįstas mašininio mokymosi metodais (*Logistic Regression, Support Vector Machines* bei *Random Forests* algoritmai), kurie įvertina sukčiavimą kiekvienam atsiskaitymui skalėje nuo 0 iki 1. Iš visų sukurtų autorių modelių geriausi rezultatai buvo pasiekti *random forest* algoritmo pagalba. Modelių patikra buvo atlikta su testiniais duomenimis.

Sukčiavimo atvejus bankininkystėje gana sunku aptikti dėl vienos svarbios priežasties – tarp visų atliekamų bankinių transakcijų, sukčiavimo atvejų transakcijos užima tik nedidelį viso bendro transakcijų kiekio ir bendrame sraute šie skaičiai atrodo maži, tačiau vieno išpuolio pakanka kortelių leidėjui, lėšų surinkėjui ar prekybininkui skaičiuoti šimtatūkstantinius ar net milijoninius nuostolius. Todėl jie priskiriami prie transakcijų anomalijų. Tokioms anomalijoms aptikti naudojami grafais grįstų anomalijų aptikimo (angl. *Graph-Based Anomaly Detection, GBAD*) metodai - vieni populiariausių metodų, naudojamų analizuojant įtartiną elgesį ryšių paslaugų tiekimo bendrovėse, kas taip pat gali būti sutapatinama su įtartinu elgesiu atsiskaitant banko kortelėmis. Pourhabibia, Ongb, Kama, Boo, (2020) savo straipsnyje išanalizavo skirtingų GBAD metodų taikymą, nustatant sukčiavimus, paskelbtuose moksliniuose straipsniuose 2007-2018 metų laikotarpyje. Be to, savo tyrime šie autoriai siekė iširti dabartines tendencijas ir nustatyti pagrindinius iššūkius, kuriems reikia atlikti reikšmingus mokslinius tyrimus. Pastaraisiais metais GBAD metodai labai prisidėjo prie sukčiavimų atvejų nustatymo, o sukčiavimų aptikimo ekspertai juos pripažino tinkamais, patikimais ir perspektyviais anomalijų nustatymo būdais (Velampalli, Eberle, 2017).

Mason ir Bohm, (2017) savo straipsnyje „Bank and Fraud“ akcentuoja tai, jog metodai, kuriuos naudoja sukčiai, pasipildydami iš banko klientų, smarkiai ištobulėjo. Todėl rugsėjo mėn, 2016 m. Didžiosios Britanijos žurnalas *What?* pateikė skundą Mokėjimo reguliavimo tarnybai, prašydamas oficialiai iširti sukčiavimus, atliekamus bankiniais pavedimais bei įvertinti kiek kainuoja tokių veiksmų prevencija naudotojams, o taip pat pasiūlyti naujus būdus ir priemones, kurie leistų maksimaliai apsaugoti banko klientus nuo priverstinio pinigų pervedimo. Autoriai tvirtina, jog sukčių naudojami metodai išlieka aktualūs ir šiandien, todėl šių mokslininkų siūlymus būtų galima apibūdinti sekančiai: vyriausybė turi pakeisti pranešimų apie vagystes iš bankų sąskaitų tvarkymo taisykles; policijos tarnyba turi nuolat informuoti savo pareigūnus apie nusikalstomas veikas skaitmeninėje erdvėje; bankai turi taikyti griežtesnius metodus užtikrinti klientų sąskaitų saugumą.

D. Olszewskis (2014) sukčiavimo atvejams nustatyti siūlo naudoti Kohoneno neuroninius tinklus, o būtent saviorganizuojantį žemėlapi (angl. *Self-Organizing Map, SOM*). Tokio metodo pranašumas yra tas,

kad tai yra bendras sukčiavimo nustatymo metodas - jis nėra orientuotas į tam tikrą konkrečią dalykinę sritį ar taikomąją programą, ir jį galima lengvai pritaikyti bet kurioje informacinėje sistemoje, kuri renka duomenis, gautus iš vartotojų nuoseklių veiksmų, pvz. bankinių tranzakcijų. Šis siūlomas metodas išsiskiria tuo, kad naudojamas nebūdingas sukčiavimams aptikti metodas, o būtent neprižiūrimas metodas (angl. *Unsupervised Learning*) ir kuris savo ruožtu leidžia išvengti problemų, susijusių su nepakankamų duomenų apmokymo kiekiu, kas turi įtakos prižiūrimiems duomenų gavybos metodams, kai gaunami galutiniai rezultatai.

S. Jha ir kt. (2012) nagrinėja nepakankamos mokslinės literatūros būvimą sukčiavimo atvejų bankininkystėje nustatymo tema. Siekiant nustatyti sukčiavimo atvejus su banko kortelėmis jie siūlo agreguoti transakcijas, kas leistų užfiksuoti pirkėjo elgesį prieš kiekvieną transakciją ir panaudoti šias agregacijas modelio įvertinimui, norint identifikuoti sukčių atliekamas transakcijas. Sukčiavimo atvejų nustatymas yra nuolatinė veikla, nes neįmanoma sužinoti, ar sukčiavimui buvo užkirstas kelias ir kokios transakcijos yra apgaulingos (Jha ir kt., 2012). Jų tyrime buvo įvertintas logistinis modelis, kuris naudoja pirminius bei išvestinius atributus. Papildomi (išvestiniai) atributai buvo sukurti pagal transakcijų reikšmių agregavimą skirtingais laikotarpiais. Buvo pastebėta, jog transakcijų agregavimas yra nebloga strategija sukčiavimo atvejams nustatyti, nes sukurtas modelis su išvestiniais atributais gerai užsirekomendavo klasifikacijos metodo taikymo metu. Tyrimas parodė, jog logistinis modelis yra tinkamas, tačiau bendras teisingai suklasifikuotų atvejų procentas nelabai tinkamas klasifikacijos rodiklis, kur teisėtų transakcijų kiekis yra žymiai didesnis už sukčiavimo atvejus. Pavyzdžiui, duomenų rinkinyje, kuriame yra 500 sukčiavimo atvejų ir 50 milijonų teisėtų transakcijų, šis aptikimo metodas teisingai identifikuoja 495 sukčiavimo atvejų transakcijas, tačiau 500 000 teisėtų transakcijų buvo pažymėtos kaip sukčiavimo atvejai. Kitaip tariant, tariamai tikslus 99% tikslumo nustatymo metodas neteisingai identifikuoja daugiau nei 1000 teisėtų operacijų kaip sukčiavimą kiekvienam teisingai nustatytai sukčiavimo atvejų transakcijai.

Linijinės diskriminantų analizės funkcijos yra mažiau sudėtingi klasifikatoriai, palyginus su kitais aptartais anksčiau, kurie taip pat gali išspręsti didelio masto problemas bei gali būti taikomi bankinių kortelių sukčiavimo atvejams nustatyti, tačiau būtent tokiam metodui nebuvo skirta daug dėmesio mokslinėje literatūroje. Savo tyrime jie pirmieji panaudojo Fisher'io diskriminanto funkciją sukčiavimo atvejams nustatyti. (Mahmoudi ir Duman, 2015). Realizuota aprašomojo metodo modifikacija individualiai įvertina transakcijų tam tikrus svorius, kuriems linijinis klasifikatorius stengiasi priskirti tiksliai žymes transakcijoms, turinčioms didesnę svarbą/prioritetą. Apibendrinant šių mokslininkų rezultatus galima teigti, jog pritaikytas

metodas, kuris buvo pagrįstas ne tik klasikiniais efektyvumo rodikliais, bankinių kortelių panaudojimo sukčiavimo atvejams nustatyti parodė gerus rezultatus. Tokiu būdu šis metodas gali teisingai žymėti transakcijas su dideliu bankinių kortelių limitu, kas leidžia išvengti didelių bankinių išlaidų realiose sistemose.

Eshghi ir Kargari (2019) straipsnyje „Introducing a new method for the fusion of fraud evidence in banking transactions with regards to uncertainty“ siūlo inovatyvų būdą sukčiavimo atvejams aptikti. Jie tvirtina, jog nustatant bankinių kortelių sukčiavimo atvejus egzistuoja tam tikras episteminis neapibrėžtumas, t.y. informacijos apie skirtingų klientų elgesio aspektų nepakankamumas, kas lemia prastesnius sukčiavimo atvejų nustatymo rezultatus ir tokiu būdu sukčiavimo atvejų nustatymo sistema neefektyviai taikoma realiame pasaulyje. Šį neapibrėžtumą jie siūlo išspręsti panaudojant daugiakriterinį sprendimo metodą bei neaiškia logiką (angl. *Fuzzy Logic*). Transakcijų elgesys buvo modeliuojamas atsižvelgiant į skirtingas pagrindinių ir agreguotų kintamųjų įvairiais periodais tendencijas. Tokiu būdu transakcijų elgesys buvo modeliuojamas atsižvelgiant į skirtingų pagrindinių ir agreguojamų kintamųjų tendencijas skirtingais laikotarpiais, o naujos transakcijos nukrypimo nuo kiekvienos iš šių tendencijų mastas buvo laikomas elgesio įrodymu.

Didelių duomenų apdorojimas realiu laiku yra pakankamai rimta problema ir nekiekviena sistema, skirta aptikti sukčiavimo atvejus yra pajėgi apdoroti milžiniškus duomenų kiekius. Todėl savo moksliniame darbe F. Carcillo ir kt. (2018) pristatė *Scalable Real-Time Fraud Finder* (SCARFF) sistemą, kuri apjungia didelių duomenų (angl. *Big Data*) priemones su mašininio mokymosi metodais. Tokia sistema nagrinėja disbalansą, stacionarumo nebuvimą bei grįžtamąjį ryšį. Eksperimentiniai mokslininkų atlikti tyrimai parodė, jog sukurta sistema yra masteliojama (angl. *Scalable*), efektyvi bei pakankamai tiksliai nustato sukčiavimo atvejus (Carcillo, Pozzolo, Le Borgne, Caelen, Mazzer, Bontempi, 2018).

2014 m. N. S. Halvaiee ir M. K. Akbari atliko mokslinius tyrimus, kuriuose analizavo banko kortelių sukčiavimo atvejų prevencijoms tinkamus modelius bei metodus. Jų teigimu, dirbtinė imuninė sistema (angl. *Artificial Immune Systems, AIS*) galėtų būti panaudota tokioms problemoms spręsti. Tačiau finansinėms organizacijoms bei bankams sukčiavimo atvejų aptikimo sistemose reikalingas tikslumas ir greitis, kurie dar nėra pilnai realizuoti. Šiai problemai spręsti mokslininkai panaudojo AIS ir jos pagrindu sukūrė sukčiavimo atvejų aptikimo modelį (angl. *AIS-based Fraud Detection Model, AFDM*). Taip pat jie panaudojo AIRS grįstą algoritmą, kurio parametrai buvo patobulinti, t.y. rezultate tikslumas buvo padidintas iki 25 %, jo kaina buvo sumažinta iki 85 %, o sistemos atsako laikas sumažintas iki 40 % palyginus su pagrindiniu (nemodifikuotu) algoritmu (Halvaiee ir Akbari, 2014).

Attigeri ir kt. (2018) teigimu perėjimas nuo tradicinės prie negrynųjų pinigų ekonomikos reikalauja,

kad bankai turėtų labiau apsaugotas nuo sukčiavimų sistemas. Norėdami suprasti ir transformuoti bankų sistemos poreikius, būtina suprasti sukčiavimo sritį ir sukurti sukčiavimo žinių bazę. Tokiu būdu kovai su sukčiavimo atvejais žinios galėtų būti automatiškai integruotos į sistemą. Šių mokslininkų darbe daugiausias dėmesys skiriamas esamų sukčiavimo atvejų dokumentacijos analizei. TF-IDF (angl. *Term Frequency–Inverse Document Frequency*) svoriui apskaičiuoti buvo naudojamas LDA (angl. *Latent Dirichlet Allocation*) temų modeliavimas, siekiant nustatyti tam tikros rūšies sukčiavimą apibūdinančių žodžių grupę (temą). Naudojant šias žinių bazes išgaunama ontologija, kuri gali būti panaudota kuriant sukčiavimo aptikimo sistemą (Carcillo ir kt., 2018).

## Išvados

Apibendrinant išdėstytas mokslininkų mintis bei trumpai aprašytus jų tyrimų rezultatus galima teigti, jog sukčiavimų nustatymo problematika yra iki šiol aktuali, nepaisant naudojamų sistemų, sukurtų metodų bei modifikuotų algoritmų, iki galo neišanalizuota tema; egzistuoja tam tikri neapibrėžtumai, neleidžiantys tinkamai įvertinti siūlomų metodų ar sprendimų efektyvumą; viešai prieinamų duomenų stoka bei atliktų mokslinių tyrimų trūkumas, t.y. daugumoje literatūros kreditinių kortelių sukčiavimo nustatymo tema daugiausiai dėmesio skiriama tik klasifikavimo modeliams.

Tačiau, norėdami padėti finansinėms organizacijoms nustatyti bekontakčių atsiskaitymų neteisėtus atvejus ir norėdami minimizuoti tokių neteisėtų operacijų su pinigais savo sąskaitose apsipirkimo internetu metu, reikėtų laikytis šių pagrindinių taisyklių:

- Nenurodinėti savo banko kortelės numerio internete, nebent svetainė yra saugi ir geros reputacijos.
- Nepasitikėti svetaine vien todėl, kad joje parašyta, jog yra saugi.
- Prieš naudodjant svetainę, patikrinkite jos naudojamą saugos / šifravimo programinę įrangą (pagal galimybę).
- Įsitikinkinti, kad perkate prekes iš patikimo šaltinio.
- Sužinoti pardavėjo fizinį adresą, o ne tik pašto dėžutę ir telefono numerį, ir paskambinti pardavėjui, kad įsitikintumėte, jog numeris yra teisingas ir veikia.

- Nespręsti apie asmenį ar įmonę pagal jų svetainę; prašmatnias svetaines galima greitai sukurti.
- Būkti atsargiais bendraujant su asmenimis / įmonėmis iš kitų šalių.

Nepaisant to, jog iki šiol nėra visiškai patikimų metodų ir priemonių, visgi tikimasi, jog ateityje atsiras pažangios sistemos, leisiančios ankstyvoje stadijoje nustatyti ir išvengti sukčiavimo atvejų su banko kortelėmis.

## Literatūra

- An official website of the United States government. Prieiga per internetą: <https://www.fbi.gov/scams-and-safety/common-scams-and-crimes/credit-card-fraud>
- Carcillo, F., Pozzolo, A. D., Le Borgne, Y.-A., Caelen, O., Mazzer, Y., Bontempi, G. (2018). *SCARFF: A scalable framework for streaming credit card fraud detection with spark*. Information Fusion 41.
- Carneiro, N., Figueira, G., Costa, M. (2017). *A data mining based system for credit-card fraud detection in e-tail*. Decision Support Systems 95. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167923617300027#ab0005>
- Eshghi, A., Kargari, M. (2019). *Introducing a new method for the fusion of fraud evidence in banking transactions with regards to uncertainty*. Expert Systems with Applications 121.
- Experian Information Solutions. Prieiga per internetą: <https://www.experian.com/blogs/ask-experian/credit-education/preventing-fraud/credit-card-fraud-what-to-do-if-you-are-a-victim/>
- Halvaiee, N. S., Akbari, M. K. (2014) *A novel model for credit card fraud detection using Artificial Immune Systems*. Applied Soft Computing 24. 40–49.
- Jha, S., Guillen, M., Westland, J. C. (2012). *Employing transaction aggregation strategy to detect credit card fraud*. Expert Systems with Applications 39.
- Mahmoudi, N., Duman, E. (2015). *Detecting credit card fraud by Modified Fisher Discriminant*. Analysis. Expert Systems with Applications 42.
- Mason, S., Bohm, N. (2017). *Banking and fraud*. Computer Law & Securit review 33.
- Olszewski, D. (2014). *Fraud detection using self-organizing map visualizing the user profiles*. Knowledge-Based Systems 70. 324–334.
- Pourhabibia, T., Ongb, K.-L., Kama, B. H., Boo, Y. L. (2020). *Fraud detection: A systematic literature review of graph-based anomaly detection approaches*. Decision Support Systems 133 113303.
- Velampalli, S., Eberle, W. (2017). *Novel graph based anomaly detection using background knowledge*. Proceedings of flairs, AAAI Press.

## CONTACTLESS PAYMENT TECHNOLOGIES AND THEIR PROBLEMS

Jelena Mamčenko, Brigita Šustickienė

*Vilnius College of Technology and Design*

**Abstract.** The possibility of using contactless payment technologies, non-cash payments and credit card payments is becoming almost an essential requirement for consumers and merchants in today's economic conditions. Various market sectors are rapidly adapting these technologies and looking for the most convenient, secure, and the fastest possible solutions that combine intelligent data processing, security, and business management functions. Millions of debit and credit card holders are interested in secure payments,

the businesses that receive these payments are secure in terms of security, and the operators that process such incoming and outgoing payments are interested in innovative solutions that set them apart from the competition.

In the context of the COVID-19 pandemic, when e-commerce is growing exponentially, the global market for fraud detection and prevention, which currently stands at \$20.9 billion, is expected to grow. Until 2025 it will rise to \$38.2 billion by the end of the year, maintaining the market at 12.8 percent annually. The US remains the dominant region in this market segment, but European countries are also increasingly investing in fraud prevention and detection solutions, which are growing in demand in Europe due to increased cyber-crime, fraud and advanced cyber and robot attacks.

**Key words:** credit cards, fraud, contactless payment.

# 3D SPAUSDINIMAS – NAUJAS GALIMYBES ATVĖRĖS GAMYBOS BŪDAS

Anna Glinskienė

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

**Anotacija.** 2012 metų gruodžio 23 dieną portalas *Delfi.lt* publikavo Kęstučio Vaškevičiaus straipsnį “3D spausdinimas: laikinoji mada ar naujoji pramonės revoliucija?”. Nepraėjus nė dešimčiai metų galima drąsiai teigti, kad 3D spausdinimas tapo vienu pažangiausių ir perspektyviausių gamybos būdų, ir yra tiesiogiai susijęs su ketvirtąja pramonės revoliucija (angl. Industry 4.0). Tuometė prognozė, kad 2018 metais 3D spausdinimo rinka gali pasiekti 3 milijardus JAV dolerių apyvartą buvo netikslė. 2018 metais 3D spausdinimo rinkos apyvarta pasiekė 9,3 milijardų JAV dolerių ir su kiekvienais metais šis skaičius didėja keliasdešimčia procentų. Numatoma, kad 2027 metais 3D spausdinimo rinkos apyvarta sieks 55,8 milijardų JAV dolerių. Šiame straipsnyje supažindinama su pagrindinėmis adityvios gamybos technologijomis bei jų privalumais, 3D spausdintuvų tipais ir naudojamomis medžiagomis. Pristatomos sritys bei projektai, kur adityvios gamybos technologijos sėkmingai taikomos.

**Reikšminiai žodžiai:** 3D spausdinimas, adityvi gamyba, 3D spausdintuvas, stereolitografija, ekstruzija, biospausdinimas.

## Įvadas

Adityvi gamyba (angl. Additive manufacturing) arba 3D spausdinimas – praktiškai bet kokios geometrinės formos trimačio fizinio objekto gamybos procesas, vykdomas skaitmeninio modelio pagrindu. Gamyba vyksta klojant vieną medžiagos sluoksnį ant kito. Tai priešingas procesas subtraktyviai gamybai, t.y. tradiciniams mechaninio apdirbimo metodams, tokiems kaip frezavimas ar tekinimas, kada rezultatas gaunamas mechaninio apdorojimo būdu pašalinant nereikalingą medžiagą. 3D spausdinimo technologijos taikomos visur – medicinoje, statybos pramonėje, maisto gamyboje, metalo apdirbimo ir automobilių pramonėje, mene, mokslinėje veikloje, drabužių gamyboje, aeronautikoje ir kitose srityse.

Straipsnyje apžvelgiama trimačių modelių panaudojimo problema.

Straipsnio tikslas – pristatyti pagrindines adityvios gamybos technologijas, apžvelgti trimačio spausdinimo galimybes, išsiaiškinti kas lėmė 3D spausdintuvų populiarumo augimą per pastarąjį dešimtmetį. Straipsnis parengtas analizuojant, sisteminant ir apibendrinant informacinių šaltinių medžiagą.

## 1. Istorija

Nors pastaraisiais metais trimačio spausdinimo technologijos padarė didelį proveržį, tačiau detalių gamyba pasitelkiant trimatį spausdintuvą nėra naujiena. Įrenginių, skirtų spausdinti trimatėje erdvėje, istorija prasidėjo beveik prieš trys dešimtmečius, kai amerikiečių inžinieriaus ir išradėjo Čako Hulo (angl. Chuck Hall) įkurta įmonė „3D Systems“ patentavo ir 1987m. pradėjo serijinę stereolitografijos įrengimų SLA-1 (žr. 1 pav.) gamybą. Bandymų patentuoti įrengimus, galinčius spausdinti gaminius trimatėje erdvėje, būta ir anksčiau. 1980m. savo sukurtą įrengimą bandė patentuoti japonų išradėjas Hideo Kodama, o 1984m. stere-

olitografijos įrengimui patentą bandė gauti prancūzas inžinierius Alain Le Mechaute. Deja, bet dėl vienkovių ar kitokių priežasčių patentai nebuvo išduoti.

1987 metais Čako Hulo vadovaujama „3D Systems“ sukūrė STL failo formatą, kuris šiandien dažniausiai naudojamas 3D spausdintuvų programinės įrangos ir išsaugomas bei redaguojamas daugumos grafinių automatizuoto projektavimo sistemų (angl. CAD – Computer Aided Design), tokių kaip Autocad ar Solidworks. STL formatu išsaugomas CAD programoje suprojektuotas trimatis objektas. Antras variantas, kaip gaunamas objekto 3D modelis – objekto skenavimas 3D skeneriu.



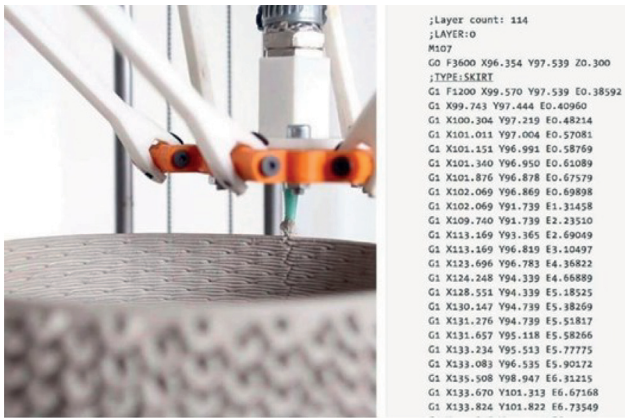
1 pav. 3D spausdintuvas SLA-1

Šaltinis: [www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com)

STL rinkmenoje saugomi trimačio modelio duomenys. Programine įranga STL failas yra konvertuojamas į G kodą (žr. 2 pav.), kurį skaito 3D spausdintuvas.

G kodas – tai yra sąrašas komandų, kurias paieiliui turi atlikti įrengimas. G kodas naudojamas programuojant dauguma šiuolaikinių CNC įrengimų. G kodo pavyzdys:

*G1 X60 Y20.5 Z1 F2000 E1* nurodo spausdintuvui judėti tiesia linija (G1) iki koordinatų X 60mm Y 20,5mm Z 1mm, pastūma (F) 2000 mm/min išspaudžiant (E) 1 mm medžiagos.



2 pav. G kodai

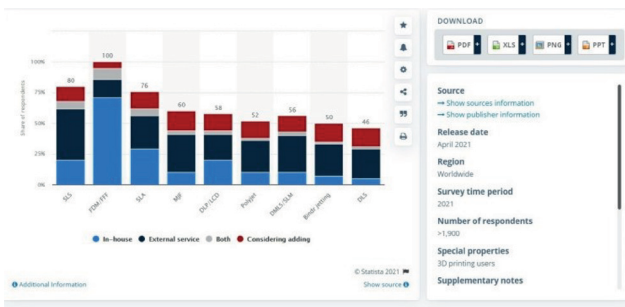
Šaltinis: [www.dani3d.com](http://www.dani3d.com)

### 2. 3D spausdinimo technologijos

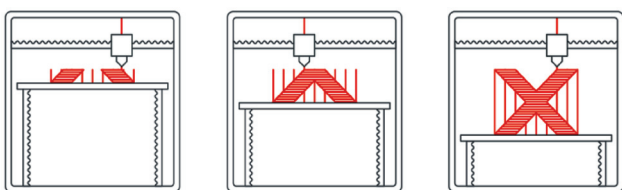
3D spausdinimas yra pavadinimas adityvios gamybos technologijoms ir procesams apibrėžti. Adityvios gamybos technologijų yra nemažai, jos nuolat tobulinamos, ieškoma naujų sprendimų ir medžiagų, kad 3D spausdinimo procesas taptų dar efektyvesnis, greitesnis ir pigesnis.

Svetainės [www.statista.com](http://www.statista.com) 2021 metais atlikta apklausa (žr. 3 pav.) rodo, kad ne pirmus metus populiariausiomis technologijomis išlieka FDM, SLS ir SLA technologijos.

FDM (angl. Fused Deposition Modeling) / FFF (angl. Fused Filament Fabrication) – ši technologija naudojama 100% apklaustųjų. Ekstruzijos būdu paremta gamybos technologija labiausiai paplitusi dėl nedidelės kainos, paprasto veikimo principo bei plataus medžiagų pasirinkimo. Kaitinama medžiaga purkštuko pagalba spaudžiama ant spausdintuvo darbaltio ir ekstruderui judant pagal užduotas koordinates formuoja gaminamo objekto sluoksnį (žr. 4 pav.).



3 pav. 2021 atlikta apklausa

Šaltinis: [www.statista.com](http://www.statista.com)

4 pav. FMD technologija

Šaltinis: [www.hubs.com](http://www.hubs.com)

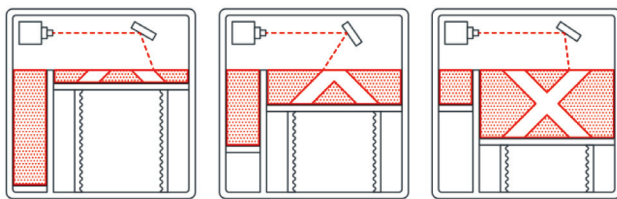
Suformavęs sluoksnį, ekstruderis keliamas aukštyr ir formuoja kitą sluoksnį. Spausdinimui skirtos medžiagos – įvairūs termoplastikai ir medžiagos, turinčios anglies ir metalo priemaišų. Plačiausiai naudojami termoplastikai:

- „**ABS (akrilnitrilo, stireno ir polibutadieno kopolimeras)** – šis plastikas yra bekvapis, netoksiškas, atsparus smūgiams, lengvai dažomas ir apdirbamas mechanškai. Plastiko tvirtumą galima būtų palyginti su pušimi. Atspausdinti modeliai ilgaamžiai, tinkami naudoti nuo  $-40$  iki  $80^{\circ}\text{C}$ , bet bijo tiesioginės saulės šviesos. Lyginant su PLA plastikui, spausdinti juo yra sunkiau – spausdinant, vėsdamas deformuojasi (jo šiluminio plėtimosi koeficientas apie  $0,8-1,2\%$ )“ (Plastikų savybės, 2021).
- „**PLA (polilaktidas)** – tai pats ekologiškiausias plastikas naudojamas 3D spausdinimui. Plastiką tvirtesnis už ABS, atsparus dilimui bet trapokas, juom lengva spausdinti, detalės nesideformuoja ir yra bekvapės. Ekologiškumas turi savo kainą. PLA neilgaamžis, veikiant drėgmei ir saulės šviesai palaipsniui, maždaug per du metus suyra. Todėl netinka naudoti lauko sąlygomis. Aplinkos temperatūra prie kurios naudosite gaminį neturi viršyti  $50^{\circ}\text{C}$  (Plastikų savybės, 2021).
- „**PETG (polietileno tereftalato glikolis)** – plačiai paplitęs plastikas iš poliesterio šeimos. Iš jo daromi gaiviųjų gėrimų buteliai, skaidrios plėvelės, tekstilinis pluoštas (ir audiniai) ir kt. Jis yra skaidrus, lankstus ir tvirtas, netoksiškas. Spausdinant neskleidžia kvapo. Šis plastikas vienas iš labiausiai perdirbamų ir perdirbant jis nedegraduoja. Patogus spausdinimui, nes gerai sulimpa sluoksniai, mažai traukiasi. Spausdinimo nustatymai kaip su PLA, tik aukštesnė spausdinimo temperatūra –  $230-250^{\circ}\text{C}$ . Pagal stiprumą panašus į polikarbonatą (ePC)“ (Plastikų savybės, 2021).
- „**ePA (poliamidas, nailonas)** – tai tšsus, stiprus, lankstus labai atsparus dilimui, atsparus daugumai tirpiklių. Spausdinant sluoksniai puikiai sulimpa tarpusavyje, detalės gaunasi tvirtos ir elastingos. Dar vienas privalumas – mažas trinties koeficientas. Nailonas – bendrinis sintetinių poliamidų pavadinimas. Yra keletas nailono izomerų: nailonas-6,6; nailonas-6 (kapronas); nailonas-12 ir kt. Jie skiriasi savo mechaninėmis ir fizikinėmis savybėmis. ePA – eSUN gamintojo nailono versija. Lydymosi temperatūra: nailonas-6  $220^{\circ}\text{C}$ . ePA spausdinimo temperatūra:  $235-260^{\circ}\text{C}$ “ (Plastikų savybės, 2021).
- „**ePC (polikarbonatas)** – skaidrus, stiprus plastikas. Naudojamas kompaktinių diskų gamybai ir kaip pigus pakaitalas stiklui. Atsparus saulės spinduliams turi puikias mechanines savybes, atsparus aukštai temperatūrai. PC darbinė temperatūra gali siekti  $120^{\circ}\text{C}$ , o eSUN gaminamo ePC –  $93^{\circ}\text{C}$ . ePC spausdinimo temperatūra yra  $235-260^{\circ}\text{C}$ , bet prie aukštesnės,  $280^{\circ}\text{C}$  jis ima sparčiai degraduoti“ (Plastikų savybės, 2021).

Medžiaga yra siūlo formos, suvyniota ritėje, kuri įstatoma į 3D spausdintuvą.

SLS (angl. Selective Laser Sintering) – šia technologija naudojosi 80% apklaustųjų.

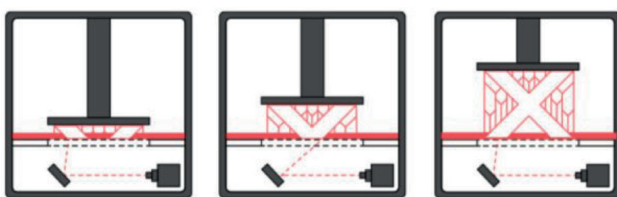
Tai adityvios gamybos technologija, kurioje naudojamas lazerio spindulys polimerų miltelių sukepimui į trimatę struktūrą. 3D spausdintuvo darbo stalas padengiamas plonu polimerų miltelių sluoksniu, o lazerio spindulys, remdamasis 3D modeliu, juos sukepinama tam tikruose taškuose. Taip išgaunamas detalės sluoksniu (žr. 5 pav.). Po šios operacijos 3D spausdintuvo darbo stalas leidžiasi į apačią per sluoksniu aukštį (paprastai 0,1mm) ir operacija kartojama. Panašios technologijos yra SLM (angl. Selective Laser Melting) ir DMLS (angl. Direct Metal Laser Sintering), tik jos skirtos metalų milteliams paversti fiziniu objektu. Reikėtų pabrėžti, kad SLM technologijoje lazeris naudojamas milteliams išlydyti, o DMLS technologijoje lazeris naudojamas metalo milteliams suklijuoti. Taigi galima teigti, kad naudojant SLM technologiją detalės bus mechaniškai tvirtesnės.



5 pav. SLS technologija

Šaltinis: [www.hubs.com](http://www.hubs.com)

SLA (angl. Stereolithography) – šią technologiją naudoja 76% dalyvavusių apklausoje. Stereolitografija yra istoriškai pirmoji 3D spausdinimo technologija. Spausdinimui naudojama medžiaga yra skystas fotopolimeras (skysta derva), kuris reaguodamas į ultravioletinio lazerio spindulius sukietėja. Medžiaga supilama į permatomą indą, į kurį taip pat panardinama 3D spausdintuvo gamybos platforma. UV lazerio spindulys nukreipiamas į reikiamus taškus, taip sukietindamas dervą (žr. 6 pav.). Gamyba vykdoma pagal 3D modelį. Toliau platforma kyla į viršų per sluoksniu storį ir operacija yra kartojama, kol bus pagamintas gaminy. Stereolitografija laikoma viena tiksliausių 3D spausdinimo technologijų. Šia technologija spausdinamų objektų paviršiai yra aukštos kokybės. Dėl savo tikslumo ir paviršiaus kokybės stereolitografija plačiai naudojama medicinoje, juvelyrikoje.



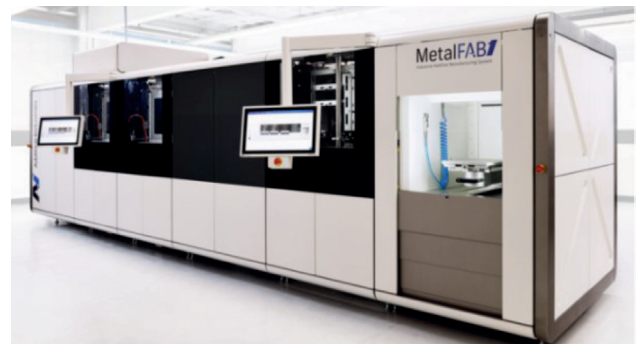
6 pav. SLA technologija

Šaltinis: [www.hubs.com](http://www.hubs.com)

### 3. 3D spausdintuvų rūšys

3D spausdintuvai skirstomi į pramoninius, profesionalius ir skirtus mėgėjams. Pramoniniai 3D spausdintuvai yra našiausi, leidžia spausdinti didesnę objekto gabaritą, jų spausdinimo greitis ir tikslumas yra daug didesnis nei profesionalių ar skirtų mėgėjams. Spausdintuvo komponentai kokybiškesni, galingesnis lazeris ir pan. Taip pat yra didesnis medžiagų pasirinkimas, jos kokybiškesnės. Pramoninių 3D spausdintuvų kaina prasideda nuo 20 000 JAV dolerių. Profesionalių 3D spausdintuvų kainos svyruoja nuo 1500 JAV dolerių iki 6000 JAV dolerių. Šie spausdintuvai yra panašaus dydžio kaip ir mėgėjams skirti spausdintuvai, tik yra ribotas spausdinamos detalės dydis. Didelis medžiagų pasirinkimas, greitis bei galimybė atspausdinti aukšto tikslumo detales užtikrina neblogą našumą. Dėl gero kokybės ir kainos santykio juos mielai renkasi gamybininkai, kuriems dažnai reikia „pasitikrinti“ naują gaminį ir atsispausdinti prototipus, taip pat mokymo įstaigos, universitetai, tyrimų laboratorijos. Profesionalus bei mėgėjams skirtas 3D spausdintuvas valdomas kompiuteriu.

Pramoninis 3D spausdintuvas dažnai turi integruotą valdymą (žr. 7 pav).

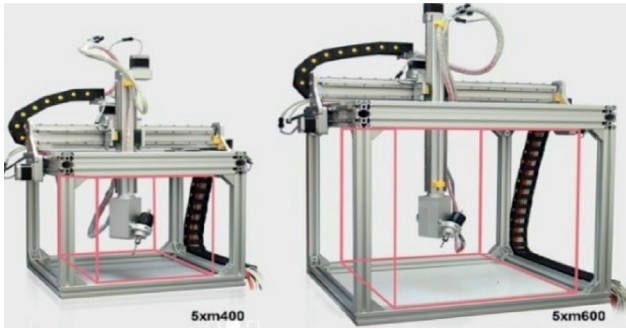


7 pav. Pramoninis 3D spausdintuvas

Šaltinis: [www.3dprint.com](http://www.3dprint.com)

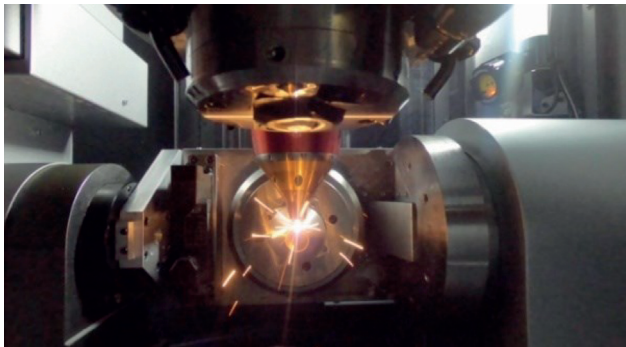
Atliktų tyrimų duomenimis, 2011 metais pasaulyje buvo 20 tūkstančių asmeninių 3D spausdintuvų. 2018 metais jų buvo parduota jau 1,48 milijono vienetų. Dabar kiekvienas entuziastas už kelis šimtus eurų gali įsigyti geros kokybės mėgėjišką 3D spausdintuvą ir naudoti jį namų sąlygomis. Asmeniniams poreikiams dažniausiai naudojami FDM 3D spausdintuvai. Tarp įrangos gamintojų konkurencija yra didelė, tad kiekvienas stengiasi atrasti ir nustebinti naujais sprendimais. Kaip pavyzdį galima būtų paminėti „3 in 1“ arba „all in one“ spausdintuvus, kuriuose kombinuojamos CNC apdirbimo, 3D spausdinimo ir lazerinio gravavimo arba 3D skenavimo funkcijos bei 4 ir 5 ašies panaudojimo galimybės (žr. 8 pav.).

Taip pat be 3D spausdintuvų yra ir specializuoti adityvios gamybos įrenginiai. Galima būtų išskirti robotizuotas 3D spausdinimo sistemas, statybinės paskirties 3D spausdintuvus, hibridines 5 ašies frezavimo CNC stakles, turinčias ir integruotą lazerį, kuriuo nau-



8 pav. 3D spausdintuvas kombinuotas su 5 ašių frezavimo įrengimu

Šaltinis: [www.3dprint.com](http://www.3dprint.com)



9 pav. DED technologija 5 ašių CNC frezavimo staklėse  
Šaltinis: [www.surginocorp.com](http://www.surginocorp.com)

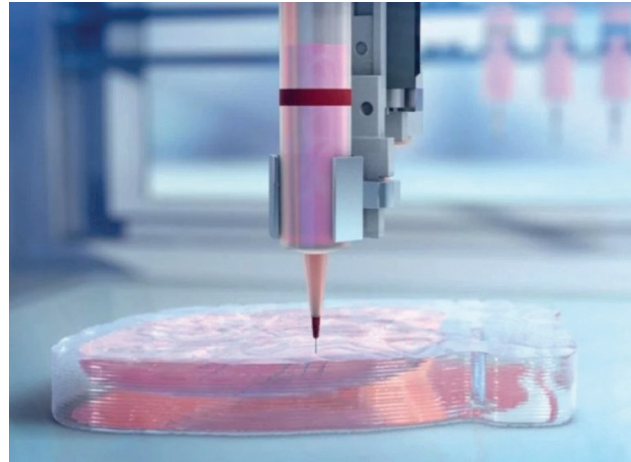
dojant DED (angl. Directed Energy Deposition) technologiją metalo milteliai arba viela kietinami tiesiai CNC staklėse (žr. 9 pav.).

#### 4. 3D spausdinimo technologijų taikymas medicinoje

Pastaraisiais metais mokslininkai vis dažniau skelbia apie proveržius taikant adityvios gamybos technologijas medicinoje. Labai daug dėmesio sulaukia audinių inžinerija. 2021 metų pradžioje žurnale „Advanced Functional Materials“ buvo paskelbtas tyrimas apie sukurto keraminio rašalo bandymus. Tyrėjai šiuo rašalu atspausdino gyvas ląsteles be pavojingų chemikalų. Mokslininkų teigimu, tai galėtų leisti kaulus atspausdinti pačiame žmogaus kūne. (Revoliucinė technologija: netrukus....., 2021).

Jau kurį laiką adityvia technologija pagalba spausdinami įvairūs protezai ir implantai, medicinos mokslui reikalingi imitaciniai organai. Lietuvos mokslininkai pasitelkdami 3D spausdintuvą atlieka tyrimus pažeistiems veido ir žandikaulio kauliniams audiniams atkurti. Vienas pažangiausių ir perspektyviausių 3D spausdinimo būdų medicinoje yra trimatis biospausdinimas. 3D biospausdintuvai vietoje metalo ar plastiko kompiuteriu valdoma pipete kloja biorašalo sluoksnį ant sluoksnio, taip išgaudami norimą fizinį objektą. Biorašalu vadinamos gyvos ląstelės apgaubtos biopolimeriniu geliu, kuris skirtas prilipti ląstelėms (žr. 10 pav.). Ši technologija yra tiriama ir vis dar vystymo stadijoje. Tačiau jau yra daug nuveikta ir nekyla abejo-

nių, kad greitai metu ji pakeis organų transplantaciją. Tikimasi, kad per kelerius metus pasitelkus biospausdinimo technologiją bus atspausdinta funkcionuojanti žmogaus širdis.



10 pav. Biospausdinimo procesas  
Šaltinis: [www.all3dp.com](http://www.all3dp.com)

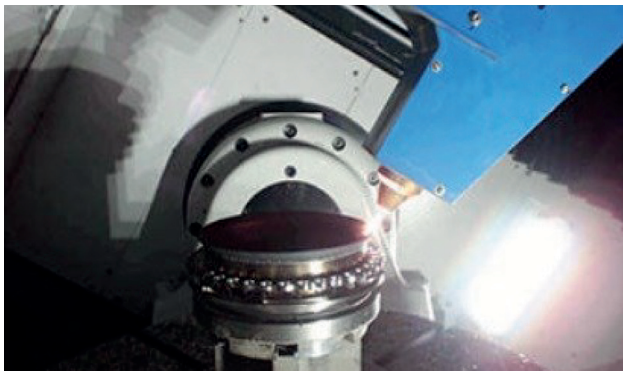
#### 5. 3D spausdinimo technologijų taikymas gamyboje

3D spausdinimo technologijos naudojamos automobilių pramonės, aviacijos, lazerių, optikos, ginkluotės ir dar daugelio sričių detalių gamyboje. Nuo 2014 metų moksliniams tyrimams reikalingų įrankių ir įrangos gamybai 3D spausdintuvą naudoja net Tarpautinės kosminės stoties astronautai. (Ben Pilkington, 2021). 3D spausdinimo technologijų atsiradimas ir santykinai nedidelė 3D spausdintuvų bei medžiagų kaina gerokai atpigino ir supaprastino prototipų gamybą bei sumažino jų gamybos laiką. Tai leidžia įmonėms ir išradėjams drąsiau kurti ir įgyvendinti naujas idėjas ir projektus. Konstruktoriui, sukūrusiam ir norinčiam patikrinti gaminį, užtenka perkelti modelį į 3D spausdinimui skirtą programą, kuri dalina modelį sluoksniais ir generuoja G kodą, ir po kelių akimirklų gali būti pradėtas detalės spausdinimas. 3D spausdintuvais galima atspausdinti praktiškai bet kokios geometrinės figūros objektą. Jų neriboja sudėtinga detalės geometrija, kas yra didelis privalumas lyginant su gamyba CNC staklėmis. Dažnu atveju sudėtingos geometrijos objektų gamybą su CNC įrengimais ribodavo techninės galimybės (reikalingos 5 ašys, reikalingas aktyvus įrankis, papildoma Y ašis ir pan.) arba reikėdavo gaminti papildomus laikiklius, detalę gaminti naudojant kelis pastatymus. Papildomi procesai didino kaštus ir pailgindavo gamybos terminus.

Verta paminėti, kad 3D spausdinimas ir spausdintuvo paruošimas nereikalauja tiek technologinių žinių, kiek jų reikia norint sėkmingai valdyti ir programuoti CNC įrengimus. Žinoma, 3D spausdinimas taip pat turi savų niuansų, bet išmokti atspausdinti paruoštą 3D modelį su 3D spausdintuvu yra paprasčiau ir greičiau, nei išmokti programuoti ir paruošti gamybai CNC



įrengimą. Ir vis dėlto šiandien preciziškai tikslių detalių 3D spausdintuvais atspausdinti kol kas nepavyksta. Norint gaminti tokias detales reikalingas papildomas apdirbimas CNC įrengimais. Taivano CNC staklių gamintojas Tongtai tokiu atveju kaip sprendimą siūlo 5-ių ašių CNC frezavimo staklių ir DED technologija veikiančio 3D metalo spausdintuvo hibridą – stakles AMH 350 (žr. 13 pav.), kuriose galima frezavimo ar gręžimo įrankiais apdoroti pačiose staklėse atspausdintą objektą. Didelis tokio įrengimo privalumas yra tas, kad jame galima taip pat remontuoti ar restauruoti metalo detales (žr. 11 pav. ir 12 pav.). Tongtai įrengimą sukūrė kartu su 3D metalo spausdintuvų gamintoju Optomec.



11 pav. Metalo detalės remontas pasitelkiant DED technologija.  
Šaltinis: [www.tongtai.com](http://www.tongtai.com)



12 pav. Gaminio frezavimas po spausdinimo  
Šaltinis: [www.tongtai.com](http://www.tongtai.com)



13 pav. Tongtai AMH 350  
Šaltinis: [www.optomec.com](http://www.optomec.com)

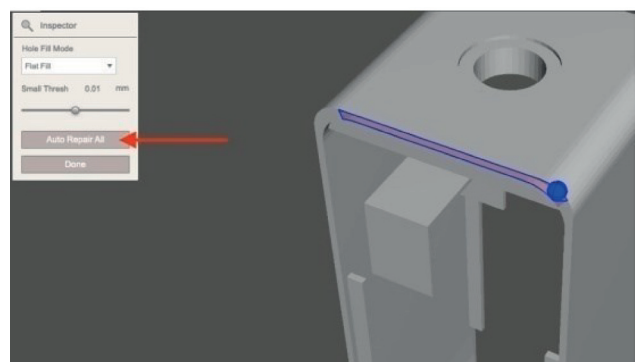
Didelis adityvios gamybos privalumas yra tai, kad gamybos proceso metu medžiagos sunaudojama tiek, kiek reikia pagaminti gaminiui. Nors kai kuriais atvejais reikalingas papildomas medžiagos (pvz., atramų) mechaninis/rankinis šalinimas nuo atspausdintos trimatės detalės, bet tai yra mažesnis medžiagos kiekis, nei gaminant detalę subtraktyvios gamybos metodais.

Yra sudarytos rekomendacijos (žr. 14 pav.) konstruktoriams, kuriantiems trimačius modelius 3D spausdinimui, kuriose galima rasti pasiūlymų kaip projektuoti gaminį, kad nereikėtų papildomų atramų ar jų reikėtų mažiau.

	Supported Walls	Unsupported Walls	Support & Overhang	Embed & Digged Details	Horizontal Bridges	Holes	Connecting Ribs	Escape Holes	Minimum Features	Pin Diameter	Tolerance
Fused Deposition Modeling	0.8 mm	0.8 mm	45°	0.6 mm wide & 2 mm high	10 mm	Ø2 mm	0.5 mm	2 mm	2 mm	3 mm	±0.1% (lower limit ±0.5 mm)
Stereolithography	0.5 mm	1 mm	support always required	0.4 mm wide & high		Ø0.5 mm	0.5 mm	4 mm	0.2 mm	0.5 mm	±0.1% (lower limit ±0.35 mm)
Selective Laser Sintering	0.7 mm		support always required	1 mm wide & high		Ø1.5 mm	0.5 mm for nesting parts & 0.2 mm for connections	5 mm	0.8 mm	0.8 mm	±0.1% (lower limit ±0.3 mm)
Hot Metal Jetting	1 mm	1 mm	support always required	0.5 mm wide & high		Ø0.2 mm	0.2 mm		0.3 mm	0.5 mm	±0.1 mm
Binder Jetting	2 mm	3 mm		0.5 mm wide & high		Ø1.5 mm		5 mm	2 mm	2 mm	±0.2 mm for metal & ±0.1 mm for sand
Direct Metal Laser Sintering	0.4 mm	0.5 mm	support always required	0.3 mm wide & high	3 mm	Ø1.5 mm		5 mm	0.6 mm	1 mm	±0.1 mm

14 pav. 3D projektavimo rekomendacijos  
Šaltinis: [www.hubs.com](http://www.hubs.com)

Kad būtų išvengta klaidų spausdinimo proceso metu, STL modelį rekomenduojama patikrinti specializuota programine įranga. Kaip pavyzdį galima būtų paminėti nemokamą programą Autodesk MeshMixer, kuri neturi instrumentų 3D modelio kūrimui, tačiau įkėlus 3D modelį STL formatu, ši programa pati nustato klaidas ir jas automatiškai ištaiso. (žr. 15 pav.)



15 pav. Klaidų taisymas Autodesk Mesh Mixer  
Šaltinis: [www.studia3d.ru](http://www.studia3d.ru)

## 6. 3D modelių svetainės

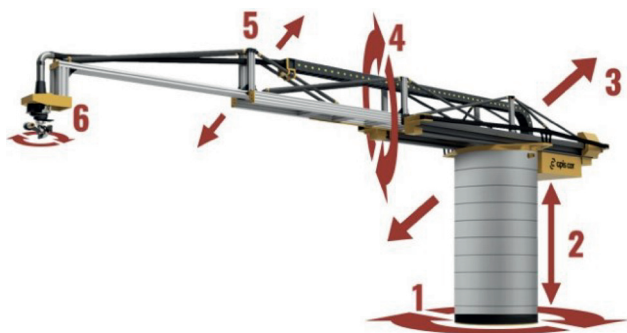
Ne visais atvejais būtina mokėti naudotis automatuoto projektavimo programomis, kad atspausdinti norimą trimatį objektą. Internetu nesunkiai galima rasti specializuotas 3D modelių dalybos svetaines, kuriose kūrėjai ir konstruktoriai dalinasi suprojektuotais 3D modeliais. Už tam tikrą mokestį arba nemokamai galima atsisiųsti norimą trimatį modelį į savo kompiuterį. Daugumoje svetainių 3D modeliai yra paruošti spausdinimui ir jų papildomai redaguoti nereikia. Pandemijos pradžioje 3D spausdinimo profesionalai ir entuziastai iš viso pasaulio siuntėsi patikrintus ir paruoštus spausdinimui Covid-19 pandemijos suvaldymui reikalingų veido skydų ir kvėpavimo palengvinimui skirtų gaminių 3D modelius. Atsiradusiomis galimybėmis dalintis 3D modeliais netruko pasinaudoti ir neaiškūs tikslus turintys žmonės ar organizacijos. Pavyzdžiui, „Deterrence Dispenced“ interneto puslapyje yra, kaip teigia jo kūrėjai, patikimo pusiau automatinio ginklo FGC-9 (fuck gun control 9 mm) gamybiniai 3D modeliai, skirti spausdinti mėgėjišku spausdintuvu. Ginklo gamybos kaina, įskaičiavus įrangą ir medžiagas, siekia apie 350 JAV dolerių. Manoma, kad su laiku panašūs ginklų modeliai bus kuriami vis dažniau, taigi jau dabar reikia susirūpinti, nes atsiranda ne tik technologinių, bet ir teisinių iššūkių.

„3D spausdinimo bei kopijavimo technologija tampa vis labiau prieinama. Todėl kiekvienas asmuo, turintis prieigą prie 3D spausdintuvo, gali sukurti identišką konkretaus daikto kopiją. Šiuo atveju atsiranda potencialaus intelektualinės nuosavybės savininko teisių pažeidimo tikimybė“ (E. Saukalas, 2020).

## 7. 3D spausdinimo technologijų taikymas statybos sektoriuje

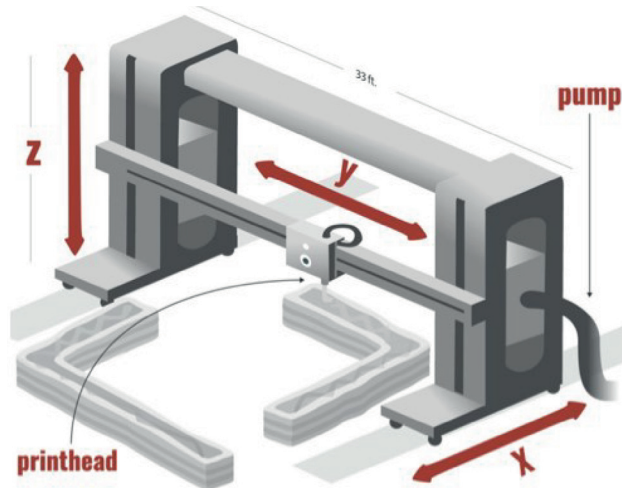
Statybinių 3D spausdintuvų naudojama technologija yra panaši į FDM, nes rezultatui gauti naudojama ekstruzija. Pagal formą ir veikimo principą yra dviejų tipų statybiniai 3D spausdintuvai:

- a) robotizuota šešių ašių 3D betono spausdinimo ranka;



16 pav. Robotizuota šešių ašių 3D betono spausdinimo ranka  
Šaltinis: [www.3dnatives.com](http://www.3dnatives.com)

- b) portalinis 3D betono spausdintuvas.



17 pav. Portalinis 3D betono spausdintuvas  
Šaltinis: [www.3dnatives.com](http://www.3dnatives.com)

2016 metais adityvios gamybos būdu pastatai buvo atspausdinti Kinijoje ir Dubajuje. Dubajuje biurų pastatą „Office of the Future“ statė robotizuota 3D spausdinimo ranka. Buvo naudojamas inovatyvus mišinys. Objektą išlieti 3D spausdintuvu užtruko septyniolika dienų, o prie jo dirbo aštuoniolikos žmonių komanda (žr. 18 pav.).



18 pav. Office of the Future, Dubajus  
Šaltinis: [cellular3d.com](http://cellular3d.com)

2018 metais Olandijoje įsikūrusi įmonė MX3D pranešė apie robotais atspausdintą 4,5 tonos sveriantį pirmą pasaulyje nerūdijančio plieno tiltą. Po bandymų tiltas buvo sumontuotas Amsterdame, sujungiant dvi kanalo krantines (žr. 19 pav.).



19 pav. Tiltas Amsterdame išlietas 3D spausdintuvu  
Šaltinis: [www.mx3d.com](http://www.mx3d.com)

JAV sparčiai auga startuolių, siūlančių individualius namus, statomus naudojant 3D spausdinimo technologijas, skaičius. Teigiama, kad tokiu būdu namai statomi daug greičiau ir pigiau lyginant su statomais tradiciniu būdu. Taip pat mažinama aplinkos tarša.

2021 metų pradžioje JAV kompanija SQ4D savo internetiniame puslapyje paskelbė apie pirmą parduodamą adityvios gamybos būdu pastatytą gyvenamąjį namą Riverhede, Niujorke. Skelbiama, kad jo kaina yra 50% mažesnė nei ten pat parduodamų tradiciniu būdu pastatytų panašiai suplanuotų namų. Namas pastatytas naudojant pačios kompanijos sukurtą ir jau registruotą patentui ARCS technologiją (angl. Autonomous Robotic Construction System). Technologija pasižymi tuo, kad pastatus gali statyti 3D spausdinimo mašinos visai be žmonių pagalbos arba su minimalia 2-3-jų žmonių komanda (žr. 20 pav.) (The world's largest....., 2020). Robotizuotos spausdinimo mašinos lieja pamatus, išorines ir vidines sienas, komunalinius kanalus. ARCS naudoja patentuotą žemo energijos suvartojimo technologiją. Tai iš esmės daro statybos procesą draugiškesnį aplinkai, saugų ir sumažina elektros sunaudojimą. Teigiama, kad kompanijos sukurtas statybinis 3D spausdintuvas naudoja elektros ne daugiau, nei plaukų džiovintuvas, o visam pastato statybos procesui sunaudojama iki 40 litrų benzino. Įrengimas teigiamai įvertintas JAV OSHA (angl. Occupational Safety and Health Administration) inspekcijos.



20 pav. SQ4D statybų procesas  
Šaltinis: [www.3Dprintingindustry.com](http://www.3Dprintingindustry.com)

Kompanija ICON, įsikūrusi Ostine, Teksaso valstijoje, tvirtina galinti pastatyti gyvenamą namą per parą laiko. Ši kompanija tobulina programinę įrangą, medžiagas bei robotizuotą trimačio spausdinimo techniką. Adityvios gamybos būdu statomiems objektams ICON sukūrė savo robotizuotą trimatį spausdintuvą, galintį spausti iki 185 kv.m. ploto objektą. Spausdinimo procese naudojamas cemento pagrindu sukurtas mišinys, kuris, kaip tvirtina ICON atstovai, yra tvirtesnis ir pigesnis negu medžiagos, skirtos statyti objektus tradiciniu būdu. Kompanija tvirtina, kad gamyba naudojant 3D spausdinimo technologijas sumažino objekto kainą 30%. Taip pat pabrėžė, jog įrengimas pakeičia 10 – 20-ies statybininkų darbą, bei gali dirbti nepertraukiamai 24 valandas. Kompanija sukūrė pa-

žangų 3D spausdintuvą ICON Vulcan II (žr. 21 pav.). Spausdintuvo kaina prasideda nuo 250 000 JAV dolerių (Boissonneault, 2019).



21 pav. 3D spausdintuvas ICON Vulcan II  
Šaltinis: [www.Iconbuild.com](http://www.Iconbuild.com)

Modulinių namų statytoja Mighty Buildings spausdina atskiras objekto dalis savo gamykloje Oklande, Kalifornijoje ir jas pristato į statomo objekto statybų aikštelę, kur atspausdintos dalys surenkamos į visumą. Namą galima išsirinkti ir užsisakyti ir gamintojo puslapyje. Mighty Buildings kartu su kompanija Palari igyvendina išpūdingą projektą Kalifornijos dykumoje, kur trimačio spausdinimo būdu bus pagaminti ir sumontuoti nulinės energijos suvartojimo namai (žr. 22 pav.). Visi namai buvo išparduoti vos tik patvirtinus projektą net nepradėjus jų statyti, taip pat jau daugiau nei 500 žmonių laukia eilėje. Mighty Buildings pastatų spausdinimui naudoja vienintelę medžiagą – UV spinduliais kietinamą termoreaktyvų kompozitą LSM (angl. Light Stone Material). Juo spausdinamos išorinės ir vidinės sienos, stogas ir t.t. Kompanija planuoja sukurti pluoštu sustiprintą medžiagą, stiprumu prilygstančią plienui, kad galėtų pradėti spausdinti daugiabučius.



22 pav. Mighty Buildings ir Palari projekto modelis  
Šaltinis: [www.mightybuildings.com](http://www.mightybuildings.com)

Pranešama, kad Rusijos kompanija AMT Specavia savo sukurtu statybinio 3D spausdintuvu S-300 pradėjo statyti dvylikos spausdintų namų gyvenvietę Jaroslavl apskrityje. Statytojas teigia, kad pastatyti vieną namą jų gamybos 3D spausdintuvu užima apie 30 valandų. Naudojama medžiaga – sukurtas mišinys iš cemento, smėlio, geopolimerų ir pluošto.

2021 metų gegužės mėnesį Olandijoje adityvios gamybos būdu pastatytame 94 kvadratinio metrų name apsigyveno gyventojai (žr. 23 pav.). Namą išlieti 3D spausdintuvu užtruko 120 valandų.



23 pav. Adityvios gamybos būdu Olandijoje išlietas namas  
Šaltinis: [www.compositesworld.com](http://www.compositesworld.com)

2020 metais vokiečių kompanija HeidelbergCement pranešė apie sukurtą pastatų spausdinimui skirtą mišinį „i.tech3D“. Tai cemento pagrindu sukurtas mišinys, kuris yra lengvai pompuojamas, išspaudžiamas ir greitai kietėjantis.

## Išvados

1. Pastarąjį dešimtmetį net ir aukštos kokybės 3D spausdintuvų kaina tapo prieinama ne tik profesionalams, bet ir mėgėjams. Kokybiški 3D spausdintuvai tapo kompaktiški. Atsirado galimybė adityvias gamybos technologijas naudoti namuose, biuruose, mokykloje ar ypatingos paskirties objektuose (pvz. Tarptautinė kosminė stotis).

2. Naudojant adityvias gamybos technologijas, fizinis objektas pagaminamas praktiškai be medžiagos atliekų. Yra platus kokybiškų medžiagų pasirinkimas. 3D spausdintuvu galima išgauti bet kokio sudėtingumo geometrinę figūrą. Šiuo laikotarpiu atsirado galimybė greitai ir sąlyginai nebrangiai gaminti prototipus.

3. Paprastas ir suprantamas įrengimų valdymas. Nereikalingos tokio lygio žinios ir įgūdžiai, kaip gaminant ar programuojant subtraktyvios gamybos procesus naudojančius įrengimus. Greitas ir aiškus įrengimų paruošimas darbui ir minimali priežiūra gamybos proceso metu.

4. Sudėtingesnės geometrijos objektui pagaminti nereikalingi keli skirtingas operacijas atliekantys įrengimai (pvz. frezavimo ir tekinimo).

5. 3D spausdinimo įrengimas gamybos/statybos procese dalinai ar visai pakeičia darbuotojus bei gali vykdyti gamybą nepertraukiamai ilgą laiką (pvz. gyvenamųjų namų statyba panaudojant adityvias gamybos technologijas).

6. Nuolatinis adityvios gamybos procesų ir juose naudojamų medžiagų/mišinių tobulinimas sąlygoja naujų panaudojimo sričių atsiradimą. Taip pat greitesnį adityvios gamybos procesą ir mažesnius jo kaštus.

## Literatūra

- Amelia, H. (2021). *How does a concrete 3D printer work?* Prieiga per internetą: <<https://www.3dnatives.com/en/how-does-a-concrete-3d-printer-work-080120215/>>.
- Artėjame prie masinio apsiginklavimo? Ši žinia daug kam kels šiurpą - su 3D spausdintuvais ir už juokingą kainą jau galima pasigaminti pusiau automatinį ginklą. (2021). Prieiga per internetą: <<http://www.technologijos.lt/n/svietimas/S-43822/straipsnis/Lietuvos-mokykloms-siulomi-3D-spausdintuvai-vaikai-kurybiniu-darbu-turi-praktikuotis-nuo-mazumes-Video?l=1&p=1>>.
- Boissonneault, T. (2019). *ICON launches Vulcan II 3D printer, announces new construction plans.* Prieiga per internetą: <<https://www.3dprintingmedia.network/icon-vulcan-ii-3d-printer-construction/>>.
- Brockotter, R. (2021). *Key design considerations for 3D printing.* Prieiga per internetą: <<https://www.hubs.com/knowledge-base/key-design-considerations-3d-printing/>>.
- Carolo, L., Mashambanhaka, F. (2021). *Best Free 3D Printing Software in 2021.* Prieiga per internetą: <<https://all3dp.com/2/best-free-cad-software-for-3d-printing/>>.
- Category: 3d printing construction. Prieiga per internetą: <<https://www.morgen-filament.de/category/3d-printing-construction/>>.
- Ellis, G. (2020). *3D Printing in Construction: Growth, Benefits, and Challenges.* Prieiga per internetą: <<https://construction-blog.autodesk.com/3d-printing-construction/>>.
- GVR: Global 3D Printing Market Size was \$11.58 Billion in 2019. (2020). Prieiga per internetą: <[https://www.printedelectronicsnow.com/contents/view\\_breaking-news/2020-02-10/gvr-global-3d-printing-market-size-was-1158-billion-in-2019/?widget=listSection](https://www.printedelectronicsnow.com/contents/view_breaking-news/2020-02-10/gvr-global-3d-printing-market-size-was-1158-billion-in-2019/?widget=listSection)>.
- Hartzell, N. (2018). *HP Launches World's Most Advanced Metals 3D Printing Technology for Mass Production to Accelerate 4th Industrial Revolution.* Prieiga per internetą: <<https://press.hp.com/us/en/press-releases/2018/hp-launches-worlds-most-advanced-metals-3d-printing-technology.html>>.
- Hobbyist vs Professional 3D Printers. (2021) Prieiga per internetą: <<https://markforged.com/resources/blog/hobbyist-vs-professional-3d-printer>>.
- Lynn, B. (2021). *More US Companies Now Offering 3D Printed Homes.* Prieiga per internetą: <<https://learningenglish.voanews.com/a/more-us-companies-now-offering-3d-printed-homes/5869993.html>>.
- Nawrat, A. (2020). *3D printing in the medical field: four major applications revolutionising the industry.* Prieiga per internetą: <<https://www.medicaldevice-network.com/features/3d-printing-in-the-medical-field-applications/>>.
- Nehls, G. (2021). *Palari Group, Mighty Buildings to develop community of 3D-printed, zero-net energy homes.* Prieiga per internetą: <<https://mightybuildings.com/media/tpost/ihe7y-o8yc1-worlds-first-community-of-3d-printed-zer>>.
- Optomec Partners with Tongtai to Deliver Hybrid Additive Manufacturing Machines in Taiwan. (2017). Prieiga per internetą: <<https://optomec.com/optomec-partners-tongtai-deliver-hybrid-additive-manufacturing-machines-taiwan/>>.

- Parkes, J. (2021). *Joris Laarman's 3D-printed stainless steel bridge finally opens in Amsterdam*. Prieiga per internetą: <<https://www.dezeen.com/2021/07/19/mx3d-3d-printed-bridge-stainless-steel-amsterdam/>>.
- Pilkington, B. (2021). *Could 3D Printing Drive Down the Cost of Space Exploration?* Prieiga per internetą: <<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=20465>>.
- Plastikų savybės. (2021). Prieiga per internetą: <<https://3dkalve.eu/plastiku-savybes/>>.
- Revoliucinė technologija: netrukus 3D spausdintuvu kaulus bus galima atspausdinti pačiame žmogaus kūne. (2021). Prieiga per internetą: <[http://www.technologijos.lt/n/mokslas/zmogus\\_ir\\_medicina/S-87242/straipsnis/Revoliucine-technologija-netrukus-3D-spausdintuvu-kaulus-bus-galima-atspausdinti-paciame-zmogaus-](http://www.technologijos.lt/n/mokslas/zmogus_ir_medicina/S-87242/straipsnis/Revoliucine-technologija-netrukus-3D-spausdintuvu-kaulus-bus-galima-atspausdinti-paciame-zmogaus-)>.
- Saukalas, E. (2020). *3D spausdinimo technologija – iššūkis intelektinei nuosavybei*. Prieiga per internetą: <<https://metida.com/3D-INTELEKTINE-NUOSAVYBE/>>.
- The world's largest permitted 3D printed home as of January 2020*. Prieiga per internetą: <<https://www.sq4d.com/largest-3d-printed-home/>>.
- Vaškevičius, K. (2012). *3D spausdinimas: laikina mada ar naujoji pramonės revoliucija?* Prieiga per internetą: <<https://www.delfi.lt/mokslas/technologijos/3d-spausdinimas-laikina-mada-ar-naujoji-pramones-revoliucija.d?id=60286155>>.
- Новикова, Е. (2021). *В России происходит рывок в строительстве 3-D домов*. Prieiga per internetą: <<https://expert.ru/2021/08/23/chto-nam-stoit-dom-postroit-napechatay-i-zhivi/>>.
- Требования к 3D моделям для 3D-печати*. (2017). Prieiga per internetą: <<https://studia3d.com/blog/1-trabovaniya/>>.

## 3D PRINTING OPENS NEW PRODUCTION OPPORTUNITIES

Anna Glinskienė

*Vilnius College of Technologies and Design*

**Abstract.** On December 23, 2012, the portal *Delfi.lt* published an article by Kęstutis Vaškevičius „3D printing: temporary trend or a new industrial revolution?“. In less than ten year period after the article has been published, one can boldly answer the author's question – 3D printing has become one of the most advanced and promising production methods. The forecast at the time that the 3D printing market could reach a turnover of \$3 billion in 2018 was inaccurate. In 2018 the turnover of the 3D printing market reached \$9.3 billion, and with each passing year the turnover is growing tens of percent. In 2027 the 3D printing market is expected to have turnover of \$55.8 billion. The article reviews currently most widely used additive manufacturing technologies, types of 3D printers, materials and the possibilities of using 3D printing in different fields.

**Keywords:** 3D printing, additive manufacturing, 3D printer, stereolithography, extrusion, bioprinting.

# SKAITMENINIO FUNKCINIO SIGNALO GENERATORIAUS GALIMYBIŲ TYRIMAS

Brigita Šustickienė, Egidijus Valma

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

**Anotacija.** Skaitmeninis funkcinis signalo generatorius – prietaisas galintis generuoti skirtingų formų bangas. Jos būna kvadratinės - naudojamos kaip laiko nuorodos, trikampės – naudojamos testuojant stiprintuvus, sinusinės - naudojamos bandymų programose, matematikos, fizikos, inžinerijos moksluose skirtingose signalų apdorojimo bei reguliuoti ir nustatyti jų amplitudę, dažnį ir juos valdant stebėti LCD ekrane. Generatorius veikia vykdydamas mikrovaldiklyje įrašytą programinį kodą, kuris per SPI sąsają valdo dedikuotą signalų generavimo integrinį grandyną AD9833. Integrinis grandynas naudoja išorinį 24 MHz taktinį dažnį, kuris panaudojamas sugeneruoti išėjimo signalą.

**Reikšminiai žodžiai:** signalas, generatorius, skaitmeninis, banga, dažnis.

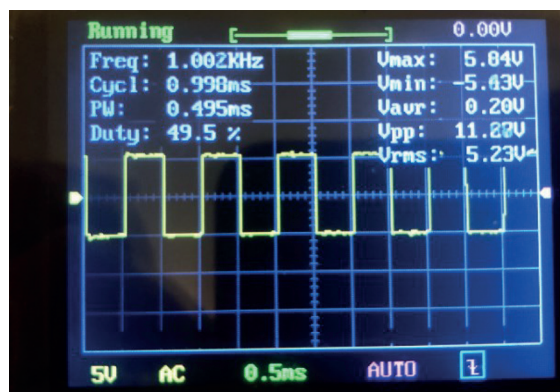
## Įvadas

Daugeliu atvejų kuriant, testuojant ar taisant elektroninę įrangą, susijusią su analoginėmis grandinėmis, kyla problemų kaip sugeneruoti įvairių tipų elektros bangų signalus plačiu dažnių diapazonu, kaip išbandyti stiprintuvus ar koku būdu įvesti klaidos signalą į valdymo kilpą. Tam, kad palengvinti šį darbą yra naudojamas skaitmeninis funkcinis signalo generatorius – prietaisas galintis generuoti skirtingų formų bangas – kvadratinės, trikampės, sinusinės bei reguliuoti ir nustatyti amplitudę, dažnį ir visa tai valdant matyti LCD ekrane.

Šio straipsnio tikslas yra išnagrinėti bei pagaminti funkcinį signalo generatorių ir ištirti jo galimybes.

## 1. Tyrimų metodika bei techniniai reikalavimai skaitmeniniam funkciniam signalų generatoriui ir jo projektavimui

Skaitmeninis funkcinis signalo generatorius, geba generuoti skirtingų formų signalą nustatytu dažniu – kvadratinės, trikampės, sinusinės kreives. Kvadratinės (1 pav.) – tai tokios bangos formos, kurios susideda iš signalo, tiesiogiai judančio tarp aukšto ir žemo lygio bei kurios naudojamos kaip laiko nuorodos, nes jų greiti perėjimai yra tinkami sinchroninėms loginėms grandinėms tiksliai suveikti nustatytais intervalais.

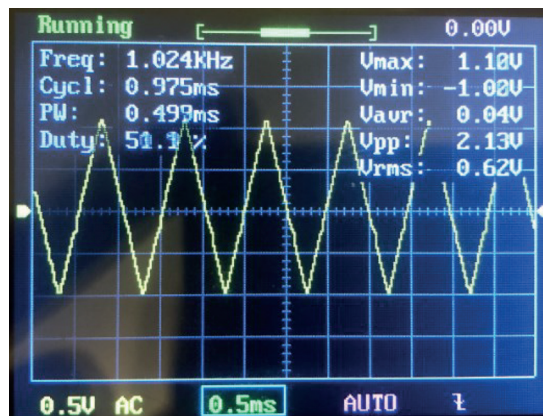


1 pav. Kvadratinis signalas

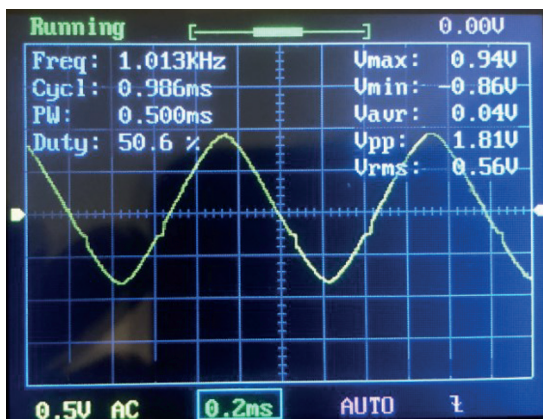
Taip pat skaitmeninis funkcinis signalo generatorius gali generuoti trikampės formos bangas (2 pav.), kurios juda tiesiškai tarp aukšto ir žemiausio taško ir dažniausiai naudojamos testuojant stiprintuvus, norint lengviau pamatyti iškraipymus (Savickas, 2012).

Šis generatorius taip pat generuoja ir sinusinės formos bangas (3 pav.), t.y. standartines bangos formas, kurios svyruoja tarp dviejų lygių su standartine sinusine forma, apibūdina sklاندų periodinį svyravimą bei yra naudojamos bandymų programose – matematikos, fizikos, inžinerijos moksluose signalų apdorojime.

Generuojant sinusinį signalą 60 Hz dažniu, galima išbandyti vidinį garso stiprintuvų darbą. Be to, šis



2 pav. Trikampis signalas



3 pav. Sinusinis signalas

generatorius gali keisti bangų formų charakteristikas, keisdamas impulsų ilgį, tačiau trūkumas tas, kad gali keisti tik tas bangų formas, kurios yra įrašytos į signalų generatoriaus mikroschemą AD9833, šiuo atveju tik kvadrato, trikampio ir sinusinės formos bangas. Atsižvelgiant į šias bangų savybes pasirenkami techniniai reikalavimai, kurie pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Techniniai reikalavimai

1.	Maitinimo įtampa: AC ~230V
2.	Korpusinis saugiklis
3.	Dydis: apytiksliai 191x110x57 mm (ilgis x plotis x aukštis)
4.	Dažnių diapazonas: iki 1MHz (skiriamoji geba 0,1Hz ir taktinis dažnis 25MHz)
5.	Signalai: sinusinis, kvadratinis, trikampis
6.	Poslinkis: $V_{pp}$ 1–9V
7.	Išėjimo amplitudė: iki $\pm 7V$
8.	Standartinė IEC maitinimo jungtis
9.	Signalų išvesties BNC jungtis

## 2. Elektrinė principinė schema

Projektuojamam signalų generatoriui reikalingas teigiamos ir neigiamos įtampos maitinimo šaltinis ir jo schema (4 pav.). Šiam tikslui pasiekti naudojami 12V teigiamos ir neigiamos įtampos stabilizatoriai, kurie tiek energiją į operacinį stiprintuvą LM318. Operaciniai stiprintuvai (OS) atlieka matematinės operacijas (sumavimą, ženklų keitimą, diferencijavimą, integra-

vimą ir kt.), gali stiprinti ir generuoti signalus. OS jie vadinami todėl, kad atlieka matematinės operacijas, taigi čia LM318 reguliuos išėjimo signalo stiprumą ir leis jam svyruoti teigiamame ir neigiamame pusperioduose. Likusi grandinės dalis bus maitinama 5V teigiamos įtampos stabilizatoriumi. Kadangi grandinės suvartojama srovė nėra didelė (1 formulė), tai LM7805 1A  $\pm 5V$  stabilizatorius yra pakankamas užtikrinti nenutrūkstamą srovės tiekimą.

Viso įrenginio maitinimo srovė skaičiuojama pagal formulę:

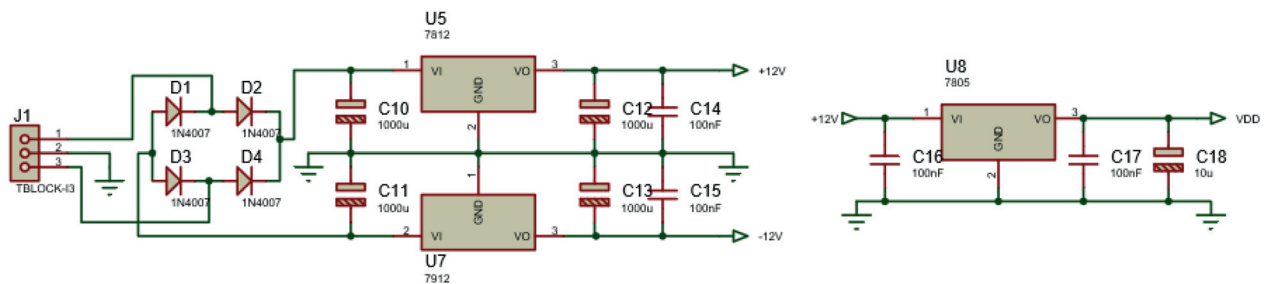
$$I_{VDD} = I_{V1} + I_{V2} + I_{V3} + I_{V4} + I_{V6} + I_{LCD} \quad (1)$$

$$I_{VDD} = 85mA + 0,55mA + 5,5mA + 10mA + 30mA + 30mA = 161,05mA$$

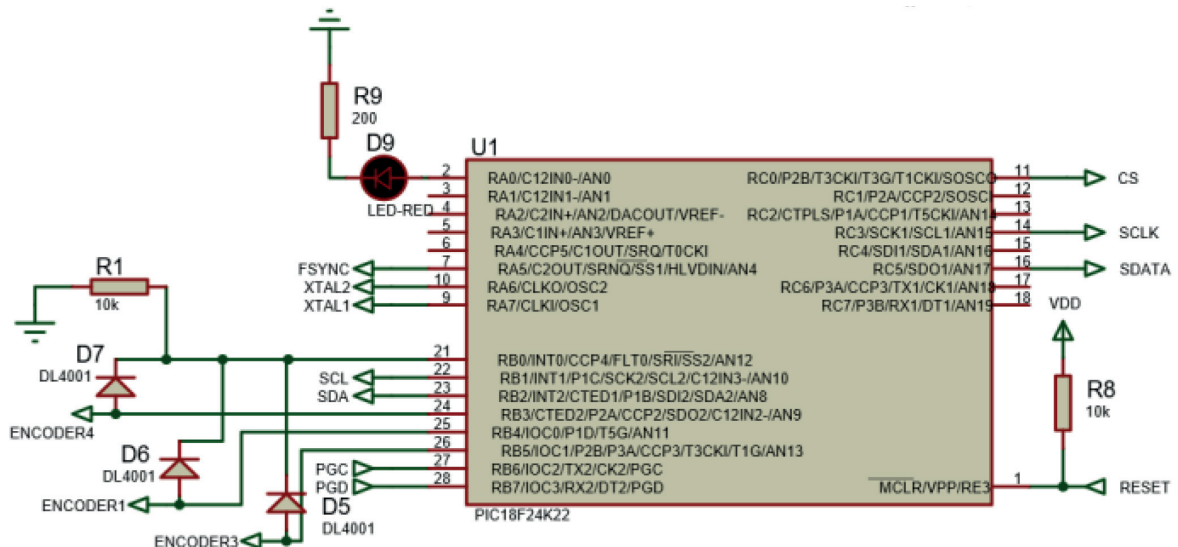
$I_{VDD}$  – viso įrenginio maitinimo srovė mA,  $I_{U1-U6}$ ,  $I_{LCD}$  – komponentų maitinimo srovės (Peterson, 2010).

Prieš stabilizatorių įėjimus įdedama po vieną 1000 $\mu F$  elektrolitinį kondensatorių, tam, kad sumažintų amplitudės pulsacijas, o visų trijų stabilizatorių išėjimuose yra po vieną keramikinį 100nF kondensatorių, skirtą vidiniams aukšto dažnio plokštės trikdžiams filtruoti.

Prie mikrovaldiklio 5 pav.  $\overline{MCLR}$  išvado prijungtas 10k $\Omega$  PULL-UP rezistorius, kurio paskirtis išlaikyti aukštą signalo lygį išvade, nes kitu atveju dėl įtampos svyravimo ar kitų priežasčių gali nukristi įtampa ir iš naujo paleisti visą programą, kuri įrašyta į mikroval-



4 pav. Maitinimo grandinės schema



5 pav. PIC18F24K22 mikrovaldiklis

diklį (Saviskas, 2012). Taip pat prie šio ir prie PGD, ir PGC išvadų prijungta programavimo jungtis. Sukamasis kodatorius, kuris valdys meniu nustatymus jungiamas prie RB3, RB4 ir RB5 įvadų. Pastarieji trys įvadai, naudojant diodus, prijungti prie RB0 įvado. RB0 ypatingas tuo, kad turi pertraukties funkciją, o kad būtų išlaikomas žemas signalo lygis, jis per 10kΩ PULL-DOWN rezistorių prijungtas prie žemės. Diodai reikalingi tam, kad viename iš trijų įėjimų atsiradus aukštam signalo lygiui – jis nepersiduotų į kitus du. Taip pat prie mikrovaldiklio yra prijungtas ir raudonas šviesos diodas su 200Ω srovę ribojančiu rezistoriumi, kuris įrašius į mikrovaldiklį programą, mirksės.

Nors mikrovaldiklis ir turi vidinį osciliatorių, tačiau 16MHz taktinio dažnio generavimui yra naudojamas kvarcinis rezonatorius Y1 (6 pav.). Kvarcinis rezonatorius yra aukštos kokybės ( $10^5$ – $10^7$ ) atrankioji grandinė, labiausiai lemianti kvarcinio generatoriaus dažnio stabilumą (Elprocus, 2020).

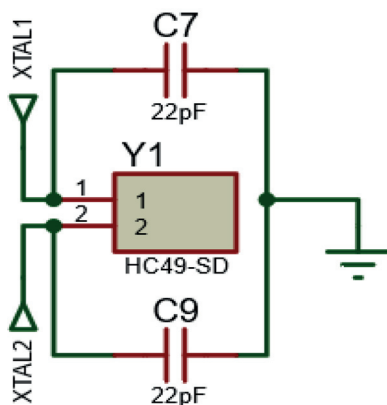
Šiame projekte taip pat naudojamas skystųjų kristalų ekranas (7 pav.), turintis dvi eilutes po šešiolika simbolių. Mikrovaldiklis su ekranu bendrauja per I<sup>2</sup>C sąsają. Šią sąsają sudaro SDA ir SCL jungtys, kur SDA jungtis naudojama duomenų siuntimui, o SCL taktiniam dažniui, kuris suderina abu įrenginius, kad jie veiktų vienodu dažniu. Gautus duomenis apdoroja

ekrano valdiklis ir juos atvaizduoja (Elprocus, 2020).

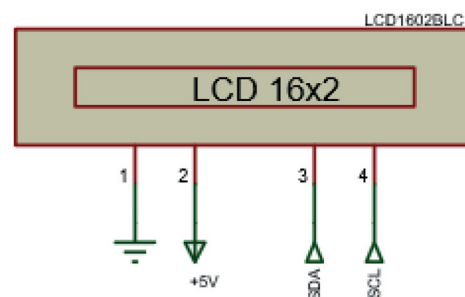
Išėjimo signalo generavimo mazgą (8 pav.) sudaro signalų generatorius AD9833BRMZ, 24MHz kristaliniis osciliatorius CFPS-72, operacinis stiprintuvas LM318, perjungiklis ir analoginis tiesinis potenciometras. Kristaliniis osciliatorius generuoja 24MHz signalą ir jį siunčia į AD9833 integrinį grandyną. Šis integrinis grandynas esant 25MHz taktiniam dažniui, kurio skiriamoji geba gali būti 0,1Hz, todėl leidžiama pasiekti dažnį iki 1MHz.

Kristaliniis osciliatorius padalina 24MHz signalą iš mikrovaldiklio nurodyto daliklio ir naudodamas vidinį DAC, kitaip iš skaitmeninio į analoginį signalo keitiklį, ir mikrovaldiklio nurodytą signalo formą, išėjime sugeneruoja norimą signalą. AD9833 su mikrovaldikliu bendrauja per SPI sąsają, kurią sudaro SS (Slave Select) periferinio įrenginio pasirinkimo kanalas (šiuo atveju FSYNC), SDO (SPI Data Output) duomenų išsiuntimo į periferinį įrenginį kanalas (šiuo atveju SDATA) ir SCK (SPI Clock Output) taktinio dažnio kanalas (šiuo atveju SCLK) (Peterson, 2010).

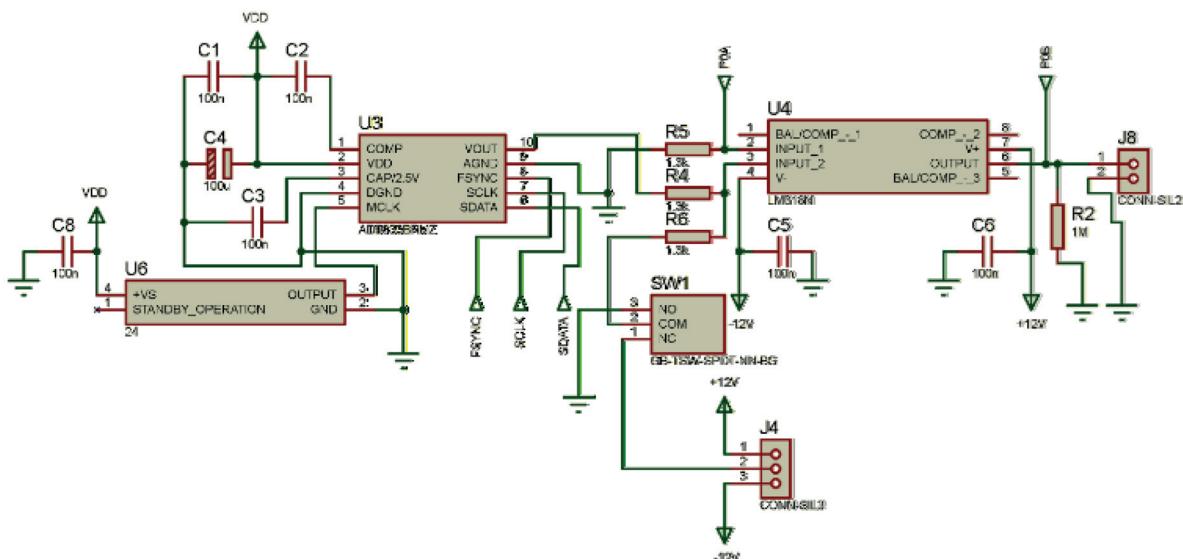
Sugeneruotas išėjimo signalas siunčiamas į LM318 operacinį stiprintuvą, kur jis sustiprinamas ir išvedamas per BNC jungtį. Perjungiklis atsakingas už operacinio stiprintuvo atskaitos taško išėjimo signalui nustatymą. Vienoje perjungiklio padėtyje atskaitos taškui naudojama žemė, o kitoje jis reguliuojamas naudojant analoginį tiesinį potenciometrą. Visi kondensatoriai esantys šiame mazge naudojami kaip aukštadažniai fil-



6 pav. Kvarcinis rezonatorius



7 pav. LCD ekranas



8 pav. Išėjimo signalo generavimo mazgas

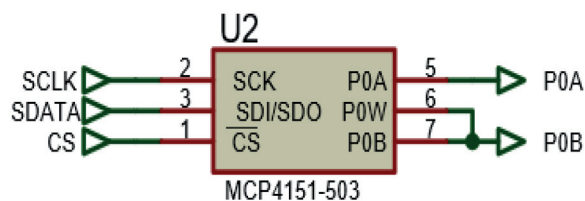


trais ir jungiami kiek įmanoma arčiau prietaisų įėjimų. Rezistoriai R4-R6 naudojami srovės ribojimui į operacinio stiprintuvo įėjimus.

### 3. Tyrimų rezultatai

Tyrimo metu suprojektuotas ir surinktas bei ištestuotas skaitmeninis funkcinis signalo generatorius su ATMEGA328P.

Patikrinta, kad skaitmeninis potenciometras (9 pav.) dar vadinamas rezistiniu skaitmeniniu – analoginiu keitikliu arba neoficialiai digipotu geba skaitmeniniu būdu valdyti elektroninius komponentus, kurie imituoja analogines potenciometro funkcijas.



9 pav. Skaitmeninis potenciometras

Nustatytas operacinio stiprintuvo grįžtamo neigiamo ryšio grandinėje stiprinimo koeficientas stiprintuvo išėjime, kuris dažniausiai naudojamas mikrokontroleriams apkarpyti ir keisti analoginius signalus. Šiuo atveju, buvo naudotas skaitmeninis potenciometras LM318.

Potenciometras buvo valdomas programiškai per SPI sąsają taip pat kaip AD9833, tik vietoj FSYNC panaudojamas CS periferinio įrenginio pasirinkimo išėjimas.

### Išvados

1. Suprojektuotas ir pagamintas skaitmeninis funkcinis signalų generatorius su ATMEGA328P.
2. Atlikus bandymus gauti rezultatai atitinka užsibrėžtus techninius parametrus, kurie nurodyti 1 lentelėje.
3. Funkcinio generatoriaus patobulinimui galima išplėsti prietaiso funkcinių parametrų nustatymus bei pagerinti duomenų atvaizdavimą, naudojant didesnę raiškos ekraną.

### Literatūra

Analog Devices. (2019). *Low Power, 12.65 mW, 2.3 V to 5.5 V, Programmable Waveform Generator*. Prieiga per internetą: <<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad9833.pdf>>. (Elektroninė knyga).

Analog Devices. (2001). *2-Channel, 256-Position Digital Potentiometer*. Prieiga per internetą: <<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD5207.pdf>>. (Elektroninė knyga).

Peterson, D. (2010). *Function Generator and Arbitrary Waveform Generator*. Prieiga per internetą: <<https://www.mouser.com/pdfdocs/BK-precision-function-generator-awg-guide.pdf>>. (Elektroninė knyga).

MC78XX/LM78XX/MC78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator. (2006). Prieiga per internetą: <<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/82833/FAIRCHILD/LM7805.html>>. (Internetinis tinklalapis).

Provided By Elprocus. (2020). *Grandinės schema ir jos specifikacijos*. Prieiga per internetą: <<https://www.elprocus.com/what-is-function-generator-circuit-diagram-its-specifications/>>. (Internetinis tinklalapis).

Savickas, A. (2012). *Aviacinės elektronikos pagrindai. Operacinis stiprintuvas*. Prieiga per internetą: <[http://dspace.vgtu.lt/bitstream/1/1401/1/1348-S\\_Savickas\\_Aviacines\\_WEB.pdf](http://dspace.vgtu.lt/bitstream/1/1401/1/1348-S_Savickas_Aviacines_WEB.pdf)>. (Elektroninė knyga).

## FEASIBILITY RESEARCH OF DIGITAL FUNCTION SIGNAL GENERATOR

Brigita Šustickienė, Egidijus Valma

Vilnius College of Technologies and Design

**Abstract.** In many cases, when designing, testing, or repairing electronic equipment is related to analog circuits, there are problems in how to generate various types of electrical wave signals over a wide frequency range, how to test amplifiers, or how to input an error signal to the control loop. To facilitate this work, a digital function signal generator is used – a device capable of generating waves of different shapes – square, triangular, sinusoidal. Square wavelengths that consist of a signal moving directly between high and low levels are used as time references because their fast transitions are suitable for synchronous logic circuits to operate at specified intervals. It can generate triangular waves that move linearly between the highest and lowest points and are the most commonly used when testing amplifiers to make it easier to see distortions. Sinusoidal waveforms – standard waveforms that fluctuate between two levels with the standard sinusoidal shape and describe smooth periodic oscillation and are used in test programs, Mathematics, Physics, Engineering Signal Processing. In addition, this unit can adjust and set the amplitude, frequency and control it all on the LCD screen. Thus, the aim of this research is to produce a function signal generator and to investigate its possibilities.

**Key words:** function, generate, signal, wave, digital.

# ŠILO TILTO NUOSĖDŽIŲ TYRIMAS

Natalija Augūnienė<sup>1</sup>, Asta Anikėnienė<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

**Anotacija.** Tiltai priklauso ypatingų statinių grupei, jie yra veikiami aplinkos, dinaminių ir smūginių apkrovų, vibracijų, todėl nuolatinė priežiūra gali padėti įvertinti tilto esamą techninę būklę. Šilo tilto markės buvo stebimos taikant tradicinį geodezinį metodą – precizinį niveliavimą. Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos studentai, vadovaujami dėstytojų, Tikslųjų geodezinių matavimų praktikos metu nuo 2002 m. iki 2020 m. periodiškai atlieka tilto markių precizinį niveliavimą. Straipsnyje pateikiama Šilo tilto per Nerį Vilniuje perdangos nusėdimų stebėjimo metodika, matavimų rezultatų analizė ir vizualizacija.

**Reikšminiai žodžiai:** niveliavimas, nuosėdžiai, markė, vizualizacija.

## Įvadas

Statinio priežiūros tikslas – užtikrinti Statybos įstatymo bei statybos techninių dokumentų nustatytus statinių esminius reikalavimus per visą statinio ekonomiškai pagrįstą naudojimo trukmę, maksimaliai sumažinti avarijų tikimybę, grėsmę žmonių gyvybei, sveikatai ar aplinkai (Statinių techninės ir naudojimo priežiūros..., 2016). Vadovaujantis statinių klasifikavimu pagal STR1.01.03:2017 tiltai yra priskirti ypatingiems statiniams atitinkantiems ypatingo statinio požymių parametrus (Statinių klasifikavimas, 2017).

Tiltų naudojimą ir priežiūrą reglamentuoja Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos direktoriaus įsakymas „Dėl tiltų techninės priežiūros taisyklių TTPT10 patvirtinimo“, kuriame pateikti tiltų techninės priežiūros bendrieji reikalavimai, techninės priežiūros organizavimo darbai, techninės priežiūros sudėtis, dokumentai bei kiti reikalavimai. Tiltų techninę priežiūrą sudaro:

- nuolatinis tiltų būklės stebėjimas (atliekamos nuolatinės apžiūros);
- tiltų metinės, esminės arba specialiosios apžiūros;
- tiltų tyrimai ir ekspertizės;
- pastebėtų tiltų būklės defektų šalinimas;
- tiltų privalomų techninės priežiūros ir paprastojo remonto darbų atlikimas arba kapitalinio remonto ar rekonstravimo organizavimas. (Dėl tiltų techninės priežiūros taisyklių TTPT10 patvirtinimo, 2010).

Defektai tiltuose atsiranda gamybos (statybos) ar naudojimo metu. Statinių ir jų konstrukcijų defektai klasifikuojami pagal įvairius požymius: poveikių rūšį, atsiradimo priežastį, pavojingumo laipsnį, atsiradimo ir vystymosi greitį, galimybę juos aptikti ir kt. Jeigu defektai turi didelės įtakos tilto laikomajai galiai ar eismo saugumui, konstrukcijų negalima ir neleistina toliau naudoti, defektus reikia nedelsiant šalinti ir imtis kitų priemonių avarijai išvengti (Kasilius, 2009).

Statinių deformacijų stebėjimams galima taikyti klasikinius geodezinius metodus: precizinį niveliavimą; horizontaliųjų poslinkių ir posvyrių nustatymo metodą; lazerinį skanavimą; vykdant objektų monitoringą GNSS pagalba.

Nuo 2002 metų VTDK Geodezijos studijų progra-

mos studentai vadovaujant dėstytojams Tikslųjų geodezinių matavimų praktikos metu atlieka Šilo tilto kartotinius niveliacijos matavimus.

Šio darbo tikslas – įvertinti Šilo tilto konstrukcijos nuosėdžių dinamiką pagal atliktus kartotinius tikslius niveliacijos matavimus 2002 - 2020 metais.

Tyrimo uždaviniai:

Apžvelgti Šilo tilto deformacijų stebėjimą geodeziniais metodais.

Įvertinti markių nuosėdžių kitimą 2002-2020 laikotarpiu.

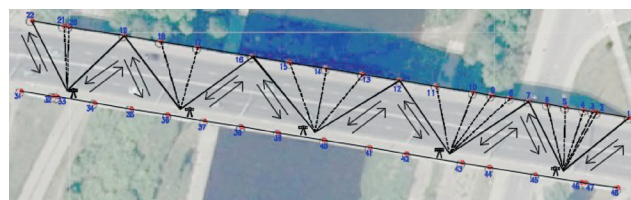
Pateikti pasiūlymus tolimesniems tyrimams.

Tyrimo objektas – Šilo tiltas.

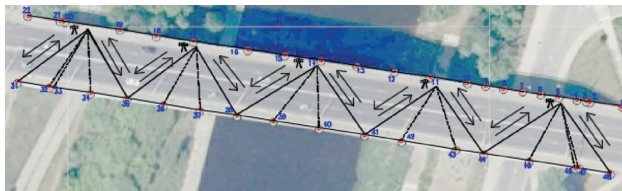
Tyrimo metodai – straipsnyje naudota mokslinės literatūros, teisės aktų ir kitų dokumentų analizė. Taip pat buvo taikoma lyginamoji bei grafinė analizė.

## 1. Šilo tilto markių niveliavimo darbai

Šilo tiltas pradėtas statyti 1989 m., o baigtas 1997 m. rugsėjo 13 d. Nuo 2002 m. iki 2020 m. tilto nuosėdžiai buvo nustatomi taikant kartotinius tikslius niveliacijos matavimus. Matavimams buvo naudojamos markės į tilto turėklų statramsčius įsukti varžtai, kurių galvučių kraštai kyšo iš betono. Ant šių varžtų galvučių niveliuojant buvo statomos matuoklės. Tokių markių dešinėje tilto pusėje buvo įrengta – 22 vnt., o kairėje – 18 vnt. (Kurpavičius, Paukštienė, 2013). Visų ciklų matavimai buvo atliekami rugsėjo mėnesį. Nuosėdžių markės buvo niveliuojamos pagal tą pačią niveliavimo programą. Niveliuojant dešiniojos tilto pusės markes nivelyras buvo statomas kairėje pusėje, o niveliuojant kairiąją pusę – dešinėje tilto pusėje (1 pav. ir 2 pav.).



1 pav. Dešiniojos Šilo tilto pusės markių matavimo schema  
Šaltinis: sudaryta autorių



2 pav. Kairiosios Šilo tilto pusės markių matavimo schema  
Šaltinis: sudaryta autorių

Šilo tilto markių aukščių skirtumai buvo nustatomi atliekant precizinį niveliavimą skaitmeniniu nivelyru GeoMax bei kodinių matuoklių komplektais. Skaitmeninis nivelyras GeoMax prieš pradėdant matavimus buvo tikrinamas. Matavimo darbus apsunkindavo tiltu judantis transportas (autobusai, troleibusai, sunkiasvorės mašinos ir t.t.). Nuo sunkiasvorių mašinų tilto paviršius buvo nepastovus, jaučiamas prietaiso bei tilto dangos drebėjimas. Atstumai matuoti skaitmeniniu nivelyru, stengiantis išlaikyti nivelyro stoties vietą (atsutumų skirtumas negali viršyti 1,0 m, o jų susikaupimas ėjime į vieną pusę – 2,0 m). Niveliacijos ėjimo (pirmyn ir atgal) leistinasis nesąryšis  $f_{hleist}$  buvo skaičiuojamas pagal formulę:

$$f_{hleist} = \pm 5 \text{ mm } \sqrt{L}; \quad (1)$$

čia L – ėjimo ilgis kilometrais.

Pagal gautas n-ojo ciklo markių altitudes buvo skaičiuojami absoliutūs nuosėdžių dydžiai pagal formulę:

$$S = H_n - H_{n-1}, \quad (2)$$

čia: n – paskutinio ciklo altitudė; n – 1 – prieš tai esančio ciklo altitudė.

Tilto markių nuosėdžių skirtumai, t. y. nuosėdžiai nuo matavimų pradžios (bendras nusėdimas), buvo skaičiuojami pagal formulę:

$$S_n = H_n - H_0, \quad (3)$$

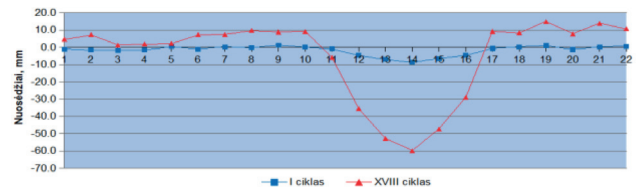
čia:  $H_0$  – pradinio ciklo altitudė (Stepanovienė, Tumelienė, 2011; Азаров, 2011; Шеховцов, Шеховцова, 2009; Aksamitauskas, 2010, 2011; Augūnienė, Pavliukovič, 2014; 2017).

## 2. Tyrimo rezultatai

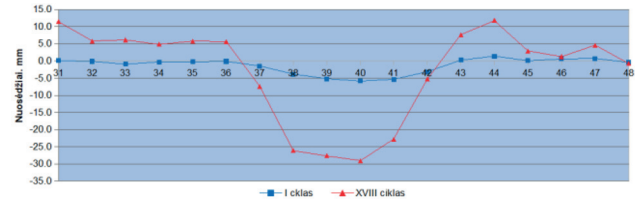
Atliekant I ir XVIII ciklų matavimų rezultatų analizę nustatyti kairiosios ir dešinėsios Šilo tilto pusių markių nuosėdžiai, kurie grafiškai atvaizduoti 3 ir 4 paveiksluose.

Analizuojant XVIII ciklo abiejų tilto pusių matavimo rezultatus, pastebimos deformacijos ties tilto viduriu. 14 markė esanti dešinėje tilto pusėje turi didžiausią nuosėdį -59,8 mm. (3 pav.), o kairėje tilto pusėje didžiausią nuosėdį turi 40 markė -29,1 mm. (4 pav.). Pradinio ir paskutinio matavimų ciklų markių nuosėdžiai rodo, kad didžiausi nuosėdžių pokyčiai įvyko 14 ir 40 markėse, o mažiausi 3 ir 46 markėse.

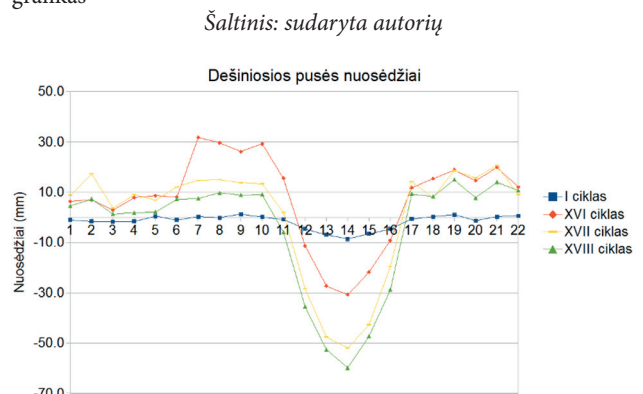
Dėl vibracijų ir statinio tilto apkrovimo, deformacijos dažnai vystosi kitaip - nėra tolygaus kitimo (jų intensyvumas ar greitis didėja netolygiai). Dešinės pu-



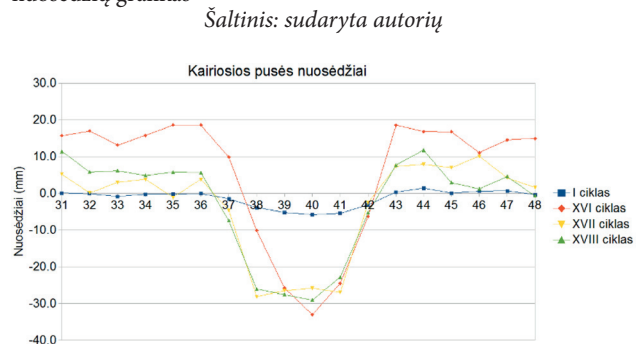
3 pav. Šilo tilto dešinės pusės (I ir XVIII ciklų) nuosėdžių grafikas  
Šaltinis: sudaryta autorių



4 pav. Šilo tilto kairiosios pusės (I ir XIII ciklų) nuosėdžių grafikas  
Šaltinis: sudaryta autorių



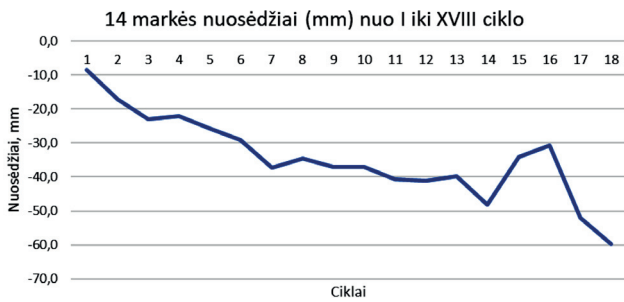
5 pav. Šilo tilto kairiosios pusės pirmojo ir trijų paskutiniųjų ciklų nuosėdžių grafikas  
Šaltinis: sudaryta autorių



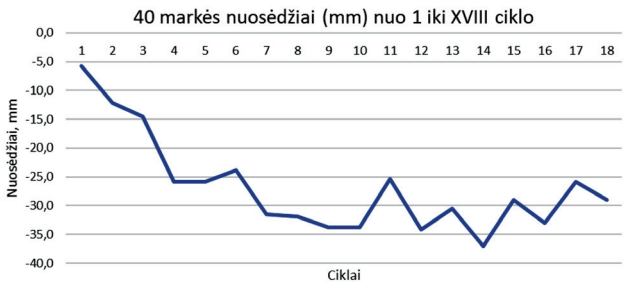
6 pav. Šilo tilto dešinėsios pusės pirmojo ir paskutinių trijų ciklų nuosėdžių grafikas  
Šaltinis: sudaryta autorių

sės markių – 12, 13, 14, 15, 16 nuosėdžiai buvo tolygūs (5 pav.), tuo tarpu kairiosios pusės markių 37, 38, 39, 40 ir 41 nuosėdžių intensyvumas buvo chaotiškas (6 pav.). Gauti rezultatai rodo, kad trijuose paskutiniuose matavimų cikluose 14 markė turi didesnius nuosėdžius nei 40 markė, skirtumas siekia net -30,7 mm.

Stebint 14 ir 40 markių sėdimą galima teigti, kad 40 markė turi stabilizavimo požymių, bet 14 markė vis dar tolygiai sėda. Didžiausius Šilo tilto perdangos (o tuo pačiu ir markių) svyravimus lemia padidėję transporto srautai, kurie kaupiasi dešinėje tilto važiavimo juostoje, taip sudarydami judėjimo spūstis ir didindami tilto dinaminę apkrovą ties dešiniąja tilto puse (7 ir 8 pav.).

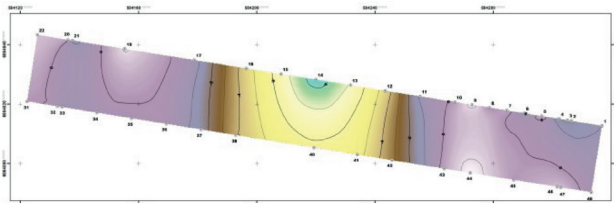


7 pav. Šilo tilto 14 markės nuosėdžiai nuo 2002 iki 2020 metų  
Šaltinis: sudaryta autorių

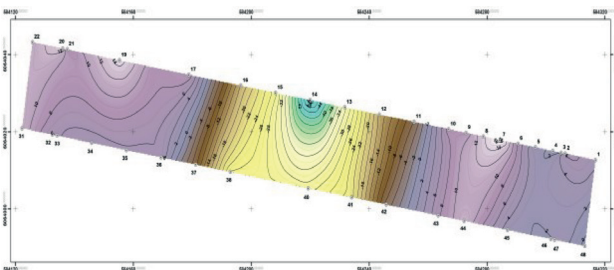


8 pav. Šilo tilto 40 markės nuosėdžiai nuo 2002 iki 2020 metų  
Šaltinis: sudaryta autorių

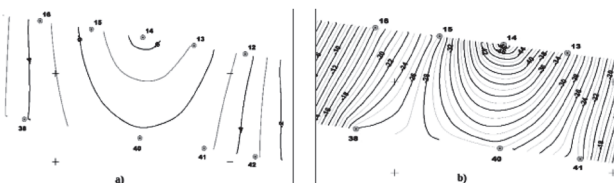
Susisteminius visų ciklų markių nuosėdžių matavimo rezultatus buvo atlikta vizualizacija ArcGIS programos aplinkoje. Grafinė analizė identifikavo pirmojo ir paskutiniojo ciklų stebėjimų rezultatų sklaidą (9 ir 10 pav.). ArcGIS modeliai leidžia stebėti deformacijų kryptį bei tolygumą. Sukurtas erdvinis paviršiaus modelis buvo papildytas izolinijomis. Pasirinktas izolinijų laiptas – 1 mm.



9 pav. Šilo tilto I ciklo nuosėdžių erdvinis modelis  
Šaltinis: sudaryta autorių



10 pav. Šilo tilto XVIII ciklo nuosėdžių erdvinis modelis  
Šaltinis: sudaryta autorių



11 pav. Šilo tilto markių nuosėdžiai: a) I ciklas; b) XVIII ciklas  
Šaltinis: sudaryta autorių

Nagrinėjant ArcGIS programoje izolinijų modelius pastebimas ryškus tilto svirimas į dešinę pusę (11 pav.).

## Išvados

1. Analizuojant 2002-2020 metų nuosėdžių matavimo rezultatus ir grafikus, nustatyti didžiausi nuosėdžiai yra ties Šilo tilto viduriu, o galuose markių nuosėdžiai nežymiai svyruoja. Tokį tilto konstrukcijos svyravimą lemia tilto konstrukcija.

2. Nagrinėjant 2002 ir 2020 metų rezultatus nustatyti Šilo tilto kairiosios ir dešinėsios pusės markių absoliutūs nuosėdžiai. Kairiosios tilto pusės nuosėdžių kitimas yra nuo -37,1 mm iki 23,8 mm, o dešinėsios tilto pusės nuo -59,8 mm iki 31,7 mm.

3. Tilto sėdimas toliau tebevyksta, 14 markė sėda maždaug po 3,5 mm per metus, 40 markė sėda maždaug po 2 mm per metus.

4. Šiuolaikinės kompiuterinės galimybės leidžia kurti interaktyvius trimačius modelius, kuriuos galima taikyti įvairių pokyčių stebėsenai.

5. 2021 metais buvo atliktas Šilo tilto važiavimo juostų perskirstymas, tai padidino važiuojančio transporto pralaidumą bei žymiai sumažino dešinės tilto pusės dinaminę apkrovą.

6. Siūloma ateityje, atliekant Šilo tilto kartotinius tiksliusios niveliacijos matavimus tuo pačiu metu matuoti ir transporto priemonių srautus.

## Literatūra

Aksamitauskas, V. Č. et.al. (2010). Investigation of Error Sources Measuring deformation of Engineering Structures by geodetic Methods. *The Baltic journal of road and bridge engineering*, 5(4): 185–190 p. ISBN 978-9955-28-592-2.

Aksamitauskas, V. Č. (2011). Inžinerinių statinių deformacijų tyrimas geodeziniais metodais. Mokslo darbų apžvalga. *Technologijos mokslai, matavimų inžinerija*. ISBN978-9955-28-819-0.

Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie susisiekimo ministerijos (2010). Dėl tiltų techninės priežiūros taisyklių TTPT10 patvirtinimo, Valstybės žinios, 2010-12-11, Nr. 145-7479. Prieiga per internetą:

<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.388559>.

Kasiulis, P. (2009). Hidrotechnikos statinių tarnybinių tiltelių defektai ir pažeidimai. *Magistrantūros studijų baigiamasis darbas*. Akademinė.

Kurpavičius, A. G., Paukštienė, R. (2013). Šilo tilto per Nerį dešimties metų nuosėdžių stebėjimo rezultatai. *Technologijos ir menas*, (4) 78 – 82 p. ISSN 2029-400X.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija (2016). Statybos techninis reglamentas STR 1.01.03:2017 „Statinių klasifikavimas“ TAR, 2016-11-21, Nr. 27168. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/c14e6210afe511e6b844f0f29024f5ac/asr>.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija (2016). Statybos techni-

nis reglamentas STR 1.01.03:2017 "Statinių techninės ir naudojimo priežiūros tvarka. Naujų nekilnojamojo turto kadastro objektų formavimo tvarka" TAR, 2016-12-30, Nr. 30156. Prieiga per internetą:

<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/a7502172ce7911-e6a476d5908abd2210/asr>

Stepanovienė, J., Tumelienė, E. (2011). Inžinierinė geodezija. *Monokotoji knyga*. Technika. Vilnius. ISBN 9786094570285.

Азаров, Б. Ф. (2011). Современные методы геодезических наблюдений за деформациями инженерных сооружений. *Ползуновский вестник*, № 1, 19-29 с.

Шеховцов, Г. А.; Шеховцова, Р. П. (2009). Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений: *Монография*. Н. Новгород: ННГАСУ.

## ANALYSIS OF ŠILAS BRIDGE SETTLEMENTS

Natalija Augūnienė<sup>1</sup>, Asta Anikėnienė<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>*Vilnius College of Technologies and Design*

**Abstract.** Bridges belong to a group of special structures that are exposed to environmental, dynamic and impact loads. Therefore, continuous monitoring can help assess the current technical condition of the bridge. Šilas bridge marks were observed using standard technique, i.e. the precise geodetic measurement. Precision leveling of the bridge marks has been periodically conducted by the students of Vilnius College of Technologies and Design under the guidance of their lecturers, during the practice of precision geodetic measurements since 2002 until 2020. The article presents the methodology of monitoring the settlements of the Šilas bridge over the river Neris in Vilnius, analysis and visualization of the measurement results.

**Keywords.** levelling, settlement, mark, visualization.

# KROVININIŲ AUTOMOBILIŲ TARŠOS SVARBA ŽALIAJAI LOGISTIKAI

Daniel Žukovski, Eva Skliaustė, Indrė Sprogytė

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

**Anotacija.** Straipsnyje yra aptariama žaliosios logistikos svarba. Šiandien klimato kaitos situacija yra didžiausias iššūkis ateities kartoms. CO<sub>2</sub> (anglies dioksidas) emisija per pastarąjį dešimtmetį dėl miestų plėtros ir gyventojų skaičiaus augimo gerokai išaugo (naujas anglies dioksido kiekis buvo 413,2 dalys milijonui (ppm)). Ypač didelę reikšmę turi auganti krovinių automobilių tarša. Atlikta Lietuvos statistikos departamento duomenų analizė atskleidė, kad didėjant krovinių automobilių ridai, analogiškai didėja ir CO<sub>2</sub> emisija, tai savo ruožtu neigiamai veikia aplinką. 2017 metais krovinių automobilių rida siekė 2701 mln. km, o 2020 metais – 3897 mln. km. Vadinas, jog krovinių automobilių rida padidėjo 44 %. Transportas sukuria 23 % antropogeninės emisijos (dėl žmonių veiklos atsiradusio užterštumo), tačiau kelių transportas šiame kiekyje sudaro net 73 %. Šiandien aplinkos išsaugojimas yra viena iš aktualiausių temų. Pradėta kurti aukšto EURO standarto krovinius automobilius, kurie gali iki 95 % sumažinti išmetamųjų dujų kiekį. Šie kroviniai automobiliai yra veiksmingi ir greitai atsiperkantys įmonei.

**Reikšminiai žodžiai:** Aplinkosauga, žalioji logistika, tarša, krovininis automobilis.

## Įvadas

Pastarojo šimtmečio pasaulinis ekonomikos augimas paskatino didžiulį prekių suvartojimą, o globalizacija lėmė didelius prekių srautus visame pasaulyje. Prekių gamyba, transportavimas, saugojimas ir vartojimas sukėlė didelių aplinkosaugos problemų. Šiandien pasaulinis atšilimas, kurį sukelia didelio masto šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas, yra didžiausias aplinkosaugos klausimas. Vyriausybės, veiklos grupės ir įmonės prašo imtis priemonių šiai grėsmei įveikti. Kaip teigia Čižiūnienė, Matijošius (2018) ir kiti „Žaliosios logistikos koncepcijos svarba minima regioniniu, nacionaliniu ir globaliu lygmeniu, tačiau būtent verslo sektorius yra esminis pamatas ir branduolys, įgyvendinant šios naujos koncepcijos iniciatyvas ir principus. Žaliosios logistikos įgyvendinimas – tai įmonės sugebėjimas savo veiklą vykdyti, atsižvelgiant į ekonominius, socialinius ir aplinkosaugos veiksnius, bei tokiu būdu didinti savo konkurencingumą“.

Tyrimo objektas: Krovinių automobilių rida (mln.km), mokesčio už taršą duomenys.

Tyrimo tikslas: Įvertinti krovinių automobilių, komercinių iki 3,5 t daromą įtaką aplinkai.

Tyrimo uždaviniai:

1. Išanalizuoti žaliosios logistikos svarbą ir sprendimus transporto įmonėms.
2. Remiantis atlikta statistinių duomenų analize, įvertinti krovinių automobilių teršalų kiekį išmetamosiose dujose pagal skirtingas pavarų dėžes taikant skaičiuokles.

Tyrimo metodika – literatūros analizė, statistinių duomenų analizė, lyginamoji analizė.

## 1. Žaliosios logistikos svarba ir sprendimai transporto įmonėms

Žalioji logistika turi reikšmingą įtaką verslo patiriamoms išlaidoms, bendravimui su klientais. „Žalioji logistika – tai sprendimai, apimantys viską, kas susiję su

produkcijos transportavimo veikla. Žaliosios logistikos tikslas – poreikių patenkinimas minimaliomis išlaidomis, sukeltant kuo mažesnę neigiamą poveikį aplinkai. Žalioji logistika dar vadinama tvariaja tiekimo grandinės vadyba, kuri apima aplinkos apsaugos integravimąsi į tiekimo grandinės vadybą. Tokios logistikos pagrindinė užduotis yra atsižvelgti ne tik į pačią įmonę, bet ir į aplinką, bei poveikį jai. Įmonės ekologinė atsakomybė susipina su išorinių organizacijų veikla, todėl „žalioji“ apsirūpinimas užima svarbų vaidmenį. Tokios įmonės, kurios taiko žaliosios logistikos principus ir stengiasi sumažinti ekologinę atsakomybę už perkamas prekes savo veikloje, ieško tiekėjų, kurie taip pat paiso aplinkosaugos standartų“. (McKinnon ir kt. 2018).

Čepinskis ir Masteika (2011) teigia, kad „žalioji logistika apima keturias įgyvendinimo sritis:

1. Paskirstymą: modalinis transportas, reversinė logistika, transporto rūšių alternatyvos (geležinkelių, vidaus vandens, jūros transportas);
2. Energijos naudojimą: energijos vartojimo mažinimas, taršos lygio mažinimas, CO<sub>2</sub> lygio mažinimo įtraukimas į įmonių veiklos politiką, logistinės veiklos poveikio aplinkai matavimas;
3. Gamybą: švarių technologijų naudojimas, atliekų mažinimas, jų apdirbimas ir valdymas;
4. Žaliavų gavybą: darnus pirkimas, mažiau teršiančių medžiagų naudojimas, atliekų perdirbimas, pakartotinas produktų naudojimas“.

Žalioji logistika yra svarbi ne tik įmonėms, bet ir pačiai aplinkai. Įmonės nusipirkusios krovinius automobilius, kurie išmeta mažiau CO<sub>2</sub>, galėtų pagerinti aplinką. Ščecino jūrų universiteto (Maritime University of Szczecin) prof. Stanislawas Iwanas konstatavo, kad būtina siekti tvarios miesto logistikos (angl. Sustainable City Logistic) ir pateikė prognozes apie miestų augimą: jei XXI a. pradžioje Europos miestuose gyveno 46 % gyventojų, tai 2025 m. – prognozuojama 75 %, o 2050 m. – 84 %. Tai išprovokuos ir didesnius transporto srautus, ir pareikalaus didesnių logistikos

apimčių. Transportas sukuria 23 % antropogeninės emisijos (dėl žmonių veiklos atsiradusio užterštumo), tačiau kelių transportas šiame kiekyje sudaro net 73 %. Ir ne anglies dioksidas (CO<sub>2</sub>) yra kenksmingiausias miestams, bet kiti automobilių išmetami teršalai. Antoni ir kt. (2015) teigia, kad „transportas sukuria 25 proc. viso CO<sub>2</sub> pėdsako. Didžiąją dalį šio pėdsako sukuria automobilių transportas, tačiau ir oro, ir jūrų transporto sukuriamas CO<sub>2</sub> pėdsakas didėja. Egzistuoja tikimybė, kad iki 2050 m. transporto sektoriaus sukuriamas CO<sub>2</sub> pėdsakas padidės dvigubai. Autoriai, atlikę tyrimą, nustatė, kad reikšmingai prie CO<sub>2</sub> pėdsako mažinimo prisidėtų: transporto priemonių efektyvumo didinimas, technologiniai transporto priemonių patobulinimai, teisinio reguliavimo pokyčiai, apmokestinimo pokyčiai, transporto sistemų integracija, spūsčių infrastruktūros gerinimas, degalų patobulinimai, informatyvumo ir žinomumo didinimas, saugumo stiprinimas, prieigos gerinimas“.

Įmonės turinčios nuosavame parke krovininius automobilius turi galvoti apie tai, kad įsigytų kuo mažiau taršias transporto priemones. Ekologiškas transportas šiandien – viena aktualiausių temų. Ekologiško transporto naudojimo praktika leistų organizacijoms paskatinti augimą ir sumažinti bendras gamybos sąnaudas. Prie žaliosios logistikos norinčios pereiti organizacijos turėtų imtis konkrečių veiksmų, pradedant logistikos sistemos elementų pertvarka, atsižvelgus į aplinkos, ekonominius ir socialinius veiksnius. G. Radavičiūtė, A. Jarašiūnienė (2019) aptarė bendrąsias žaliosios logistikos priemones, kurios galėtų padėti spręsti minėtas problemas: maršrutų optimizavimas, ekologiškesnių krovininių automobilių naudojimas, ekologiški vežėjai ir didesnis viešojo sektoriaus įsitraukimas. J. Barysienė ir kt. (2015) išskyrė žaliosios logistikos veiksnius, kurie organizacijoms galėtų būti naudingi: tiekėjų, kuriems nesvarbios aplinkos problemos, darbuotojų mokymas / kompetencijos tobulinimas; bendradarbiavimas su valdžios institucijomis, sprendžiančiomis probleminius klausimus; bendradarbiavimas su užsienio šalimis aplinkos apsaugos klausimais; darbuotojo socialinės atsakomybės skatinimas. Transporto organizacijos turi nemažai galimybių prisidėti prie žaliosios logistikos įgyvendinimo.

I. Kaveckė, J. Paužuolienė (2020) išskiria žaliuosius sprendimus organizacijose (žr. 1 lentelė). Jie gali būti pritaikomi transporto įmonėse.

Galima teigti, kad transporto organizacijų galimybes pereiti prie „žaliųjų“ sprendimų didžiulės. Savo veikloje jos gali nusimatyti ir siekti įgyvendinti žaliosios logistikos tikslus: mažinti transporto sąnaudas, atitinkamai ir oro taršą; naudoti alternatyviuosius degalus ir skatinti degalus taupantį vairavimą. Visa tai turėtų gerokai sumažinti sukeliančią CO<sub>2</sub> dujų emisiją iš transporto priemonių.

Siekiant sumažinti CO<sub>2</sub> dujų emisiją būtina vertinti skirtingų degalų tipų transporto priemones ir jų sukeliamą taršą aplinkai.

### 1 lentelė. Žalieji sprendimai transporto įmonėms

Žalieji sprendimai organizacijose	Įgyvendinimo galimybės
Naudoti alternatyviuosius degalus	1. Naudojant biodyzeliną iki 65 proc. mažesnė tarša CO <sub>2</sub> . 2. Naudojant suskystintas gamtines dujas (SGD), 10–15 proc. mažesnė tarša CO <sub>2</sub> , gerokai mažesnė oro tarša ir triukšmas.
Skatinti degalus taupantį vairavimą	Vairuotojų mokymo programų, kurios skatintų taikyti veiksmingo vairavimo įgūdžius, vykdymas, taikant tam tikrą vairavimo stilių, leistų padidinti degalų veiksmingumą iki 10 proc., o tai lemtų mažesnę CO <sub>2</sub> išmetimą.

Šaltinis: Kaveckienė, Paužuolienė (2020) Transporto įmonių aplinkosaugos tendencijos pereiti prie žaliosios logistikos

Am.lrv.lt. (2021) rašoma, „Lyginant dyzelinu ir benzinu varomų automobilių taršą, azoto oksidais labiau teršia dyzeliniai (Euro 5 standarto – iki 8-9 kartų daugiau), išskyrus ypač senas Euro 1 standarto transporto priemones – pastarojoje grupėje šiek tiek taršesni benzininiai modeliai. Dyzelinu varomi automobiliai taip pat išmeta gerokai daugiau kietųjų dalelių (Euro 3 ir Euro 4 standarto – iki 6 kartų daugiau), išskyrus naujausio Euro 6 standarto automobilius – šių benzininių ir dyzelinių modelių šio teršalo išmetimai panašūs. Daugiau anglies monoksido ir angliavandenilių išmeta benzinu varomi automobiliai, ypač kai lyginamos Euro 4 standarto ir senesnės transporto priemonės (..) Europos Komisijos pasiūlymas numato, kad į mokesčio apskaičiavimo bazę turėtų būti įtrauktas CO<sub>2</sub> išmetimo faktorius, tačiau Valstybės narės taip pat galėtų pasirinkti į mokesčio apskaičiavimo bazę įtraukti ir kitus teršalus. Tarp kitų teršalų svarbus vaidmuo tenka dyzelinių automobilių išmetamoms kietosioms dalelėms. Dyzeliniai automobiliai išmeta mažiau CO<sub>2</sub>, todėl pastaruoju metu dyzelinių automobilių įsigijimas buvo netgi skatinamas. Tačiau pastarieji tyrimai 14 atskleidė dyzelinių automobilių išmetamų kietųjų dalelių (ypač KD2,5) daromą didžiulę žalą sveikatai. Todėl Europos Sąjunga vis labiau griežtina reikalavimus dyzelinių automobilių teršalų emisijoms, o taip pat reikalavimus naujų modelių testavimui. Atsižvelgiant į dyzelinių automobilių keliamą taršą kietosiomis dalelėmis, kai kurios Valstybės narės (pvz., Švedija) dyzeliniams automobiliams taiko didesnę mokesčio tarifą už tą patį CO<sub>2</sub> emisijos kiekį, lyginant su benzininiais automobiliais“.

Galime pastebėti didesnius taršos mokesčius Lietuvoje dyzeliniams automobiliams negu benzininiams, nes vertinama tik pagal CO<sub>2</sub> išmetimo faktorių.

Autotoja.lt (2012) rašoma „Dyzeliniai varikliai gali sunaudoti mažiau degalų ir išmesti mažiau CO<sub>2</sub> dujų nei benzininiai varikliai. Dėl šių priežasčių ir potencialaus taupumo sumetimais apie 50 % šiandien Europoje parduodamų naujų automobilių yra dyzeliniai. Tačiau išmetamosiose dyzelino dujose yra daugiau kietųjų dalelių (PM) bei azoto oksidų (NOx), kurie, jei tinkamai

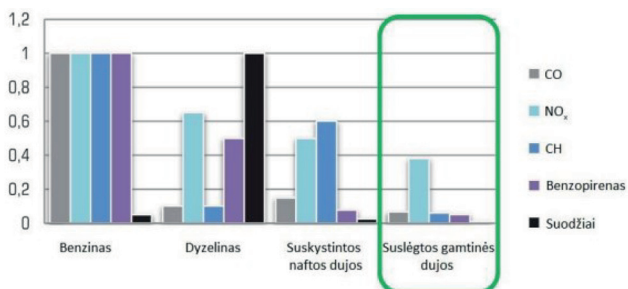
neapdoroti, teršia orą“.

V.Švelnia (2012) teigia, kad „dyzeliniai automobilių varikliai daug mažiau išskiria anglies monoksido (CO), nei benzininiai automobiliai esant tiek teigiamai, tiek neigiamai temperatūrai. Esant žemesnei temperatūrai CO tarša padidėja tiek benzininių, tiek dyzelių automobilių naudojimo atveju. Tačiau didesnis taršos padidėjimas esant žemesnei temperatūrai pasireiškia naudojant benzininius automobilius.

Apibendrinant dyzeliniai automobiliai mažiau išskiria anglies monoksido, angliavandenilių gali sunaudoti mažiau degalų. Tik lyginant benzininius išskiria daugiau kietųjų dalelių, azoto oksidų. Vertinant dyzelių ir benzininių automobilių taršą vertėtų pereiti prie gamtinių dujų alternatyvos.

Jevgenij Kibickij (2017) teigia, kad „Gamtinių dujų deginiai atitinka leidžiamąsias išmetamų teršalų normas. Jų, kaip ekologiškai švarių degalų, privalumai itin gerai atsiskleidžia miestuose – palyginus dyzelių ir dujinių degalų taršą (g/km) nustatyta, kad gamtinėmis dujomis maitinami automobiliai 90 % mažiau nei maitinami dyzelinu teršia aplinką dūmais, kietosiomis dalelėmis ir sieros dvideginiu, 50 % mažiau – anglies monoksidu ir 20 % mažiau – azoto oksidais ir reaguojančiais angliavandeniliais. Palyginus su benzino tarša, gamtinės dujos 80 % mažiau teršia aplinką azoto oksidais, 25 % mažiau – anglies monoksidais, 20 % mažiau – reaguojančiais angliavandeniliais ir 75 % mažiau – anglies dvideginiu“.

1 paveiksle matyti suslėgtų gamtinių dujų privalumus prieš benzininių ir dyzelių kiekius išmetamosiose dujose.



1 pav. Lyginamasis toksiškų medžiagų kiekis išmetamosiose dujose

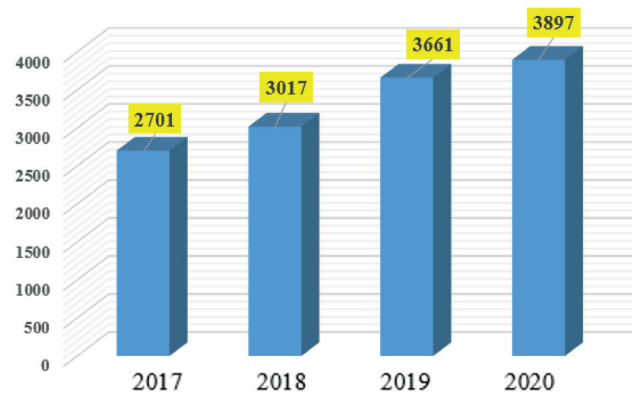
Šaltinis Kibickij (2017).

## 2. Krovinių automobilių taršos tyrimas

Siekiant įvertinti krovinių automobilių taršą analizuojama: krovinių automobilių rida, mokestis už taršą vertinant degalų tipą, pavarų dėžę ir CO<sub>2</sub>.

Pagal Lietuvos statistikos departamento duomenis buvo atlikta kelių transporto krovinių automobilių, komercinių iki 3.5 tonos analizė. Ši rida parodo kiek per 2017–2020 metus buvo nuvažiuota milijonų kilometrų krovinių automobiliais.

2 paveiksle yra matoma krovinių automobilių rida (kroviniai automobiliai su kroviniu ir be krovinio,



2 pav. Krovinių automobilių rida (mln.km)

Šaltinis <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?indicator=S5R040#/2021>

Pavarų dėžė	Mechaninė
Masė, kg	3500
CO <sub>2</sub> , g/km	367

3 pav. Krovinių automobilių išmetamųjų dujų kiekis (dyzelinas + mechaninė pavarų dėžė)

Šaltinis [skaiciuokle.lt/skaiciuokles/automobiliu-tarsos-mokestis.2021](https://skaiciuokle.lt/skaiciuokles/automobiliu-tarsos-mokestis.2021)

vežta už atlyginimą) (mln. km). Matoma, jog 2017 metais krovinių automobilių rida siekė 2701 mln. km, o 2020 metais – 3897 mln. km. Vadinasi, jog krovinių automobilių rida padidėjo 44 %. Pagal 1 paveikslo duomenis galima apskaičiuoti, koks buvo išmetamųjų dujų kiekis 2017–2020 metais krovinių automobilių iki 3,5 t. Nors taršos mokestis įsigaliojo 2020 metų liepos 1 dieną, bet buvo vertinami ir 2017, 2018 bei 2019 metai. Tuo norima parodyti, koks būtų taršos mokestis, jei jis būtų įvestas 2017 metų pradžioje. Taršos mokestis yra vertinamas pagal degalų tipą, pavarų dėžės tipą bei galią, kw (tik benzininiai automobiliai, nes dyzeliniams skaičiuoklės nesuteikė galimybės įrašyti variklio galią).

Iš pradžių vertinama krovinių transporto priemonė, kurios degalų tipas-dyzelinas, o pavarų dėžė-mechaninė. 3 paveiksle matyti, jog toks krovinis automobilis sukuria 367 CO<sub>2</sub>, g/km. Taip pat skaičiuoklė atskleidė, jog būtų taikomas 540 Eur. taršos mokestis.

Tuomet skaičiuojama, kiek 2017–2020 metais tokio tipo krovinis automobilis sukuria taršos CO<sub>2</sub>, mln.g.:

$$T = X \times Y \quad (1)$$

čia: X – rida, mln. km., Y – išmetamųjų dujų kiekis, g/km  
 2017 metai:  $T = 2701 \text{ mln.km} \times 367 \text{ g/km} = 991,3 \text{ mln.g}$   
 2018 metai:  $T = 3017 \text{ mln.km} \times 367 \text{ g/km} = 1107 \text{ mln.g}$   
 2019 metai:  $T = 3661 \text{ mln.km} \times 367 \text{ g/km} = 1344 \text{ mln.g}$   
 2020 metai:  $T = 3897 \text{ mln.km} \times 367 \text{ g/km} = 1430 \text{ mln.g}$

Žinant, kad krovinis automobilis dyzelinis su mechanine pavarų dėže išmeta 367 CO<sub>2</sub>, g/km., o taršos mokestis 540 Eur. 2017 metais būtų taršos mokestis 1458,59 mln. Eur. 2018 metais 1628.83 mln. Eur., 2019



metais 1977,55 mln. Eur, o 2020 metais 2104,09 mln. Eur.

Matyti, jog didžiausia tarša buvo 2020 metais, o mažiausia 2017 metais.

Nagrinėjamas krovininis automobilis, kurio degalų tipas-dyzelinas, o pavarų dėžė-automatinė. 4 paveiksle matyti, jog toks krovininis automobilis sukuria 400 CO<sub>2</sub>, g/km. Taršos mokestis išlieka toks pat kaip su mechanine pavarų dėže 540 Eur.

Pavarų dėžė	Automatinė
Masė, kg	3500
CO <sub>2</sub> , g/km	400

4 pav. Krovininių automobilių išmetamųjų dujų kiekis (dyzelinas + automatinė pavarų dėžė)

*Šaltinis skaiciuokle.lt/skaiciuokles/automobiliu-tarsos-mokestis.2021*

Tuomet skaičiuojama kiek 2017-2020 metais tokio tipo krovininis automobilis sukuria taršos CO<sub>2</sub>, mln.g.:

2017 metai:  $T = 2701 \text{ mln.km} \times 400 \text{ g/km} = 1081 \text{ mln.g}$   
 2018 metai:  $T = 3017 \text{ mln.km} \times 400 \text{ g/km} = 1207 \text{ mln.g}$   
 2019 metai:  $T = 3661 \text{ mln.km} \times 400 \text{ g/km} = 1464,4 \text{ mln.g}$   
 2020 metai:  $T = 3897 \text{ mln.km} \times 400 \text{ g/km} = 1558,8 \text{ mln.g}$

Apskaičiuojama, jog daugiausia taršos 2020 metais, mažiausiai 2017 metais.

Kadangi krovininis automobilis dyzelinis su automatine pavarų dėže išmeta 400 CO<sub>2</sub>, g/km., o taršos mokestis 540 Eur. 2017 metais būtų taršos mokestis 1459,35 mln. Eur. 2018 metais 1629,45 mln. Eur., 2019 metais 1976,94 mln. Eur, o 2020 metais 2104,38 mln. Eur.

Nagrinėjamas krovininis automobilis, kurio degalų tipas-benzinas, o pavarų dėžė-mechaninė. 5 paveiksle matyti, jog toks krovininis automobilis sukuria 263 CO<sub>2</sub>, g/km. Siekinat pasirinkti galią buvo atliekamas žvalgybinis tyrimas autoplius.lt autogidas.lt portaluose, kuriuose parenkamas krovininis automobilis iki 3,5t pagal kuro tipą ir randama didžiausia (86 Kw) ir mažiausia (63 Kw) galima pagal skelbimus galia. Tuomet sudedamos galios ir padalinami iš dviejų. Todėl skaičiuoklėje skaičiuojant benzinį tipą pasirenkama 75 kW. Taršos mokestis išlieka toks pat kaip su mechanine pavarų dėže 195 Eur.

Pavarų dėžė	Mechaninė
Masė, kg	3500
Galia, kW	75
CO <sub>2</sub> , g/km	263

5 pav. Krovininių automobilių išmetamųjų dujų kiekis (benzinas + mechaninė pavarų dėžė)

*Šaltinis skaiciuokle.lt/skaiciuokles/automobiliu-tarsos-mokestis.2021*

Tuomet skaičiuojama, kiek 2017–2020 metais tokio tipo krovininis automobilis sukuria taršos CO<sub>2</sub>, mln.g.:

2017 metai:  $T = 2701 \text{ mln.km} \times 263 \text{ g/km} = 710 \text{ mln.g}$   
 2018 metai:  $T = 3017 \text{ mln.km} \times 263 \text{ g/km} = 793 \text{ mln.g}$   
 2019 metai:  $T = 3661 \text{ mln.km} \times 263 \text{ g/km} = 962 \text{ mln.g}$   
 2020 metai:  $T = 3897 \text{ mln.km} \times 263 \text{ g/km} = 1025 \text{ mln.g}$

Žinant, kad krovininis automobilis benzininis su mechanine pavarų dėže išmeta 263 CO<sub>2</sub>, g/km., o taršos mokestis 210 Eur. 2017 metais būtų taršos mokestis 567 mln. Eur. 2018 metais 633,19 mln. Eur., 2019 metais 768,14 mln. Eur, o 2020 metais 818,44 mln. Eur.

Nagrinėjamas krovininis automobilis, kurio degalų tipas-benzinas, o pavarų dėžė-automatinė. 6 paveiksle matyti, jog toks krovininis automobilis sukuria 386 CO<sub>2</sub>, g/km. Taršos mokestis išlieka toks pat kaip su mechanine pavarų dėže 270 Eur.

Pavarų dėžė	Automatinė
Masė, kg	3500
Galia, kW	75
CO <sub>2</sub> , g/km	391

6 pav. Krovininių automobilių išmetamųjų dujų kiekis (benzinas + automatinė pavarų dėžė)

*Šaltinis skaiciuokle.lt/skaiciuokles/automobiliu-tarsos-mokestis.2021*

Tuomet skaičiuojama kiek 2017-2020 metais tokio tipo krovininis automobilis sukuria taršos CO<sub>2</sub>, mln.g.:

2017 metai:  $T = 2701 \text{ mln.km} \times 391 \text{ g/km} = 1056 \text{ mln.g}$   
 2018 metai:  $T = 3017 \text{ mln.km} \times 391 \text{ g/km} = 1180 \text{ mln.g}$   
 2019 metai:  $T = 3661 \text{ mln.km} \times 391 \text{ g/km} = 1431 \text{ mln.g}$   
 2020 metai:  $T = 3897 \text{ mln.km} \times 391 \text{ g/km} = 1524 \text{ mln.g}$

Kadangi krovininis automobilis benzininis su automatine pavarų dėže išmeta 391 CO<sub>2</sub>, g/km., o taršos mokestis 270 Eur. 2017 metais būtų taršos mokestis 729,21 mln. Eur. 2018 metais 814,83 mln. Eur., 2019 metais 988,16 mln. Eur, o 2020 metais 1052,38 mln. Eur. Pagal atliktus skaičiavimus matoma, jog daugiausia CO<sub>2</sub> kiekio buvo išmesta 2020 metais. Tai parodo krovininių automobilių rida. Taip pat matoma, jog daugiausia CO<sub>2</sub> kiekio išmeta krovininiai automobiliai (dyzelinas + automatinė pavarų dėžė).

Jeigu renkamas krovininis automobilis hibridas toks krovininis automobilis sukuria 349 CO<sub>2</sub>, g/km. Taršos mokesčio suma yra 243 Eur.

Kuro tipas	Hibridas (3)
Masė, kg	3500
CO <sub>2</sub> , g/km	349

<sup>(1)</sup> Varoma dyzelinu ir dyzeliniu/dujomis.

<sup>(2)</sup> Varoma benzinu, benzinu/dujomis, benzinu/etanoliu, benzinu/etanoliu/dujomis, etanolu ir etanolu/dujomis.

<sup>(3)</sup> Varoma benzinu/elektra, benzinu/elektra/dujomis, dujomis/elektra ir dyzelinu/elektra.

7 pav. Krovininių automobilių išmetamųjų dujų kiekis (hibridas)

*Šaltinis skaiciuokle.lt/skaiciuokles/automobiliu-tarsos-mokestis.2021*

Tuomet skaičiuojama kiek 2017-2020 metais tokio tipo krovinių automobilis sukuria taršos CO<sub>2</sub>, mln.g.:

2017 metai:  $T = 2701 \text{ mln.km} \times 349 \text{ g/km} = 942,65 \text{ mln.g}$   
 2018 metai:  $T = 3017 \text{ mln.km} \times 349 \text{ g/km} = 1052,93 \text{ mln.g}$   
 2019 metai:  $T = 3661 \text{ mln.km} \times 349 \text{ g/km} = 1278 \text{ mln.g}$   
 2020 metai:  $T = 3897 \text{ mln.km} \times 349 \text{ g/km} = 1360,05 \text{ mln.g}$

Žinant, kad krovinių automobilis hibridas išmeta 349 CO<sub>2</sub>, g/km., o taršos mokestis 243 Eur. 2017 metais būtų taršos mokestis 656,34 mln. Eur. 2018 metais 733,13 mln. Eur., 2019 metais 889,84 mln. Eur., o 2020 metais 946,97 mln. Eur.

2 lentelėje matyti, jog remiantis 2 paveikslu duomenimis daugiausia 2017-2020 metų laikotarpiu taršos mokesčio sudarė dyzelino degalų tipo krovinių automobilis.

Pavarų dėžė mechaninė lentelėje žymima M, o automatinė pavarų dėžė žymima A

**2 lentelė.** Krovinių automobilio taršos dydis ir mokestis pagal skirtingus degalų tipus ir pavarų dėžes 2017-2020 m vertinant ridą

Degalų tipas	Pavarų dėžė	Taršos mokesčio dydis pagal ridą (mln. Eur)			
		2017 m	2018 m	2019 m	2020 m
Dyzelinas	M	1458,59	1628,83	1977,55	2104,09
Dyzelinas	A	1459,35	1629,45	1976,94	2104,38
Benzinas	M	567	633,19	768,14	818,44
Benzinas	A	729,21	814,83	988,16	1052,38
Hibridas	-	656,34	733,13	889,84	946,97

Atlikus tyrimą vertinant krovinių transporto ridą 2017-2020 metais 3 lentelėje galima matyti, jog mažiausiai taršos sukuria krovinių benzininis automobilis su mechanine pavarų dėže. Šis automobilis kuria 137 CO<sub>2</sub>, g/km mažiau nei dyzelinis su automatinė pavarų dėže. Taršos mokestis 330 Eur mažesnis benzininio su mechanine pavarų dėže negu dyzelinio su mechanine ar automatinė pavarų dėže.

**3 lentelė.** Krovinių automobilio taršos dydis ir mokestis pagal skirtingus degalų tipus ir pavarų dėžes.

Degalų tipas	Pavarų dėžė	CO <sub>2</sub> , g/km	Taršos mokestis (Eur)
Dyzelinas	Mechaninė	367	540
Dyzelinas	Automatinė	400	540
Benzinas	Mechaninė	263	210
Benzinas	Automatinė	391	270

Šaltinis: sudaryta autorių remiantis skaičiuokle.lt

Dyzelinis automobilis su mechanine pavarų dėže yra ~30% taršesnis, nei benzininis automobilis su mechanine pavarų dėže. Taip pat dyzelinis automobilis su automatinė pavarų dėže yra taršesnis nei benzininis automobilis su automatinė pavarų dėže. Tik čia skirtumas jau nedidelis apie ~2,25%.

Skaiciuokle.lt duomenys yra lyginami su eregitra.lt duomenimis (žr. 4 lentelė).

Palyginus vien benzinu varomas transporto priemonės su benzinu ir dujomis nepriklausomai nuo pa-

**4 lentelė.** Krovinių automobilio taršos dydis ir mokestis pagal skirtingus degalų tipus ir pavarų dėžes.

Degalų tipas	Pavarų dėžė	CO <sub>2</sub> , g/km	Taršos mokestis (Eur)
Dyzelinas	Mechaninė	366.62	541.08
Dyzelinas	Automatinė	399.56	541.08
Benzinas	Mechaninė	263,19	210,42
Benzinas	Automatinė	391,08	270,54
Benzinas+dujos	Mechaninė	263,19	189,38
Benzinas+dujos	Automatinė	391,08	243,49

Šaltinis: sudaryta autorių remiantis eregitra.lt

varų dėžės matome CO<sub>2</sub> kiekis nepasikeičia, tačiau sumažėja taršos mokestis vidutiniškai 10 %.

Atliktas krovinių automobilio taršos tyrimas atskleidė, jog daugiausia taršos sukuria dyzeliniai krovinių automobiliai (400 g/km) automatinė pavarų dėže. Mažiau 8 g/km CO<sub>2</sub> taršos sukuria benzininis automatinė pavarų dėže. Šie rezultatai gauti taikant skaičiuokles [skaiciuokle.lt/skaiciuokles/automobiliu-tarsos-mokestis.2021](http://skaiciuokle.lt/skaiciuokles/automobiliu-tarsos-mokestis.2021) ir [eregitra.lt](http://eregitra.lt) vertinat masę, pavaros tipą neatsižvelgiant į transporto priemonės modelį, markę, važiavimo greitį. Nustatyti tikslų CO<sub>2</sub> kiekį galima remiantis kitų jau registruotų lygiaverčių automobilio duomenimis tik „Regitros“ padalinėje registruojant transporto priemonę. Šiame tyrime nebuvo vertinama [skaiciuokle.lt](http://skaiciuokle.lt) ir [eregitra.lt](http://eregitra.lt) anglies monoksido, anglivandenilių, kietųjų dalelių, azoto oksidų. Jei būtų įtrauktas šių teršalų kiekis rezultatai, remiantis literatūros analize, būtų mažiau taršus benzinu ir dujomis varomas krovinių automobilis.

## Išvados

1. Žalioji logistika svarbi ne tik verslui, bet ir tvarių miestų kūrimui. Siekiant sumažinti CO<sub>2</sub> taršą būtina taikyti mažiau taršias ekologiškas transporto priemones, parengti teisinio reguliavimo pokyčius, naudoti alternatyvius degalus, skatinti degalus taupantį vairavimą. Tai pagrindiniai autorių literatūros analizėje išskirti sprendimai siekiant žaliosios logistikos įgyvendinimo ne tik miestuose, bet ir įmonėse. Įmonės nusipirkusios krovinių automobilius, kurie išmeta mažiau CO<sub>2</sub> ne tik tausotų aplinką, bet ir sutaupyti išlaidų.

2. Krovinių automobilio taršos tyrimas atskleidė, jog mažiausiai taršos sukuria krovinių benzininis automobilis su mechanine pavarų dėže. Šis automobilis kuria 137 CO<sub>2</sub>, g/km mažiau nei dyzelinis su automatinė pavarų dėže. Taršos mokestis 330 Eur mažesnis benzininio su mechanine pavarų dėže negu dyzelinio su mechanine ar automatinė pavarų dėže. Dyzelinis automobilis su mechanine pavarų dėže yra ~30% taršesnis, nei benzininis automobilis su mechanine pavarų dėže. Taip pat dyzelinis automobilis su automatinė pavarų dėže yra taršesnis nei benzininis automobilis su automatinė pavarų dėže. Tik skirtumas jau nedid-

delis apie ~2,25%. Vertinant benzinu ir dujomis varomą transporto priemonę CO<sub>2</sub> nesikeičia, tačiau taršos mokestis sumažėja ~10 %. Tyrimo metu nebuvo skaičiuoklėse vertinama anglies monoksido, angliavandenių, kietųjų dalelių, azoto oksidų.

## Literatūra

- Am.lrv.lt. Dyzeliniai ir benzininiai automobiliai. Prieiga per internetą: <https://am.lrv.lt/lt/naujienos/dyzeliniai-automobiliai-miesto-ora-tersia-tris-kartus-daugiau-uz-norma-sunkieji-net-keliolika>.
- Antoni, A., Perič, M., Čišič, D. (2015). Green logistics – measures for reducing CO<sub>2</sub>. Multidisciplinary Scientific Journal of Maritime Research, 29, 45–51. Prieiga per internetą: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwiB5vuyoffmAhUwyoKHRA3BRgQFjABegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fhrcak.srce.hr%2Ffile%2F206870&usg=AOvVaw26HxYxUYQl6KbFm2uj0If>.
- Autotoja.lt Toyota ir aplinkosauga [https://www.autotoja.lt/site/files/TOYOTA\\_ir\\_APLINKOSAUGA.pdf](https://www.autotoja.lt/site/files/TOYOTA_ir_APLINKOSAUGA.pdf)
- Barysienė, J., Batarlienė, N., Bazaras, D. ir kt. (2015). Analysis of the Current Logistics and Transport Challenges in the Context of the Changing Environment. Transport, Vol. 30, No. 2, p. 233–241.
- Čepinskis, J., Masteika, I. (2011). Impacts of Globalization on Green Logistics Centers in Lithuania. Aplinkos tyrimai, Inžinerija ir vadyba, 1(55), 34–42.
- Čižiūnienė, Matijošius (2018) TRANSPORTO POLITIKOS REALIZAVIMO NAUDOJANT HIBRIDINIŲ AUTOMOBILIŲ POPULIARINIMĄ: TEORINĖS GAIRĖS INŽINERINĖS IR EDUKACINĖS TECHNOLOGIJOS Mokslinių straipsnių žurnalas Kauno technikos kolegija, 2017 <http://www.ktk.lt/assets/Uploads/Zurnalas-2018-01-new.pdf>
- Eregitra (2021). Registracijos mokestis. Prieiga per internetą: <https://eregitra.lt/viesa/registracijos-mokestis/>.
- Kaveckė, I., & Paužuolienė, J. (2021). Transporto įmonių aplinkosaugos tendencijos ir galimybės pereiti prie žaliosios logistikos. Regional Formation and Development Studies, 33(1), 17–27. doi:10.15181/rfds.v33i1.2196.
- Kibickij, J. (2017). Gamtinių dujų ir benzino naudojimo kibirkštinio uždegimo variklyje efektyvumo tyrimas (Baigiamasis magistro darbas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas)
- McKinnon, A., Browne, M., Whiteing, A., Piecyk, M. (2018). Žalioji logistika: kaip sumažinti žalą aplinkai. Vilnius: VGTU
- Osp.stat.gov.lt (2021). Krovinių automobilių rida. Prie-

ga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/statistiniu-rodikliu-analize?indicator=S5R040#/>.

- Radavičiūtė, G., Jarašiūnienė, A. (2019). Žaliosios logistikos taikymo reikšmė kelių transporte. Transporto inžinerija. Skaičiuoklė.lt (2021). Taršos mokestis. Prieiga per internetą: <https://skaiciuokle.lt/skaiciuokles/automobiliu-tarsos-mokestis?fbclid=IwAR38UcHyqyWMpl5j4wJhloELD9dxNqP2SPPxi8ypR8nJkKW608nLisBz8n9w>.
- Švelnia, V (2012) Katalizinio deginių neutralizatoriaus veikimo galimybių tyrimas Research of possibilities of operation analysis of the catalytic exhaust gas neutralizer baigiamasis magistro darbas. Vilnius: VGTU Prieiga per internetą: <https://vb.vgtu.lt/object/elaba:2064258>
- Žalioji politika, lt (2021). Žalieji sprendimai. Prieiga per internetą: <http://zaliojipolitika.lt/zalieji-sprendimai-ateities-miestams-maziau-tarsi-logistika/>.

## THE IMPORTANCE OF TRUCKS POLLUTION FOR GREEN LOGISTICS

Daniel Žukovski, Eva Skliaustė, Indrė Sprogytė

Vilnius College of Technology and Design

**Abstract** The article discusses the importance of green logistics. Today, the climate change situation is the biggest challenge for future generations. CO<sub>2</sub> (carbon dioxide) emissions have increased significantly over the last decade due to urban development and population growth (new carbon dioxide was 413.2 parts per million (ppm)). The growing pollution from lorries is particularly important. The analysis of the data of the Lithuanian Department of Statistics revealed that with the increase in the mileage of trucks, CO<sub>2</sub> emissions increase in a similar way, which in turn has a negative impact on the environment. In 2017, the mileage of trucks reached 2701 million. km, and in 2020 - 3897 million. km. As a result, truck mileage increased by 44%. Transport accounts for 23% of anthropogenic emissions (from human pollution), but road transport accounts for as much as 73%. Preserving the environment is one of the most pressing topics today. The development of high EURO standard trucks influenced the decrease of emissions by up to 95%. These trucks are efficient and pay off quickly for the company.

**Key words:** Environmental protection, green logistics, pollution, freight cars

# LIETUVOS GELEŽINKELIŲ SISTEMOS INFRASTRUKTŪROS POSISTEMĖS NORMATYVINIŲ DOKUMENTŲ ANALIZĖ ĮGYVENDINANT EUROPOS SĄJUNGOS REIKALAVIMŲ TIKSLUS

Irina Briuchoveckaja, Julius Gaidys

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

**Anotacija.** Lietuvoje vystomi įvairūs geležinkelių statybos ir plėtros projektai, kurių diegimas ir statyba yra labai reglamentuoti. Problemų atsiranda projektuojant, tiesiant, eksploatuojant skirtingo pločio vėžes geležinkelių linijose, kadangi joms taikomi skirtingi techniniai reikalavimai, apibrėžti Europos Sąjungos ir Nacionaliniuose teisės aktuose. Nacionalinėje teisėje įvairūs techniniai reikalavimai yra perkelti į skirtingus teisės aktus, apsunkinančius geležinkelių infrastruktūros valdytojams ir kitiems susijusiems subjektams jų tiesioginę veiklą. Straipsnio tikslas – įvertinti, ar galima teisės aktus, susijusius su nagrinėjama problema, apibendrinti į vieną arba kelis bendrus teisės aktų rinkinius.

**Reikšminiai žodžiai.** Nacionalinė saugos institucija, geležinkelių sistema, geležinkelių sistemos sąveika, viešoji geležinkelių transporto infrastruktūra, geležinkelių sistemos infrastruktūros posistemis, riedmenų gabaritas, statinių artumo gabaritas, krovinių pakrovos gabaritas, vėžės plotis.

## Įvadas

Įvertinus šių dienų aktualijas Baltijos šalių (Lietuva, Latvija, Estija) transporto geležinkelių sistemose matoma, kad problema aktuali keletui šalių, kurių pagrindiniai techniniai reikalavimai yra pritaikyti geležinkelio vėžės pločiui, kuris yra 1520 mm.

Estijos, Latvijos ir Lietuvos geležinkelių infrastruktūra įgyvendinus „Rail Baltica“ projektą 1435 mm vėžės plotis tampa šių šalių nacionalinės geležinkelių sistemos dalimi.

Geležinkelių transporto veiklos pagrindai grindžiami istoriniais pokyčiais, kurių veiklos pagrindai išdėstyti Lietuvos Respublikos transporto veiklos pagrindų įstatyme (TPI) ir Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto kodekse (GTK). Lietuvos Respublikos transporto veiklos pagrindų įstatymas (TPI) ir Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto kodeksas (GTK), 2004 metais įstojus į Europos Sąjungą, buvo suderinti su Europos Sąjungos teisės aktais nustatyta tvarka.

Geležinkelių transporto infrastruktūra, užtikrinanti geležinkelio transporto veiklą, ir jos objektai, galintys funkcionuoti savarankiškai, turi atitikti Europos Sąjungos teisės aktus ir techninę sąveikos specifikaciją (TSS).

Lietuvos geležinkelių infrastruktūros techninis lygis neatitinka Europinio, todėl prioritetas teikiamas geležinkelių infrastruktūros renovacijai ir modernizavimui tarptautiniuose transporto koridoriuose.

Lietuvos geležinkelio transporto infrastruktūra turi laikytis atitinkamų Europos Sąjungos direktyvų reikalavimų, kurie įgyvendinami jau per ketvirtąjį Europos Sąjungos transporto teisės aktų paketą.

Susipažinus su Jono Butkevičiaus monografija „Lietuvos įstojimo į Europos Sąjungą poveikio šalies transporto sistemai ir transporto sistemos plėtra“ galima įvertinti, kad praėjus daugiau nei dešimtmečiui nuo jos publikacijos, Lietuvos geležinkelio transporto integravimas į Europos Sąjungos geležinkelio transporto sistemą strategiškai svarbus visais aspektais.

Susipažinus su Vilniaus technikos universiteto Kelių katedros publikuotais straipsniais, kuriuose atkreipiamas dėmesys į tai, kad nagrinėjant bet kokį geležinkelių transporto objekto projektavimo, statybos ir priežiūros etapą, būtina taikyti didelį skaičių geležinkelių techninių norminių dokumentų, kuriuose informacija pateikiama atskiruose punktuose (Tumavičė ir Laurinavičius, 2014).

Apie geležinkelių tinklo plėtros sudėtingumą, neišsamų ir painių norminių techninių dokumentų paketą buvo minima straipsnyje (Tumavičė ir Laurinavičius, 2015).

Straipsnyje nagrinėjami Lietuvos geležinkelių sistemos infrastruktūros posistemio reikalavimai įgyvendinant Europos parlamento ir tarybos direktyvos (ES) 2016/798 ir komisijos reglamento (ES) Nr. 1300/2014 tikslus, užtikrinančius saugų geležinkelio tinklo projektavimą, techninę priežiūrą ir eksploatavimą, kai techninių sąveikos specifikacijų taikymas perkeliamas į nacionalinę teisę.

Straipsnyje analizuojami Europos Sąjungos 2016/797 ir 2016/796 direktyvų ir Geležinkelių bendradarbiavimo organizacijos (OSŽD) norminių dokumentų 1435 mm ir 1520 mm geležinkelio vėžės pločio reikalavimai. Tikslui pasiekti buvo atlikta, Lietuvoje naudojamų nacionalinėje teisėje pateikiamų įvairių institucijų teisės aktų, kurie reglamentuoja Lietuvos geležinkelių sistemos infrastruktūros posistemio veiklą, analizė.

Geležinkelių sistemos infrastruktūros posistemis pritaikytas krovinių ir keleivių vežimui, užtikrinant keleivių naudotojų teises ir gerinant keleivių vežimo geležinkeliais paslaugų kokybę. Keleiviai tai yra piliečiai, pageidaujantys naudotis keleivių vežimo geležinkeliais paslaugomis. Dalis keleivių gali būti neįgalūs arba ribotos judėsenos asmenys, kurių judėjimo laisvė neturi būti ribojama arba diskriminuojama. Neįgalūs arba ribotos judėsenos asmenys, gaudami informaciją apie geležinkelio paslaugų pritaikymą jiems, būtų už-

tikrinti, kad pateks į traukinius su juose esančiais patogumais. Geležinkelių sistemos infrastruktūros posistemis pertvarkomas taip, kad galėtų teikti geležinkelio paslaugas visiems piliečiams be apribojimų.

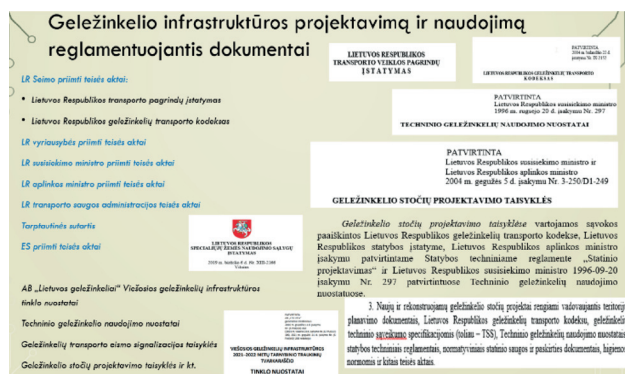
Lietuvos geležinkelių transporto sistemos reikalavimai susieti su 2004 m. gruodžio 23 d. ir 2021 m. vasario 19 d. Lietuvos Respublikos susisiekimo ministro įsakymo Nr. 3-586 ir įsakymo Nr. 3-102 redakcijos pokyčiais dėl *Geležinkelių sistemos reikalavimų nustatymo ir taikymo taisyklių* ir jų taikymo geležinkelių infrastruktūros posistemii. Atskiras dėmesys skiriamas 2005 m. balandžio 25 d. ir 2012 m. birželio 19 d. Lietuvos Respublikos susisiekimo ministro įsakymo Nr. 3-146 ir įsakymo Nr. 3-432 redakcijos pokyčiams dėl *Lietuvos Respublikos taikomų geležinkelių posistemii techninių taisyklių sąrašo* paskelbimo.

Atsižvelgiant į tai, kad LR *Geležinkelių transporto eismo saugos įstatymas* yra taikomas 1435 mm ir 1520 mm pločio vėžių geležinkelių tinklams ir yra nagrinėjamas LR taikomų geležinkelių posistemii techninių taisyklių sąrašas.

Lietuvos geležinkeliams ir geležinkelių transporto įmonėms Lietuvos teritorijoje tenka vykdomoji prievolė laikytis visų aukščiau išvardintų teisės aktų reikalavimų.

Lietuvos geležinkelių atstovai pabrėžė, kad vienas iš didžiausių iššūkių yra geležinkelio stočių peronų, skirtu keleiviams aptarnauti, pritaikymas neįgaliesiems asmenims pagal ES teisės aktų reikalavimus.

Projektuojant, rekonstruojant, naudojant bei prižiūrint geležinkelių infrastruktūrą geležinkelių infrastruktūros valdytojas privalo laikytis reglamentuojančių dokumentų (1 pav.).



1 pav. Geležinkelių infrastruktūrą reglamentuojantis pagrindinių dokumentų sąrašas

Šaltinis: sudaryta autorių

## 1. Europos Sąjungos reikalavimai geležinkelių sistemos sąveikai

Europos Sąjungos 2016/797/ES ir 2016/796/ES direktyvos nustato reikalavimus dėl geležinkelių sistemos sąveikos Europos Sąjungoje siekiant Europos Sąjungos piliečiams, verslo atstovams bei valdžios institucijoms netrukdomai ir visapusiškai naudotis bendra Euro-

pos geležinkelių erdve. Būtina tobulinti nacionalinės geležinkelių tinklų sujungimą ir sąveiką tobulinant ir įgyvendinant visas priemones, reikalingas techninio standartizavimo srityje, kaip numatyta Sutarties dėl Europos Sąjungos veikimo (toliau – SESV).

Sąjungos geležinkelių sistemos sąveika turi užtikrinti optimalų techninio suderinamumo lygį pačioje Europos Sąjungoje ir sąveiką su trečiųjų šalių geležinkelių sistemomis, atkreipiant dėmesį į posovietines geležinkelio sistemas atskirose Europos Sąjungos šalyse.

Siekiant Europos Sąjungos geležinkelių sistemos sąveikos, suteikiančios galimybę teikti geležinkelių transporto paslaugas palankiomis sąlygomis, būtina suderinti Direktyvą (ES) 2016/797 dėl geležinkelių sistemos sąveikos su Direktyva (ES) 2016/798 dėl geležinkelių saugos.

Direktyva (ES) 2016/798 dėl geležinkelių saugos nustato Sąjungos geležinkelių sistemos saugos plėtojimą, jos tobulinimą, kurie užtikrintų platesnes, nediskriminuojančias ir konkurencingas galimybes patekti į geležinkelių transporto paslaugų rinką. Šios direktyvos nuostatos siejamos su tuo, kad Sąjungos geležinkelių sistemos narių ir dalyvių būtų:

- suderintos reguliavimo struktūros;
- nustatyta atsakomybė;
- pašalintas poreikis taikyti nacionalines taisykles, užtikrinančias bendruosius saugos tikslus (BST) ir bendruosius saugos būdus (BSB);
- vienodi saugos sertifikatų ir leidimų išdavimo, sustabdymo arba panaikinimo principai;
- vienodi reikalavimai įsteigiant nacionalinę saugos instituciją;
- bendri geležinkelių saugos valdymo, reguliavimo ir priežiūros principai.

Direktyva (ES) 2016/798 dėl geležinkelių saugos taikoma visai valstybių narių geležinkelių sistemai, kuri užtikrina saugų infrastruktūros ir eismo valdymą, skirtingų Sąjungos geležinkelių sistemos dalyvių, geležinkelio įmonių bei infrastruktūros valdytojų tarpusavio sąveiką.

Geležinkelio transporto infrastruktūros posistemis reikalauja naujų norminių dokumentų, kurie atitiktų naujas realijas.

## 2. Lietuvos geležinkelių sistemos reikalavimų nustatymo ir taikymo taisyklių apžvalga

Lietuvos geležinkelių transporto sistemos reikalavimai susieti su 2004 m. gruodžio 23 d. ir 2021 m. vasario 19 d. Lietuvos Respublikos susisiekimo ministro įsakymo Nr. 3-586 ir įsakymo Nr. 3-102 redakcijos pokyčiais *Dėl geležinkelių sistemos reikalavimų nustatymo ir taikymo taisyklių* ir jų taikymo geležinkelių infrastruktūros posistemii.

Šios taisyklės nustato Lietuvos geležinkelių sistemos ir jos posistemii struktūrinius elementus, sąveikaujančias dalis ir jų sąsajų bendruosius transporto eismo saugos, patikimumo, prieinamumo, techninio

suderinamumo, poveikio asmenų sveikatai bei saugos aplinkai reikalavimus, sąlygas. Šios taisyklės taikomos 1435 mm ir 1520 mm vėžės pločio geležinkeliams, kurių geležinkelių sistemos struktūrinę dalį (geležinkelių tinklą) sudaro:

- specialiai greitųjų traukinių eismui nutiestos arba modernizuotos geležinkelių linijos, skirtos traukiniams važiuoti 250/200 km/h greičiu;
- keleiviniams, keleiviniams ir kroviniams arba tik kroviniams geležinkelių transportu vežti skirtos geležinkelių linijos, kuriose traukiniai gali važiuoti mažesniu kaip 200 km/h greičiu;
- geležinkelio stotys ir terminalai, skirti keleiviams aptarnauti bei atlikti operacijas su kroviniams ir sąveikauti su kitomis transporto rūšimis;
- geležinkelių jungiamieji keliai, jungiantys skirtingus struktūrinius geležinkelių tinklo elementus.

Lietuvos geležinkelių infrastruktūros posistemį sudaro - geležinkelio keliai, pervažos, iešmai, inžineriniai statiniai (tiltai ir tuneliai ir kt.), su geležinkelio stotimis susijusi geležinkelių infrastruktūra (peronai, prieigos zonos, įskaitant ir pritaikytas neįgalųjų ir riboto judumo asmenų poreikiams), saugos ir apsaugos įranga.

### 3. Lietuvos Respublikos taikomų geležinkelių posistemų techninių taisyklių apžvalga

Bendrieji esminiai Lietuvos geležinkelių sistemos reikalavimai susieti su eismo sauga – tai yra geležinkelių transporto sąveikaujančios dalys, kurių:

- veikimas užtikrina traukinio judėjimą, projektavimas, konstravimas ar surinkimas, techninė priežiūra ir stebėseną turi užtikrinti aukščiausią eismo saugos lygį visais atvejais;
- techniniai parametrai, susiję su geležinkelio riedmenų ratų ir bėgių sąlyčiu, turi garantuoti saugų geležinkelių riedmenų judėjimą didžiausiu leistinu greičiu;
- naudojamos sąveikaujančios dalys atlaiko įtempimus normaliomis ir ekstremaliomis sąlygomis;
- parinktos medžiagos užtikrina priešgaisrinę saugą;
- veikimas yra saugus ir nekenkia naudotojų sveikatai.

Vertinant Lietuvos geležinkelių infrastruktūros posistemio reikalavimus išskirtinis dėmesys skiriamas geležinkelių transporto eismo saugai, patekimui prie įrenginių be leidimo arba apribojimų.

Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto eismo saugos įstatymas numato, kad geležinkelio infrastruktūros valdytojai ir geležinkelio įmonės (vežėjai) užtikrina saugų naudojimąsi geležinkelių infrastruktūros posisteme, rūpinasi prevencija išvengti skaudžių pasekmių (riktų, pažeidimų bei katastrofų), techninės įrangos priežiūra ir defektų šalinimu.

Išsamiau nagrinėjant vieną iš Sąjungos geležinkelių sistemos struktūrinę infrastruktūros posistemę, kuriai priskiriami keliai, iešmai, geležinkelio pervažos, inžineriniai statiniai (tiltai, tuneliai ir kt.), taip pat su ge-

ležinkeliais susiję stočių elementai, saugos ir apsaugos įranga, kuri atitiktų Geležinkelių techninio sąveikumo specifikaciją (TSS).

Susiekimo ministerija nustato rengiamų nacionalinių taisyklių sąrašą, kurios atitinka Europos Sąjungos teisės aktus ir techninę sąveikos specifikaciją (TSS).

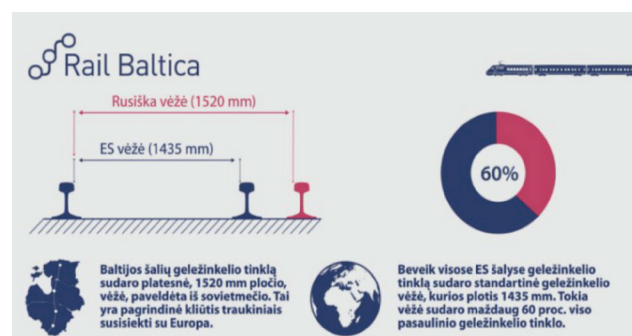
Lietuvos Respublikos saugos administracijos tinklalapyje skelbiamos Techninio sąveikumo specifikacijos, kuriose struktūriniam geležinkelio transporto infrastruktūros posistemii priskirta infrastruktūros techninio sąveikumo specifikacija (TSS).

### 4. Lietuvos Respublikos geležinkelių posistemų techninių charakteristikų analizė

Patvirtintame Lietuvos Respublikos taikomų geležinkelių posistemų techninių taisyklių sąrašė analizuojamos geležinkelių posistemio sudėtinės dalys, kurios aprašytos techninės sąveikos specifikacijos (TSS) atitinkamuose punktuose ir turi atitikmenį tarptautinėse ir nacionalinėse taisyklėse. Analizuojant infrastruktūros techninės sąveikos specifikacijas išskiriamos tokios geležinkelio transporto infrastruktūros posistemio dalys kaip inžinerinių statinių artumo gabaritas, atstumas tarp gretimų kelių ašių, didžiausi nuolydžiai, nominalios vėžės plotis ir t.t.

Apžvelgiant Lietuvos viešojo geležinkelių infrastruktūros tinklo technines charakteristikas, kuriose yra 1520 mm (1790,6 km ilgio) ir 1435 mm (122,2 km ilgio) vėžės pločio geležinkelio kelių (2 pav.), leidžiami geležinkelių linijose gabaritai:

- 1520 mm vėžės pločio – S ir SP inžinerinių statinių artumo gabaritai; T, Tc, Tp, 1-T, 1-BM (0-T), 0-BM (01-T), 02-BM (02-T) ir 03-BM (03-T) riedmenų gabaritai;
- 1435 mm vėžės pločio – leidžiamas gabaritas GC (AB „LTG Infra“, (2021).



2 pav. Baltijos Šalių ir ES geležinkelio vėžės standartai Rail Balticos kontekste (Rail Baltica, 2021)

Taip geležinkelių posistemio „Lokomotyvai ir keleiviniai riedmenys“ sudėtinei daliai Gabaritas. Kinematinis gabaritas (TTS 4.2.3.1 punktą) taikomos taisyklės, kurios turi būti įvykdytos pagal techninės sąveikos specifikacijos (TSS) nustatytus reikalavimus ir pateiktus:

- *Techninio geležinkelių naudojimo nuostatuose* (TNN), kurie reglamentuoja iš dalies;
- standartuose – LST EN 50317, GOST 9238-83.

Geležinkelių infrastruktūros posistemio sudėtinai daliai *Inžinerinių statinių artumo gabaritas* (TTS 4.2.4.1 punktas) taikomos taisyklės, kurios turi būti įvykdytos pagal techninės sąveikos specifikacijos (TSS) nustatytus reikalavimus ir pateiktos:

- *Geležinkelio stočių projektavimo taisyklėse*;
- standarte - GOST 9238-83;
- taisyklės, kurių būtina paisyti atsižvelgiant į saugų ir sąveikai tinkamą naudojimą konkrečiame tinkle (S) - *Statinių artumo gabaritų taikymo instrukcija 163/K*.

Geležinkelių infrastruktūros posistemio sudėtinai daliai *Atstumas tarp gretimų kelių ašių* (TTS 4.2.4.2 punktas) taikomos taisyklės, kurios turi būti įvykdytos pagal techninės sąveikos specifikacijos (TSS) nustatytus reikalavimus ir pateiktus:

- *Techninio geležinkelių naudojimo nuostatuose* (TNN);
- *Geležinkelio stočių projektavimo taisyklėse*;
- taisyklės, kurių būtina paisyti atsižvelgiant į saugų ir sąveikai tinkamą naudojimą konkrečiame tinkle (S) – *Geležinkelio kelio priežiūros taisyklės K/111*.

## 5. Geležinkelių bendradarbiavimo organizacijos (OSŽD) geležinkelių posisteminių techninių charakteristikų apžvalga

Geležinkelių bendradarbiavimo organizacija 2009 metais parengė geležinkelio transporto infrastruktūros posistemio skirtingų geležinkelio vėžės pločių parametrų analizę, kurioje pateikti parametrai užtikrina nenutrūkstamą, nuolatinį ir saugų nenutrūkstamą geležinkelio transporto darbą tarp Nepriklausomų valstybių sandraugos ir Europos Sąjungos, kurių geležinkelio kelio vėžės plotis yra 1520/1524 mm. Šiame dokumente taip pat atliktas techninių parametrų palyginimas su pagrindiniais 1435 mm vėžės pločio parametrais. Šiame dokumente pateikti apibrėžimai ir formuluotės padeda apibendrinti techninius reikalavimus, kurie gali būti skirtingi įvairių šalių geležinkeliuose. Pateikiama įvairių šalių geležinkelių infrastruktūros 1520 mm ir 1435 mm vėžės pločių pagrindinių parametrų analizė, inžinerinių statinių artumo gabaritai, atstumai tarp gretimų kelių ašių, didžiausi nuolydžiai, atvykimo ir išvykimo kelių naudingų ilgių normos ir pan.

Pateiktoje geležinkelių posistemės *Infrastruktūra. Kelias ir kelio ūkis* parametrų analizėje geležinkelių infrastruktūros posistemio sudėtinai daliai *Inžinerinių statinių artumo gabaritas* taikomas konkrečiame tinkle (S) 1520 mm vėžės pločio, kuriame taikomas standartas GOST 9238-83. Šie reikalavimai įgyvendinami Lietuvos geležinkelių infrastruktūroje taikant standartą GOST 9238-83. Tokie pat reikalavimai Lenkijos geležinkelių infrastruktūros daliai 1520 mm vėžės pločio

yra patvirtinti Lenkijos susisiekimo ministro ir jūrų ekonomikos nurodyme 1998 m rugsėjo 10 d. (įrašas Nr.151, pozicija 987, § 94), kuriame pateikta nuoroda į standartą GOST 9238-83 (ОСЖД, 2009).

*Inžinerinių statinių artumo gabaritas* tinkle (S) standartas GOST 9238-83 geležinkelio sistemoje 1520 mm vėžės pločio gali būti taikomas kaip pagrindinis Latvijoje, Lietuvoje, Estijoje, Baltarusijoje, Lenkijoje, Rusijoje, Slovakijoje ir Ukrainoje rengiant vieningą techninę specifikaciją (ОСЖД, 2009).

Geležinkelių posistemės *Infrastruktūra. Kelias ir kelio ūkis* parametrų analizėje geležinkelių infrastruktūros posistemio sudėtinai daliai *Atstumas tarp gretimų kelių ašių* taikomas konkrečiame tinkle (S) 1520 mm vėžės pločio, kuriame taikomi reikalavimai Latvijos, Lietuvos, Estijos, Baltarusijos, Lenkijos, Rusijos, Slovakijos ir Ukrainos geležinkelių tinkluose yra vienodi:

- tarp gretimų pagrindinių kelių ašių geležinkelio linijos – 4100 mm;
- tarp gretimų kelių ašių geležinkelio stotyse – 4800 mm;
- krovos punktuose ir krovos rajonuose – 4500 mm (ОСЖД, 2009).

## 6. Geležinkelių pagrindinių sąvokų, apibrėžimų ir sąvokų pokyčiai teisės aktuose

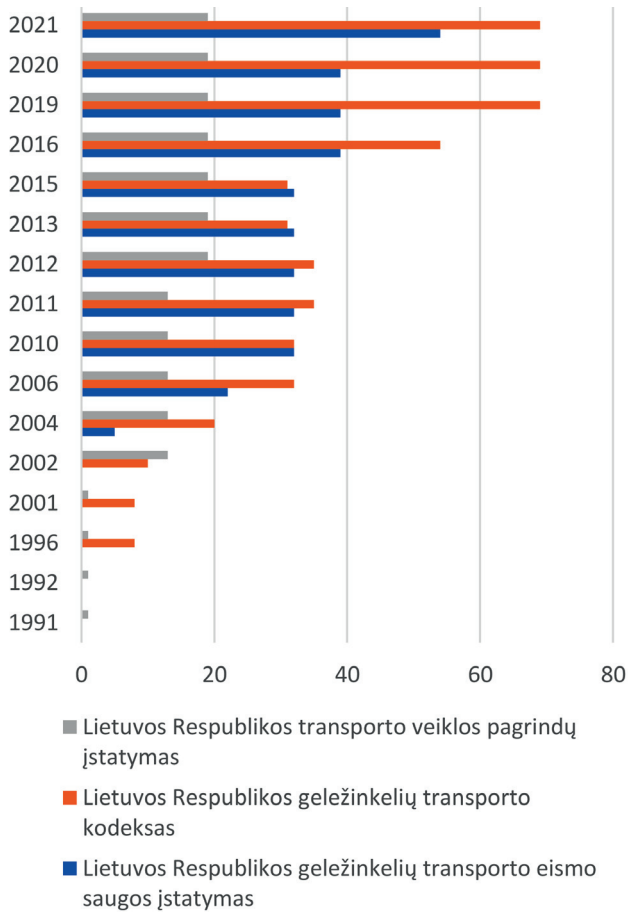
Lietuvos istorijos gairės atkūrus nepriklausomybę geležinkeliams turėjo tiesioginę įtaką. Iki nepriklausomybės visa techninė norminė dokumentacija buvo tik rusų kalba, todėl Lietuvai atgavus nepriklausomybę atsirado poreikis taikyti geležinkelių pagrindines sąvokas ir apibrėžimus lietuvių kalba. Priėmus Laikinąjį geležinkelio transporto statutą jame nebuvo nė vienos sąvokos apibrėžimo lietuvių kalba. Esant poreikiui turėti geležinkelio terminologiją lietuvių kalba buvo rengiamas Aiškinamasis geležinkelių transporto terminų žodynas (Juškaitė ir kiti, 2006). Kitas geležinkelių sąvokų ir apibrėžimų pokyčių etapas bei naujų sąvokų atsiradimas siejamas su įstojimu į Europos Sąjungą ir teisinių dokumentų įgyvendinimu bei redagavimu.

Palyginus Lietuvos Respublikos transporto veiklos pagrindų įstatymą, Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto kodekse bei Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto eismo saugos įstatyme pagrindinių sąvokų sąrašus galima konstatuoti jų nuolatinį augimą (3 pav.).

Vienos iš pagrindinių sąvokų, naudojamų geležinkelio transporto teisės aktuose, yra šios:

*Bendrieji saugos būdai* (BSB) – būdai, kuriais apibūdinamas saugos lygių vertinimas ir saugos tikslų pasiekimas bei kitų saugos reikalavimų laikymasis. (Europos Sąjungos oficialus leidinys, 2016/798)

*Bendrieji saugos tikslai* (BST) – būtiniausi saugos lygiai, kuriuos turi pasiekti visa sistema ir, jei įmanoma, skirtingos Sąjungos geležinkelių sistemos dalys (kaip antai, paprastųjų geležinkelių sistema, greitųjų



3 pav. Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto teises aktuose pateikiamų sąvokų pokyčiai

Šaltinis: sudaryta autorių

geležinkelių sistema, ilgieji geležinkelio tuneliai ar linijos, naudojamos tik krovinių vežimui). (Europos Sąjungos oficialus leidinys, 2016/798)

*Geležinkelių infrastruktūra* – geležinkelio keliai, išskyrus geležinkelio kelius, esančius geležinkelių riedmenų techninės priežiūros atlikimo vietose (depuose, cechuose, dirbtuvėse), kiti statiniai, geležinkelių infrastruktūros objektų užimama žemė, įranga ir įrenginiai, būtini geležinkelių transporto eismui organizuoti ir valdyti bei geležinkelių transporto eismo saugai užtikrinti. (LR geležinkelių transporto kodeksas, 2004)

*Geležinkelių infrastruktūros valdytojas* – juridinis asmuo, kita organizacija, juridinio asmens, kitos organizacijos padalinys ar fizinis asmuo, teisėtu pagrindu valdantys geležinkelių infrastruktūrą. (LR geležinkelių transporto kodeksas, 2004)

*Nacionalinė saugos institucija* – nacionalinė įstaiga, kuriai pavestos geležinkelių saugos užtikrinimo užduotys pagal šią direktyvą, arba bet kuri įstaiga, kuriai kelios valstybės narės pavedė tas užduotis, siekdamas užtikrinti unifikotą saugos režimą. (Europos Sąjungos oficialus leidinys, 2016/798)

*Transporto infrastruktūros objekto valdytojas* – fizinis asmuo, juridinis asmuo ar kita organizacija ar jų padalinys (toliau – fizinis asmuo ar juridinis asmuo), teisėtai valdantys transporto infrastruktūros objektą. (LR transporto veiklos pagrindų įstatymas, 1991)

*Sąjungos geležinkelių sistema* – Sąjungos geležinkelių sistemą sudaro Sąjungos geležinkelių tinklo elementai (geležinkelių linijos, keleiviniai ir kroviniai mazgai ir terminalai bei jungiančios geležinkelių linijos) ir transporto priemonės (lokomotyvai, keleiviniai riedmenys, keleiviniai ir prekiniai vagonai bei specialiosios transporto priemonės). (Europos Sąjungos oficialus leidinys, 2016/797)

*Sąveika*– geležinkelių sistemos gebėjimas sudaryti sąlygas saugiam ir nenutrūkstamam traukinių, kurie atitinka reikalingus eksploatacijos lygius, judėjimui. (Europos Sąjungos oficialus leidinys, 2016/797)

*Geležinkelių techninio sąveikumo specifikacija* – Europos Komisijos patvirtinta specifikacija, kurioje nustatomi geležinkelių posistemio ar jo dalies charakteristikos išsamūs reikalavimai, skirti esminių reikalavimų atitikčiai ir geležinkelių sistemos sąveikumui užtikrinti (Lietuvos Respublikos Seimas, 2004).

*Viešoji geležinkelių infrastruktūra* – geležinkelių infrastruktūra, skirta viešiesiems ir ūkio subjektų poreikiams tenkinti – keleiviams, bagažui ir (ar) kroviniams vežti, manevruoti ir (ar) važiuoti į geležinkelių infrastruktūros objektų statybos, remonto ir (ar) techninės priežiūros darbų atlikimo vietą ir iš jos. (LR geležinkelių transporto kodeksas, 2004).

Dar viena iš aktualių šios dienos problemų yra atnaujinti Aiškinamąjį geležinkelių transporto terminų žodyną, kurį reiktų suderinti su naujai priimtais ir atnaujintais geležinkelių teisės aktais ir technine normine dokumentacija. Palyginimui galima pateikti kelis pavyzdžius:

*Geležinkelio linija* – svarbias paprastai vienos krypties vietoves jungiantis geležinkelis su visais statiniais ir techniniais įrenginiais traukinių eismui laiduoti (Juškaitė ir kiti, 2006).

*Geležinkelių linija* - geležinkelio keliai, jungiantys geležinkelio stotis ar geležinkelio stotis ir valstybės sieną (Lietuvos Respublikos Seimas, 2004, suvestinė redakcija nuo 2021-06-16).

*Pasienio geležinkelių linija* – geležinkelių linija, einanti nuo Lietuvos Respublikos valstybės sienos su trečiąja valstybe iki Lietuvos Respublikos teritorijoje esančios geležinkelio stoties, kurioje fizinį asmenų, jų dokumentų ir (ar) bagažo apžiūrą ir (ar) geležinkelių riedmenų ir krovinių patikrinimą atlieka Valstybės sienos apsaugos tarnyba prie Lietuvos Respublikos vidaus reikalų ministerijos, Lietuvos Respublikos muitinė ir kitos įgaliotos institucijos. Pasienio geležinkelių linijų sąrašą tvirtina susisiekimo ministras (Lietuvos Respublikos Seimas, 2004).

## Išvados

1. Lietuvos Respublikos geležinkelių posistemės analizė pateikiama pagal galiojančius norminius dokumentus, glaudžiai susijusius su Europos Sąjungos direktyvomis ir Geležinkelių bendradarbiavimo orga-



nizacijos priimtomis normomis, kurios užtikrina Europos Sąjungos ir trečiųjų šalių geležinkelių sistemų sąveiką, paremtą optimaliu techniniu suderinamumu.

Deja, geležinkelių įmonėms, eksploatuojančioms ir aptarnaujančioms geležinkelį, nėra patogu naudotis šaltiniais, kurių skaičius yra neproporcingai didelis.

2. Geležinkelio transporto infrastruktūros posistemio teisės aktai reikalauja tobulinti esamus norminius dokumentus, kurie atlieptų reikalavimus Geležinkelių infrastruktūros posistemio sudėtinei daliai *Inžinerinių statinių artumo gabaritas*. Redaguojamas dokumentas būtų „TNN ir taisyklės“ ir kiti lydintys teisės aktai. Geležinkelių techninio sąveikumo specifikacijos (TSS) reikalavimai būtų pateikti ne tik kaip Lietuvos Respublikoje taikomų geležinkelių posisteminių techninių taisyklių sąrašas, bet ir kaip tam tikro geležinkelių posistemio ir jo sudėtinųjų dalių bendras dokumentas.

3. Geležinkelio transporto infrastruktūros posistemio teisės aktai reikalauja tobulinti Aiškinamąjį geležinkelių transporto terminų žodyną, kurį reiktų suderinti su naujai priimtais ir atnaujintais geležinkelių teisės aktais ir technine normine dokumentacija.

4. Galima teigti, kad norint palengvinti geležinkelio įmonių ir saugos institucijų veiklą, būtina susisteminti ir turėti vieningą geležinkelių norminių techninių dokumentų sistemos sąvadą. Vieningas geležinkelių norminių techninių dokumentų sistemos sąvadas turėtų būti taikomas ne tik vienoje šalyje, bet ir kitose ES šalyse, atsižvelgiant į geležinkelio vėžės plotį.

## Literatūra

AB „Lietuvos geležinkeliai“. (2001). *Statinių artumo gabaritų taikymo instrukcija 163/K* (2001 m. lapkričio 26 d. įsakymas Nr. 456.).

AB „LTG Infra“. (2021). Viešosios geležinkelių infrastruktūros 2021-2022 metų tarnybinio traukinių tvarkaraščio tinklo nuostatai (2021 m. vasario 24 d.). [žiūrėta 2021-09-01]. Prieiga per internetą: [https://ltginfra.lt/documents/12778/114099/2021\\_2022m.\\_TTT\\_Infrastrukturos\\_tinklo\\_nuostatai2\\_2021\\_08\\_16.pdf/9f7d94fc-554c-4040-9470-199177cab924](https://ltginfra.lt/documents/12778/114099/2021_2022m._TTT_Infrastrukturos_tinklo_nuostatai2_2021_08_16.pdf/9f7d94fc-554c-4040-9470-199177cab924)

Butkevičius, Jonas. (2008). Lietuvos įstojimo į Europos Sąjungą poveikio šalies transporto sistemai ir transporto sistemos plėtra: monografija. Vilnius: Technika. ISBN 978-9955-28-215-0, [žiūrėta 2021-09-01]. Prieiga per internetą: <https://www-ebooks-vgtu-lt.ezproxy.vtdko.lt/pdfreader/lietuvos-stojimo-europos-sjung-poveikis-alies-transporto-sistemai-ir-sistemos-pltra>

Europos audito rūmai. (2018). Padėties apžvalga. Siekiant sėkmingo transporto sektoriaus Europos Sąjungoje. Uždaviniai, kuriuos reikia išspręsti [žiūrėta 2021-09-01]. Prieiga per internetą: [https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/LR\\_TRANSPORT/LR\\_TRANSPORT\\_LT.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/LR_TRANSPORT/LR_TRANSPORT_LT.pdf)

Europos Sąjungos oficialus leidinys. (2014). Komisijos reglamentas (ES) Nr. 1299/2014 dėl Europos Sąjungos geležinkelių infrastruktūros posistemio techninės sąveikos specifikacijos. [žiūrėta 2021-10-01]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.eu>

[ropa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R1299&from=LT](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R1299&from=LT)

Europos Sąjungos oficialus leidinys. (2016/797). Europos Parlamento ir Tarybos direktyva (ES) 2016/797 dėl geležinkelių sistemos sąveikos Europos Sąjungoje. [žiūrėta 2021-09-01]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016L0797&from=LT>

Europos Sąjungos oficialus leidinys. (2016/798). Europos Parlamento ir Tarybos direktyva (ES) 2016/798 dėl geležinkelių saugos. [žiūrėta 2021-09-01]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016L0798&from=lt>

Europos Sąjungos oficialus leidinys. KOMISIJOS REGLAMENTAS (ES) Nr. 1300/2014 2014 m. lapkričio 18 d. dėl Sąjungos geležinkelių sistemos prieinamumo neįgaliesiems ir riboto judumo asmenims techninių sąveikos specifikacijų [žiūrėta 2021-10-01]. Prieiga per internetą: [EUR-Lex - 32014R1300 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014R1300-EN-EUR-Lex)

Europos Sąjungos oficialus leidinys. Komisijos sprendimas (Nr. C(2007) 6633) dėl transeuropinės paprastųjų ir greitųjų geležinkelių sistemos techninės sąveikos specifikacijos „žmonės su judėjimo negalia“ [žiūrėta 2021-10-01]. Prieiga per internetą: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:064:0072:0207:lt:PDF>

Geležinkelių bendradarbiavimo organizacija (OSŽD, rus. ОСЖД). (2020). Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) [žiūrėta 2021-09-01]. Prieiga per internetą: <https://osjd.org/ru/8978/page/106077?id=2247>

Juškaitė, N., Keinys, S. ir Sakalauskas, K. (2006). *Aiškinamasis geležinkelių transporto terminų žodynas: terminai lietuvių, anglų, vokiečių ir rusų kalbomis*. Vilnius: Lodvila.

Lietuvos Respublikos Seimas. (1991). Lietuvos Respublikos transporto veiklos pagrindų įstatymas. [žiūrėta 2021-11-11]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalActEditoins/lt/TAD/TAIS.2971>

Lietuvos Respublikos Seimas. (2004). Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto eismo saugos įstatymas. Suvestinė redakcija nuo 2021-06-16 iki 2022-06-15 [žiūrėta 2021-11-11]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.C7A984833333/asr>

Lietuvos Respublikos Seimas. (2004). Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto kodeksas (2004 m. balandžio 22 d. Nr. IX-2152). Suvestinė redakcija nuo 2021-06-16 [žiūrėta 2021-11-11]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.232217?jfwid=-fxdp6xrf>

Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. (2021). Lietuvos Respublikos ministro įsakymas Dėl geležinkelių sistemos reikalavimų nustatymo ir taikymo taisyklių patvirtinimo (2004 m. gruodžio 23 d. Nr. 3-586 ir 2021 m. vasario 19 d. Nr. 3-102) [žiūrėta 2021-09-01]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.248770/asr>

Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. (2021). Lietuvos Respublikos susisiekimo ministro įsakymas Lietuvos Respublikos susisiekimo ministro 2004 m. gruodžio 23 d. įsakymo Nr. 3-586 „Dėl geležinkelių sistemos sąveikos reikalavimų nustatymo ir taikymo taisyklių patvirtinimo“ pakeitimo [žiūrėta 2021-10-01]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/1b8bac9272f311eb9fc9c3970976dfa1>

- Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija ir Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2004). Geležinkelio stočių projektavimo taisyklės (2004 m. gegužės 5 d. įsakymu Nr.3-25/D1-249). [žiūrėta 2021-09-16]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.236475?jfwid=>
- Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija ir Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2004). Geležinkelio stočių projektavimo taisyklės (2004 m. gegužės 5 d. Nr. 3-250/D1-249). [žiūrėta 2021-10-01]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.236475/asr>
- Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija. (1996). Techninio naudojimo nuostatai (1996 m. rugsėjo 20 d. Nr. 297). [žiūrėta 2021-09-16]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.31710?jfwid=>
- Lietuvos Respublikos Vyriausybė. (1992). Laikinasis Lietuvos geležinkelių statutas. [žiūrėta 2021-11-11]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.120574/DQGcCkGpJT>
- Lietuvos transporto saugos administracija. (2021). *Techninio sąveikumo specifikacijos*. [žiūrėta 2021-09-01]. Prieiga per internetą: <https://tsa.lrv.lt/lt/teisine-informacija/techninio-saveikumo-specifikacijos>
- ОСЖД. (2009). Анализ параметров, являющихся определяющими для сохранения технической и эксплуатационной совместимости железнодорожной системы колеи 1520 мм на границе СНГ-ЕС. Подсистема: Инфраструктура. Путь и путевое хозяйство. [žiūrėta 2021-09-01]. Prieiga per internetą: [https://www.era.europa.eu/sites/default/files/agency/docs/analysis\\_1520\\_inf\\_ru.pdf](https://www.era.europa.eu/sites/default/files/agency/docs/analysis_1520_inf_ru.pdf)
- Rial Baltica. (2021). *Su „Rail Baltica“ po Europą keliausime greičiau, saugiau ir patogiau*. [žiūrėta 2021-11-20]. Prieiga per internetą: <https://www.rail-baltica.lt/naujienos/su-rail-baltica-po-europa-keliausime-greiciau-saugiau-ir-patogiau/>
- The World Bank / International Bank for Reconstruction and Development (2017). *Railway Reform: Toolkit for Improving Rail Sector Performance*. [žiūrėta 2021-09-01]. Prieiga per internetą: [https://ppiaf.org/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/railways\\_toolkit/PDFs/RR%20Toolkit%20EN%20New%202017%2012%2027.pdf](https://ppiaf.org/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/railways_toolkit/PDFs/RR%20Toolkit%20EN%20New%202017%2012%2027.pdf)
- Tumavičė, A. ir Laurinavičius, A. (2014). Traukinių greičio ir bėgių kelio geometrinių parametrų priežastinio ryšio analizė teisės aktuose, susijusiuose su geležinkelių transporto valstybine priežiūra Lietuvoje. 17-osios jaunųjų mokslininkų kon-

ferencijos: Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos *Transporto inžinerija ir vadyba*, vykusios 2014 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys. [žiūrėta 2021-11-12]. Prieiga per internetą: <http://jmk.transportas.old.vgtu.lt/index.php/conference/2014/paper/viewFile/304/304-1355-1-PB.pdf>

Tumavičė, A. ir Laurinavičius, A. (2015). Geležinkelių plėtros galimybės Lietuvoje: geležinkelių keliams projektuoti skirtų norminių techninių dokumentų analizė akustinio triukšmo mažinimo aspektu. *Mokslas – Lietuvos ateitis. Statyba, transportas, aviacinės technologijos*. 2015 7(5): 557-563. DOI: <http://dx.doi.org/10.3846/mla.2015.835>

## ANALYSIS OF NORMATIVE DOCUMENTS OF THE LITHUANIAN RAILWAY SYSTEM INFRASTRUCTURE SUBSYSTEM IN IMPLEMENTING THE OBJECTIVES REQUIRED BY THE EUROPEAN UNION

Irina Briuchoveckaja, Julius Gaidys

Vilnius College of Technology and Design

**Abstract.** Various railway construction and development projects are being developed in Lithuania, their implementation and construction process is highly regulated. The problem arises during design, construction and operation of different width tracks on railway lines, as they are subject to different applied technical requirements as defined in European Union and National legislation. In national law, various technical requirements have been transposed into many different pieces of legislation and they make it difficult for infrastructure managers and other parties involved to operate directly. The purpose of the article is to assess whether it is possible to summarize the relevant legislation acts in one or more common sets of legislation.

**Key words:** National safety authority, railway system, interoperability of the rail system, public railway transport infrastructure, railway system infrastructure subsystem, rolling stock gauge, structure gauge, cargo loading gauge, track gauge.

# VILNIAUS ŠIAURĖS VAKARŲ DALIES TRANSPORTO IR INFRASTRUKTŪROS APŽVALGA 2018-2021 METŲ LAIKOTARPIU

Goras Jokimčius, Jūratė Romeikienė

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

**Anotacija.** Gyvenimo mieste kokybei neabejotinai svarbios lengvai pasiekiamos paslaugos, išvystyta susisiekimo sistema į kurios sudėtį įeina transporto bei pėsčiųjų ir dviračių infrastruktūra, kuri kiekvienais metais keičiasi ir tobulėja. Šiame straipsnyje nagrinėjami teisiniai dokumentai, užsienio šalių patirtis darnaus judumo klausimais. Pristatoma 2018 ir 2021 metais atlikta Vilniaus šiaurės vakarų dalies infrastruktūros analizė. Palyginti duomenys, padarytos išvados.

**Reikšminiai žodžiai:** Infrastruktūra, darnus judumas, palyginimas, miesto transportas

## Įvadas

Miestų susisiekimo ir inžinerinės infrastruktūros plėtrą įtakoja esamas teritorijos užstatymas, ūkio objektai, valstybinės reikšmės keliai, ankščiau parengti teritorijos planavimo dokumentai, taip pat kultūros, paveldo objektai, gamtinė aplinka. Susisiekimo sistema turi sudaryti sąlygas gyvenimo kokybei augti, išlaikant darniosios plėtros esminius principus.

Atlikus tyrimus, išanalizavus statistinius duomenis apie Vilnių nustatyta: miesto teritorija per nepilnus keturis metus nepakito ir išlieka lygi 401 km<sup>2</sup>. Gyventojų, deklaravusių savo gyvenamąją vietą Vilniuje skaičius išaugo 50889. Gyventojų padaugėjo nuo 536692 žmonių iki 587571 žmogaus, o gyventojų tankumas – 1 374 žm./km<sup>2</sup>, tačiau skaičiuojama, kad dienos gyventojų skaičius 2018 m. siekė 621 tūkst. gyventojų, o asmenų, prisirašiusių prie Vilniaus pirminės asmens sveikatos priežiūros įstaigų skaičius, 2019 m. buvo 638643.

Vilniuje, kaip ir prieš 4 metus, funkcionuoja geležinkelio stotis, oro uostas ir autobusų stotis.

Kadangi, šiaurės vakarų miesto dalis yra integrali Vilniaus dalis, svarbu paminėti sujungiančius Vilnių su kitais miestais kelius. Vilnių jungia dvi automagistralės ir penki magistraliniai keliai.

Automagistralės: A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ir A2 Vilnius – Panevėžys. Automagistralė A2 prasižada Vilniuje Ukmergės gatve.

Magistraliniai keliai: A3 Vilnius – Minskas, A4 Vilnius – Varėna – Gardinas, A14 Vilnius – Utena, A15 Vilnius – Lyda ir A16 Vilnius – Prienai – Marijampolė.

Straipsnis paremtas trumpa mokslinių straipsnių apžvalga ir atliktu 2018–2021 metais infrastruktūros palyginimu.

Tyrimų objektas yra šiaurės vakarų Vilniaus dalies susisiekimo infrastruktūra. Miesto dalis tankiai apgyvendinta. Šiaurės-pietų miesto ašimi nutiestos kelios labai svarbios gatvės: Ukmergės, Geležinio vilko, Vakarinis aplinkkelis. Viena jų – Ukmergės gatvė – kertą nagrinėjamą miesto dalį.

Straipsnyje minimi atlikti įdiegti eismo saugumo sprendimai, viešojo transporto tinklas ir pravažiavimo

kainos, dviračių takai, automobilių nuomos galimybės, inovatyvūs susisiekimo sprendimai.

**Straipsnio tikslas** – atlikti Vilniaus šiaurės vakarų dalies transporto ir infrastruktūros 2018-2021 metų laikotarpiu analizę.

**Tiksliui pasiekti iškelti šie uždaviniai:**

- Išanalizuoti su Vilniaus transportu ir infrastruktūra susijusius statistinius duomenis.
- Atlikti Vilniaus šiaurės vakarų dalies transporto ir infrastruktūros pokyčio 2018-2021 metų laikotarpiu apžvalgą bei analizę.

**Tyrimo metodika:**

- Mokslinių straipsnių, literatūros, teisės aktų, strategijų, veiksmų programų analizė.
- Kokybinė prieiga: dokumentų ir nuostatų turinio analizė.
- Kiekybinė prieiga: ataskaitų, veiklos planų, statistinių duomenų nagrinėjimas; Gautų rezultatų interpretavimas ir apibendrinimas.
- Transporto ir infrastruktūros objektų stebėjimas ir vertinimas 2018-2021m. laikotarpiu.

Statistinių šaltinių analize nustatytas statistinių duomenų pokytis. Aplinkos stebėjimu atliktas, atsižvelgiant į susisiekimo infrastruktūros ir jos saugumo, patogumo ir prieinamumo sąlygas. Taip pat aplinkos stebėjimas ir fiksavimas fotografuojant. Probleminių vietų išskyrimas. Stebėjimu bei vertinimu nustatytos išlikusios arba įspręstos probleminės transporto ir infrastruktūros dalys.

## Miestų susisiekimo sistemos vystymosi tendencijos

Nacionalinėje susisiekimo plėtros 2014–2022 metų programoje yra teigiama, kad šalies miestuose nėra užtikrintas efektyvus ir darnus judumas. Šalies miestuose kelionės automobiliu iš namų į darbą sudaro didžiąją dalį visų kelionių. Tokia kelionių struktūra miestuose lemia transporto spūščių, oro taršos, kelionės gaisraties problemas. Nacionalinėje programoje numatoma, kad darni vietinio susisiekimo viešojo transporto sistema būtų skatinama padidinus transporto patrauklumą ke-

leiviams ir sumažinus neigiamą poveikį aplinkai, pagerinus viešojo ir privataus transporto suderinamumą, įdiegus įvairias kombinuotas viešojo ir privataus transporto sąveikos sistemas, atnaujinus ir išplėtus dviračių transporto infrastruktūrą, įsigijus naujų aplinkai nekenksmingų transporto priemonių, sukūrus alternatyviųjų energijos šaltinių (degalų) naudojimui transporte skatinti reikalingą infrastruktūrą (elektromobilių įkrovimo), nutiesus miestų ir miestelių aplinkkelius.

Darnaus judumo sistema miestuose analizuoja nemažai autorių. Darnų judumą autoriai (Burinskienė et al. 2017; Nocera et al. 2015; Reisi et al. 2014; Shiau, Liu 2013; Karagiannakidis et al. 2012) moksliniuose darbuose vertina per aplinkosauginę, ekonominę ir socialinę prizmę, kiti autoriai (Sundberg 2018a, b, c; Shergold, Parkhurst 2017; UTR 2016; KonSULT 2016; May 2016; Chakhtoura, Pojani 2016; Nocera et al. 2015; Van Audenhove et al. 2014; Shiau et al. 2013; Haghshenas, Vaziri 2012; MaxExplorer 2006;) tiria didžiausią efektą turinčių judumo priemonių rinkinius, kiti (Arsenio et al. 2016; Reisi et al. 2014; Lima et al. 2014; Saisana 2011; Mancini 2011; Silva et al. 2010; Costa 2008; Zhou et al. 2007) judumo priemonių pagrindu kuria judumo indeksus.

Senstant visuomenei, daugėja sunkiau judančių ir sunkiau aplinkoje besiorientuojančių žmonių. Įvairių specialiųjų poreikių turintys žmonės siekia aktyviai dalyvauti visuomenės gyvenime. Valstybės politika nukreipta į šeimos poreikių tenkinimą, įskaitant ir galimybes judėti tėvams su mažais vaikais, vėžimeliais saugioje patogioje aplinkoje. Tam tikslui įgyvendinti atsiranda universalus dizaino poreikis, kai aplinkos ir gaminių kūrimas, kad jais gali naudotis visi žmonės kuo platesniu mastu, be specialaus pritaikymo. Universalus dizainas palankus ir aktualus kitose srityse – tvari aplinka, aplinkos apsauga, įvairovės išsaugojimas, saugus naudojimas, estetiški sprendimai ir kita. Šie sprendimai nagrinėjami šiame straipsnyje:

- *Transporto ir infrastruktūros pritaikymas neįgaliesiems.* Jungtinių tautų organizacijos Neįgaliųjų teisių konvencijos 9 straipsnis skelbia kad: „Valstybės, šios Konvencijos Šalys, siekdamos, kad neįgalieji galėtų gyventi savarankiškai ir visapusiškai dalyvauti visose gyvenimo srityse, imasi atitinkamų priemonių, kad užtikrintų neįgaliesiems lygiai su kitais asmenimis fizinės aplinkos, transporto, informacijos ir ryšių, įskaitant informacijos ir ryšių technologijų bei sistemų, taip pat kitų visuomenei prieinamų objektų ar teikiamų paslaugų prieinamumą tiek miesto, tiek kaimo vietovėse. Šios priemonės, kurios apima prieinamumo kliūčių ir trukdžių nustatymą ir pašalinimą, inter alia taikomos: a) pastatams, keliams, transporto priemonėms ir kitokiems vidaus ir lauko objektams, įskaitant mokyklas, būstą, medicinos įstaigas ir darbo vietas“.
- *Dviračių infrastruktūros išvystymas.* Trečiasis Nacionalinėje susisiekimo plėtros 2014–2022 metų prognozeje uždavinys yra skatinti dviračių transpor-

to infrastruktūros plėtrą miestuose: kurti vientiso dviračių tinklo sistemas, integruoti dviračių transporto infrastruktūrą į bendrą transporto sistemą, siekti, kad pėsčiųjų ir dviračių tinklo plėtra būtų patraukli ir saugi jos naudotojui. Europos miestuose dviračių tinklų išplėtimas buvo susijęs su važiavimo dviračiu padidėjimu ir, kaip manoma, duos naudos sveikatai ir ekonomikai. (Mueller, N., 2018).

Tačiau lengviau pradėti rengti infrastruktūrą nuo pradžios, negu kažką keisti paskui. Pavyzdžiui, planuojant ir kuriant optimalią dviračių infrastruktūrą, labai svarbu suprasti miesto dviratininkų elgesį. Taip pat plėtoti veiksmingą politiką, kuria siekiama skatinti dviračių sportą kaip tvarią transporto rūšį mieste. Kuo daugiau žmonių persės ant dviračių – tuo mažiau kamščių mes turėsime mieste. Atliekant dviratininkų apklausos analizę, pageidavimų vertinimą ir prognozavimą, paprastai naudojami pirminių pasirinkimų metodai, siekiant išmatuoti tam tikrų patobulinimų poveikį įrenginiams ir paskui prognozuoti kitų poveikį arba siekiant įvertinti galimą dviračių poreikį tam tikrose miesto vietovėse. Aišku, tai nėra vieninteliai tyrimai. Atskleistų pirmenybių tyrimai atliekami skirtingais tikslais, pavyzdžiui, kuriant režimo pasirinkimo modelius. (Romanillos, G. ir kiti, 2016).

Viang Phajao mieste, Tailande, buvo atliktas tyrimas dviračio tinklo organizavimui. Nustatyta, kad keliautojai suteikia prioritetus pirmiausia saugumui ir fizinėms maršruto charakteristikoms. Vienas iš dviratininkų pageidavimų buvo, kad dviračių trasa nesidubliuotų su perpildytomis automobiliais keliais. Dviračių takai turi būti pakankamai platūs, tinkami važiavimui nuolydžiai, kelyje neturi būti kliūčių ir kelio paviršius turi būti lygus. (Pucher J, Buehler R., 2008) Verta paminėti ir grupę žmonių, kurių prioritetai buvo kiek kitokie. Darbuotojams mieste aktualu, kad susisiekimas būtų kuo patogesnis ir trumpesnis, kad greitai pasiekti reikiamą tašką (Chaikaew, N., 2018).

- *Nemotorizuotų transporto priemonių dalijimosi sistema plėtra.* Nemotorizuotų transporto priemonių dalijimosi sistema prasidėjo Vakarų Europoje ir paplito už Atlanto ir Rytų Azijos valstybėse. Tokios transporto priemonės atitinka ekologiškumo ir kompleksinio darnumo principus, todėl turėtų būti palaikomi valstybės ir skatinami naudoti.

Populiarėjant ekologijos idėjoms, susisiekimas mieste dažniausiai siejamas su viešuoju transportu ir sveikos gyvensenos siekiu. Toks siekis dažnai įgyvendinamas skatinant naudotis dviračiais ir paspirtukais kasdieniniam judėjimui.

Elektriniai paspirtukai atsirado 2017 metų lapkričio mėnesį. Nors tai yra patogus ir prieinamas transporto spragų sprendimas, jie išryškino naują visuomenės saugumo problemą, su kuria turi susidurti miestai ir gydytojai. Paspirtukas realiai negali apsaugoti vairuotojo nuo traumų. Todėl, rekomenduojama visada dėvėti šalmą, sulaukti pilnametystės, važiuoti tik važiojamąja dalimi, stengtis nevažiuoti šaligatviais ir neblokuoti kelio, paliekant transporto priemonę. (Choron, R., 2019).

Dalijimosi sistemoms, kurios sparčiai populiarėja miestuose, įtakos turi sezoniškumas ir jo trukmė, darbo laikas ir naudojimosi kainos. Nustatyta, kad šie veiksniai lemia transporto priemonių naudojimą. Taip pat, tyrimu metu nustatyta, kad vyrai dažniau naudojami tokio tipo paslaugomis (Spiriajevas, E., 2018).

- *Viešojo transporto naudojimo skatinimas bei automobilių parkavimo sistemos kaita.* Rinkodaros požiūriu, autobusų parko atnaujinimas yra priemonė miestams ir viešojo transporto įmonėms įdiegti viešojo transporto sistemos patobulinimus. Tai rodo jų dinamiškumą, modernumą ir tai, kad jie rūpinasi ir reaguoja į piliečių ir klientų poreikius bei lūkesčius.

Viešojo transporto skatinimo, judumo priemonių įgyvendinimas turėtų būti kompleksiškas ir poveikis pasiektas įgyvendinus visas judumo priemones lygiagrečiai (Damiavičius, J., 2021).

Automobilių stovėjimo vietų trūkumą lėmė atsiradusi didelė lengvųjų automobilių paklausa ir susisieki- mo sistemos neprognozuojamos raidos procesai. Tai savo ruožtu sąlygojo vis augančią miestiečių priklausomybę kelionėms lengvuju automobiliu (Palevičius, V., 2014).

Pagrindinės sistemos „Statyk ir važiuok“ Europoje atsiradimo priežastys yra transporto grūstys (Noel 1988; Karamychev, Van Reeve 2011), oro tarša (Dijk, Montalvo 2011).

## Vilniaus šiaurės vakarų dalies transporto ir infrastruktūros 2018-2021 metų laikotarpiu pokyčio analizė

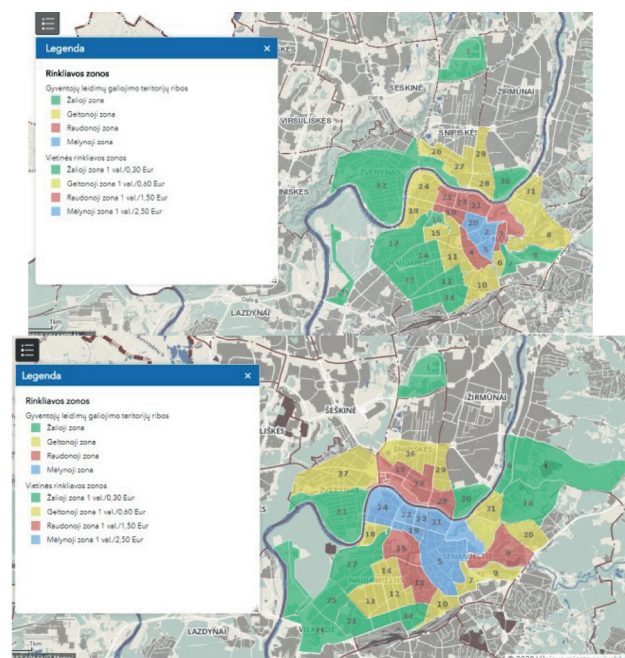
Šios analizės tikslas buvo išsiaiškinti Vilniaus šiaurės vakarų dalies susisiekimo būklės pokytį 2018–2021 metų laikotarpiu. Per keturis metus mieste įvyko transporto sistemos pokyčiai.

Apžvelgiant tarpmiestinį ir priemiestinį susiekimą reikėtų paminėti, kad per šią miesto dalį į miestą atvyksta didelis kiekis transporto priemonių. Remiantis VĮ „Susiekimo paslaugų“ tyrimų duomenimis 2019 m. vidutinis metinis paros intensyvumas A14 keliu į miestą atvykstančių 10912 autom./d., A2 – 26796 autom./d., kas sudarė kasdienes spūstis rytinio ir vakarinio piko metu. Viso į Vilnių kiekvieną dieną atvyksta apie 140 tūkstančių transporto priemonių ir apie 51 mln. 49 tūkst. automobilių per metus. Vidutinis pokytis lyginant su 2018 m. – 1,4 proc. Šioje Vilniaus dalyje yra arba tęsiasi 4 transporto koridoriai: 7 koridorius – Laisvės per.; 8 – Ukmergės g.; 9– Ateities g.; 10– Justiniškių g., kurie padeda išskirstyti didelius transporto srautus.

Atvykstančiųjų tikslas – darbas, švietimas ir kitos viešosios paslaugos. Didelis atvykstančių automobilių skaičius siejasi su transporto priemonių parkavimu, kuris, dėl tankėjančio miesto užstatymo tampa problema.

Vilniaus savivaldybė sukurtoje programėlėje stovėjimui mieste apmokėti „m.Parking“, per 4 metus atsirado patobulinimai susiję su duomenų apsauga, tokie kaip PIN-kodas ir apmokėjimas kreditine kortele.

Svarbu paminėti, kad stovėjimo apmokestinimas nepabrango, bet drastiškai pasikeitė zonų tarifai. Jeigu 2018 metais mėlynoji zona apėmė tik senamiestį, 2021 metais ji jau yra visame centre. Žalioji zona prasiplėtė į kraštus.



1 pav. Automobilių parkavimas 2018 ir 2021 m. šaltinis <https://maps.vilnius.lt/>

Šiaurės vakarų Vilniaus miesto dalyje yra trys „Statyk ir važiuok“ aikštelės. Jų kiekis per 4 metus nepakitė. 2018 metais tai buvo naujiena – savivaldybės pastangos kovoti su kamščiais.

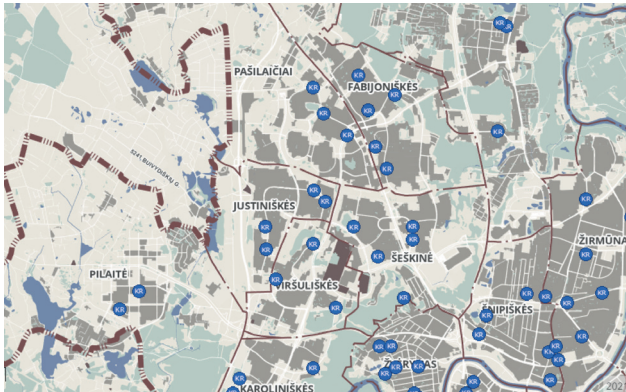
Žmonės, kurie gyvena užmiestyje gali atvažiuoti iki tokios aikštelės, palikti savo automobilį ir įsigyti dienos bilietą viešajam transportui.

Susidomėjimas paslauga buvo pirmąją vasarą, bet, ilgainiui paslauga tapo nepaklausi. Šiomis dienomis, vienoje tokioje aikštelėje yra mobilus COVID-19 patikros punktas. Žiemos metu aikštelė Ukmergės gatvėje 2 pav. netgi nėra valoma.



2 pav. „Statyk ir važiuok“ aikštelė Ukmergės gatvėje 2021 m.

Dėl padidėjusios konkurencijos sumažėjo automobilių nuomos „CityBee“ kainos. Jeigu 2018 metais už valandą nuomos reikėjo su mokėti 8,90 €, dabar paslauga valandai kainuoja 4,90 €. Elektromobilių nuoma „Spark“ pabrango nuo 1,60 € iki 2,08 € už 10 min. Tačiau, atpigino nuoma.



3 pav. „Kiss and Ride“ 2021m.

Šaltinis <https://maps.vilnius.lt/>

2018 metais naujove buvo „Kiss and Ride“ stovėjimo vietos. Jos skirtos atvežti vaikus iki mokyklos. Tokios vietos įrengiamos ten, kur vaikas išlipęs iš mašinos galėtų saugiai pasiekti mokyklą. Jeigu 2018 metais Vilniuje buvo virš 130 tokių vietų, 2021 metais „Kiss and Ride“ vietų skaičius išaugo iki 570 vnt.

Apžvelgiant viešąjį susiekimą reikėtų paminėti, kad Vilnius yra gyventojų traukos taškas, miesto infrastruktūra naudojasi ženkliai didesnis žmonių skaičius nei jų yra registruota Vilniaus mieste. Viešąjį transportą sostinėje organizuoja savivaldybės įmonė „Susiekimo paslaugos“ ir keleivius veža savivaldybės vežėjas UAB „Vilniaus viešasis transportas“ bei privatus vežėjas „Transreis“.

Vilniaus viešąjį transporto sistemą sudaro autobusų ir troleibusų maršrutai. Autobusų maršrutų ilgis – 1802 km, troleibusų maršrutų ilgis – 412,7 km. Troleibusų parkas nėra tinkamai atnaujintas, nekomfortabilus bei nevisai pritaikytas visoms visuomenės grupėms. Žemagrindžiai sudaro mažumą – tik 88 (iš 267vnt.). Beveik pusė žemagrindžių troleibusų yra apie vienerių metų senumo, o didžiąją dalį – 179 – sudaro apie 27 metų senumo. 7 troleibuso maršrutas Pašilaičiai – Justiniškės – Žvėrynas – Stotis, važinėjantis 3-10 min intervalu, dvigubais (triais) troleibusais perveža apie 16406 keleivių per dieną (SĮ Susiekimo paslaugos. Vilniaus miesto viešojo transporto atnaujinimo galimybių studija (2020).

Per keturių metų laikotarpį Vilnius atnaujinio transporto priemones. Didžiausias kiekis buvo atnaujinta 2018 m. – 208, 2019 m. – 56, 2020 m. – 50. Vilniaus autobusų parkas įsigijo 133 dyzelinius, 50 dujinius ir 5 elektrinius naujus ir naudotus autobusus. 99 proc. viso Vilniaus autobusų parko sudaro žemagrindžiai autobusai, o 98 proc. visų autobusų turi įrengtą neįgalųjų rampą yra pritaikyta neįgaliesiems. Maršrutinio transporto schema nepakito. Atsirado tik nedidelė 52 maršruto kilpa ties Tarande. A juostų, skirtų viešajam

transportui ilgis 36,4 km, jis per 4 metu laikotarpį išaugo nuo 33,3 km. Esminių pokyčių greitųjų autobusų maršrutuose nebuvo. 5G maršrutas, einantis per nagrinėjamą miesto dalį vidutiniškai per dieną perveža apie 14635 keleivių (SĮ Susiekimo paslaugos. Vilniaus miesto viešojo transporto atnaujinimo galimybių studija (2020).



4 pav. Maršrutinio transporto schema

Šaltinis <https://maps.vilnius.lt/>

Viešojo transporto bilietai nepabrango. Populiausias 30 min. bilietas kainuoja 0,65 €. Valandos bilietas kainuoja 0,90 €. Taip pat galima pasirinkti 1, 3, 5 ir 10 dienų bilietus, kurie kainuoja 5 €, 8 €, 12 € ir 15 € atitinkamai. Mėnesio pravažiuojantis kainuoja 29 €. Bilietus galima įsigyti papildant plastikinę vilniečio kortelę arba per mobiliąją programėlę „m.Ticket“.

Vilniaus miesto savivaldybės taryba dar 2013 m. buvo palaiminusi dviračių transporto infrastruktūros plėtros programą. Joje numatyta iki 2020 m. dviračių takų tinklą išplėsti dvigubai – nuo 126 iki 238 km. Bet praėjusių metų pabaigoje Vilniuje driekėsi 164 km dviračių takų, arba 12 km daugiau nei ankstesniais metais Tačiau šiemet sostinės valdžia skelbia planuojanti už 3 mln. eurų nutiesti 14 km naujų dviračių ir pėsčiųjų takų.

Išanalizavus dviračių infrastruktūrą Vilniaus šiaurės vakarų dalyje ir 2018 ir 2021 žemėlapius, pastebėta, kad jokių naujų trasų praktiškai neatsirado. Kaip skelbiama savivaldybės tinklalapyje – pastaruoju metu Justiniškių rajonas sulaukė nemažai teigiamų pokyčių: buvo atnaujinta atkarpa nuo Laisvės pr. iki Šešuolių gatvės, tarp Rygos gatvės ir Laisvės prospekto nutiestas naujas apie 2 km ilgio dviračių takas, o šalia jo – šaligatvis. Justiniškėse atnaujintos viešosios erdvės esančios tarp Rygos, Taikos, Justiniškių gatvių ir tarp Lūžių, Taikos, Rygos, Justiniškių gatvių. Skveruose buvo atnaujinta danga, sutvarkyti laiptai ir apšvietimas, pastatyti suoliukai, pasodinti želdiniai. Tačiau dviračių takai išlieka fragmentuoti ir dažnai nesusijungia tarpusavyje. Galima išskirti iš bendro konteksto tik „Saulės alėjos“ įrengimą Šeškinės mikrorajone.

Dažna dviračių takų problema Vilniuje yra ta, kad jie pradėti projektuoti jau esamoje infrastruktūroje. Kas sukelia daug iššūkių juos nutiesti. Yra vietų, kur dviračių takai praeina per viešojo transporto laukimo stoteles ar persipina su pėsčiųjų takais. Dviratininkams trukdo pėstieji, žmonės išlipę iš autobuso jaučiasi ne-

saugiai (5 pav.). Savivaldybė per keturis metus naujų sprendimų nerado ir probleminės vietos liko.



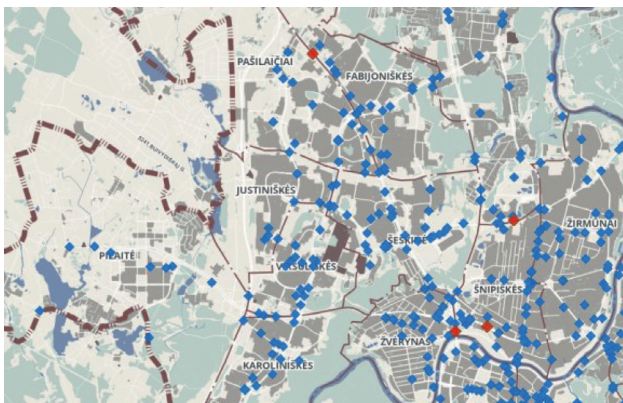
5 pav. Dviračių takas Ukmergės gatvėje

Organizuojant dviračių eismą – vis daugiau atsiranda šviesoforų su atskirais signalais dviratininkams. Keliose vietose atsirado „leidžiamo signalo“ laukimo rėmai, kur galima patogiai sustoti ar atsiremti su dviračiu. Takai pradėti tiesti skirtingais lygiais su šaligatviais. Nauji šaligatviai pradėti įrengti su nukreipiamaisiais paviršiais pritaikytais neįgaliems. Savivaldybės įmonė „Susisiekimo paslaugos“ tyrimo duomenimis dviračių takų kokybę/būklę respondentai vertino teigiamai.



6 pav. Nukreipiamieji paviršiai

Apžvelgiant pavojingiausias vietas Vilniaus šiaurės vakarų dalyje reikia paminėti, kad nutiestas atitvaras, Ukmergės gatvės viduryje, pasiteisino, nes neliko ne tik bet kur kertančių gatvę pėsčiųjų, bet ir neliko spūsčių ties posūkiais į kairę. Ypač žiemos laikotarpiu toks sprendimas pasiteisino saugumo prasme. Apie ką akivaizdžiai byloja eismo įvykių šiaurės vakarų Vilniaus dalyje sumažėjimas. Sumažėjo ne tik pačių įvykių, bet ir mirčių.



7 pav. Eismo įvykių vietos

Šaltinis <https://maps.vilnius.lt/>

Taip pat, Vilnius įgauna estetinį vaizdą. Nauji, modernūs pastatai dengia senų garažų kompleksus. Tai ne tik puošia bendrai regimą vaizdą, bet ir suteikia puikias galimybes verslui įkurti patogioje ir matomoje vietoje prekybos arba paslaugų taškus. Susisiekimas yra patogus ir klientams lengvai pasiekiamas.



8 pav. Pastatas užstojojantis senų garažų kompleksą

Tokie pastatai bei pylimai atlieka dar ir vieną nematomą funkciją: apsaugo nuo triukšmo ir dalies dulkių stovinčius gyvenamuosius namus nuo pagrindinės gatvės.

## Išvados

Palyginus 2018-2021 metų laikotarpį, galima teigti, kad Vilniuje siekiama užtikrinti efektyvų ir darnų judumą. Atnaujinamos transporto priemonės, kurios pritaikytos įvairių poreikių žmonėms, skatinamas ekologiškas transportas plečiant dviračių trasų tinklus, skatinama naudotis viešuoju transportu, sprendžiamos saugos, triukšmo, taršos problemos. Tačiau išanalizavus statistinius duomenis atlikus stebėjimus tapo aišku, kad tam tikros probleminės vietos liko neišspręstos:

1. Žmonės vis dar labiau linkę naudotis nuosavu transportu nei viešuoju.
2. Neišnaudotos „statyk ir važiuok“ sistemos galimybės.
3. Dviračių infrastruktūra nėra užbaigta ir saugi dviratininkams ir pėstiesiems.
4. Kainos už transporto nuomą ir transporto bilietus išaugo.
5. Viešojo transporto priemonės ir susiekimo infrastruktūra iš dalies pritaikyta specialiųjų poreikių turintiems žmonėms.

## Literatūra

- Aplinkos apsaugos agentūra. (2021). Oro kokybės tyrimų duomenys. Prieiga per internetą: <https://oras.gamta.lt/cms/index?rubricId=da104ef9-650c-474a-bac5-684b3b6f0fae>
- Chaikaew, N., B. Sukpromsun, and S. Wongchum. (2018). Bicycling Network Development for Tourism and Travel in Wiang

- Phayao, Thailand. Prieiga per internetą: <http://search.ebsco-host.com.ezproxy.vtdko.lt:2048/login.aspx?direct=true&db=ah&AN=135047353&site=ehost-live>
- Choron, Rachel L, and Joseph V Sakran. (2019). The Integration of Electric Scooters: Useful Technology or Public Health Problem? Prieiga per internetą: doi:10.2105/AJPH.2019.304955
- Damidavičius, J., Palevičius, V. Jakubauskas, G. (2016). Inovatyvių ir modernių technologinių automobilių stovėjimo statinių apžvalga. Mokslas – Lietuvos ateitis. VGTU.
- Mueller, N. (2018). "Health impact assessment of cycling network expansions in European cities". *Preventive Medicine*.
- Nacionalinės susisiekimo plėtros 2014–2022 metų programa. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.3358822>
- Palevičius, V. (2014). Lengvųjų automobilių stovėjimo aikštelių mieste vertinimas daugiatisiais metodais: daktaro disertacija. Vilnius: Technika.
- Palevičius, V, Lazauskaitė, D. (2014). Sistemos „Statyk ir važiuok“ plėtros didžiuosiuose Lietuvos miestuose modelis. Mokslas – Lietuvos ateitis. VGTU.
- Romanillos, G., and Martin Zaltz Austwick. (2016). Madrid Cycle Track: Visualizing the Cyclable City. Prieiga per internetą: doi:10.1080/17445647.2015.1088901
- Spiriajevas, E., and Spiriajevienė I. (2018). Dviračių Dalijimosi Sistemos Įgyvendinimo Geografinės Ir Socialinės Dimensijos - Klaipėdos Miesto Atvejis. Prieiga per internetą: doi:10.15181/rfds.v26i3.1815
- Vilniaus miesto savivaldybė (2021). Vilniaus miesto interaktyvūs žemėlapiai. Prieiga per internetą: <https://maps.vilnius.lt/>
- SĮ Susiekimo paslaugos. Vilniaus miesto viešojo transporto atnaujinimo galimybių studija (2020). Prieiga per internetą: <https://judu.lt/wp-content/uploads/2021/06/VT-2020-ataskaita.pdf>
- SĮ Susiekimo paslaugos. 2019 METŲ VEIKLOS ATASKAITA. Prieiga per internetą: [https://judu.lt/wp-content/uploads/2021/06/2019m\\_-veiklos-ataskaita.pdf](https://judu.lt/wp-content/uploads/2021/06/2019m_-veiklos-ataskaita.pdf)
- UAB „Vilniaus viešasis transportas“ metinis pranešimas 2019. Prieiga per internetą: [https://www.vilniausviesasisistransportas.lt/uploads/metinis%20pranesimas/VVT%20metinis%20prane%C5%A1imas\\_2019\\_audituotas.pdf](https://www.vilniausviesasisistransportas.lt/uploads/metinis%20pranesimas/VVT%20metinis%20prane%C5%A1imas_2019_audituotas.pdf)

## REVIEW OF TRANSPORT AND INFRASTRUCTURE OF VILNIUS NORTH WEST PART IN THE PERIOD 2018-2021

Goras Jokimčius, Jūratė Romeikienė

*Vilnius College of Technologies and Design*

**Abstract.** Easily accessible services, a well-developed transport system, which includes transport and pedestrian and bicycle infrastructure, which is changing and improving every year, are undoubtedly important for the quality of life in the city. This article examines legal documents and foreign experience on sustainable mobility issues. The analysis of the infrastructure of the north-western part of Vilnius performed in 2018 and 2021 is presented. Data were compared and conclusions were drawn.

**Key words:** Infrastructure, sustainable mobility, comparison, urban transport.



# LAUKO KLASĖS PROJEKTAS – MOKYMO LAUKE GALIMYBĖS. EKSPERIMENTINĖS PLĖTROS STUDIJA

Jaroslav Daveiko, Veronika Žvirblė

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

**Anotacija.** 2020 metais pasaulį užvaldžius COVID-19 pandemijai daugybė mokymo įstaigų perėjo prie nuotolinio mokymo. Dėl įvesto karantino bei informacijos apie viruso plitimą stokos sutriko mokymo procesas. Po tam tikro laiko, kai paaiškėjo, kad virusas kelia didesnę pavojų uždaroje patalpoje, ir siekiant išlaikyti kokybišką kontaktinį mokymą, iškilo lauko klasių ir auditorijų poreikis. Straipsnyje keliama idėja, jog kontaktinis mokymas galėtų vykti gryname ore taikant tam tikras mažosios architektūros formas, nes natūraliai pasiskirstant oro srautui galima minimizuoti infekcijų tikimybę bei atrasti aplinkos pažinimo privalumus.

Publikacijoje aptariami 2021 m. Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos Dizaino fakulteto Dizaino katedros Interjero dizaino programos dėstytojų ir studentų vykdyto tyrimo „Lauko klasė“ rezultatai. Tyrimo metu atskleista mokymo lauke specifika ir identifikuotos technologijos, medžiagos, priemonės, mažosios architektūros formos, tinkamos moksleivių kokybiško mokymo aplinkai sukurti Šiaurės Europos gamtinėmis sąlygomis bei sugeneruotos su tuo procesu susijusios kūrybinės idėjos.

Rengiant straipsnį pasitelkti literatūros analizės, sintezės ir atvejo studijos metodai, apklausos internete, grupės diskusijos, stebėjimo ir kt. metodai, o duomenys apdoroti aprašomosios statistikos bei kokybinių rodiklių vertinimo metodais. Straipsnyje pateikiami ne tik tyrimo rezultatai, bet ir diskusija, kaip sukurti tinkamas ugdymo sąlygas gryname ore.

**Reikšminiai žodžiai:** lauko klasė, mokymas lauke, statybinės medžiagos, kokybiškas ugdymas, tarpdisciplininės dirbtuvės, mažoji architektūra.

## Įvadas

**Temos aktualumas ir problematika.** Neretai galime išgirsti nuomonę, jog mokymas gryname ore yra XX ar net XXI amžiaus pasiekimas. Dažnas mano, kad toks mokymo būdas – 2020 m. COVID-19 viruso išplitimo pasekmė, privertusi daugelį pasaulio šalių išmėginti lauko mokymo privalumus ir trūkumus, galimai perimant lauko mokymosi patirtį iš mažiau išsivysčiusių šiltesnio klimato šalių.

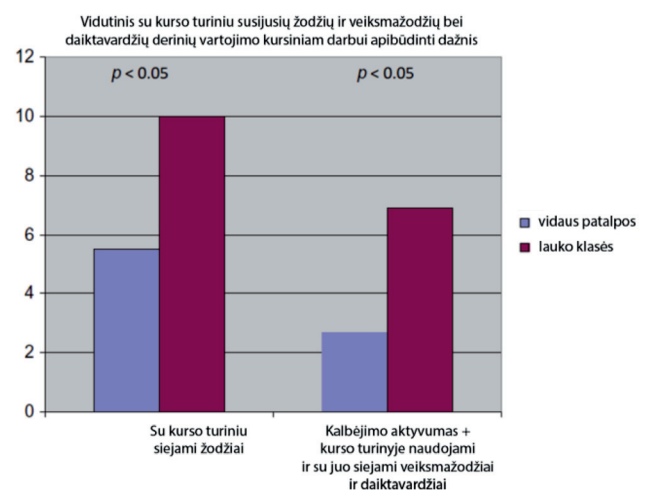
Tačiau išnagrinėjus istorinius šaltinius paaiškėjo, jog organizuoto stovyklavimo idėjos išplito pasaulyje XIX amžiuje, o vienas pirmųjų mokymo lauke pradininkų buvo Skautų judėjimas, XX a. pr. įkurtas Jungtinėje karalystėje ir apėmęs Europą, JAV, Australiją, Naująją Zelandiją ir pan. XX amžiuje buvo organizuojamos „Miško mokyklos“ Danijoje, Jungtinėje karalystėje, panašaus pobūdžio mokyklos kūrėsi visoje Europoje (Knight, 2009). Taigi, idėja nėra nauja, tačiau akivaizdus patogios įrangos trūkumas lauko sąlygomis – tarp jų ir lauko klasių mažosios architektūros šiuolaikinių sprendinių stoka (Ramos, 2021).

Straipsnyje keliami klausimai yra ypač aktualūs, kadangi 2020 m. dėl skuboto karantino paskelbimo vaikų darželiuose, mokyklose bei aukštojo mokslo įstaigose kilo nemenkų iššūkių organizuojant mokymo procesą, anksčiau vykdytą tik kontaktiniu būdu specialiai tam įrengtose patalpose bei disponuojant organizuotai parenkamomis medžiagomis bei priemonėmis. Nors teorines pamokas ar paskaitas visiškai įmanoma organizuoti nuotoliniu būdu, tačiau pedagogai, mokantys su fizine ar kūrybine veikla susijusių dalykų, karantino metu patyrė nemažai sunkumų kurdami modifikuotą mokymų turinį nuotoliniam mokymui (Davidaviciene et al. 2021).

Straipsnyje gvildinama idėja, jog kontaktinis mokymas galėtų beveik nuolat vykti gryname ore taikant tam tikras

mažosios architektūros formas bei technologijas, ir tokiu būdu, natūraliai pasiskirstant oro srautams, sumažėtų infekcijų perdavimo tikimybė. Sukurti architektūriniai moduliai padėtų ne tik stiprinti imunitetą gryname ore, bet atvertų ir platesnes aplinkos pažinimo galimybes.

Nors nuotolinis mokymas yra tapęs kasdienybe, tačiau dėl anksčiau minėtos mokymo problematikos, bekontaktės studijos, vykdomos tik pagal būtinają programą, tampa ne tokios kokybiškos. Daugybė tyrimų ir studijų šioje srityje rodo, kad mokantis gryname ore pagerėja medžiagos suvokimo rodikliai bei kokybė (Fägerstam & Blom, 2013).



1 pav. Ilgalaikis turinio ir patirties išsaugojimas uždaroje (n = 2) ir lauko (n = 2) biologijos pamokose.

Šaltinis: (Fägerstam & Blom, 2013).

**Tyrimo objektas** – Vilniaus miesto mokyklų aplinka ir bendruomenės.

**Tyrimo tikslas** – atskleisti mokymo lauke specifiką ir identifikuoti technologijas, medžiagas, priemones moks-

leivių kokybiško mokymo aplinkai sukurti Šiaurės Europos gamtinėmis sąlygomis bei generuoti su tuo procesu susijusias kūrybines idėjas. Išstudijuoti galimybes kuo mažesnėmis sąnaudomis, pritaikant tvarumo, ekologiškumo bei daiktų ir medžiagų antrinio panaudojimo principus, kurti modulinius ar prie aplinkos pritaikytus darinius, skirtus kokybiškai mokyti kontaktiniu būdu atvira ore. Tiriant Vilniaus mokyklų aplinkos specifiką bei individualius poreikius identifikuoti optimaliausius projektavimo metodus, medžiagas ir lengvai įvykdomus inžinerinius bei dizaino sprendimus.

**Tyrimo rezultatas** – išstudijuotos galimybės projektuoti lauko klasę ir jos įrangą Vilniaus mieste siekiant saugiai mokyti kontaktiniu būdu ir išvengti nuotolinio mokymo.

Rengiant straipsnį pasitelkti literatūros analizės, sintezės ir atvejo studijos metodai, apklausos internete, grupės diskusijos, stebėjimo ir kt. metodai, o duomenys apdoroti aprašomosios statistikos bei kokybiinių rodiklių vertinimo metodais.

## 1. Mokslinės literatūros apžvalga

Daugumoje literatūros šaltinių patvirtinamas ir pabrėžiamas mokymo lauke efektyvumas. Visiškai aišku, jog kontaktinis mokymas lauke ir lauko klasių kūrimas (ypač pandeminių aktualijų kontekste) yra visiškai perspektyvi kryptis plėtoti naujus kūrybinius bei inžinerinius sprendinius. Išstudijuotuose šaltiniuose nurodomos sąlygos, kurias privaloma numatyti projektuojant lauko edukacinius kompleksus (Ender Altay et al. 2021; Ramos, 2021).

Edukologų ir psichologų nuolat nagrinėjami „išorinio“ mokymo privalumai ir trūkumai. Tokios edukacijos problematika gana nuodugniai išanalizuota atliekant įvairiausių tyrimus, susijusius su lauke įrengiamomis klasėmis (Knight, 2009; Fajaria, 2013; Potvin, P. & Potvin, P. 2018). Ypač svarbūs 2020 ir 2021 metų pasaulinių įvykių kontekste atlikti minėtos krypties tyrimai (HumanResearch, 2009). Tyrimų rezultatai aiškiai parodė, jog mokantis gryname ore pasiekiami kur kas geresni medžiagos įsisavinimo rodikliai (Vainio-Kaila, 2017) ir vyksta aktyvesnis aplinkos pažinimas. Autoriai rekomenduoja į mokymo programas integruoti lauke vykdomas veiklas (Arslantaş & Bavlı, 2021; Novljan & Pavlin, 2021; Stadler-Altman, 2021).

Dėl stichiškai išplitusios pandeminės situacijos atsirado poreikis nuodugniai išnagrinėti lauko klasės projektavimo niansus, ištirti tokiai veiklai tinkamą aplinką, klimato sąlygas, mokyklų technines bei materialines galimybes, sužinoti mokinių, studentų, mokytojų ir dėstytojų nuomonę apie kūrybinio mokymo aplinką ir aprašyti tam tikras projektavimo bei medžiagų parinkimo metodikas ir rekomendacijas (Gabrenas, 2011; Gabrenas, 2012; Viluma & Gabrenas, 2019).

Padidėjus poreikiui vykdyti įvairias kontaktines veiklas lauko sąlygomis verta atkreipti dėmesį ir į lauko

erdvių, terasų ir pan. šildymo ypatumus ir šios srities tyrimus, kurie iki šiol buvo aktualūs beveik išimtinai tik viešojo maitinimo ar HoReCa sektoriaus įstaigoms (Alonso-Montolio et al, 2021).

Šiems tikslams pasiekti kartu su lauko klasių projekto galimybių studija Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijoje buvo atliktas tarptautinis tyrimas „Conducting creative workshops online“ (Davidaviciene et al. 2021), kuriame gvildenami klausimai glaudžiai persipina su lauko klasės projektavimo aktualijomis.

## 2. Tyrimo metodologija

**Tyrimo problema.** Tiriant anksčiau aprašytą lauko klasės darinio ar modulio projektavimo problematiką natūraliai kyla klausimai:

- Ar tiriamų mokyklų aplinkoje įmanoma integruoti kelias lauko klases?
- Kokias statybines medžiagas rekomenduojama numatyti projektuojant lauko klasę?
- Kokia aplinka priimtinausia lauko klasėse?
- Ar lauko klasėse yra saugu, ar tokia klasė atitinka naudotojų poreikius?
- Kokiais būdais galima sukurti kūrybišką ir saugią atmosferą lauko klasės aplinkoje?
- Kokias apsaugines ar izoliacines priemones verta naudoti projektuojant lauko klasę?
- Ar lauko klasės projektas turi būti derinamas prie aplinkos landšafto, t. y. projektuojamas individualizuotas darinys, ar turi būti kūriamas modulis, pritaikomas skirtingoje aplinkoje?

Kuriant „Lauko klasės“ galimybių studiją siekta atsakyti į šiuos klausimus ir rasti iškilusių problemų sprendimo būdus.

### Tyrimo uždaviniai:

1. Apžvelgti projektus, vykdytus tyrimo „Lauko klasė“ kontekste.
2. Atskleisti lauko klasių projektavimo metodus bei galimybes.
3. Nustatyti optimalias statybines medžiagas, tinkamas lauko klasės projektui įgyvendinti.
4. Suformuluoti lauko klasių projektavimo rekomendacijas.

**Tyrimo metodai:** literatūros analizės, sintezės ir atvejo studijos metodai, apklausa internete, grupės diskusijos, stebėjimo ir kt. metodai, o duomenys apdoroti aprašomosios statistikos bei kokybinių rodiklių vertinimo metodais.

### Kokybiniai tyrimo metodai:

1. Atvejo studija (konkrečios mokyklos socialinės specifikos studija).
2. Nestruktūruotas interviu pokalbio forma (pokalbiai su mokyklų atstovais, mokiniais – lūkesčių studija).
3. Grupės diskusija (Savivaldybė>mokyklų bendruomenė>dėstytojai ir studentai).
4. Stebėjimas (mokinių klasės veiklos stebėjimas)

5. Aplinkos tyrimas (tiriamas landšaftas ir galimybės pritaikyti projektą prie aplinkos).
6. Veiklos tyrimas (būsimos veiklos projektuojama objektu planavimas ir galimybių studija).

#### Kiekybiniai tyrimo metodai:

1. Antrinių duomenų rinkimas ir analizė.
2. Mišraus tyrimo metodika.

Mokslinės ir specialiosios literatūros, kurioje nagrinėjamos panašios problemos, studijos ir analizė.

**Projekto dalyviai:** Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos Dizaino fakulteto Dizaino katedros Interjero dizaino programos dėstytojai ir studentai, aštuonių Vilniaus miesto mokyklų bendruomenės, Vilniaus miesto savivaldybės įkurtas Vilniaus švietimo pažangos centras.

**Tyrimo aplinka.** Tyrimas atliktas Vilniaus mokyklų ir Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos teritorijose. Buvo apklausti tyrimo dalyviai, vyko diskusijos, stebima mokinių elgsena (lauke pertraukų metu), nagrinėjama tyrimo dalyvių fizinė aplinka, elektroninė aplinka ir klasėse naudojama įranga, tiriami kiekvienos mokyklos individualūs poreikiai, atsižvelgiant į numatomas veiklas, vyksiančias lauko klasėse.

**Tyrimo procesas.** Tyrimas buvo vykdomas dviem etapais (sukurti 8 projektai):

- Tiriant aplinką, dokumentaciją, diskutuojant ir stebint;
- Projektuojant individualius arba universalius modulius, pritaikytus kiekvienos mokyklos aplinkai.

### 3. Tyrimo „Lauko klasė“ eiga ir rezultatai

Pirmąjį tyrimo etapą galima apibūdinti kaip pasirengimo tolesnei veiklai žingsnį.

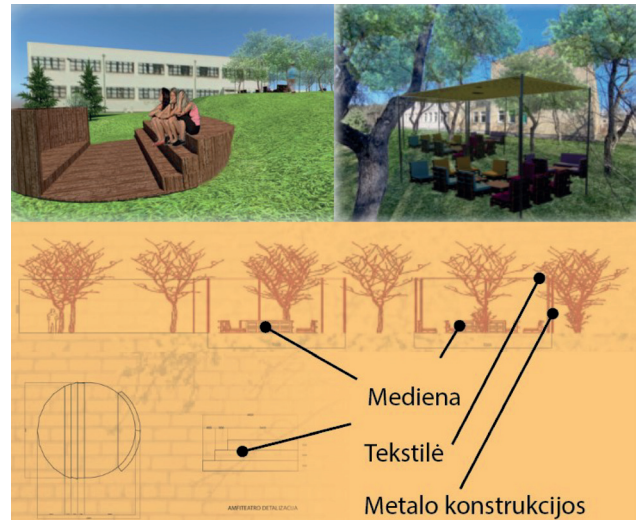
Lauko klasių projektavimas buvo integruotas kaip užduotis į Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos Dizaino katedros Interjero dizaino programos antro kurso studentų „Projektavimas 2“ modulio kursą. Pasirengimo metu vyko seminarai, organizuoti Vilniaus švietimo pažangos centro, susitikimai su mokyklų bendruomenių atstovais, lauko tyrimai, aplinkos fotografacija, projekcinės dokumentacijos analizė.



2 pav. Vilniaus miesto darželis-mokykla „Svaja“. Studentai atlieka lauko tyrimus ir fotofiksaciją

Šaltinis: autorių asmeninis archyvas

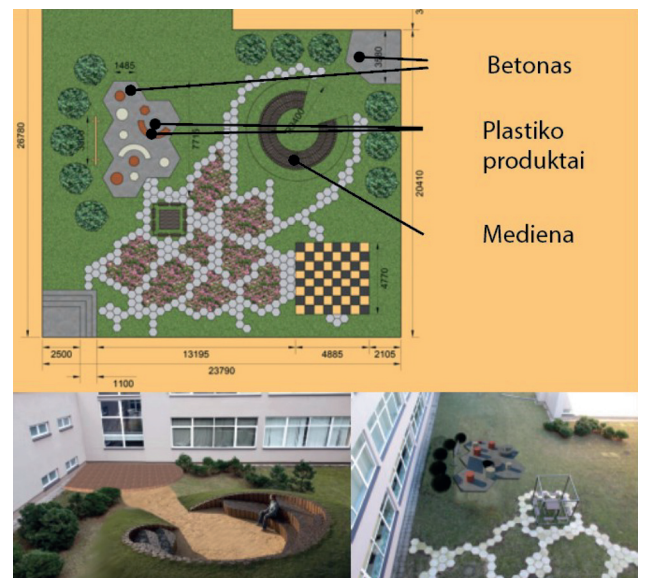
**Projektavimo eiga ir problematika.** Atlikus tyrimą buvo nustatyta, jog ne visų mokyklų aplinka standartinė, tinkama moduliniams užstatymui.



3 pav. Vilniaus miesto Verkių mokykla-daugiafunkcis centras – lauko klasės sprendimas obelių sodo šlaite

Šaltinis: autorių asmeninis archyvas. Projekto autorės Greta Ruzgaitė ir Jovita Žemaitienė

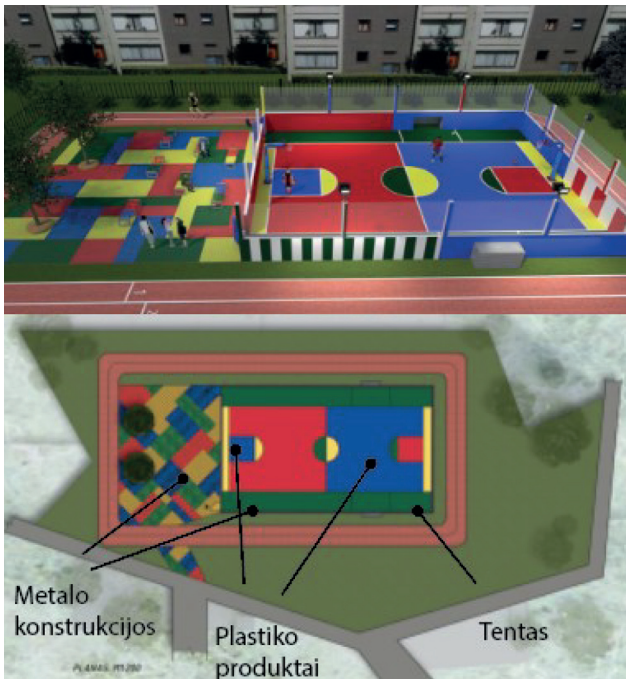
Kai kuriose vietose vyravo problemiškas reljefas (3 pav.), augmenija (8 pav.) arba jau esamas užstatymas (suformuoti betono plytelių takai, esami mažosios architektūros objektai), reikalaujantis individualių sprendimų (4 pav.).



4 pav. Vilniaus miesto Emilijos Pliaterytės progimnazijai kurtas lauko klasės sprendimas

Šaltinis: autorių asmeninis archyvas. Projekto autorės Viktorija Noreiko ir Kamilė Žukaitė

Po diskusijų ir seminarų su bendruomenės ir savivaldybės atstovais apklausų ir analogų parinkimo metodu atrinktos medžiagos, kurios gali būti naudojamos lauko klasių projektams: mediena, metalo konstrukcijos, organinis stiklas, plastiko produktai, medienos produktai, tekstilės produktai, betonas.

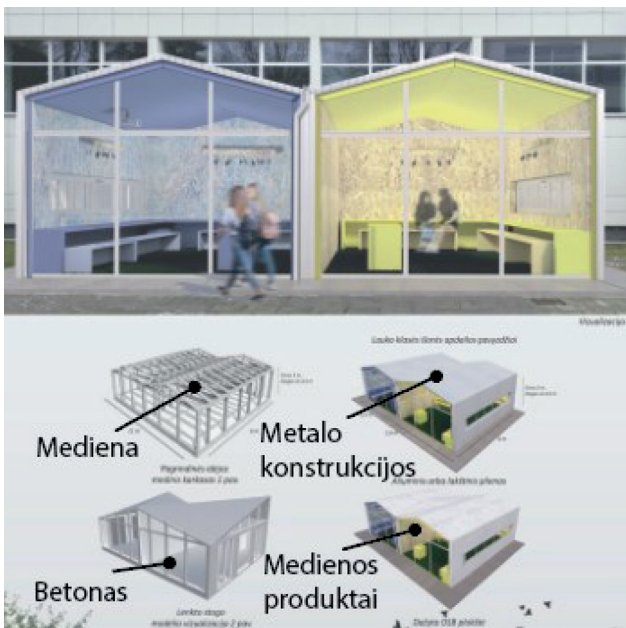


5 pav. Vilniaus darželis-mokykla „Svajna“ – lauko klasė su sporto kompleksu

Šaltinis: autorių asmeninis archyvas.  
Projekto autorės Aistė Lėkaitė ir Kamilė Ežerskytė

Nagrinėjant sukauptą tyrimo medžiagą paaiškėjo, jog mokyklų poreikiai yra toli gražu nevienodi ir glaudžiai susiję su mokyklos specifika. Pvz., mokyklai-darželiui reikia sporto komplekso, bet dėl vidaus patalpų trūkumo problemiška jį įrengti, todėl nutarta suderinti sporto kompleksą su lauko klasės elementais. Taip sukurta atviros erdvės struktūra (5 pav.).

Nors siūlyta lauko klasės koncepcija, t. y. darbas lauke (Stadler-Altman, 2021), dauguma pageidavimų buvo susiję su uždaresnėmis patalpomis (6 pav.).

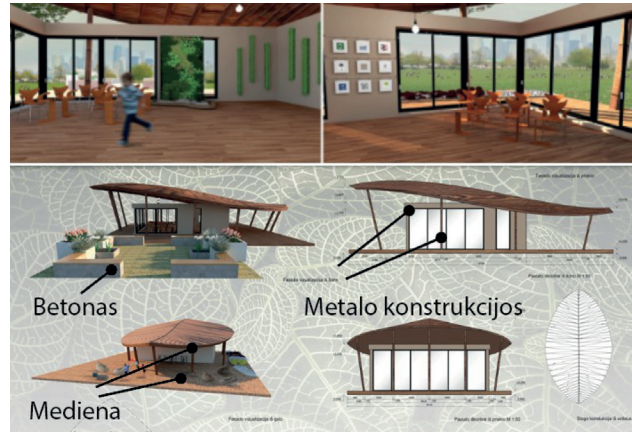


6 pav. Vilniaus Jono Basanavičiaus progimnazijos lauko klasės projektas. Uždaro tipo konstrukcija

Šaltinis: autorių asmeninis archyvas.  
Projekto autorės Emilija Mikelevičiūtė ir Gabija Čepeliauskaitė

Tokio tipo konstrukcijų sąnaudos didesnės palyginti su atviro tipo klasės ištekiais, tačiau priimti sprendimai leidžia sukurti kokybišką vidaus erdvės šildymą šaltuoju sezonu.

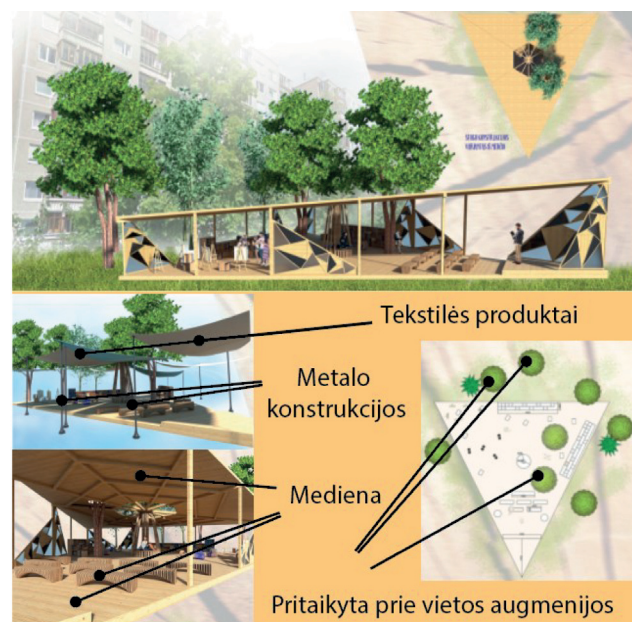
Atvirosio tipo konstrukcijos reikalautų papildomų, galimai ne tokių efektyvių šildymo sprendimų ir jų naudojimas pagal paskirtį itin šaltu metu (pvz. -20 °C laipsnių lauko temperatūros sąlygomis) kelia daug abejonių (3 pav., 5 pav., 8 pav.).



7 pav. Vilniaus Maironio progimnazijos lauko klasės projektas. Pusiau atviro tipo konstrukcija

Šaltinis: autorių asmeninis archyvas. Projekto autorės Paulina Mitkevičiūtė ir Viltė Vasiliauskaitė

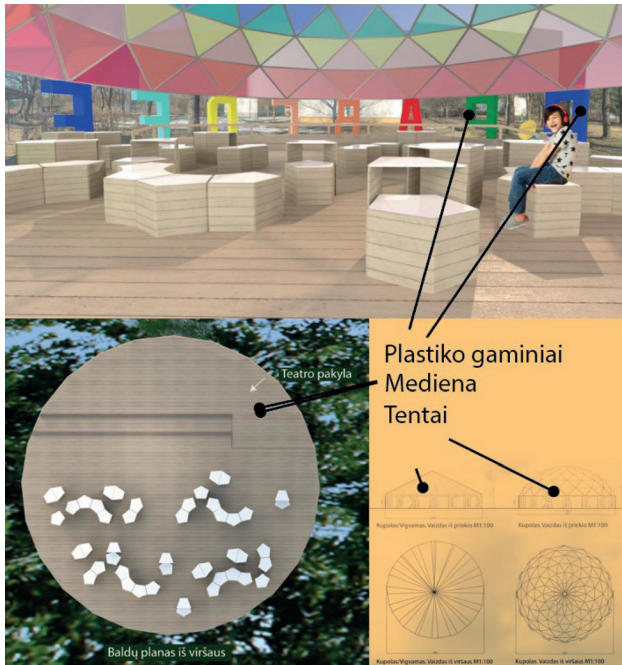
Nagrinėjant projekto problematiką kilo idėjų sukurti pusiau atvirą modulinę konstrukciją (7 pav.) su originaliu individualiai suprojektuotu stogu (dizaino sprendimas pritaikomas, atsižvelgiant į landšafto ypatumus), kurio konstrukcija iškelta virš sienų konstruktyvo, kas lemia laisvą gryno oro patekimą į vidaus erdvę, tačiau saugo nuo vėjo ir kitų atmosferos veiksnių. Toks sprendimas galėtų sumažinti klasės šildymo kaštus.



8 pav. Vilniaus Sietuvos progimnazijos lauko klasės projektas. Pusiau atviro tipo konstrukcija

Šaltinis: autorių asmeninis archyvas. Projekto autorės Jolanta Čižytė ir Judita Gučaitė

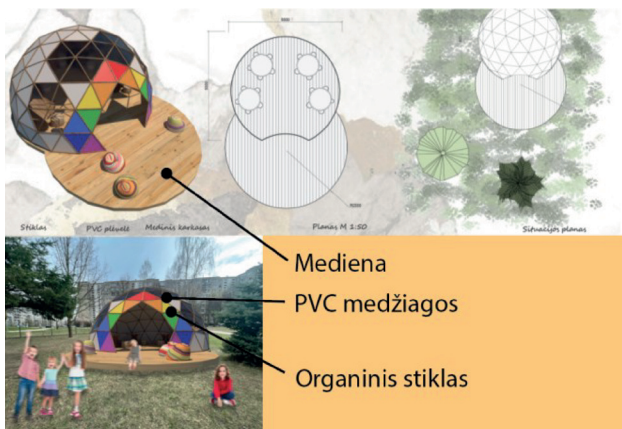
Vienas iš projekto iššūkių – poreikis prisitaikyti prie teritorijos augmenijos (8 pav.). Vilniaus Sietuvos progimnazijos teritorijoje suprojektuotas mažosios architektūros statinys su jame integruotais medžiais. Tai buvo bendruomenei priimtinas ekologiškas ir tvarus sprendimas, tačiau individualizuotas projektas padidino statybų kaštus.



9 pav. Vilniaus Šilo mokyklos lauko klasės projektas. Teatro klasė. Kupolinio tipo konstrukcija

Šaltinis: autorių asmeninis archyvas. Projekto autorės Gertrūda Ravluševičiūtė ir Ieva Čirūnaitė

Kadangi kai kurios mokyklos ugdo vaikus su specifiniais poreikiais, projekto dalyviai turėjo atsižvelgti į daugybę tokių papildomų veiksnių, kaip klasės konstrukcijų pritaikymas neįgaliesiems, padidintas saugumas ir pan. Taip pat iškilo poreikis suderinti įprastą lauko klasės funkciją su teatro paskirties zona (9 pav.).



10 pav. Vilniaus Vyturio pradinės mokyklos lauko klasės projektas. Surenkama modulinė kupolinė konstrukcija

Šaltinis: autorių asmeninis archyvas. Projekto autorė Redita Jonutė

Jei landšaftas yra tinkamas, galimas ir modulių konstrukcijų projektavimas, pritaikant jau esančias rinkoje technologijas, tokias, kaip surenkamos kupo-

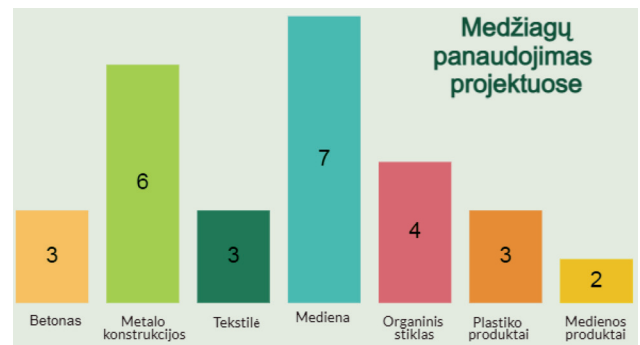
linės konstrukcijos (10 pav.). Ši vizija pelnė kone visų projekto dalyvių simpatijas ir buvo įgyvendinta ar planuojama įgyvendinti keliose mokyklose. Projektas tapo populiarus dėl įstabios formos, galimų dizaino variacijų, patvarios konstrukcijos, sąlygiškai nedidelių sąnaudų bei įgyvendinimo ir adaptavimo paprastumo.

**Projekto kontekste atliktos tyrimo dalies rezultatai.** Atliekant eksperimentinės plėtros tyrimą buvo nustatyta, jog daugumos mokyklų turima teritorija leidžia įrengti ne daugiau kaip 1–3 lauko klases.

Diskusijų ir apklausos metu išnagrinėjus tyrimo dalyvių nuomones nustatyta, jog lauko klasės aplinka turi būti suformuota iš ekologiškų medžiagų bei saugi moksleiviams ir pedagogams. Edukacinė patalpa turi būti epidemiologiškai saugi (medžiagos turinčios antiseptinių savybių arba lengvai valomis ir prižiūrimos), užtikrinamas oro srautų judėjimas, laisvas gryno oro patekimas.

Norint apsaugoti nuo vėjo galima naudoti organinį stiklą, tekstilės produktus.

Visų tyrimo dalyvių nuomonė dėl medžiagų parinkimo tokio pobūdžio architektūriniais sprendimais nesiskiria.



11 pav. Medžiagų grupių panaudojimas projektuose  
Šaltinis: sudaryta autorių

Beveik visų mokyklų projektuose vyravo mediena (11 pav.). Šią statybinę medžiagą buvo siūloma naudoti net 7 iš 8 mokyklų lauko klasių projektų. Galima daryti išvadą, kad tokiems statiniams mūsų klimato sąlygomis ši medžiaga tinkamiausia. Taip pat svarbios medienos ekolinės bei antiseptinės savybės. Žemiau pateiktoje lentelėje galima susipažinti su medienos rūšimis, naikinančiomis tam tikras bakterijų padermes (1 lentelė). Svarbios ir metalo konstrukcijos, organinis stiklas, taip pat projektuotojai naudojo betoną, tekstilę, plastiką ir kitas medžiagas.

Atlikto tyrimo metu paaiškėjo glaudaus bendradarbiavimo su bendruomene svarba bei ekologijos, tvarios aplinkos sprendimų įtraukimo į panašaus pobūdžio projektus aktualumas bei tikslingumas. Buvo išryškinta ir išspręsta lauko klasės koncepcijos suvokimo problema, kuomet dažnai mokyklų bendruomenių atstovai įsivaizdavo lauko klasę kaip atskirai mokyklos teritorijoje įrengtą uždarą statinį. Tačiau vykdytų diskusijų eigoje išsiaiškinta jog lauko klasės sąvoką atitinka atviro arba pusiau atviro tipo mažosios architektūros darinys.

**1 lentelė.** Medienos rūšys, kurios, kaip įrodyta, slopina tam tikras bakterijų padermes. Šerdies mediena (ŠM)/balanos mediena (BM) žymima kai yra duomenų.

Medienos rūšys	Bakterijų padermė	Gram +/-	Šaltinis
Liepa, klevas	<i>Listeria monocytogenes</i>	+	Ak & al., 1994a
Bukas, beržas, klevas	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	-	Ak & al., 1994a
Beržas, klevas	<i>Salmonella</i> Typhimurium	-	Ak & al., 1994a
Maumedis, ŠM ir BM	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	-	Kavian-Jahromi & al., 2015
Maumedis, ŠM ir BM	<i>Staphylococcus aureus</i> (Methicillin-resistant)	+	Kavian-Jahromi & al., 2015
Ažuolas, bukas, uosis, pušis, eglė	<i>Bacillus subtilis</i>	+	Koch & al., 2002
Ažuolas, bukas, uosis, pušis, eglė	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	-	Koch & al., 2002
Pušis paprastoji, Norv. eglė ir azuolas, mišru ŠM ir BM	<i>Enterococcus faecium</i>	+	Milling & al., 2005a
Pušis paprastoji ir azuolas, mišru ŠM ir BM	<i>Escherichia coli</i>	-	Milling & al., 2005a
Pušis paprastoji ŠM	<i>Enterococcus faecium</i>	+	Schönwälder & al., 2002
Pušis paprastoji ŠM, maumedis	<i>Escherichia coli</i>	-	Schönwälder & al., 2002
Pušis paprastoji ŠM	<i>Bacillus subtilis</i>	+	Laireiter & al., 2013
Pušis paprastoji ŠM	<i>Enterococcus faecium</i>	+	Laireiter & al., 2013
Pušis paprastoji ŠM	<i>Staphylococcus aureus</i>	+	Laireiter & al., 2013
Tuopa	<i>Bacillus cereus</i>	+	Revol-Junelles et al., 2005
Tuopa	<i>Escherichia coli</i>	-	Revol-Junelles & al., 2005

Šaltinis: (Vainio-Kaila, 2017)

Projektuojant lauko klasės kompleksą kilo nemažai iššūkių, reikalaujančių išsamesnių tyrimų, pavyzdžiui tokių, kaip atviros erdvės šildymas šaltuoju sezonu, apsauga nuo kritulių, garso izoliacijos problemų sprendimas.

#### 4. Lauko klasės projekto rekomendacijos

Projektuojant lauko klases atlikti tyrimai ir rezultatų analizė parodė, kad lauko klasė yra labai svarbi kūrybinio kontaktinio mokymo priemonė. Tačiau iškyla tam tikrų projektavimo, adaptavimo prie landšafto, projekto valdymo, išlaidų reguliavimo bei medžiagų parinkimo sunkumų. Taip pat susiduriama su mokinių bei pedagogų poreikių integravimo į architektūrinį bei inžinerinį sprendimą problematika.

Kartu su lauko klasių projektavimo galimybių studija Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijoje buvo atliktas tarptautinis tyrimas „Conducting creative workshops online“ (Davidaviciene et al. 2021), kurio metu pateikta apklausa dėl darbo vietos pritaikymo kūrybinėms dirbtuvėms. Paprašius tyrime dalyvavusius 93 respondentus (pedagogus, mokinius bei studentus) aprašyti jų įsivaizduojamą darbo vietą pandemijos bei karantino laikotarpiu, nemaža dalis jų paminėjo lauko erdves. Respondentų atsakymai pateikti 12 pav.

Išanalizavus tyrimo metu gautus duomenis galima būtų apibendrinti lauko klasės projektavimo **metodines rekomendacijas**:

- Prieš rengiant projektą reikia organizuoti mažiau-



12 pav. Patalpų, tinkamų vykdyti kontaktines edukacijas karantino metu, analizė

Šaltinis: sudaryta autorių

siai du susitikimus-seminarus su bendruomenės, kuriai kuriamas projektas, atstovais.

- Atlikti išsamius lauko tyrimus (tiriamas landšaftas ir galimybės pritaikyti projektą prie aplinkos).
- Atlikti detalią fotofiksaciją ir atidžiai išnagrinėti pateiktą projekto dokumentaciją, teritorijos žemėlapius, pastatų planus bei landšafto žemėlapius.
- Stebėti tikslinės grupės veiklą ugdymo įstaigoje.
- Projektinėje dalyje išnagrinėti visus užsakovo poreikius ir pageidavimus, numatyti neįgalųjų judėjimo galimybę, aptarti vaikų saugos klausimus.
- Projektuoti modulinius statinius arba naudoti modulines konstrukcijas.
- Individualius projektinius sprendimus rekomenduojama atlikti, kai yra sudėtingas landšaftas arba susiduriama su vietinės augmenijos išsaugojimo aktualijoms. Kartais naudinga atsižvelgti į tautinį identitetą atspindinčias formas.
- Numatyti laisvą gryno oro patekimą į lauko klasės erdvę, tačiau užtikrinti patikimą apsaugą nuo kritulių.
- Numatyti apsaugą nuo vabzdžių ir vėjo.
- Išspręsti garso izoliacijos problemą.
- Naudoti ekologines medžiagas (rekomenduojama medieną).
- Užtikrinti patogias darbo sąlygas ir būtinų edukacijai reikmenų prieinamumą, saugų reikalingų priemonių sandėliavimą klasėje, kad nereikėtų nuolat nešioti daiktų iš pagrindinio pastato.
- Pasirūpinti elektros ir ryšio komunikacijomis (wi-fi) lauko klasėje, taip pat reikiamų medijų integracija bei jų apsauga nuo atmosferos poveikio.
- Suprojektuoti ekonomišką ir efektyvą lauko šildymą, įvertinus galimus temperatūros pokyčius bei nustatyti lauko klasės naudojimo sezoniskumą.
- Projektuoti universalias erdves, pritaikomas visoms ugdymo įstaigoje vykstančioms veikloms.
- Prireikus numatyti prijungimą prie vandens tiekimo ir nuotakyno sistemų.

- Kruopščiai apskaičiuoti galimas išlaidas.

Išanalizavę atliktų tyrimų duomenis straipsnio autoriai pradėjo gvildinti ne tik klasės, bet ir lauko laboratorijos, pritaikytos multidisciplininėms kūrybinėms dirbtuvėms ir projektams, koncepciją (13 pav.).

Tokia laboratorija galėtų būti įkurta Vilniaus technologijų ir dizaino kolegijos Dizaino fakultete. Tai paskatintų kurti naujus projektus, atsirastų galimybė saugiai dirbti kontaktiniu būdu – organizuoti moky-



13 pav. Lauko laboratorijos koncepcija. Planas  
Šaltinis: vizualizacijos autorius J. Daveiko



14 pav. Lauko laboratorijos koncepcija. Seminarų klasė  
Šaltinis: vizualizacijos autorius J. Daveiko



15 pav. Lauko laboratorijos koncepcija. Dirbtuvių erdvė  
Šaltinis: vizualizacijos autorius J. Daveiko

mus, seminarus (14 pav.), dirbtuves epidemiologiškai sudėtingu laikotarpiu.

Būtų galima pasirinkti naujas medžiagas (pvz. turinčias specifinių kvapų) ar įrangą, kurią sudėtinga naudoti kolegijos patalpose (pvz. įranga sukelianti didesnę triukšmą) (15 pav.). Laboratorijos koncepcija šiuo metu plėtojama.

## Išvados

1) Lauko klasės koncepcija – neabejotinai naudinga ir būtina bendrojo edukacijos proceso priemonė ne tik pradinio ar vidurinio, bet ir aukštojo išsilavinimo kontekste;

2) Lauko klasės projektavimas – tai specifinė mažosios architektūros projektavimo sritis, tačiau ji yra tamptariai susijusi su įprastų statinių projektavimu ir jo metu kylančiomis problemomis;

3) Projektuojant lauko edukacijai skirtus darinius būtina glaudžiai bendradarbiauti su bendruomenės atstovais, atsižvelgti į esamas aplinkos sąlygas;

4) Projektuojant lauko klases būtina laikytis tvarumo, epidemiologinio saugumo bei ekologiškumo principų, siūlyti ne tik lengvai montuojamas, bet ir lengvai išardomas modulinės konstrukcijas, tinkamai parinkti medžiagas.

5) Tinkamos medžiagos yra mediena, jos gaminiai, metalas, betonas, plastiko gaminiai;

6) Būtina užtikrinti laisvą gryno oro patekimą ir oro srautų pasiskirstymą projektuojamose konstrukcijose.

7) Būtina atlikti tolesnius tyrimus ir spręsti Šiaurės Europos klimato zonoje kylančias lauko šildymo problemas;

8) Individualaus dizaino sprendiniai taikytini tik esant išskirtinėms reljefo ar kitoms aplinkos formavimo sąlygoms.

Įvertinus anksčiau aptartus tyrimų rezultatus rekomenduojama skatinti mokslo bendruomenės bendradarbiavimą, atlikti multidisciplininius tyrimus lauko klasių projektavimo srityje, kurie atitiktų visuomenės socialinius poreikius, inicijuoti tvarumo, epidemiologinio saugumo bei ekologiškumo principus atitinkančių edukacijos sritims taikomų produktų kūrimą Lietuvos ir pasaulio rinkai.

## Literatūra

- Alonso-Montolio, C., Serra-Coch, G., Isalgue, A., & Coch, H. (2021). The energy consumption of terraces in the Barcelona public space: Heating the street. *Sustainability (Switzerland)*, 13(2), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su13020865>
- Arslantaş, Ç. N., & Bavlı, B. (2021). *Effects of Outdoor Learning on Student Achievement : A Cross-National Cooperation Effects of Outdoor Learning on Student Achievement : A Cross-National Cooperation*. July, 45–47.

- Davidaviciene, V., Zvirble, V., & Daveiko, J. (2021). Conducting Creative Workshops in the Process of Distance Learning At Higher Education Institutions. *EDULEARN21 Proceedings*, 1(July), 4477–4488. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2021.0938>
- Ender Altay, E., Şenay, D., & Eyüpoğlu, Z. (2021). Outdoor Indicators for the Healthy Development of Children. *Child Indicators Research*, September. <https://doi.org/10.1007/s12187-021-09855-8>
- Gabrėnas, A. (2011). Tradition of Wooden Architecture – Parallels Between Lithuanian and Finnish Exception / Medinės Architektūros Tradicija – Lietuvos Ir Suomijos Partirties Paralelės. *Mokslas – Lietuvos Ateitis*, 3(3), 77–85. <https://doi.org/10.3846/mla.2011.055>
- Gabrenas, A. (2012). Inovatyvus medienos taikymas šiuolaikinėje architektūroje. *Journal of Architecture and Urbanism*, 36(2), 119–133. <https://doi.org/10.3846/20297955.2012.697705>
- Fajaria, I. (2013). Outdoor Class Project: the Potential Benefits to Foster EFL Students' Language Proficiency. *Advances in Language and Literary Studies*, 4(1), 140–144. <https://doi.org/10.7575/aiac.all.v.4n.1p.140>
- Fägerstam, E., & Blom, J. (2013). Learning biology and mathematics outdoors: effects and attitudes in a Swedish high school context. *Journal of Adventure Education and Outdoor Learning*, 13(1), 56–75. <https://doi.org/10.1080/14729679.2011.647432>
- HumanResearch. (2009). School without Stress - INNOVATION by INTUITION. Žiūrėta Rugsėjo 10, 2021, Pasiiekiamas: [http://humanresearch.at/newwebcontent/?page\\_id=75&lang=en](http://humanresearch.at/newwebcontent/?page_id=75&lang=en)
- Knight, S. (2009). *Forest Schools and Outdoor Learning in the Early Years*. Los Angeles: Sage Publications; 131 pages. ISBN 9781847872777.
- Novljan, M., & Pavlin, J. (2021). Experiences of Slovenian In-Service Primary School Teachers and Students of Grades 4 and 5 with Outdoor Lessons in the Subject Science and Technology. *Center for Educational Policy Studies Journal*, February. <https://doi.org/10.26529/cepsj.919>
- Potvin, P., & Potvin, P. (2018). *Factors that Positively Influence Students' Situational Interest During Outdoor Science Lessons* Jean-Philippe Ayotte-Beaudet. March.
- Ramos, R. (2021). *Crescer sem Muros : um Programa de Formação Colaborativa inovador para profissionais da educação de infância , em contextos exterior / natureza e interior* Questão e Objetivo de Investigação Q: Quais as potencialidades e limitações de Conceção e Implementação Problemática Metodologia Implicações / Contributos Esperados. October. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20817.45928>
- Stadler-Altman, U. (2021). Indoors and outdoors: Schoolyards as learning and playing opportunities. *Journal of Physical Education and Sport*, 21(March), 553–559. <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.s1062>
- Vainio-Kaila, T. (2017). *Antibacterial properties of Scots pine and Norway spruce*. 120. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-7620-1>
- Viluma, A., & Gabrenas, A. (2019). Glulam in Architecture of Latvia and Lithuania. *Architecture and Urban Planning*, 15(1), 59–66. <https://doi.org/10.2478/aup-2019-0008>

## OUTDOOR CLASS PROJECT – OUTDOOR TRAINING OPPORTUNITIES. EXPERIMENTAL DEVELOPMENT STUDY

Jaroslav Daveiko<sup>1</sup>, Veronika Žvirblė<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Vilnius College of Technologies and Design

**Annotation.** With the global COVID-19 pandemic in 2020, many educational institutions switched to distance learning.

The training process was disrupted due to the quarantine introduced and the lack of information on the spread of the virus. After some time, it turned out that the virus poses a greater risk indoors, and in order to maintain quality contact training, there was a need for outdoor classes and classrooms.

The article suggests that contact training could take place in the fresh air using certain small architectural forms, because the natural distribution of air flow can minimize the likelihood of infections and discover the benefits of environmental awareness.

The publication discusses the results of the study “Outdoor Class” conducted by the teachers and students of the 2021 Vilnius College of Technology and Design, Faculty of Design, Department of Design Interior. The study revealed training in the outdoor specifics and identified technologies, materials, tools, small forms of architecture suitable for students of high quality to create an environment for education in the natural conditions of Northern Europe and to generate creative work related to that process ideas.

Literature analysis, synthesis and case study methods, online surveys, group discussions, observation, etc. methods, and the data were processed using descriptive statistics and qualitative evaluation methods. The article presents not only the results of the research, but also a discussion on how to create suitable educational conditions in the fresh air.

**Key words:** outdoor classroom, outdoor training, building materials, quality education, interdisciplinary workshops, small architecture.



# VIRTUALIŲ TECHNOLOGIJŲ TAIKYMAS STATYBOS INŽINERIJOS STUDIJOSE VIRSTEM PROJEKTE

Daiva Makutėnienė<sup>1</sup>, Olga Ovtšarenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius

<sup>2</sup>Talino Taikomųjų mokslų universitetas, Piarnu pl. 62, 10135 Talinas

**Anotacija.** Šiandien esant spartiems technologiniams pokyčiams, skaitmenizacijai, naujoms darbo organizavimo formoms reikalingos novatoriškos idėjos šiuolaikiniam ugdymui, naudojant virtualią mokymosi aplinką ir technines priemones. Šiame straipsnyje aptariamos prielaidos sukurti universalus mokymo plano, skirto statybos specialybių pirmakursiams, koncepciją, skirtą techninių disciplinų pagrindų mokymui - tai reiškia pagrindinį inžinerinį išsilavinimą, integruojant pastatų informacijos modeliavimą (BIM).

Pastato informacijos modeliavimo (BIM) metodika apima kombinuotos informacijos apie visus trimačio objekto parametrus sąvoką. Tai visuotinai paremta šiuolaikinėmis technologijomis ir gali būti naudojama kuriant naujoviškus mokymo metodus.

Siekiant nustatyti prielaidas universalus elektroninio kurso koncepcijai, buvo atlikta statistikos analizė ir apibendrinta vieno regiono šalių aukštųjų mokyklų pagrindinių techninių disciplinų švietimo programų turinio apžvalga.

**Reikšminiai žodžiai:** BIM, virtuali realybė, inžinerinis išsilavinimas, interaktyvumas.

## Įvadas

Sparčiai besivystančios technologijos, greitas informacijos perdavimas, konkurencija reikalauja naujo požiūrio į švietimo proceso planavimą ir vykdymą. Studentus domina mokymosi procesas, kuris yra interaktyvus, kurį reikia ne tik išklausti, bet ir išanalizuoti, apibendrinti ir įvertinti gautą informaciją.

Įvairių objektų simulatoriai ir kita virtuali medžiaga yra veiksmingos mokymosi priemonės, prieinamos studentams, turinčios reikiamą informaciją ir funkcijas, paprastos ir intuityvios.

Vienas iš simulatorių sukurtas dirbant komandoje Erasmus projekte VirSTEM (Virtual technology for use in STEM). Tai jau antras Erasmus+ projektas po VirTEC (Development of Virtual Learning Environments in Technical Higher Education). Juo siekiama sukurti skaitmeninį namo modelį ir mokymo medžiagos rinkinį, skirtą statybos specialybių pirmakursiams, kuriame pateikiama medžiaga nuo standartų istorijos iki BIM technologijų analizės. Šio simulatoriaus užduotys yra suteikti besimokančiajam galimybę savarankiškai gauti žinių apie pastato detales internetu be specialios įrangos (Ovtšarenko ir kiti, 2019).

Straipsnio tikslas – supažindinti su projekto VirSTEM tyrimų ir praktiniais rezultatais.

## 1. Tyrimo metodika

Pradedant įgyvendinti projektą buvo būtina atlikti padėties aukštosiose mokyklose tyrimus, kokie poreikiai universitetuose ir gamybos įmonėse.

Pasaulio šalių sėkmingos patirties statistikos analizė buvo naudojama norint nustatyti ir atrinkti universitetus, turinčius panašius reitingus, kurių mokymo programos turėtų būti analizuojamos. Tyrimui buvo

analizuojama pasaulio ir regioninių reitingų statistinė informacija, atsižvelgiant į Europos šalių grupę – Austrija, Italija, Prancūzija, Vokietija, Norvegija ir kitas.

Remiantis reitingų duomenimis, lyginamajai programų analizei buvo atrinkti vieno subregiono šalių - Rytų Europos - Estijos, Lietuvos, Slovakijos, taip pat aukšto Vakarų Europos reitingo šalių - Norvegijos, Suomijos ir Vokietijos universitetai. pirmųjų studijų metų pagrindinių techninių dalykų ir apibendrinant analizės rezultatus. Statybos specialybių mokymo rezultatus apibendrina Estijos TTK dėstytojai. Rezultatai, ką žino studentai, parodyti 1 lentelėje.

**1 lentelė.** Studentų mokymo rezultatai

Studijų rezultatai	Įgytos kompetencijos
<ul style="list-style-type: none"> <li>dažniausiai naudojami pastatų statybos, projektavimo ir statybinių medžiagų naudojimo principai.</li> <li>statybos srities teisės aktai, standartai ir techninės normos.</li> <li>pagrindinių statybos procesų technologijos.</li> <li>statybos sąnaudų apskaičiavimo principai.</li> <li>pagrindiniai darbuotojų saugos reikalavimai ir gebėjimas įvertinti pastato poveikį aplinkai.</li> <li>gebėjimas naudotis sričiai skirtomis kompiuterinėmis programomis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>suprasti projektavimo ir statybos procesus, sąveiką ir darbo procesų koordinavimą tarp statybos proceso partnerių tiek vietiniu, tiek tarptautiniu mastu.</li> <li>pagrindinių žinių apie statybos technologijas, konstrukcijų vykdymo valdymą, statybinių medžiagų gamybą, skirtą konstrukcijoms projektuoti, įgijimas,</li> <li>techninių ir ekonominių sprendimų, susijusių su įvairių tipų statyba, pateikimas.</li> </ul>

Visų programų edukaciniai rezultatai atitinka konkurencingų specialistų rengimo užduotis - statybos inžinieriai projektuoja ir skaičiuoja, kuria, planuoja ir valdo pramonės darbą. Reikalavimai kvalifikuotam pasirengimui yra spręsti šiandienines statybos proble-

mas, pvz., aplinkos ir klimato pokyčius, dėl pramonės lūkesčių, dėl naujovių ir gamybos, nes civilinės inžinerijos tikslai yra pagrindinės visuomenei reikalingos infrastruktūros plėtra. Taip pat būtinas vertinimas, planavimas, projektavimas, infrastruktūros darbų statyba, eksploatavimas ir priežiūra (Hjelseth, 2015).

Kitas tyrimo aspektas buvo studijų technologijos šiandien - tai įrankiai, programinė įranga ir edukacinė teorija. Papildomų technologijų naudojimas siekiant palengvinti mokymąsi ir pagerinti našumą kuriant, naudojant ir valdant tinkamus technologinius procesus ir išteklius suteikia daugiau galimybių (Martín-Gutiérrez ir kiti, 2017). Kiekviena disciplina skirtingai traktuoja modeliavimo koncepcinę struktūrą. Naujoviškos medžiagos ir naujos mokymo priemonės, švietimo technologijos vystosi daugelį metų. Nuo to laiko, kai Masačusetso technologijos institute Steve'as Russellas sukūrė pirmąjį žaidimą „Space War“, žaidimų pramonė sparčiai auga, o žaidybiniai elementai atsiranda ir studijų procese. Modeliavimo žaidimų diegimas statybos inžinerijos studijose parodė džiuginančius rezultatus, kai studentai išmoko įvairių įgūdžių, įskaitant vadybą ir komandinį darbą. Tai labai svarbu naujoje BIM įgyvendinimo eroje statybos pramonei.

Kompiuteriniai modeliavimo žaidimai, patobulinta grafika ir daugialypės terpės gali būti sukurti taip, kad temos būtų pristatytos laikantis tradicinio paskaitos formato. Naudojant animaciją, grafiką ir interaktyvią aplinką, mokomoji medžiaga gali būti sukurta taip, kad įtrauktų ir paskatintų studentus veiksmingai paaiškinti ir iliustruoti kurso temas ir ugdyti sprendimo įgūdžius.

Modeliavimas, rimti žaidimai ir vaidmenų žaidimai gali būti naudingi įrankiai kuriant į studentą orientuotą ir probleminę mokymosi aplinką, nes ši veikla leidžia studentams praktiškai pritaikyti savo žinias, įgūdžius ir strategijas, tuo pačiu atstovaujant konkrečius vaidmenis.

Kiekvienam dalykui modeliavimo struktūra reikalinga skirtinga. Ekonomistams koncepcinė struktūra paprastai yra matematinė. Sociologams koncepcinė struktūra paprastai yra socialinių sąveikų rinkiniai. Statybos inžinieriams koncepcinė struktūra dažnai grindžiama matematiniais, fiziniiais ir konstruktyviniiais elementais. Kompiuteriniai modeliai reikalauja, kad studentai atliktų keletą užduočių, užimančių daug laiko. Modeliavimas gali būti atliekamas naudojant kompiuterius, pieštuką ir popierių arba fizinius konstrukcijų modelius.

## 2. Modernaus universalus mokymo plano kūrimo pagrindas

Inžinerinis mąstymas turėtų užtikrinti įgytų žinių panaudojimą sprendžiant praktines problemas, į kurias buvo ar nebuvo atsižvelgta studentų mokymo metu. Inžinierius turi sugebėti pritaikyti visas įgytas žinias ir rasti optimalų sprendimą standartinei ar ne-

standartinei užduočiai, o tai reiškia pirminių duomenų apie objektą apdorojimą, santykių tarp objekto parametrų kūrimą ir reguliavimą. arba tarp objektų, arba tarp objekto ir aplinkos (Tabas ir kiti, 2018).

Aukštojo techninio išsilavinimo užduotis yra parinkti tokius dalykus, kurie suteiktų reikiamą žinių rinkinį inžineriniam mąstymui užtikrinti, labai svarbu pradėti nuo pagrindinių studijų metų pirmųjų techninių dalykų. Pirmieji studijų metai studentams yra sunkūs – nauja mokymosi aplinka su nauja informacija, reikalavimais, terminija, poreikiu savarankiškai planuoti ir vykdyti akademinį darbą. Todėl pagrindinių techninių dalykų turinys ir forma turėtų būti intuityvūs, interaktyvūs, su privalomu grįžtamoju ryšiu, kad mokinys galėtų savarankiškai dirbti, kad pasiektų norimą žinių lygį.

Pakeitus nauja mokymo medžiaga, problema yra atnaujinti turinį, sukurti naujus pratimus, skirtus praktiniam ir savarankiškam mokinių darbui, reikalauti, kad jie būtų įgyvendinti ir pritaikyti, o tada sekti jų naudojimo sėkmę. Šis procesas užtrunka šiek tiek laiko, ir tuo metu, kai jis priimamas ir patvirtinamas naudoti mokymuose, dažnai naujoviška mokymo medžiaga yra pasenusi ir praranda savo novatorišką vertę.

BIM naudoti švietime galima kuriant mažus kursus ar didelių kursų integruotų tarpdisciplininių projektų modulius ir aukštojo mokslo partnerių bendradarbiavimą nuotoliniu būdu (Hjelseth, 2018).

Užduotis integruoti ir pritaikyti BIM į esamus kursus ir programas yra svarbesnė, nes tai pirmiausia yra patogi vizualizacijos priemonė.

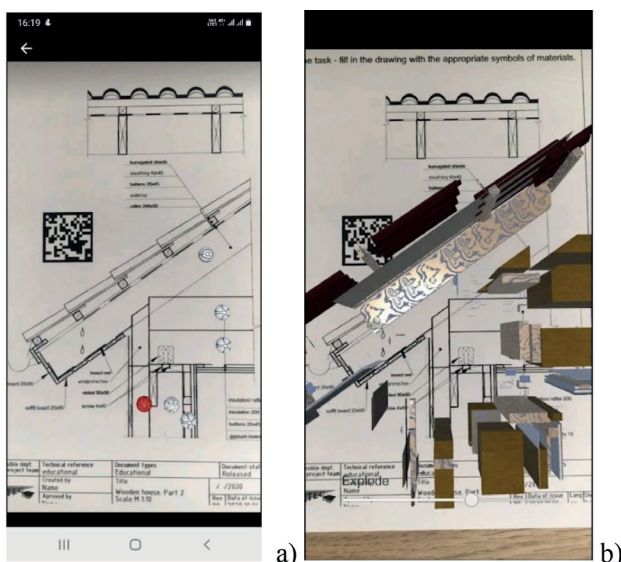
## 3. Mobilusis mokymasis

Prieinamą pagrindinį išsilavinimą turėtų sudaryti įvairūs mokymo metodai. Naujos technologijos labai išplėtė mokymosi galimybes naudojant mobiliuosius įrenginius. Dabar vartotojai gali pasiekti didžiulį kiekį jiems reikalingų duomenų be apribojimų jiems patogiu laiku.

Jaunoji karta yra labai suinteresuota mokytis interaktyviomis mobiliuosiomis programomis - ar tai būtų vaizdo įrašai, pristatymai, virtualios realybės VR, papildytos realybės AR ar žaidimų mokymosi programos. Ši VR/AR demokratizacija padidins VR/AR prieinamumą ir įperkumą, o šios technologijos per ateinančius kelerius metus bus įprastos kaip mobiliuosios technologijos, todėl bus įmanoma lengviau integruoti VR/AR (Martín-Gutiérrez, 2017).

VirTEC projekte Griffel studio sukūrė mobilią aplikaciją, kurios pagal galimybę analizuoti popieriuje ar ekrane pateiktą užduotį (1 pav.)

Internetiniai mokymo kursai, kuriuos sudaro trumpi vaizdo įrašai ir žaidimo pratimai, testai yra labai veiksmingi dėl savo paprastumo, ekonomiškumo ir žaidimo formos. Grupiniai mokymai taip pat labai efektyvūs naudojant mobiliuosius įrenginius - tarp žmonių grupių diskusijų forumuose, tinklaraščiuose, socialiniuose tinkluose keičiamasi idėjomis ir informacija.



1 pav. Griffel studio (JAV) sukurta mobili aplikacija Virtec AR darbu su užduotimis: a) užduoties lapo analizė; b) konstrukcijų modelis telefono ekrane

Šaltinis: sudaryta autorių

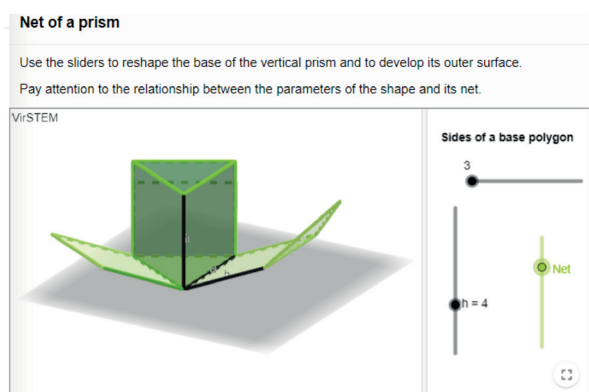
Elektroninės knygos taip pat suteikia puikią galimybę mokytis mobiliai. Mobilusis mokymasis praplečia mokymų apimtį, suteikdamas prieigą prie ko-kybiško turinio ne tik iš auditorijos. Investicijos į šią mobiliojo mokymosi sritį naudojant tokias technologijas kaip AR/VR, dirbtinis intelektas AI, robotika ir „blockchain“ švietime sparčiai auga ir 2025 m. jos prognozuojamos 22 mlrd. USD, palyginti su 2018 m. 4 mlrd. USD investicijomis (Singlehurst ir kiti, 2019).

#### 4. Mokymosi moduliai

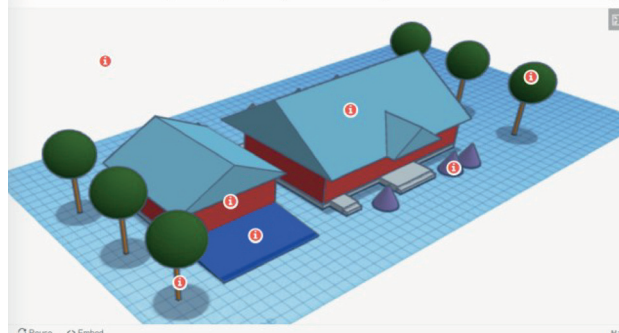
Mažų mokymo modulių kūrimo vienam kursui koncepcija turi daug privalumų, įskaitant mokymų temų seką ir derinimą tarpusavyje, pagrindinių žinių kartojimą ir įvirtinimą įvairiomis temomis, sukuriant logišką ryšių grandines, papildant įgytas žinias. Galima naudoti mažus mokymo modulius, kad būtų sukurtas tarpdalykinis ryšys, o tai yra neginčijamas pranašumas. Elektroninis mokymasis taip pat gali būti naudojamas kaip savalaikė pagrindinio mokymosi kurso parama, padedanti vartotojams greitai peržiūrėti ankstesnius pratimus ir testus, naudojant asmeninę prieigą prie skaitmeninio turinio ir paspartinant mokymosi procesą (Kelly ir kiti, 2019). Projekte VirSTEM yra 8 temos nuo braižomosios geometrijos pagrindų iki BIM taikymo. Įdiegti ir interaktyvūs testai (2, 3 pav.).

#### 5. BIM integravimas į esamus kursus

Naudojant naujoviškas mokymo medžiagas, po to, kai jos buvo sukurtos ir pakeistos reikia atnaujinti turinį, sukurti naujus pratimus praktiniam ir savarankiškam studentų darbui, juos atlikti ir pritaikyti, o tada sekti jų naudojimo sėkmę (Sampaio, 2018). Šis pro-

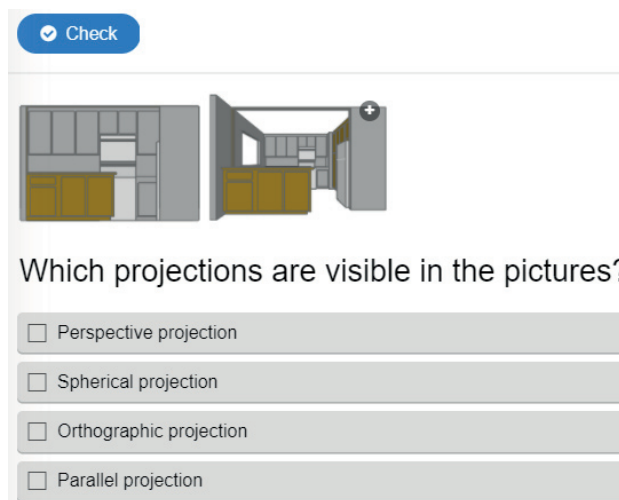


Find out what are the simplest shapes in the picture and how you can show their data in the drawing



2 pav. VirSTEM puslapyje pateikta medžiaga apie geometriją (GeoGebra) ir sąsajas su pastatu

Šaltinis: sudaryta autorių, VirSTEM puslapis



3 pav. Pagal duotą teorinę medžiagą pateikiami testai

Šaltinis: sudaryta autorių, VirSTEM puslapis

cesas reikalauja daug laiko ir dažnai naujos mokymo medžiagos. Kol jis priimamas ir patvirtinamas naudoti studijose, jis pasensta ir praranda savo novatorišką vertę.

BIM integravimas į esamus akademinius dalykus, visų pirma, padės vizualizuoti techninio dalyko temą, o tai žymiai sutrumpins laiko supratimą ir žinių įsisavinimą (Lassen, 2018).

Inžinieriams pažangiausia technologiniam sprendimui, reikia žinių apie BIM (4 pav.). Siekiant sumažinti prarastą laiką mokantis BIM, geriausias sprendimas yra integruoti ir pritaikyti BIM į esamus kursus ir mokymo programas, o ne organizuoti atskirus BIM kursus (Hjelseth, 2018).

Projekto VirSTEM vykdymo metu partneriai siekia sudaryti vertikalią mokymo struktūrą, kur lygiagrečiai šalia tradicinės grafikos, braižomosios grafikos uždavinių, pateikiamas namo modelis, kur studentas gali matyti realų BIM sprendimą, analizuoti geometriją ir spręsti uždavinius (5 pav.).

Parengti mokymosi medžiaga, siekiant patraukliai, interaktyviai ir moderniai perteikti standartų taikymą, geometrinius ir grafinius sprendimus, BIM technologijas – imlus, kūrybiškas ir sudėtingas darbas. Studentai studijuodami medžiagą gali tyrinėti pastatą (6 pav.), turi atlikti testus, gauti grįžtamąjį ryšį ir suvokti, kad inžinerinė grafika ir joje taikomos skaitmeninės technologijos yra šiuolaikinio statybos projektavimo pagrindas, ir sėkmingų studijų sudėtinė dalis.

### 5. Išvados ir rekomendacijos

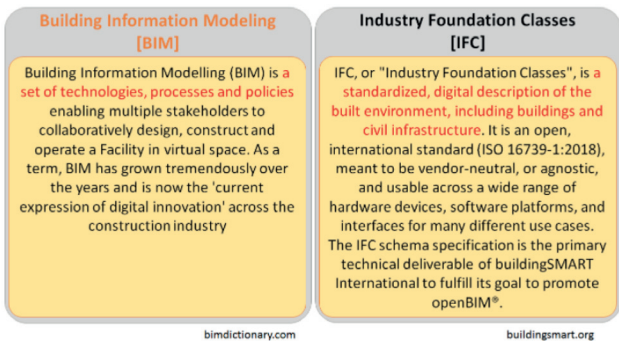
1. BIM, įtrauktas į kitus dalykus, yra svarbus kaip mokymosi tobulinimo priemonė studentų darbui ir bendradarbiavimui.

2. Tikėtinas poveikis, kad BIM įtraukimas į esamus akademinis dalykus gali padėti padidinti būsimų specialistų kompetencijas ir jų konkurencingumą.

3. Reikšmingi tradicinių dalykų turinio pokyčiai, naudojant vizualizaciją ir parametrinę ugdymo objektų informaciją, mobiliųjų įrenginių naudojimas padidins ne tik mokinių susidomėjimą, bet ir padidins ugdymo proceso efektyvumą. O BIM panaudojimas ankstyvame specialistų rengimo etape gali būti pasiektas be didelių formalių mokymo programos pakeitimų.

4. Ryšys su naudojamomis šiuolaikinėmis technologijomis - studentų dalyvavimas vykstančiuose darbo projektuose naudojant BIM suteikia galimybę nuodugniau mokytis, bendradarbiauti.

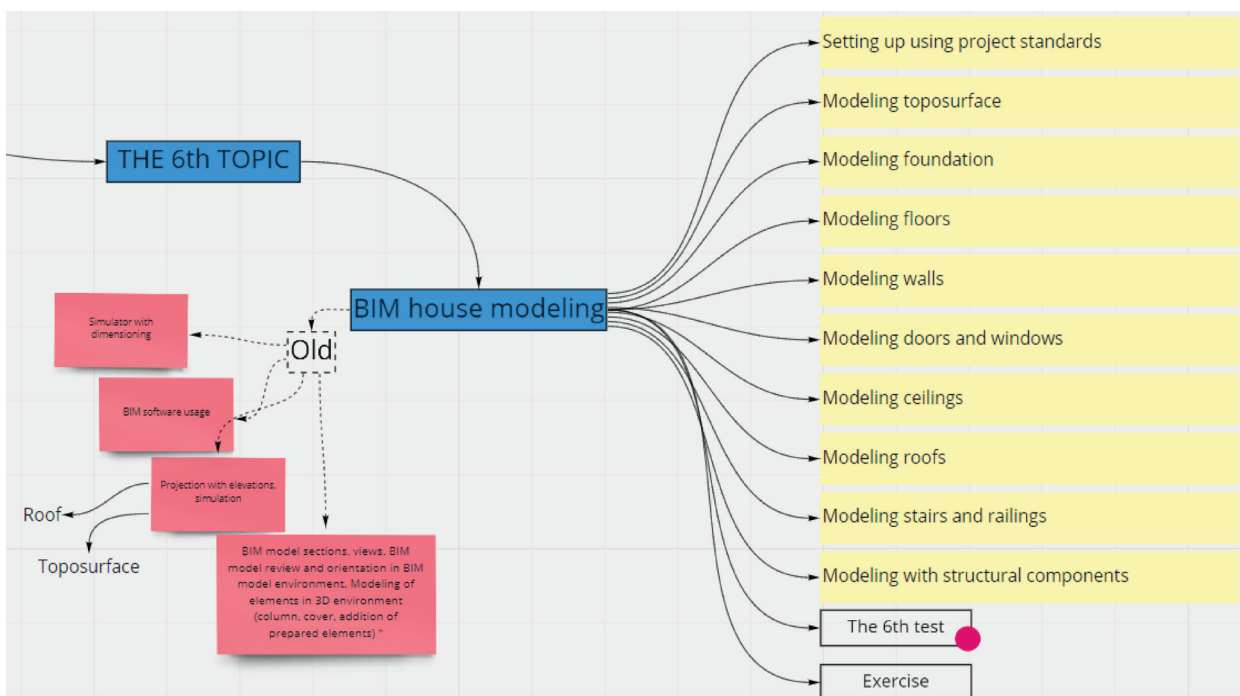
5. Trimatės modeliavimo programos leidžia mums sukurti įvairius trimačius objektus, skirtus vizualizuoti ir geriau suprasti edukacines temas, nes objektuose yra parametrinė informacija apie objektą ir jo dalis, o tai leidžia jums sukurti tarpšakinius ryšius ir efektyviai



4 pav. VirSTEM puslapyje pateikiama medžiaga apie BIM  
Šaltinis: sudaryta autorių, VirSTEM puslapis



6 pav. Interaktyvus modelis leidžia tyrinėti pastatą tiek išorėje, tiek viduje.  
Šaltinis: sudaryta autorių, VirSTEM puslapis



5 pav. Miro platformoje kuriami projekto algoritmai (fragmentas).  
Šaltinis: sudaryta autorių.

juos panaudoti, kad būtų geriau įsisavinama logiškai susijusi mokomoji medžiaga.

6. Skaitmeninės technologijos yra šiuolaikinio statybos projektavimo pagrindas, ir sėkmingų studijų sudėtinė dalis.

## Literatūra

- Hjelseth, E. (2015). Use of BIM for learning engineering – Change of paradigm. *Proc. of the 32nd CIB W78 Conference 2015, October 27th-29th 2015, Eindhoven, The Netherlands*, 275-284. Prieiga per internetą: <<https://pdfs.semanticscholar.org/b4fb/7995136924bad719d1693dc436c915025ba5.pdf>>. (Internetinis tinklalapis).
- Hjelseth, E. (2018). Experience from Norway on implementing BIM in existing bachelor engineering curriculum. *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: Proceedings of the 12th European Conference on Product and Process Modelling (ECPPM 2018)*, September 12-14, 2018, Copenhagen, Denmark. doi.org/10.1201/9780429506215. (Elektroninė knyga).
- IMD WORLD TALENT RANKING 2019 (2019). *IMD: Institute for Management Development*. Prieiga per internetą: <<https://www.imd.org/wcc/world-competitiveness-center-rankings/world-talent-ranking-2019/>>. (Internetinis tinklalapis)
- Kelly, K., Lock, E. (2019). Constructing a Career Mindset in First Year Students: The Building Blocks for Curriculum Design. *5th International Conference on Higher Education Advances (HEAd'19)*, 47-54. doi:10.4995/HEAd19.2019.9240. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Lassen, A. K., Hjelseth, E., Tollnes, T. (2018). Enhancing learning outcomes by introducing BIM in civil engineering studies –experiences from a university college in Norway. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. vol. 13 (1), 62 – 72. Prieiga per internetą: <<https://www.witpress.com/elibary/sdp-volumes/13/1/1791>>. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Makutėnienė, D., Timinskas, E., Ovtšarenko, O. (2020). Mokymo proceso skaitmenizavimas statybos specialybių studentams. *Technologijos ir menas*. Vilnius: Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija. ISSN 2029-400X. 2020, 11, p. 120-126. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Martín-Gutiérrez, J., Mora, C. E., Añorbe-Díaz, B., González-Marrero, A. (2017). Virtual technologies trends in education. *EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 13(2), 469-486. doi.org/10.12973/eurasia.2017.00626a. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Ovtšarenko, O., Safiulina, E., Makuteniene, D., Timinskas, E. (2019). Use of Digital Objects for Improving the Learning Process. *Developing Technology Mediation in Learning Environments* (Chapter 16). doi: 10.4018/978-1-7998-1591-4. (Elektroninė knyga).
- Sampaio, A. Z. (2018). Introduction of BIM methodology in education: Concept and Application. 4th International Conference on Higher Education Advances (HEAd'18), 19-27. doi:10.4995/HEAd18.2018.8228. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Tabas, B., Beagon, U., Kövesi, K. (2018). Report on the future role of engineers in society and the skills and competences engineering will require. Prieiga per internetą: <[https://www.astep2030.eu/sites/sub\\_site\\_astep2030/files/2019-05/report\\_1\\_literature\\_review\\_a-step\\_2030\\_a1\\_t1\\_.pdf](https://www.astep2030.eu/sites/sub_site_astep2030/files/2019-05/report_1_literature_review_a-step_2030_a1_t1_.pdf)>. (Straipsnis moksliniame žurnale).
- Singlehurst, T., Pejaver, N., Li, M., Gong, B., Channell, J. (2019). EDUCATION: POWER TO THE PEOPLE. Exploring Opportunities for Private Capital in Education. Prieiga per internetą:<<https://ir.citi.com/zwaEqN9YmEuQZ3IxTxz0CB9Cjw5ZT9XE6D%2BOgHqO70WrgFdMJNjtS8k0HbjQHO M69MRBTlcJQ%3D>>. (Straipsnis moksliniame žurnale).

## APPLICATION OF VIRTUAL TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION ENGINEERING STUDIES VIRSTEM PROJECT

Daiva Makutėnienė<sup>1</sup>, Olga Ovtšarenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vilnius College of Technologies and Design

<sup>2</sup>TTK University of Applied Sciences

**Abstract.** A new era with rapid technological changes, digitalization, new forms of labour organization requires innovative ideas for modern education using a virtual learning environment and available technical means. This article discusses the prerequisites for creating a concept of a universal curriculum for the first-year students in construction specialities for teaching the fundamentals of technical disciplines - that means basic engineering education, with integrating the Building Information Modeling (BIM).

The Building Information Modeling (BIM) methodology includes the concept of combined information about all the parameters of a three-dimensional object. This is universally supported by modern technology and can be used to develop innovative teaching methods.

To identify the prerequisites for the concept of a universal electronic course, an analysis of the IMD statistics was carried out and a generalized overview of the content of educational programs in the main technical disciplines of higher educational institutions of the countries of one graphic region was conducted.

**Key words:** BIM, virtual reality, engineering education, interactivity.

# KAS YRA VIRTUALIOS REALYBĖS KAUKĖ?

Arturas Bukauskas

Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Antakalnio g. 54, LT-10303 Vilnius  
 Vilniaus dailės akademija, Maironio g. 6, LT-01124, Vilnius

**Anotacija.** Šiuo tekstu virtualią realybę bandoma įvertinti kaip aparatinę ir dispozityvinę. Virtuali realybė dabartyje steigiama socialinių tinklų pagrindu, susiejant vaizdo žaidimų, kino ir internetinės socialinės komunikacijos erdves. Pereinant nuo Foucault dispozityvo sampratos per Baudry kino aparato teoriją technologiškai imersyvos realybės link siūloma tezė, kad virtualioje realybėje įvyksta Agambeno minimos paklusnaus piliečio kaukės apgręžimas nuo valdžios į save patį – į pilietį, į socialinį kūną. Dalyviui įgijus paslankią žaidybinę tapatybę, šis VR kaukės užsidėjimo aktas tampa performatyviaja faze – vaidyba ir vienu metu bandymu atpažinti menamą save. Taip pat teigiama, kad tokiu būdu valdžios sąvoka iš virtualios realybės į tikrovę yra gražinama kaip dirbtinio intelekto mitas.

**Reikšminiai žodžiai:** virtuali realybė, aparatas, šiuolaikybės kaukė, dirbtinio intelekto mitas

## Vietoje įvado<sup>1</sup>

Dvi virtualios savimi peraugusios realybės žymi šį laikmetį ir tarpininkauja su tikrove. Metaverse<sup>2</sup> – optimistinė naujos virtualios visuotinės socialinės/technologinės konstrukcijos realybė ir izoliuota, pandemine virtualybė, persmelkta nerimastingų ir desperatiškų monologų kakofonijos. Medicininė kaukė, žyminti pandemine vienatvę ir VR (virtualios realybės) kaukė, ženklinanti žingsnį į kolektyvinę Metaverse. Kaip įmanoma tokia prieštaringa vienatvės ir bendrystės bendra būtis? Todėl Agambeno esė teksto analitiniu/interpretaciniu analizės metodu buvo pasirinktas dialogo, nuo Sokrato laikmečio naudojamo kaip tiesiojiška, metodas. Ir taikant desimetrizuotą dialogą (arba kitaip sakant dialogą su tylinčiuoju), buvo siekama supriešinti tiesos formas, materializuotas ištariamą žodžiu ir „nutylėtas“ mintyse kaip virtualios realybės reprezentacijose.

Šv. Mergelės Marijos Ramintojos bažnyčios pastatas, naudojamas ir kaip šiuolaikinio meno galerija<sup>3</sup>. Paroda uždaryta, karantinas, Kalėdos. Lauke prie pastato Godotas<sup>4</sup>, kuratorius, (jis surengė virtualios realybės parodą) ir vienintelis svečias, kurį jis galėjo pakviesti – Agambenas (šis susierzinęs, visai neseniai viešai pasisakė apie valdžios priemones prieš viruso plitimą<sup>5</sup>), pastate dar kažkas yra, turbūt pateko pro bažnyčios šo-

nines duris. Godotas ir Agambenas su medicininėmis kaukėmis.

Ant sienos, prie įėjimo kabo užrašas: „The Right and the Left, which today alternate in the management of power, have for this reason very little to do with the political sphere in which they originated. They are simply the names of two poles—the first pointing without scruple to desubjectification, the second wanting instead to hide behind the hypocritical mask of the good democratic citizen—of the same governmental machine<sup>6</sup>.“ (Agamben, 2009a, p. 22)



1 pav. Paroda „Eikasia“, 2019

Agambenas:

Susitarkime dėl žodyno – dispozityvas ar aparatas.<sup>7</sup> Noriu išsakyti tezę. Nors M. Foucault

1 Šiame tekste bus cituojama G. Agambeno esė „Kas yra dispozityvas?“ (Agamben, Giorgio. 2009. What is Apparatus iš: What is Aparatus? and Other Essays, Stanford: Stanford University Press.) Italų posakis *Che cos'è un dispositivo* į lietuvių kalbą verčiamas „Kas tai yra aparatas?“, pabrėžiant instrumento, įrankio svarbą (kaip ir verčiant į anglų kalbą „apparatus“).  
 2 Tai naujas Facebook socialinio tinklo lygmuo, apimanti globalią virtualią realybę, kuriama tokiomis komunikaciniais VR įrenginiais kaip, pavyzdžiui, Oculus.  
 3 Čia 2019 metais čia įvyko pirma Lietuvoje virtualios realybės meno paroda „Eikasia“  
 4 Sutapimai su nemokamu žaidimo varikliu (<https://godotengine.org/>) ir S. Beckettto personažu iš pjesės „Waiting for Godot“ nėra aktualūs. Vardo kilmė gali būti lietuviška, susijusi su *goda* – svajone (godotas – lauktas, svajotas).  
 5 Coronavirus and philosophers. M. Foucault, G. Agamben, S. Benvenuto. European journal of Psychoanalysis. Prieiga per internetą: <https://www.journal-psychoanalysis.eu/coronavirus-and-philosophers/>

6 „Dešinė ir kairė, kurios šiandien vis pakaitomis kontliuoja valdžią, dėl šios priežasties turi labai mažai ką bendro su politine sfera, iš kurios jos iškilo. Tai tiesiog dviejų tos pačios vyriausybės mašinos polių pavadinimai – pirmasis be skrupulų rodo desubjektikaciją, o antrasis siekia pasislėpti po veidmainiška gero demokratinio piliečio kaukę.“  
 7 Pats Agambenas mato tarptautinės anglų kalbos vartosenos problemą, nes, skirtingai nuo XV–XVII amžiaus lotynų kalbos, kai ji nepriklausė konkrečiai tautai, šiuolaikinė anglų priklauso bent dvejoms. (Agamben, G. (2014). Resistance in Art. Prieiga per internetą: <https://www.youtube.com/watch?v=one7mE-8y9c> Angliškuose vertimuose vartojamas *aparato* terminas. Lietuviškas, manau, taip pat artimesnis mechnizmui, nors kai kurie autoriai teologinę lotynišką *dispositium* kilme vertina kaip atspirties tašką. „Pokalbis su Giorgio Agambenu“. Internetinė prieiga: <https://aplinkkeliai.lt/dialogai-polilogai/pokalbis-su-giorgio-agambenu/>



2 pav. VR instaliacija buvusioje altoriaus vietoje. Paroda „Eikasia“, 2019

neapibrėžė dispozityvo termino, manau, šis terminas yra reikšminis M. Foucault mąstymo strategijoje, todėl iš karto pereinu prie jo sampratos aiškinimo.

Godotas klausosi pauzės. Atrodo, kad po to turėtų būti pasiūlytas automatinis pasirinkimas, kaip kad skambinant telefonu į kokią nors instituciją. Jį domina virtualios realybės technologinis pradai.

Agambenas tęsia:

Dispozityvas – tai tinklas, formacija, anot M. Foucault, kurios pagrindinė funkcija – atsakas į nepaprastą padėtį, manipuluojant jėgų santykiais. Taigi, pirma, – tai heterogeninis ansamblis, tinklas, įtraukiantis iš esmės viską – lingvistinę ir nelingvistinę visumą; antra, – dispozityvas turi strateginę funkciją ir įtraukiamas į valdžios santykius; trečia, – atsiranda žinojimo santykių ir valdžios santykių sankirtoje.

Godotas linkteli galvą, tai tarsi turėtų išreikšti lingvistinį judesį – virtualų skrybės ženklą, neprieštaramumą.

Agambenas:

Taip! Pozityvumas! Sekdamas pozityvumo sąvokos pėdsakais Foucault mintyje susiejau jo ir jo vertinamo J. Hyppolite svarstymus apie esmines G. Hegelio mąstymo koncepcijas – „likimą“ ir „pozityvumą“. Hegelio „pozityvioji religija“ – tai jausmai, užfiksuoti sielose vienoikia ar kitokia prievarta, kai nėra tiesioginio suinteresuotumo. Taip, priešpriešinant prigimtį (kaip natūralųjį tikėjimą) ir pozityvizmą, anot Hyppolite, ir iškyla dialektika tarp laisvės ir prievartos, proto ir istorijos. Pasitelkiant Foucault mintį galima kelti esminį jo klausimą – santykius tarp gyvų žmonių – individų ir istorinio Prado per tam tikrą subjektyvizacijos procesą (taisykles, galios nustatymus ir t. t.). Skirtumas nuo Hegelio tas, kad Foucault nebando šių elementų susieti į visumą, tik tiria veikiančius valdymo mechanizmus ir manipuliacijas.

Godotas vėl linkteli galvą.

Agambenas tęsia:

Foucault dispozityvą vertina kaip universaliją (jis visada atsisakydavo užsiimti racionaliomis esmėmis – „valstybe“, „valdžia“, „įstatymu“). Tačiau, tikslinant terminą, grįšiu prie *ekonomikos* – kaip namų ūkio administravimo – per teologinę genealogiją. Aptikau, kad bažnyčiai bandant išvengti politeistinių aspektų Šv. Trejybės aiškinime buvo atskirtas Dievo *buvimas* ir *veikimas*. Taip Dievo sūnui buvo patikėta *išpirkimo ir išgelbėjimo ekonomika*. Galop atskirti bažnytiniai ir ekonominiai diskursai. Ekonomika tapo dispozityvu, per kurį trinarė dogma įtraukta į krikščionišką mokymą. Tai gi taip ir atsirado skirtis tarp Dievo buvimo ir Dievo veikimo. Manau, kad tai tikra Vakarų filosofijos šizofrenija!

Godotas svarsto, kiek profanacinė (paties Agambeno nuomone) ši mintis. Mąsto, ką pasakytų kunigas Toliatas<sup>8</sup>, kuris leido tai virtualios realybės parodai čia pabūti. Bažnyčia, valdžia ir kibererdvė.

Agambenas:

Tokioje teologinėje dispozicijos genezėje išvelgiu ir tam tikrą diskursyvų tapatumą ne tik tarp Foucault ir Hegelio, bet ir su M. Heideggerio „karkasu“ (*gestell*). Heideggeris pabrėžia, kad jam *gestell*, paprastai reiškiantis aparatą (*gerat*), yra „reikalavimų visuma“ (*dis - pone*), nurodant žmogui atskleisti realybę per valdymą.

Godotas suklūsta. Jam akivaizdžiai įdomi aparato tema, jo kuriama realybė ir jos ontologinės charakteristikos. Godotas svarsto, kad, skirtingai nuo Jean - Louis Baudry kino aparato teorijos, kurioje yra du konkretūs prietaisai – kino kamera ir kino projektorius – virtualios realybės prietaisas yra ir pasyvus, ir interaktyvus. Jis vienu metu ir projektorius, ir ekranas, ir imersinis aparatas, todėl nereikia specifinio dispozityvinio įtraukimo mechanizmo (kaip kad kuriant kino filmą svarbus montažas, kameros kampas, naratyvas ir t. t.). VR aparatas yra simbolinė realybė, kurios buvimas susijęs su tam tikromis žaidybinėmis sąlygomis, pavyzdžiui, pasirinkta tapatybe. Tačiau grįžimas į tikrovę yra neišvengiamas, kokia atgrasi ji bebūtų, nes, anot R. Nozicko daromų mintinio eksperimento<sup>9</sup> išvadų, žmonės, apriboti ar apsiriboję tik žmogus kuriama realybe, visgi norės būti, o ne tik patirti, daryti, o ne tik įgyti darbo patirties. Vadinasi, ryšiams, kuriuos imersinis kūnas įsteigia virtualioje realybėje, reikia sukurti

8 Algirdas Toliatas – Vilniaus Švč. Mergelės Marijos Ramintojos bažnyčios kunigas ir Lietuvos policijos kapelionas.

9 “Suppose there was an experience machine that would give you any experience you desired. Super-duper neurophysiologists could stimulate your brain so that you would think and feel you were writing a great novel, or making a friend, or reading an interesting book. All the time you would be floating in a tank, with electrodes attached to your brain. Should you plug into this machine for life, preprogramming your life experiences? [...] Of course, while in the tank you won't know that you're there; you'll think that it's all actually happening [...] Would you plug in?” (Nozick, 1974, p. 42)

simetrišką atitikmenį tikrovėje. Ir tai, kas įsteigiama virtualybėje, turi būti grąžinta per atvirkščią imersijai „išnirimo“ arba deimersializacijos procedūrą. Bet simbolinė virtualios realybės tvarka iš esmės nustatoma ir percepčiaiškai apčiuopiamame lygmenyje. Panardintieji ją patiria ne tik oculocentrinium ir auraliniu būdais, t. y. ne tik vizualiai ir garsiškai, bet ir taktiliškai – per haptinį prisilietimą, taip sukuriant simbolinę materialiąją charakteristiką. Tada grįžimas į tikrovę tampa neįmanomas, nes po tokios patirties neatsistato ankstesnė simbolinių ryšių tvarka. Taigi, tam tikra prasme nėra kelio namo. Tai tarsi bloomiškasis klaidžiojimas...

Agambenas traktuoja užtrukusią ilgoką tylos pauzę kaip galimybę suformuoti naują mintį:

Tokį momentą naudoju kaip metodologinį principą – aš vis ieškau vietos, lokuso, kai autoriaus mintis sustoja ir ją galima plėsti pačiam. Taigi, manau, visą egzistuojančią visumą galima dalyti į dvi klases – gyvos būtybės (substancijos, esmės) ir dispozityvai. Ir čia siūlau savo apibrėžimą. Dispozityvas – tai bet kas, kas kontroliuoja ir lemia žmogaus elgesį. Trečia kategorija tarp jų – tai subjektai. Subjektai ir substancijos persidengia iš dalies, nes individas (esmė) gali būti daugybės subjektyvacijos procesų dalis. Neapibrėžtą diseminacijos procesų augimą atitinka toks pats neapibrėžtas subjektyvizacijos procesų augimas. Susiduriame su veidmainystės atveju, susijusiu su asmenine tapatybe.

Kraštutinė veidmainystė kaip virtualios realybės fenomenas? – svarsto Godotas.

Agambenas tęsia:

Diagnozuojama finalinė kapitalizmo fazė. Požymis – nebeliko nei vieno momento, kuris būtų neužkrėstas, nekontaminuotas, nekontroliuojamas ir nemodeliuojamas.

Pasigirsta perspėjantis signaliukas – atėjo žinutė.

Agambenas išsitraukia telefoną:

Svarstau, kaip išsilaikyti kovoje su dispozityvais (parodo savo „telefonino“). Dispozityvai – tai humanizacijos pasekmė ir kartu evoliucijos variklis. Žmogiškumo (kaip kitoniškumo nuo gyvūninio prado) atsiradimas įvyksta dėl skirties, kurią sukuria ekonomika Dievo buvime ir veiksmu. Tuo pat įvyksta ir skirtis su gyvuoju pasauliu. Lyginant tai su Heideggerio „receptorius-inhibitorius“ apibrėžimu, įvyksta ryšio nutraukimas su aplinka...

Agambenas dedasi akinius, skaito žinutę. Godotas apžiūrinėja Agambeną su akiniais, apsaugine kauke, senesnio modelio telefonu ir nieko nesako. Virtuali realybė, – galvoja jis, – neveikia atskirai nuo tikrovės ir jos nepakeičia, tačiau ji neveikia išvien su tikrove. Kas grąžinama atgal? Jei specifinės dalyvavimo virtualioje realybėje teisės nustato kompiuterinių žaidimų lauko konvencijos, tai virtuali realybė yra priemonė, siekiant atskleisti tikrovę, vadovaujantis interaktyvaus žaidimo sąveikomis.

Agambenas tęsia, tebeskaitydamas žinutę:

Ir tai sukelia nuobodulį – ta prasme šis sugebėjimas nutraukti ryšį ir sukuria Atsivėrimą, per kurį ir atsiranda galimybė suprasti būtį kaip būtį, taigi, konstruoti pasaulį. Tai savo ruožtu sukuria dispozityvus. Jų padedamas žmogus stengiasi įdarbinti atsiskyrusias nuo jo gyvūnines charakteristikas dirbi veltui, kad pats galėtų mėgautis Atsivėrimu. Vadinasi, prieš visus dispozityvus visada kyla noras būti laimingam.

Laimės noras ir šventė. Godotas apsidairo. Aplinkui nieko nėra, nė gyvos dvasios, visi paklusę valdžios nurodymui izoliuoti.

Agambenas su Godotu grįžta į vidų. Parodą galima apžiūrėti ir virtualioje erdvėje. Bet kaip suprasti meno virtualumą, – svarsto Godotas, – ar tai šiuolaikinė(s) meno filosofijos problema, ar šiuolaikybės problema?..

Agambenas (matyt, pagauna beklaidžiojantį po bažnyčią Godoto žvilgsnį):

Profanacija! Siūlau Romėnų teisės terminą *profanacija*. Juo buvo skiriamos sakralios ir buitines sferos, iš buitines šalinami dievams priklausantys daiktai. Šventvagystė (*sacrilego*) reiškė ribos peržengimą į sacro sritį, o profanacija – sugrąžinimą į laisvą žmonių vartojimo sritį. Tam tikra prasme religija – tai kažkas, kas perkelia iš žmogiškojo pasaulio į dieviškąjį. Dispozityvas – tai aukojimas. O profanacija – tai antidispozityvas.

Štai ir dvikryptis imersinis mechanizmas – virtuali tikrovės profanacija ir šventvagystė, – galvoja Godotas. Bet kas įvyksta – žmoniškojo kūno auka? O virtualios realybės įrenginys, anihiliuojantis kūną, užgesdamas ir užsidegdamas – tai F. Kafkos aprašytas agregatas (Kafka, 1918) Tada jo *juodas ekranas*<sup>10</sup>, neveikiančios technologijos paviršius (veidrodys?) – tai ir yra Agambeno paminėta tamsa (Agamben, 2009b), kaip nepasiekianti mūsų dabarties šviesa, kurios nuojauta stebėtojai sukuria šiuolaikybės matymą.

Agambenas tęsia, jis kažkur nutolo bažnyčioje, jo balsas aidis:

Kapitalizmas sukuria kraštutinumo skiriamuosius procesus, kažkada buvusius religijomis. Šiuolaikinius dispozityvus yra problematiška profanuoti, nes be subjektyvizuojančių procesų jie pavirsta paprasta smurto praktika. Foucault parodė, kad disciplinarinėje visuomenėje dispozityvai per veiksmus, kreipinius, veiklą sukuria paklusnius ir vienu metu laisvus žmogiškus vienetus, atrandančius savo laisvę ir identitetą pačiame paklusimo procese. Taigi, dispozityvai yra subjektyvizacijos procesų gamybos mechanizmas ir tik taip tampa valdymo mechanizmu. (patyli).

Pavyzdžiui, išpažintis.

<sup>10</sup>Juodas ekranas – netikėtai, dėl nežinomų priežasčių nustojusio veikti prietaiso ekranas (kiti paplitę pavadinimai *Black screen*, *Black screen of death*, *Fatal system error*).



Godotas apsidairo.

Agambenas:

Išpažintis ir kaip *senojo aš* paneigimas ir susitaikymas. Be abejo, subjektyvizacijos ir desubjektyvizacijos procesai vyksta vienu metu, tačiau svarbu, kad dabar jie nustojo skirtis, taigi subjekto atkūrimas tapo slėpiningas ir netgi vaiduokliškas. Telefono dispozityvas neduoda naujos subjektyvybės, bet tik numerį, kuris gali būti kontroliuojamas, kaip kad tv žiūrovas gauna tik distancinį pultelio perjunginėtojo apvalkalą. Todėl nėra teisingo dispozityvų vartojimo būdo.

Storos bažnyčios sienos sunkiai praleidžia signalą.

Agambenas pasukioja telefoną:

Štai, pavyzdžiui, matau internetą kaip gigantišką desubjektyvizacijos, kurios neatsveria jokia subjektyvizacija, kūną – taigi tikro identiteto ir realų skirtybių politika tampa pasmerkta, o ekonomika tesieka tik savo reprodukcijos. Valdžia tampa irzli ir įtari, nes susiduria su paklusniausiu ir bailiausiu socialiniu kūnu, su Bloomais<sup>11</sup> – paklusniais ir nepavojingais postindustriniais piliečiais, kurie patikėjo visus savo poreikius dispozityvams ir todėl valdžios yra laikomi potencialiais teroristais. Dėl tautinių technologijų, video stebėjimo, biometrinių procedūrų viskas virsta vientisu kalėjimu. Ši mašina yra teologinės ekonomikos parodija. Reikia įsikišti į subjektyvizacijos procesus, dispozityvus ir rasti tą nevaldymo pradą...

O jei virtualioje realybėje yra atvirkščiai? Jei pasitelktume dirbtinio intelekto sampratą, – sustingsta Godotas, – tai gali būti, kad virtuali realybė yra aparatas, siekiantis į tikrovę įterpti dirbtinio intelekto mitą kaip absoliučios valdžios kaukę. Taip, grįždamas į tikrovę, jis (dirbtinis intelektas) tampa ir paklusnus, nes mūsų kuriamas kartu tampa pavojingas kaip Agambeno teroristas. Tai, – galvoja Godotas, – gal todėl Heideggeris ir buvo toks technoskeptiškas, bet, anot S. Gualeni (Gualeni, 2015), būtent jo mintys geriausiai tinka virtualios realybės mechanizmams paaiškinti...

Iš viršaus laiptais (sovietmečiu bažnyčia nebepakeičiamai buvo paversta remonto dirbtuvėmis ir suskirstyta aukštais) nusileidžia kunigas Toliatas ir, pamatęs Agambeną, užkalbina. Godotas pagarbiai atsitraukia, užsideda pirmą pasitaikiusį parodos VR aparatą, apsimeddamas, tarsi ką jame tikrintų.

Ar Agambenas išdrįstų pasibandyti virtualios realybės šalimą? Turbūt ne, – galvoja jis. O ekonomas Kristus, matyt, nė nebuvo nusiėmęs...

Užsidėjus šalimą virtuali realybė įtraukia akimirksniu. Godotas pasijunta likęs vienui vienas. Netgi nelikęs nė vienu.

Beje, ko ten Agambenas klausė Kristaus „Evangelijoje pagal Matą“?... – dar spėja pagalvoti.



3 pav. „Pilypas ir kanapės“. G. Agambenas apaštalo Pilypo vaidmenyje, „Evangelija pagal Matą“ (rež. P. P. Pasolini, 1964). Ekranų iškarpa iš internetinės nuorodos <https://www.youtube.com/watch?v=anZg7SyjZ2s>.

## Vietoje išvadų

Gal jis ir teisingas, – galvoja Godotas. Gal čia yra tas nesiliaujantis nuobodulys ir laimė išsivaduoti paklūstant. Kaukė, kurios buvimas tampa visuotinas. Virtuali, terapinė, religinė, dispozityvinė, iliustruojanti teroristinį paklusnumą. Gal ji ir yra šiuolaikybės kaukė, dengianti alternatyviąją realybę – antivakcininę ir plokščiažemiškąją. Dabarties ir šiuolaikybės negalima suprasti be intuityvaus juodojo laiko stebėjimo (Agamben, 2009), o virtuali realybė tampa nuolat generuojama šiuolaikybėje, suvokiama tik per žaidimą. Veiksmas, buvęs svetimo darbo (meistro ar mechanizmo) sudėtine dalimi, tampa taip pat neatpažįstamas. Tai, kas seniau laikyta malonumu stebėti aparato, įrankio veikimą, tampa magijos stebėjimu, o darbas – stebuklu, fokusu, burtu. Ir homunkuliškai fleksibili<sup>12</sup> vienakartinė kaukė nepaliaujamai stebi kitą kaukę, kuriančią stebuklą kaip darbą.

## Literatūra

- Agamben, G. (2009a). What is Apparatus, iš: What is Aparatus? and Other Essays. Stanford: Stanford University Press.
- Agamben, G. (2009b). What is Contemporary, iš: What is Aparatus? and Other Essays. Stanford: Stanford University Press.
- Nozick, R. (1974). Anarchy, State and Utopia. Oxford: Blackwell Publishers Ltd.
- Kafka, F. (1918). In the Penal Colony. Prieiga per internetą: <http://johnstoi.web.viu.ca//kafka/inthepenalcology.htm>
- Gualeni, S. (2015). Virtual Worlds as Philosophical Tools. London: Palgrave Macmillan UK.
- Levitt, Deborah. (2018). Five Theses on Virtual Reality and Sociality: Understanding the Implications of Radically New Experiences.” Public Seminar. Prieiga per internetą: [https://www.academia.edu/37269741/Five\\_Theses\\_on\\_Virtual\\_Reality\\_and\\_Sociality](https://www.academia.edu/37269741/Five_Theses_on_Virtual_Reality_and_Sociality).

<sup>12</sup> Homunkuliškas fleksibilumas - tai sąmonės savybė virtualioje realybėje traktuoti ir kontroliuoti kūną nebūtinai kaip humanoidinį (Won, Andrea & Bailenson, Jeremy & Lanier, Jaron. (2015). Homuncular Flexibility: The Human Ability to Inhabit Nonhuman Avatars.). Cituojama pagal Levitt, Deborah. 2018.

<sup>11</sup> Čia Agambenas turi omenyje Bloomą – centrinį personažą iš J. Joyso romano „Ulysses“.

## WHAT IS THE MASK OF VIRTUAL REALITY?

**Arturas Bukauskas**

*Vilnius College of Technology and Design  
Vilnius Academy of Art*

**Summary.** This text attempts to interpret Virtual Reality as both hardware and dispositif. Virtual Reality currently emerges on the basis of social networks, linking the spaces of video games, cinema and online social communication. Moving from Foucault's concept of dispositif through Baudry's theory of cinematographic

apparatus to a technologically immersive reality, it is proposed that in Virtual Reality, the hypocritical mask of the good democratic citizen, mentioned by Agamben, is turned from the government to self – to the citizen, to the social body. When a participant acquires a flexible game-based identity, the action of wearing a VR mask becomes a spectacle - a play and at the same time an attempt to recognize an imaginary "self". It is also argued that in this way the concept of power returns from virtual reality to reality as the myth of artificial intelligence.

**Keywords:** virtual reality, dispositif, the mask of modernity, the myth of AI



---

## TECHNOLOGIJOS IR MENAS

## TECHNOLOGY AND ART

2021/12

Anglų kalbos redaktorė / English Editor **Svetlana TOROPOVIENĖ**  
Konsultantė / Consultant **Inga KRAKELIENĖ**

ISSN 2029-400X

2021-12-20. 60×90/8. 12,5 sąlyg. sp. l. Tiražas 100 egz.  
Spausdino UAB „Baltijos kopija“ Kareivių g. 13B, Vilnius

### **Redakcijos adresas**

**Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija**

Antakalnio g. 54; LT-10303 Vilnius, Lietuva

Tel. (8 5) 234 1524; Faksas (8 5) 234 3769; El.p. [journal@vtdko.lt](mailto:journal@vtdko.lt)

### **Address of the publisher**

**Vilnius College of Technologies and Design**

Antakalnio g. 54; LT-10303 Vilnius, Lithuania

Phone: +370 5 234 1524; Fax: +370 5 234 3769;

E-mail [journal@vtdko.lt](mailto:journal@vtdko.lt)